COMMITTENTE

2.2.69.001

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

PROGETTAZIONE:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N 443/01

PROGETTO ESECUTIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE VOLTRI - BRIGNOLE

PROLUNGAMENTO, LATO LEVANTE, DELLA "BRETELLA GENOVA VOLTRI" CON ALLACCIO VERSO EST ALLA LINEA SUCCURSALE DEI GIOVI, IN PROSSIMITA' DI BIVIO POLCEVERA

RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA
Lotto 2

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA / DISCIPLINA	PROGR.	REV.
GCE1	02	E	69	RG	GE0001	001	A

	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato
A	Emissione esecutiva	RODANI		POLIMENI		OCCIDENTE		MARCHESE

ITALFERR SpA
Dr. Geologo Francesco Marchese
Resp. U.O. Geologia
Ordine Geologi Lazio n. 179 es

File:		n. Elab:

INDICE

1. PREMESSA 3

2. GEOLOGIA 4

2.1. Inquadramento geologico generale 4

2.2. Tettonica 6

2.3. Assetto geologico-strutturale locale 8

3. STRATIGRAFIA 10

4. INDAGINI ESEGUITE 15

4.1 Indagini geognostiche 15

4.2 Indagini geofisiche 17

5. STUDI RELATIVI ALL'INQUINAMENTO AMBIENTALE 18

6. SISMICITÀ 21

7. ASPETTI GEOMORFOLOGICI 23

8. IDROGEOLOGIA 26

8.1 Caratterizzazione idrogeologica 26

8.2 Classi di permeabilità e considerazioni idrogeologiche sull'area in esame 28

8.3 Censimento dei punti d'acqua 32

8.4 Stima delle portate drenate dalla galleria della Bretella di Voltri 34

9. DESCRIZIONE GEOLOGICA LUNGO L'ASSE DEL TRACCIATO 44

10. BIBLIOGRAFIA 48

11. ALLEGATO 1 – Documentazione fotografica 51

12. ALLEGATO 2 – Schede descrittive dei punti d'acqua 57

1. PREMESSA

La presente relazione illustra i risultati dello studio geologico svolto a supporto della progettazione esecutiva del prolungamento lato Levante della Bretella di Voltri, nell'ambito della quale è prevista la realizzazione di un collegamento tra la Caverna Borzoli e la linea Succursale dei Giovi in prossimità del Bivio Polcevera.

L'intervento in progetto ha inizio al km 8+639 della linea Genova Borzoli- Genova Voltri Mare, con una prima parte di tracciato all'interno di una galleria esistente fino al tampone di fondo della Caverna Borzoli, al km 8+793. Da qui avranno inizio i lavori di scavo dei cameroni di interconnessione alla linea del III Valico dei Giovi e della galleria naturale previsti in progetto, fino al km 11+630, e, dopo un breve tratto in galleria artificiale, verrà realizzata l'ultima parte del collegamento, allo scoperto, fino all'interconnessione presso il Bivio Polcevera con la linea Succursale dei Giovi, al km 12+134. Lo studio si è articolato in un primo momento di raccolta ed analisi del materiale relativo alle precedenti fasi di progettazione, successivamente al quale si è proceduto all'aggiornamento dei dati in funzione di quanto emerso da ulteriori rilievi di terreno e con le informazioni derivanti da una campagna di indagini geognostiche svolta per la presente fase progettuale.

Sulla base dei risultati degli studi espletati, sono stati redatti i seguenti elaborati cartografici che sintetizzano i dati geologici, geomorfologici e idrogeologici dell'area indagata e costituiscono parte integrante del presente lavoro:

- Carta geologica con elementi geomorfologici, in scala 1:2000 (2 tavole)
- Carta idrogeologica, in scala 1:2000 (n. 2 tavole)
- Profilo geologico, in scala 1:2000 (n. 2 tavole)
- Profilo idrogeologico, in scala 1:2000 (n. 2 tavole)
- Sezioni geologiche trasversali (zona Fegino), in scala 1:500 (n.1 tavola)
- Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche eseguite, in scala 1:2000 (n. 2 tavole).
- Ricostruzione dell'assetto geologico nella zona di attacco della galleria naturale in corrispondenza della caverna Borzoli (n.1 tavola)

2. GEOLOGIA

2.1. Inquadramento geologico generale

La porzione della Liguria compresa fra Voltri e Levanto rappresenta un segmento di catena caratterizzato dalla presenza di unità prevalentemente ofiolitiche che, da ovest verso est, passano dalle unità deformate a livelli strutturali più profondi a quelle strutturate a livelli più superficiali (Cortesogno & Haccard, 1984; Hoogerduijng Strating, 1991; Marroni & Pandolfi, 1996)

Il tracciato in progetto ricade in un'area situata a NW della città di Genova, ed interessa i rilievi posti in destra orografica del T. Polcevera, appartenenti dal punto di vista geologico al settore noto in letteratura come Zona Sestri-Voltaggio.

Tale zona rappresenta l'elemento attraverso il quale si accostano unità ad evoluzione alpina (a ponente) e unità ad evoluzione appenninica (a levante).

La Zona Sestri-Voltaggio si identifica con un settore allungato in direzione N-S, costituito da diverse unità tettoniche che sormontano ad ovest le metaofioliti a metamorfismo alpino del Gruppo di Voltri, e che ad est si immergono sotto i flysch liguridi dell'Appennino settentrionale (Fig. 1).

Il piano di sovrapposizione tettonica sul Gruppo di Voltri è rappresentato da una superficie fortemente raddrizzata (linea Sestri-voltaggio) con associate brecce cataclastiche, mentre il contatto con le Unità Liguri è principalmente di tipo duttile.

Verso nord tutto l'insieme Gruppo di Voltri - Zona Sestri-Voltaggio - Unità flyschoidi è trasgressivamente ricoperto dalle sequenze sedimentarie tardo-orogeniche del Bacino Terziario Ligure-Piemontese; verso costa le coperture post-orogeniche sono rappresentate dalle successioni clastiche ascrivibili al Pliocene Ligure.

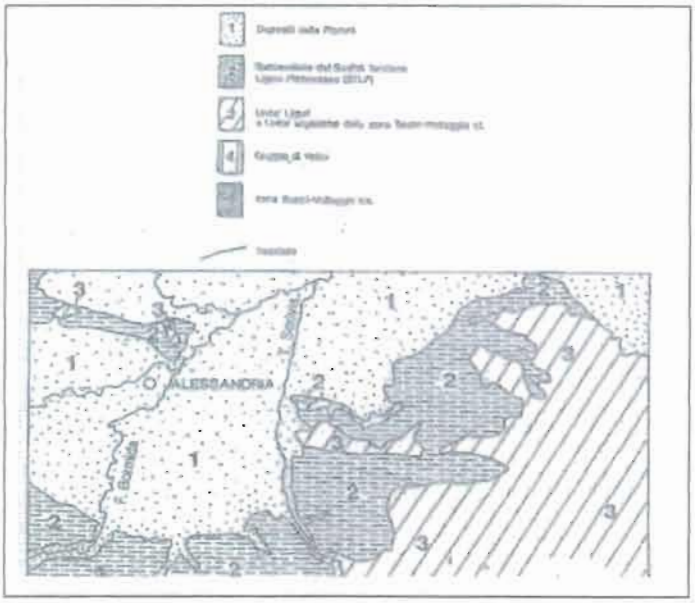


Fig. 1 - Schema geologico regionale. 1) Coperture plio-quaternarie 2) Successioni del Bacino Ligure-Piemontese 3) Unità Liguri 4) Gruppo di Voltri 5) Zona Sestri-Voltaggio s.s.

La Zona Sestri – Voltaggio, più nello specifico, si configura come una fascia dalla complessa strutturazione tettonica interna, conseguente alla sovrapposizione di più fasi plicative (vedi *par.* seguente), sviluppate, a diverse condizioni metamorfiche, in tutte e tre le unità che la compongono (Cortesogno & Haccard, 1984).

Tali unità tettoniche (Fig. 2), distinguibili oltre che per caratteri metamorfici anche per pertinenza paleogeografica e peculiarità litostratigrafiche (Marini, 1975 e 1976; Chiesa et al. 1975), sono:

- Unità Cravasco-Voltaggio, di età Giurassico sup.-Cretaceo inf., costituita da metaofioliti e coperture sopraofiolitiche in successione completa, ad affinità liguride interna e caratterizzata da metamorfismo in facies "scisti blu".
- Unità Gazzo-Isoverde (Unità triassico-liassica di Haccard, 1976), di età Trias sup.-Lias, costituita da una successione di margine continentale in annegamento, prevalentemente carbonatica e ad affinità prepiemontese; le condizioni metamorfiche raggiungono la facies degli "scisti blu".
- Unità di M. Figogna (Unità di Timone e Unità del Bric Tejolo in Marini, 1977 e Unità Timone-Tejolo in Marini, 1984), in posizione struttutralmente superiore, di età giurassica superiore-cretacea; costituita da una successione ofiolitica,

(priva di termini gabbrici) con le relative coperture, presenta un metamorfismo, attenuato rispetto alle unità precedenti, che raggiunge la facies pumpellyite-actinolite.

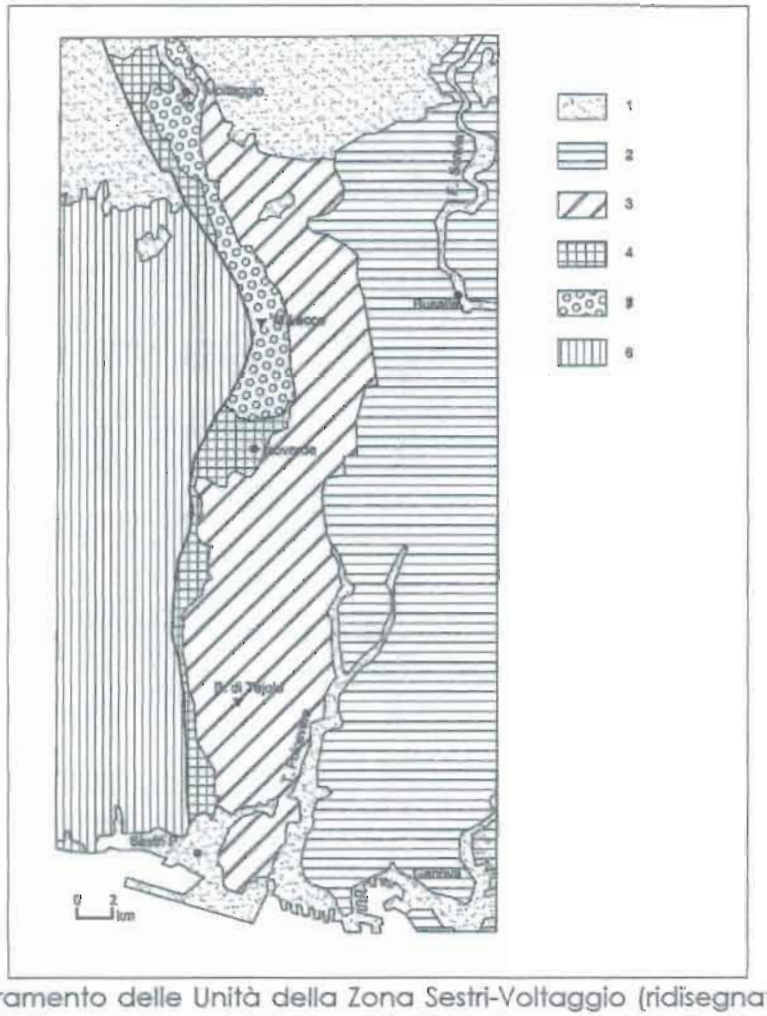


Fig. 2 - Inquadramento delle Unità della Zona Sestri-Voltaggio (ridisegnato da Marini, 1984). 1: Coperture post-orogene; 2: Flysch appenninici; 3: Unità di M. Figogna; 4: Unità Gazzo-Isoverde; 5: Unità Cravasco-Voltaggio; 6: Gruppo di Voltri.

2.2. Tettonica

L'assetto del settore di catena ligure di interesse per il tracciato di progetto è caratterizzato da una architettura a falde delle quali, in letteratura (Chiesa et al., 1977; Marini, 1978; Cortesogno et al., 1979), è stata studiata con dettaglio la strutturazione in unità tettoniche sovrapposte.

Le unità presenti in questa zona (Gruppo di Voltri, Zona Sestri Voltaggio, Unità liguridi, vedi *par. 2.1*) si giustappongono, con assetto sostanzialmente omoclinale, procedendo dal Gruppo di Voltri verso Est (Marini, 1998).

L'evoluzione tettogenetica delle varie unità è polifasica e sincrona (Marini, 1979; Cortesogno et al., 1979), e si basa su almeno tre grandi generazioni di eventi deformativi cronologicamente successivi.

La prima classe di deformazioni comprende almeno due generazioni di pieghe isoclinali cui si associa una scistosità penetrativa. Gli assi di piega sono generalmente orientati secondo le direzioni N70-120 (Marini, 1979). Le strutture alla megascala sarebbero responsabili dei più estesi rovesciamenti (Marini, 1998). L'età di queste deformazioni è probabilmente da cretacea superiore ad eocenica media.

La seconda classe di deformazioni è caratterizzata da pieghe più o meno aperte a cerniere acute e fianchi piatti associate ad una scistosità di frattura orientata in direzione circa meridiana. L'età di queste deformazioni si colloca presumibilmente fra l'Eocene superiore e l'Oligocene inferiore (Marini, 1998). Questa fase è responsabile della deformazione dei contatti tettonici di sovrascorrimento.

La terza classe di deformazioni (di età tardoneogenica, dal momento che investe anche i depositi pliocenici) è definita da pieghe aperte a grande raggio ad asse circa E-W, e da un sistema asimmetrico coniugato di lineamenti (fasci di fratture e faglie subverticali spesso con caratteri di trascorrenza) diretti circa NNE-SSW e WNW-ESE (Marini, 1987).

Un cenno a parte merita la grande stuttura nota come Linea Sestri Voltaggio, sviluppata per circa 25 km fra Sestri Ponente e Voltaggio e che rappresenta il limite fisico occidentale della Zona Sestri-Voltaggio. Tale struttura è stata a lungo interpretata come limite geologico fra Alpi ed Appennini; gli studi effettuati negli ultimi due decenni hanno tuttavia ridimensionato il ruolo geodinamico di questa discontinuità, in considerazione del fatto che le due zone da essa separate, presentano notevoli similitudini da un punto di vista stratigrafico, metamorfico e strutturale.

La Linea Sestri-Voltaggio si segue su tutto il suo sviluppo come la traccia di una superficie tettonica molto inclinata con direzione oscillante intorno a N-S ± 20-25°, inclinata generalmente attorno a 80°, prevalentente verso Est. La sua formazione è collocabile fra l'Eocene superiore e l'Oligocene inferiore, mentre la sua natura cinematica è piuttosto dibattuta e ciò determina una considerevole incertezza sul significato reale della struttura. In letteratura essa risulta interpretata ad esempio come faglia trascorrente destra (Crispini, 1996; Crispini & Capponi, 2001), o sinistra (Laubscher, 1988; Hoogerdujn Strating, 1994) o come una superficie tettonica legata al sovrascorrimento, con vergenza alpina, delle unità della Zona Sestri-Voltaggio sul Gruppo di Voltri (Cortesogno & Haccard, 1984). In altri casi (Marini, 1979) essa è stata vista come una faglia maestra con ribassamento ad est di una struttura a semigraben, impostatasi presso il margine orientale del Gruppo di Voltri e coinvolgente tutta la Val Polcevera.

2.3. Assetto geologico-strutturale locale

Il tracciato della Bretella di Voltri attraversa in sotterraneo la dorsale montuosa di Bric del Tejolo - Bric dei Corvi sud. Tale rilievo fa parte dell'unità tettonica di M. Figogna, che costituisce l'unità geometricamente più elevata nel contesto della Zona Sestri-Voltaggio.

L'Unità di M. Figogna rappresenta una sezione di crosta oceanica sviluppata con l'apertura del bacino giurassico Ligure-Piemontese. Si tratta di una unità ofiolitica, priva però dei termini gabbrici, e con litologie della copertura sopraofiolitica spesso diverse da quelle tipicamente liguridi, per l'abbondanza di materiale terrigeno; in passato è stata scomposta da alcuni autori (Marini, 1975) in due elementi tettonici sovrapposti (Elemento Timone e Elemento B. di Tejolo), non sempre però separabili dal punto di vista cartografico. L'unità è caratterizzata da condizioni di picco metamorfico contraddistinte dalla facies pumpellyite-actinolite; alcuni autori (Chiesa

et al., 1977; Cortesogno & Haccard, 1980) segnalano in alcuni casi anche paragenesi in facies scisti blu.

L'assetto strutturale dell'Unità di M. Figogna riferito in letteratura è dato da una grande anticlinale che si sviluppa da Madonna della Guardia a nord fino a Sestri Ponente a sud, avente a nucleo serpentiniti e metabasalti, coricata verso est fino a formare con il suo fianco inferiore una geometria sinforme, ben evidente presso il M. Figogna (Fig. 3).

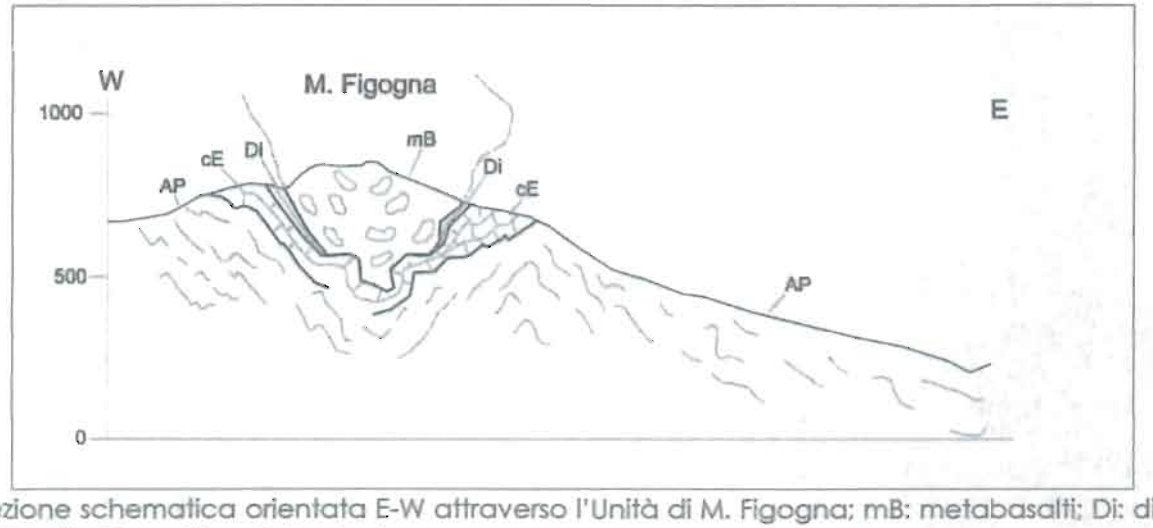


Fig. 3 – Sezione schematica orientata E-W attraverso l'Unità di M. Figogna; mB: metabasalti; Di: diaspri; cE: calcari di Erselli; AP: argille a Palombini.

La struttura, piuttosto regolare, è caratterizzata da un piano assiale immergente verso SW. Procedendo da nord verso sud si verifica una asimmetria sul fianco occidentale troncato in corrispondenza della comparsa di un nucleo rovescio di serpentiniti. Riportata in piano la struttura corrisponde ad una grande piega ad orientazione circa N140 e vergenza verso NE (Cortesogno & Haccard, 1984).

3. STRATIGRAFIA

In questo capitolo sono illustrati i caratteri delle formazioni presenti in affioramento ed intercettate nel sottosuolo durante le perforazioni geognostiche, all'interno dell'areale di progetto. Il modello statigrafico adottato prende spunto dalla stratigrafia definita nelle principali pubblicazioni scientifiche sulla zona, in particolare in Cortesogno & Haccard (1984), Marini (1998), e Nosegno et al. (1998); per completezza di informazione si segnala che l'area in studio fa parte del Foglio 213/230 - Genova del Progetto Carg, disponibile sul sito www.apat.gov.it, nell'ambito del quale si è avuta una rivisitazione dell'organizzazione stratigrafica, che tuttavia non comporta sostanziali implicazioni ai fini applicativi del progetto.

Delle formazioni individuate vengono di seguito descritte le caratteristiche litologiche ed i reciproci rapporti di giacitura, procedendo dalle più antiche alle più recenti.

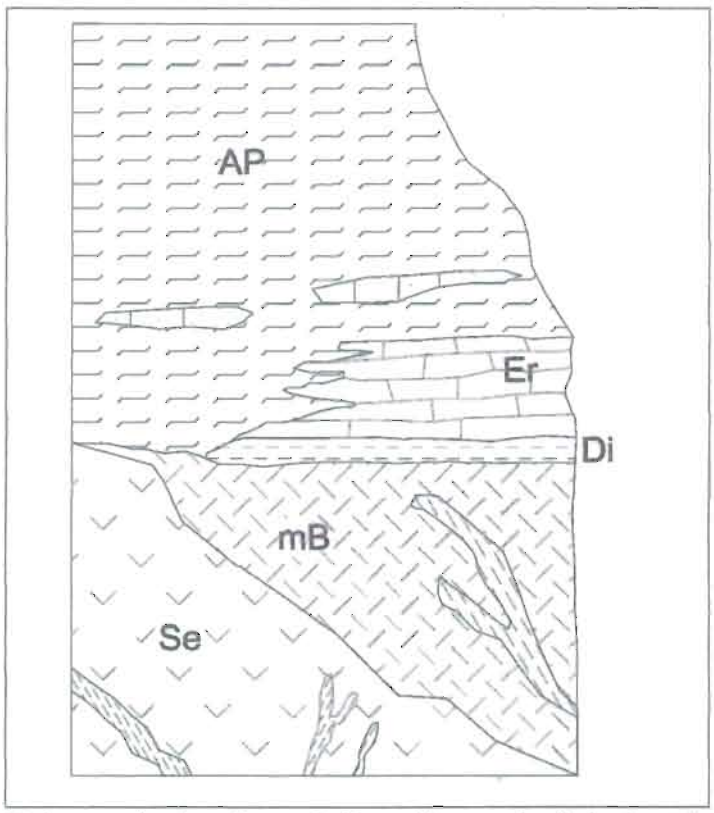


Fig. 4 - Colonna stratigrafica relativa all'area studiata (non in scala)

UNITA' DEL MONTE FIGOGNA

Come precedentemente accennato è costituita da una successione di terreni tipici di un fondale oceanico; nell'area in studio si riconoscono termini che vanno dal basamento peridotitico serpentinizzato alle coperture sedimentarie pelagiche, diasprigne e carbonatiche; i litotipi sono inoltre interessati da blastesi metamorfiche.
Si riconoscono:

Serpentiniti – Se (Giurassico superiore-medio ?)

Rappresentano la base della successione ed affiorano discontinuamente al margine occidentale del settore indagato, in contatto tettonico con la formazione dei Metabasalti. Tale contatto, con direzione N-S, è mediamente inclinato di circa 70°-80° verso est. Si tratta di serpentiniti di colore grigio-verdastro, generalmente cataclastiche; localmente affiorano relitti lherzolitici di colore scuro. Si rinvengono anche serpentinoscisti e brecce serpentinitiche (oficalciti). A S. Rocco di Panigaro filoni basaltici e dioritici (rari) intrudono le serpentiniti. Gli spessori della formazione possono raggiungere i 150-200 m (all'interno dell'intero areale occupato dall'Unità di M. Figogna; Marini, 1998).

Metabasalti - mB (Giurassico superiore-medio ?)

Affiorano diffusamente nell'areale indagato, costituendo il crinale di Bric dei Corvi sud. Si tratta di metabasalti grigio-verdastri frequentemente con strutture a pillows, più raramente massicci e in filoni; possono essere interessati da una scistosità più o meno sviluppata. I pillows, le cui dimensioni variano da pochi centimetri al metro, risultano stirati secondo un asse con direzione media di immersione N340 ed inclinazione tra 10° e 40°. La grana è generalmente minuta, ma a volte si possono individuare fenocristalli di plagioclasio e di pirosseno. Le analisi condotte nell'ambito del presente lavoro convergono con i dati petrografici disponibili in letteratura (Galli, 1954; Bortolotti et al., 1976); in sezione sottile si apprezza lo stato di alterazione più o meno spinto dei componenti mineralogici e la presenza di associazioni

paragenetiche metamorfiche ad albite, clorite, epidoto, pumpellyite; la tessitura maggiormente riconosciuta è ofitica.

Localmente lo stato di tettonizzazione è intenso e tale da rendere non semplice il riconoscimento del litotipo primario che si presenta, in tal caso, come un ammasso roccioso particolarmente fratturato. In affioramenti molto limitati, di spessore metrico, individuati sul versante occidentale del Bric dei Corvi, si rinvengono anche brecce di origine vulcanica.

In letteratura lo spessore della formazione è considerato superiore ai 600 m (Marini, 1998).

Diaspri – Di (Giurassico superiore ?)

Sono rappresentati da scisti pelitici rossi e subordinatamente verdi, ftaniti e livelli di radiolariti. Affiorano in corrispondenza del versante orientale della dorsale di Bric dei Corvi, in contatto basale con i Metabasalti. Si tratta presumibilmente di un contatto tettonico sottrativo data la discontinua presenza dei Diaspri. Lo spessore massimo rilevato è dell'ordine di una decina di m, in accordo con i dati bibliografici.

Calcari di Erselli – Er (Neocomiano?-Titoniano superiore?)

Tale formazione si trova in contatto stratigrafico inferiore con Diaspri, verso i quali si ha un passaggio netto; data la discontinuità dei litotipi diasprigni, i Calcari di Erselli possono trovarsi anche in diretto contatto con i Metabasalti. L'unità, che ha subito accentuati processi di ricristallizzazione, è costituita da una successione di strati, in spessore fino a decimetrico, di calcari microcristallini spesso contenenti una frazione terrigena silicoclastica, con giunti pelitici scuri; gli strati possono presentarsi foliati e anche budinati. La genesi può essere ricondotta a flussi torbiditici e la potenza è valutata attorno a 80 m.

Argille a Palombini del Passo della Bocchetta – AP (Cretaceo inferiore?)

Affiorano nel settore orientale dell'areale studiato, fra la sponda destra del T. Polcevera e le cime della dorsale del Bric dei Corvi. La formazione è costituita da argilloscisti scuri, che possono tendere per alterazione ad una colorazione giallastra, organizzati in livelli centimetrici deformati, con foliazione molto pervasiva. In essi si

intercalano strati isolati di calcari silicei a grana minuta tipo "palombino", e calcari più o meno siltosi. Questi strati sono dispersi in lenti più o meno stirate per effetto di un "boudinage" spinto. Non di rado sono presenti anche lenti e vene di quarzo e albite. Nella parte alta si possono inoltre rinvenire intercalazioni siltoso-arenacee quarzose, per la presenza delle quali alcuni Autori (Marini, 1998) hanno distinto tale porzione superiore in una ulteriore unità.

Il passaggio stratigrafico alla sottostante formazione dei Calcari di Erselli è graduale e sfumato. Lo spessore risulta mal definibile per effetto dell'accentuata tettonizzazione.

DEPOSITI QUATERNARI E TARDO-POSTOROGENICI

Argille di Ortovero – AO (Pliocene medio-inferiore?)

Sono rappresentate da argille marnose e marne siltose grigio-azzurre marine, mal stratificate e contenenti livelli a lamellibranchi, passanti verso il basso a brecce (da frana sottomarina) e conglomerati poligenici basali. Sono presenti a sud del rilievo di Bric dei Corvi, in corrispondenza delle aree più urbanizzate. La deposizione è riferibile alle fasi distensive che durante il Pliocene hanno interessato la costa fra Genova e Varazze (Cortesogno et al., 1979). Questa formazione non interessa il tracciato in progetto.

Alluvioni antiche e recenti – Aa (Quaternario)

Si tratta di depositi ghiaiosi e sabbiosi, con intercalazioni a granulometria più sottile, disposti a quote maggiori rispetto al livello di piena dei corsi d'acqua attuali.

Alluvioni attuali – A (Quaternario)

Sono presenti nelle zone di alveo attuale ed attivo dei corsi d'acqua principali e nelle aree immediatamente limitrofe, interessate dalle piene e dalle divagazioni stagionali. In prevalenza sono costituite da ghiaie e sabbie, con blocchi e materiali fini.

Coltri eluvio-colluviali – EC (Quaternario)

Si tratta di coperture detritiche costituite da sabbie medio-fini limose, limi argillosi e ghiaie eterometriche, talora pedogenizzate. Presentano generalmente spessori di pochi metri.

Depositi di frana – F (Quaternario):

Accumuli caotici generati da fenomeni gravitativi, eterogenei ed eterometrici; le caratteristiche dello scheletro e della matrice dipendono dal substrato coinvolto nel movimento. Sono stati distinti fenomeni attivi e quiescenti.

Riporti artificiali e discariche – R (Quaternario)

Sono costituiti da riempimenti di materiali prevalentemente granulari, inerti, sfridi di materiali da costruzione, frammenti di laterizi e piccoli trovanti, diffusi soprattutto nelle zone urbanizzate.

4. INDAGINI ESEGUITE

Nel corso delle varie fasi progettuali sono state condotte campagne di indagini geognostiche e geofisiche i cui risultati, integrati con i rilievi di superficie, hanno consentito sia di definire con accurattezza progressivamente maggiore il modello geologico di riferimento, sia di procedere ad una adeguata caratterizzazione delle proprietà geotecniche dei litotipi che saranno interessati dalla realizzazione dell'opera.

4.1 Indagini geognostiche

Le campagne di perforazioni geognostiche sono state eseguite negli anni 2000, 2004, 2007 e 2008. In totale sono state eseguiti 36 sondaggi verticali ordinari di profondità compresa fra 15 e 100 m, un sondaggio profondo spinto fino a 430 m da piano campagna, 4 sondaggi diagnostici (di profondità tra 2,4 e 2,8 m), 21 sondaggi orizzontali e inclinati (realizzati dalla Caverna Borzoli) di lunghezza compresa fra 4 e 123,5 m. Durante le terebrazioni sono state condotte prove geotecniche in foro (Standard Penetration Test e prove dilatometriche), prove di permeabilità (tipo Lefranc e Lugeon) e si è proceduto al prelievo di campioni di terreno e di spezzoni di roccia sui quali eseguire successivamente analisi di laboratorio attraverso le quali indagare le proprietà di resistenza e deformabilità dei litotipi nonché le loro caratteristiche mineralogico-petrografiche. Allo scopo di verificare la presenza di falde idriche nel sottosuolo alcuni sondaggi sono stati attrezzati con piezometri sia di Casagrande che a tubo aperto (Norton); altre perforazioni sono state attrezzate con tubo inclinometrico per poter monitorare la presenza di eventuali fenomeni di dissesto (nell'area di Fegino).

Nelle tabelle seguenti vengono elencati i sondaggi effettuati, divisi per campagna, indicando, per ciascuno di essi la codifica identificativa, la profondità raggiunta e la strumentazione installata:

Sondaggio	Lunghezza (m)	Tipologia indagine	Strumentazione installata
A1	40	Sondaggio geognostico	Piezometro Casagrande
A2	40	Sondaggio geognostico	Piezometro Casagrande
A3	30	Sondaggio geognostico	Piezometro Casagrande
A4	35	Sondaggio geognostico	Inclinometro
A5	40	Sondaggio geognostico	Piezometro Casagrande
A6	25	Sondaggio geognostico	Inclinometro
A7	55	Sondaggio geognostico	Piezometro Casagrande
A8	100	Sondaggio geognostico	-
A9	35	Sondaggio geognostico	Piezometro Norton
A10	35	Sondaggio geognostico	Piezometro Norton
A11	35	Sondaggio geognostico	Piezometro Norton
A12	35	Sondaggio geognostico	Piezometro Norton

Tabella 1 - Elenco dei sondaggi eseguiti nell'ambito della campagna dell'anno 2000

Sondaggio	Lunghezza (m)	Tipologia indagine	Strumentazione installata
3L331GT01	49	Sondaggio geognostico orizzontale	-
XL331GT02	70	Sondaggio geognostico	Piezometro Norton
XL331GT03	100	Sondaggio geognostico	Piezometro Norton
7L331GT04	45	Sondaggio geognostico	Inclinometro
1L331GT05	45	Sondaggio geognostico	Piezometro Norton
XL331GT06	30	Sondaggio geognostico	Piezometro Norton
XNL1LBG12	40	Sondaggio geognostico	Piezometro Norton
XNL1LVG13	40	Sondaggio geognostico	Piezometro Norton
XNL1LRG14	40	Sondaggio geognostico	Piezometro Norton
XNL1LVG15	40	Sondaggio geognostico	Piezometro Norton
XNL1LPG35bis	15	Sondaggio ambientale	Piezometro Norton
XNL1LPG36	15	Sondaggio ambientale	Piezometro Norton

Tabella 2 - Elenco dei sondaggi eseguiti nell'ambito della campagna dell'anno 2004

Sondaggio	Lunghezza(m)	Tipologia indagine	Strumentazione installata
SOGCE1G01	4.5	Sondaggio geognostico orizzontale	-
SOGCE1G02	5	Sondaggio geognostico orizzontale	-
SOGCE1G03	6	Sondaggio geognostico orizzontale	-
SOGCE1G04	6	Sondaggio geognostico orizzontale	-
SOGCE1G05	6	Sondaggio geognostico orizzontale	-
SOGCE1G06	123.5	Sondaggio geognostico orizzontale	-
SOGCE1G07	3.6	Sondaggio geognostico orizzontale	-
SOGCE1G08	5.8	Sondaggio geognostico orizzontale	-
SOGCE1G09	5	Sondaggio geognostico orizzontale	-
SOGCE1G10	6	Sondaggio geognostico orizzontale	-
SOGCE1G11	4	Sondaggio geognostico orizzontale	-
PNGCE1G12	430	Sondaggio geognostico	Piezometro Norton
PNGCE1G13	100	Sondaggio geognostico	Piezometro Norton
PNGCE1G14	95	Sondaggio geognostico	Piezometro Norton
PNGCE1G15	50	Sondaggio geognostico	Piezometro Norton
INGCE1G16	35	Sondaggio geognostico	Inclinometro
INGCE1G17	35	Sondaggio geognostico	Inclinometro
INGCE1G18	50	Sondaggio geognostico	Inclinometro
SCGCE1F19	18	Sondaggio geognostico	-
PNGCE1S20	25	Sondaggio geognostico	Piezometro Norton
P01	2.6	Sondaggio diagnostico	-
P02	2.4	Sondaggio diagnostico	-
P03	2.6	Sondaggio diagnostico	-
P04	2.8	Sondaggio diagnostico	-
S01	25	Sondaggio ambientale	-
S02	25	Sondaggio ambientale	-
PNGCE1F41	36	Sondaggio geognostico	Piezometro Norton
PNGCE1F42	36	Sondaggio geognostico	Piezometro Norton

Tabella 3 - Elenco dei sondaggi eseguiti nell'ambito della campagna degli anni 2007/08

Sondaggio	Lunghezza(m)	Tipologia indagine	Strumentazione installata
BH1	7.9	Sondaggio geognostico inclinato	-
BH2	7.9	Sondaggio geognostico inclinato	-
BH3	7.9	Sondaggio geognostico inclinato	-
BH4	7.9	Sondaggio geognostico inclinato	-
BH5	7.9	Sondaggio geognostico inclinato	-
BH6	7.9	Sondaggio geognostico inclinato	-
BH10	5	Sondaggio geognostico inclinato	-
BH11	7.4	Sondaggio geognostico inclinato	-
BH11bis	5.9	Sondaggio geognostico inclinato	-

Tabella 4 - Elenco dei sondaggi eseguiti nell'ambito della campagna dell'anno 2008

4.2 Indagini geofisiche

Sono state effettuate due serie di indagini, la prima nel 2004 e la seconda nel 2007.

Nel 2004 sono stati eseguiti:

- due profili sismici tomografici a rifrazione, nella zona di imbocco della galleria lato Fegino, per una lunghezza totale di 300 m lineari di indagine.
- due profili sismici a riflessione, ubicati, in superficie, rispettivamente in corrispondenza della Caverna Borzoli e all'altezza del km 10 del tracciato di progetto, per un totale di circa 1200 m lineari di indagine.

Nel 2007 sono stati eseguiti:

- tre profili sismici a rifrazione lungo il tracciato dell'acquedotto di Fegino, per un totale di circa 360 m lineari di indagine.
- tre profili geoelettrici in corrispondenza dei rilevati e dei viadotti esistenti all'incirca all'altezza del Bivio Polcevera, per un totale di circa 400 m lineari di indagine.

5. STUDI RELATIVI ALL'INQUINAMENTO AMBIENTALE

La presenza di fibre minerali negli ammassi rocciosi, come è noto da letteratura, è associata a metamorfismo dinamotermico su protoliti a composizione basica e ultrabasica tipo rocce a provenienza crostale oceanica o mantellica. Nell' attuale fase di Progettazione Esecutiva, la problematica relativa all'inquinamento naturale per la presenza di minerali amiantiferi nelle rocce oggetto di scavo, è stata approfondita investigando le formazioni rocciose che, per la loro natura mineralogico-petrografica, possono potenzialmente contenere tali elementi in concentrazioni significative.

Sono stati così condotti degli studi specialistici ("*Valutazione del contenuto di amianto negli ammassi rocciosi*"; "*Studio geologico-strutturale e petrografico della dorsale di Bric dei Corvi*", ai quali si rimanda per maggiori dettagli) nell'ambito dei quali le litologie di interesse per la ricerca dei minerali fibrosi sono state in primo luogo le Serpentiniti, e in seconda battuta i Metabasalti.

Nel caso delle Serpentiniti lo scopo dello studio ("*Valutazione del contenuto di amianto negli ammassi rocciosi*") è stato l'individuazione di mineralizzazioni a minerali fibrosi, la valutazione della loro disposizione e orientazione, nonché la quantificazione del contenuto percentuale del volume di riempimento a fibre di probabile amianto rispetto al volume totale dell'ammasso roccioso. Lo studio, che ha interessato la parte bassa del versante occidentale di Bric dei Corvi sud ove sono presenti le ultrabasiti, ha previsto un rilievo fotogrammetrico terrestre, un rilevamento geologico strutturale con l'esecuzione di stendimenti geomeccanici, il prelievo di 26 campioni analizzati microscopicamente e chimicamente (25 sezioni sottili e 5 indagini SEM con le relative analisi chimiche) e la misura dell'indice di rilascio su ulteriori 20 campioni. In sintesi i principali risultati ottenuti sono i seguenti:

- lo studio geostatistico dei dati raccolti al fine di stimare il volume percentuale del riempimento con fibre di probabile amianto rispetto al volume totale dell'ammasso roccioso indica come valor medio per tale volume, un valore

pari all'1% in base a dati di affioramento. Considerando invece i campioni prelevati dai sondaggi radiali (SOGCE1G01, SOGCE1G02, SOGCE1G03, SOGCE1G04, SOGCE1G05) eseguiti nella Caverna Borzoli il volume percentuale si attesta in media sull'1,46%.

- circa la pericolosità del materiale, i risultati delle prove sull'indice di rilascio evidenziano che un solo campione è risultato caratterizzato da indice di rilascio superiore a quello definito dalla normativa vigente (D.M. 6/9/94 e D.M. 14/5/96) come limite di pericolo, e che tutti i campioni hanno riportato una concentrazione di minerali di amianto inferiore a quella prefissata (in base al D. Lgs. 152/2006 e alla DGR 878/2006) come soglia per la classificazione come materiali contaminati.

A completamento del processo conoscitivo inerente la problematica derivante dalla eventuale presenza di minerali asbestiformi, in una seconda fase è stato condotto uno studio sui Metabasalti ("*Studio geologico-strutturale e petrografico della dorsale di Bric dei Corvi*") allo scopo di individuare eventuali scaglie tettoniche di serpentiniti all'interno del massiccio basico ed accertare la natura mineralogica dello stesso. Lo studio, che ha coperto quasi tutta la dorsale di Bric dei Corvi estendendosi dall'abitato di Borzoli sino alla discarica di Scarpino, ha previsto il prelievo di campioni dalle rocce affioranti, dalle carote del sondaggio profondo PNGCE1G12, e da quelle di alcuni sondaggi (SOGCE1G05, SOGCE1G06, BH1, BH2, BH3, BH4, BH5, BH6, BH10, BH11, BH11bis) eseguiti in Caverna Borzoli (sono stati prelevati 56 campioni di superficie e 75 dai sondaggi; su una parte dei campioni sono state eseguite analisi petrografiche in sezione sottile e di determinazione dell'indice di rilascio tramite FT-IR per l'eventuale riconoscimento di minerali fibrosi), un rilevamento geologico-strutturale di dettaglio e una serie di stendimenti geomeccanici (allo scopo di classificare dal punto di vista quantitativo le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso basaltico). Le principali conclusioni cui si è giunti possono essere così sintetizzate:

- la struttura geologica generale si conferma essere costituita da una piega con direzione nord-sud di dimensioni regionali, con al nucleo serpentiniti, e con i metabasalti della dorsale di Bric dei Corvi che ne costituiscono il fianco orientale. I dati di rilevamento portano ad escludere l'esistenza di scaglie di serpentiniti all'interno dei basalti che costituiscono la dorsale in oggetto;
- le analisi in sezione sottile indicano che nella formazione dei Metabasalti, anche in condizioni di elevata alterazione, non si rileva alcuna presenza di fibre. Le prove sull'indice di rilascio, determinato sui campioni a maggior grado di alterazione su materiale prodotto tramite automacinazione (D.M. n°178/96), hanno mostrato spettri caratteristici non sovrapponibili con quelli dei minerali asbestiformi a conferma dell'assenza di fibre nei campioni analizzati.



Fig. 5 – Estensione schematica dell'area studiata nell'ambito degli studi relativi alle potenziali problematiche da minerali fibrosi

6. SISMICITÀ

La zona interessata dalla linea ferroviaria in progetto ricade interamente nel territorio comunale di Genova che presenta un grado di sismicità decisamente basso.
In base ai dati del Catalogo Sismico relativo al periodo 1982 – 2000, edito dalla Regione Piemonte in collaborazione con l'Università di Genova, risulta che l'area in esame è stata interessata da un numero molto limitato di eventi sismici caratterizzati inoltre da bassa magnitudo e bassa profondità ipocentrale.

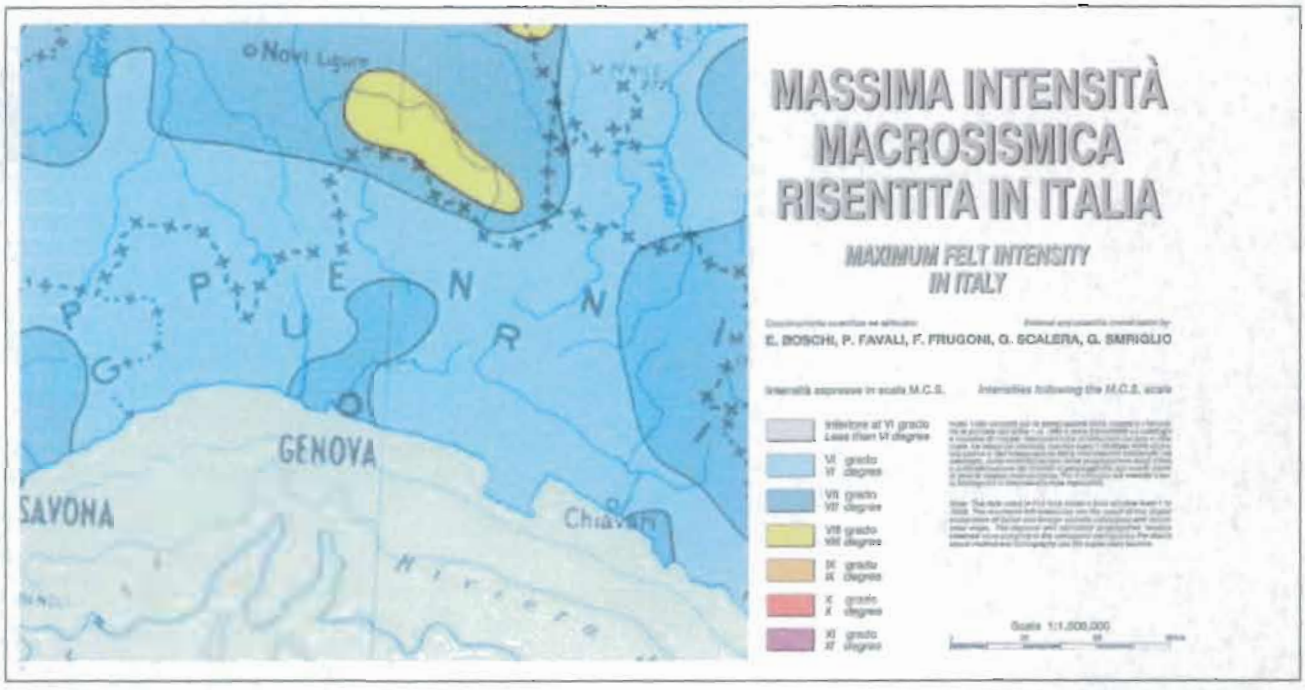


Fig. 6 – Rappresentazione della massima intensità macrosismica risentita nella zona Sestri-Voltaggio (stralcio da Boschi et al., 1995)

Dal punto di vista normativo, il comune di Genova, sia nell'ambito della classificazione sismica definita dai Decreti Legislativi emessi fino al 1984, sia nella proposta di riclassificazione sismica del 1998 del Gruppo di Lavoro costituito dal Servizio Sismico Nazionale, non risultava classificato. In base alla recente Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (n. 3274 del 20/03/2003) l'area comunale ricade nella zona 4.

Nella Tabella seguente viene definita la corrispondenza fra le varie classificazioni; in pratica, come si può vedere, la classificazione dell'area in esame non ha subito variazioni nel tempo.

Decreti fino al 1984	GdL 1998	Classificazione 2003
S=12	prima categoria	zona 1
S=9	seconda categoria	zona 2
S=6	terza categoria	zona 3
non classificato	NC	zona 4

Tabella 5 – Corrispondenza fra le varie classificazioni sismiche

7. ASPETTI GEOMORFOLOGICI

Le condizioni topografiche consentono di suddividere l'area interessata dal progetto in due settori principali:

-un settore occidentale, con i maggiori rilievi, allineati N-S secondo la principale direttrice tettonica, nel quale le quote raggiungono quasi i 600 m s.l.m. (Bric dei Corvi Sud).

-un settore orientale dove le quote subiscono una netta diminuzione giungendo circa ai 30 m s.l.m. in coincidenza con la piana alluvionale del Torrente Polcevera, anch'esso orientato secondo un andamento N-S.

Le condizioni altimetriche e le caratteristiche morfologiche risultano condizionate da tre fattori principali: l'assetto tettonico, la litologia dei terreni e le condizioni idrografiche.

Il processo traslativo di messa in posto delle falde tettoniche ha giocato un ruolo importante nella definizione delle condizioni altimetriche, con quote massime in corrispondenza dei maggiori accavallamenti e/o ribaltamenti.

La varietà litologica si riflette nella diversa resistenza all'alterazione delle rocce affioranti, con una maggiore acclività dei versanti nei rilievi modellati sulle rocce ofiolitiche, e forme più addolcite nelle zone di affioramento delle formazioni pelitico-scistose. In quest'ultimo caso i versanti presentano profili dolci e arrotondati con angoli di equilibrio intorno ai 20°.

La prima parte del tracciato si sviluppa nel settore occidentale dell'areale indagato, ricadendo in una zona in cui sono in affioramento i metabasalti a pillows e in cui poco significative risultano le coperture eluvio-colluviali. Le morfologie sono per lo più aspre, i versanti sono scarsamente vegetati e presentano pendenze comprese tra il 50 ed il 75%. Sul versante occidentale del Bric dei Corvi Sud, sono presenti delle frane attive con evidenziati anche i cigli di distacco. Tali dissesti non interferiscono comunque con il tracciato di progetto.

La zona è interessata anche da alcune cave di basalto di cui la più grande è quella ormai abbandonata presente alle spalle della stazione ferroviaria di Borzoli ed alcune piccole discariche. Il deflusso superficiale delle acque meteoriche è per lo più sottoforma di ruscellamento diffuso.

La seconda parte del tracciato dell'opera in progetto ricade in un'area caratterizzata principalmente dall'affioramento dei litotipi argillitici facilmente soggetti ad alterazione e degradazione. Le coltri eluvio-colluviali sono più diffuse e benchè queste non presentino spessori molto elevati, per effetto della notevole degradabilità del substrato il manto di alterazione ("cappellaccio") può raggiungere considerevoli potenze. In corrispondenza dei versanti in cui le coltri presentano gli spessori più elevati è possibile che si manifestino piccole frane, in conseguenza di precipitazioni meteoriche brevi ed intense, con una tipologia di scorrimento traslazionale e di colata ("soil slip" e "debris flow"), per lo più di dimensioni non cartografabili. Le acque meteoriche in parte si infiltrano nella coltre detritica superficiale, là dove la permeabilità risulta più elevata, in parte defluiscono nei numerosi fossi che scorrono verso il Torrente Polcevera.

Quest'ultimo costituisce il corso d'acqua principale del settore; scorre da nord verso sud, presenta un bacino di alimentazione tipico di torrente montano e una valle fortemente acclive, breve distanza dello spartiacque dalla linea di riva e presenza in prossimità dell'alveo di aree intensamente urbanizzate ed esposte al rischio di esondazione. Le maggiori portate del corso d'acqua principale si possono correlare alle precipitazioni persistenti e diffuse che si manifestano durante la stagione autunnale; in particolare la frequenza delle precipitazioni meteoriche nella valle del Polcevera diminuisce procedendo dal confine Piemonte-Ligure verso la costa, con una minore intensità e maggiore durata, dal litorale verso l'entroterra. Nei mesi autunnali cade dal 40 al 45% della precipitazione annua, mentre in quelli estivi e primaverili si registrano i valori minori delle precipitazioni, compresi tra il 15 ed il 20% del totale annuo.

Anche l'attività antropica contribuisce alla modellazione dei versanti ed interferisce con l'evoluzione geomorfologica naturale del territorio, spesso contribuendo alla riattivazione dei fenomeni franosi soprattutto in corrispondenza di terrazzamenti artificiali e sbancamenti, in presenza di scarsa copertura del manto vegetale.

8. IDROGEOLOGIA

Lo studio idrogeologico si è articolato in diverse fasi, messe in atto durante i vari momenti progettuali, che hanno previsto:

- la ricerca bibliografica, anche presso gli Enti territoriali preposti alla gestione delle risorse idriche, per il reperimento di dati specifici e di lavori svolti nell'area
- il censimento di punti d'acqua nell'area in studio
- la valutazione del grado di permeabilità delle diverse formazioni effettuata sulla base dei rilievi di campagna e dell'esame dei risultati delle prove di permeabilità eseguite nei fori di sondaggio.

Come sintesi del lavoro svolto è stata elaborata una carta idrogeologica in scala 1: 2000 nella quale le varie formazioni affioranti vengono raggruppate, in base al loro grado di permeabilità, in diverse classi. In modo analogo è stato costruito un profilo idrogeologico ove viene anche riportato il livello di falda misurato nei piezometri installati nei fori di sondaggio. Il livello indicato corrisponde alla minima soggiacenza misurata nel corso del periodo di monitoraggio del piezometro.

8.1 Caratterizzazione idrogeologica

Alla definizione dei caratteri idrogeologici delle unità presenti nella zona di indagine hanno concorso diversi fattori.

Sono state inizialmente condotte valutazioni di tipo qualitativo, sulla base dei rilievi e delle misurazioni effettuati sugli affioramenti, e sull'osservazione delle carote di terreno prelevate nel corso dei sondaggi; in tal modo sono state prese in considerazione le peculiarità litologiche dei materiali, il meccanismo di formazione, lo stato di fratturazione (parametro particolarmente importante nell'ambito del contesto esaminato) e di cementazione. È stato così associato alle diverse formazioni un tipo di permeabilità prevalente ed un grado di permeabilità. Comparando le valutazioni suddette con i dati disponibili in letteratura relativamente a formazioni

con caratteristiche idrodinamiche simili e incrociandole con dati quantitativi quali i risultati delle prove Lefranc e Lugeon eseguite in situ nel corso delle perforazioni geognostiche, si è individuato un possibile intervallo di valori per il coefficiente di conducibilità idraulica K.

In totale sono state effettuate 31 prove di permeabilità in foro sondaggio i cui risultati sono riepilogati nella tabella seguente. I risultati delle prove attribuiscono alla maggioranza delle formazioni affioranti nel territorio in esame, una conducibilità idraulica da media a bassa con valori di permeabilità compresi tra 10^{-5} e 10^{-9} m/s. Valori di permeabilità più alti (10^{-4} e 10^{-5} m/s) riguardano solo i depositi alluvionali di fondovalle.

Sondaggio	Tratto di prova da p.c. (m)	Formazione	Litologia del tratto provato	Tipo di prova *	Permeabilità K (m/sec)
CAMPAGNA 2000					
A1	20.2-20.5	Depositi alluvionali	ghiaia debolmente sabbiosa	Le 1	7.1E-4
A1	39.3-40	Depositi alluvionali	ghiaia sabbiosa	Le 2	5.3E-5
A2	25.3 – 30	Argille a palombini	argilloscisti	Le 1	9.4E-6
A3	8.3 – 9.3	Argille a palombini	calcari marnosi (palombini)	Le 1	2.1E-5
A5	16 – 17.	Argille a palombini	argilliti alterate	Le 1	5.5E-6
A6	19.5 - 20.5	Argille a palombini	argilliti alterate	Le 1	4.2E-5
A7	18.7 – 19.7	Argille a palombini	argilloscisti	Le 1	2.1E-5
A9	30 – 35	Metabasaiti	metabasaiti	Lu 1	9.7E-9
A10	30 – 35	Metabasaiti	metabasaiti	Lu 1	2.8E-8
A11	30 -35	Metabasaiti	metabasaiti	Lu 1	1.3E-7
A12	30 – 35	Serpentiniti	serpentiniti	Lu1	7.6E-9
CAMPAGNA 2004					
XL331GT03	81.7 – 85.6	Argille a palombini	argilloscisti	Lu 1	assorb. nullo
FL331GT04	25.4 – 27.2	Argille a palombini	argilloscisti	Lu 1	9.7E-7
FL331GT04	32.9 – 35	Argille a palombini	argilloscisti	Lu 2	1.9E-7
XL331GT06	16 – 18	Argille a palombini	argilloscisti	Lu 1	9E-7
CAMPAGNE 2007/08					
PNGCE1G12	335 - 340	Metabasaiti	metabasaiti	Lu 1	1.2E-6
	359.25 - 364.25	Metabasaiti	metabasaiti	Lu 2	7.4E-7
	369.4 – 374.4	Metabasaiti	metabasaiti	Lu 3	5.9E-7
	389.85 – 394.85	Metabasaiti	metabasaiti	Lu 4	2.5E-7
	397.80 - 406	Metabasaiti	metabasaiti	Lu 5	assorb. minimi
	407 - 412	Metabasaiti	metabasaiti	Lu 6	assorb. minimi
	413.3 – 418.3	Metabasaiti	metabasaiti	Lu 7	5.1E-8
	425 - 430	Metabasaiti	metabasaiti	Lu 8	6.2E-8
PNGCE1G13	56.75 – 58.75	Argille a palombini	argilloscisti	Lu 1	7.1E-7
	94.2 - 96.2	Argille a palombini	argilloscisti	Lu 2	1.5E-7
PNGCE1G14	50.2 – 52.2	Argille a palombini	calcari marnosi	Lu 1	1.4E-6
	91.3 – 93.3	Argille a palombini	argilloscisti	Lu 2	3.3E-6
PNGCE1G15	34.3 – 37.3	Argille a palombini	calcari marnosi e argilliti	Lu 1	7.6E-7
PNGCE1G16	24 - 26	Argille a palombini	argilloscisti	Lu 1	4.4E-6
PNGCE1G17	24 – 26.1	Argille a palombini	argilloscisti	Le	1.9E-5
PNGCE1G18	35 - 37	Argille a palombini	argilloscisti	Lu 1	3.4E-6
PNGCE1F41	7-7.5	Depositi alluvionali	ghiaia con sabbia	Le 1	4.6E-5
PNGCE1F41	11.5-12	Depositi alluvionali	ghiaia sabbiosa	Le 2	3.1E-5
PNGCE1F42	11.5-12	Depositi alluvionali	ghiaia sabbiosa	Le 1	1.4E-5
PNGCE1F42	17.5-18	Depositi alluvionali	ghiaia con sabbia	Le 2	3.6E-5

*.Nota: Le = prova Lefranc
Lu = prova Lugeon

Tabella 6 – Elenco delle prove di permeabilità eseguite nel corso delle campagne geognostiche.

8.2 Classi di permeabilità e considerazioni idrogeologiche sull'area in esame

Nell'ambito della classificazione in chiave idrogeologica adottata nel presente lavoro, le formazioni presenti nell'areale di indagine sono state raggruppate nelle seguenti tre classi di permeabilità:

- Classe 1 - Formazioni permeabili ($K \geq 10^{-5}$ m/sec): ne fanno parte i depositi alluvionali attuali (A), i depositi alluvionali antichi (Aa), e i riporti (R), costituiti in genere da terreni sciolti grossolani, significativamente permeabili per porosità. A questi materiali viene attribuita una permeabilità da medio-alta ad alta, con valori del coefficiente di permeabilità valutati generalmente superiori o uguali a 10^{-5} m/sec.
- Classe 2 - Formazioni semipermeabili ($10^{-5}>K\geq10^{-7}$) questa classe comprende sia litotipi caratterizzati da permeabilità per porosità, come le coltri eluvio colluviali (EC) e i depositi di frana (F) il cui valore di K oscilla in virtù del grado di cementazione e della variabile granulometria del materiale, sia litotipi permeabili per fessurazione come i Metabasalti (mB) e le Serpentiniti (Se). A questi materiali viene attribuita una permeabilità da media a medio-bassa, con valori attesi del coefficiente di permeabilità compresi fra 10^{-5} m/sec e 10^{-7} m/sec.
- Classe 3 - Formazioni scarsamente permeabili ($K<10^{-7}$): questa classe comprende i litotipi con una significativa o dominante componente pelitica quali le Argille di Ortovero (AO), le Argille a Palombini (AP), i Diaspri (Di), i Calcari di Erselli (Er). Il grado di permeabilità, essenzialmente per fratturazione, è basso, con valori del coefficiente di permeabilità K che si prevedono mediamente inferiori a 10^{-7} m/sec.

Nella zona in studio le formazioni esaminate sono in gran parte caratterizzate da permeabilità secondaria, per fessurazione legata a vicissitudini tettoniche. In tali

condizioni la permeabilità costituisce una grandezza anisotropa e le modalità della circolazione idrica nel sottosuolo rispondono sostanzialmente allo stato di apertura, intasamento e interconnessione delle discontinuità.

I litotipi assolutamente prevalenti lungo il tracciato sono rappresentati dai Metabasalti (mB) e dalle Argille a Palombini (AP), e per i quali possono essere fatte le seguenti considerazioni.

I Metabasalti (mB) presentano in affioramento una persistente fratturazione in blocchi, condizionata anche da una notevole alterazione superficiale. I dati di sondaggio indicano condizioni geomeccanicamente più favorevoli in profondità dove la qualità dell'ammasso pare migliorare, cosa che verosimilmente potrebbe avere effetti di riduzione anche sui caratteri di permeabilità. Le prove in situ hanno restituito valori di K compresi fra 10^{-6} e 10^{-9} m/s. I valori più frequenti sono dell'ordine di 10^{-7} m/s, e appaiono in accordo con il grado di permeabilità attribuito, anche se localizzati verso il limite inferiore del relativo intervallo numerico. Si può inoltre osservare dalla Fig. 7 come, nella distribuzione dei dati ottenuti, siano presenti anche valori minori di quelli associati alla classe di permeabilità che include i Metabasalti.

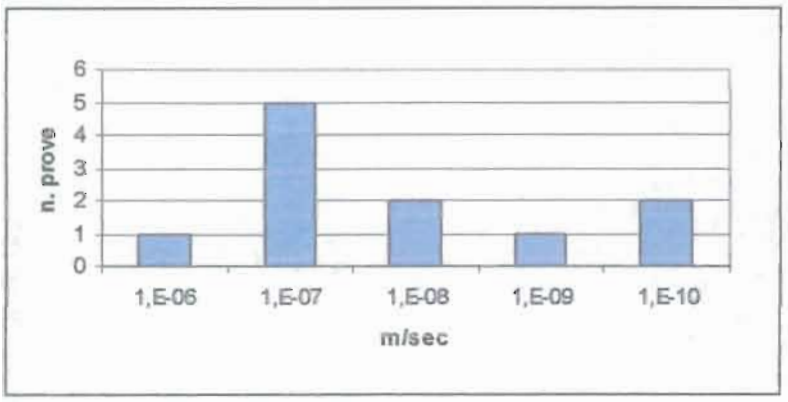


Fig 7 – Istogramma dei valori di conducibilità idraulica misurati per i Metabasalti. Per le prove in cui si sono registrati assorbimenti minimi è stato diagrammato un valore pari a 10-10 m/sec.

La formazione ospita, all'interno dell'area di indagine, alcune sorgenti perenni di portata modesta, localizzate in prossimità del contatto con i Calcari di Erselli (Er) e captate da consorzi o da privati, testimonianti la presenza di falde, seppur di entità

presumibilmente contenuta ed ubicazione difficilmente prevedibile. La possibilità di una certa circolazione idrica nei basalti è confermata anche dalle venute d'acqua, sempre comunque modeste, registrate nel corso della perforazione del sondaggio profondo PNGCE1G12 e dei sondaggio orizzontali eseguiti dal tampone della Caverna Borzoli (SOGCE1G06 e 3L331GT01). Da segnalare inoltre che, alcune sorgenti sembrano essere state isterilite in seguito allo scavo della Galleria Fossa dei Lupi.

Alle Argille a Palombini (AP) è stato attribuito un grado di permeabilità basso, per fratturazione. In questo caso le prove in situ hanno restituito valori del coefficiente di permeabilità distribuiti verso valori medio-bassi (Fig. 8), per la maggior parte compresi fra 10^{-6} e 10^{-7} m/sec; nella valutazione di questo dato si ritiene opportuno tener presente, oltre a locali incrementi della permeabilità associati a fasce fortemente fratturate, che alcune prove hanno interessato intercalari carbonatici maggiormente permeabili, e che nelle zone con minore copertura topografica (qualche decina di m) è lecito attendersi degli incrementi della conducibilità idraulica in seguito a fenomeni di allentamento per rilascio superficiale del litotipo primario, facilmente vulnerabile dagli agenti esogeni.

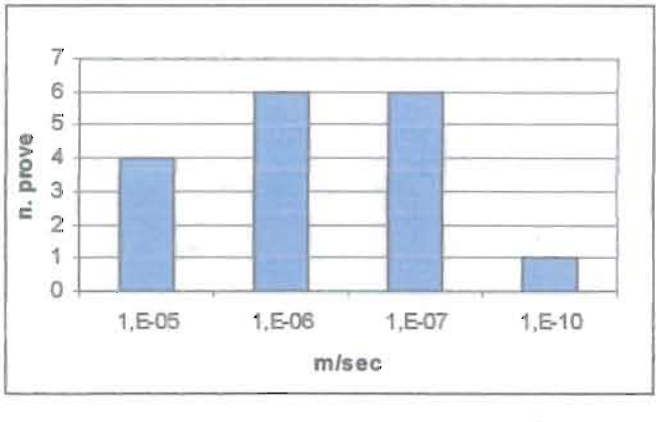


Fig. 8 – Istogramma dei valori di conducibilità idraulica misurati per le Argille a Palombini. Per le prove in cui si sono registrati assorbimenti minimi è stato diagrammato un valore pari a 10-10 m/sec

Una conferma sulle ridotte potenzialità idrogeologiche delle Argille a Palombini appare deducibile dall'andamento dello scavo dei cunicoli esplorativi Castagnola e

Val Lemme eseguiti nell'ambito della Tratta Milano - Genova III Valico dei Giovi, aperti in questa formazione e nei quali non sono state registrate venute idriche significative.

Durante lo scavo della galleria della Bretella di Voltri, si prevede inoltre vengano intercettati anche i Calcari di Erselli (Er) la cui permeabilità si ritiene limitata dalla pervasività delle intercalazioni pelitiche. Per tale formazione, per la quale non sono disponibili misure dirette del coefficiente di conducibilità idraulica K, si ipotizza una scarsa rilevanza idrogeologica, anche in considerazione dei suoi modesti spessori.

Quanto finora detto è riepilogato nella Tabella 7, nella quale vengono sintetizzate le classi di permeabilità attribuite a tutte le formazioni litostratigrafiche, la causa principale a cui questa permeabilità è legata (porosità, fratturazione o carsismo), i valori misurati del coefficiente di permeabilità e il grado di permeabilità attribuito in questa sede.

Litotipo	Porosità	Fessurazione o Fratturazione	Carsismo	Coefficiente di permeabilità da prove in sito (m/s)	Grado di permeabilità attribuito
Serpentiniti	NO	SI	NO	10^{-9}	Medio-basso
Basalti s	NO	SI	NO	$10^{-6} \div 10^{-9}$	Medio-basso
Diaspri	NO	SI	NO	-	Basso
Calcari di Erselli	NO	SI	SI	-	Basso
Argille a Palombini	NO	SI	NO	$10^{-5} \div 10^{-7}$	Basso
Coltri eluvio - colluviali	SI	NO	NO	-	Medio-basso
Depositi alluvionali	SI	NO	NO	$10^{-4} \div 10^{-5}$	Medio-alto

Tabella 7 – Sintesi delle caratteristiche di permeabilità delle formazioni presenti nell'area indagata.

Ricapitolando, l'ambito idrogeologico che contraddistingue la zona del tracciato può essere definito tendenzialmente a permeabilità media/medio-bassa e con maggiore possibilità di circuiti sotterranei nella prima parte, ove sono presenti le metavulcaniti, con valori incrementati in corrispondenza di dislocazioni tettoniche o zone fratturate, e sostanzialmente a bassa permeabilità nella restante tratta, interessata dalla presenza delle argilliti ove la circolazione idrica può localizzarsi, oltre

che nelle zone tettonicamente più disturbate, nei livelli calcarei inglobati nella matrice pelitica e nelle zone superficiali a maggiore degradazione.

8.3 Censimento dei punti d'acqua

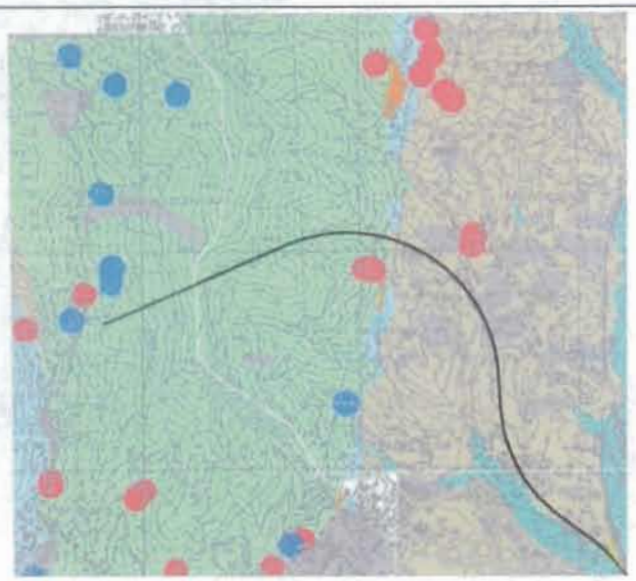
Sulla carta idrogeologica sono state riportate le ubicazioni di una serie di pozzi e di sorgenti censite durante le fasi di progettazione della galleria in studio e della tratta A.V./A.C. Milano-Genova Terzo Valico dei Giovi.

Relativamente ai pozzi è nota solo l'ubicazione, desunta dalla "Atlante cartografico geologico del territorio del Comune di Genova-Carta Idrogeologica, 1:10.000" (Nosegno et al., 1997). Dalla localizzazione sulla carta idrogeologica, è lecito supporre che quasi tutti i pozzi (P1, P3, P4, P5, P6, P7, P8) attingano nella falda presente nei depositi alluvionali antichi e recenti del Torrente Polcevera, mentre i pozzi P2 e P9 ubicati in corrispondenza delle Argille a Palombini, è verosimile che attingano acqua dalla falda ospitata nei livelli più superficiali alterati e decompressi.

I dati relativi alle sorgenti derivano da campagne di censimento eseguite sul posto; la documentazione consultata (in particolare: Atlante cartografico geologico del territorio del Comune di Genova-Carta Idrogeologica, cartografie allegate al Piano di bacino del Torrente Polcevera e del Torrente Chiaravagna) ha messo in luce una eterogeneità dei dati relativi alle emergenze segnalate nell'area, come si evince dal confronto tra gli stralci cartografici di seguito riportati.

Le sorgenti nell'area in esame sono caratterizzate da portate piuttosto basse. In alcuni casi le emergenze potrebbero avere regime temporaneo e/o stagionale: ciò, potrebbe in alcune situazioni rendere ragione delle discrepanze nei dati dei documenti suddetti. Un'ulteriore motivazione potrebber risiedere nell'effetto esercitato sulla circolazione idica dallo scavo della galleria Fossa dei Lupi.

Durante i rilievi di campagna alcuni punti d'acqua segnalati nelle carte succitate non sono stati identificati; al contrario sono state osservate alcune risorgive non rappresentate nei documenti suddetti.



Estratto della Carta delle sorgenti allegata al Piano di bacino stralcio (T. Polcevera e Chiaravagna)



Estratto della Carta idrogeologica del Comune di Genova

Le informazioni disponibili derivate dalle campagne di censimento condotte sul terreno sono state sintetitizzate nelle schede descrittive dei punti d'acqua che sono allegate (Allegato 2) alla presente Relazione.

8.4 Stima delle portate drenate dalla galleria della Bretella di Voltri

Le acque drenate dalla galleria della Bretella di Voltri saranno convogliate, in fase di esercizio dell'opera, attraverso un sistema di tubazioni posizionate all'interno del cavo e verranno recapitate parte verso la Caverna Borzoli e parte verso l'imbocco lato Fegino, in quanto le quote del piano ferro presentano un andamento "a schiena d'asino" con un punto di massimo al km 9+211 circa, compreso tra le progressive di inizio (km 8+793) e fine scavo (km 11+630).
All'imbocco lato Fegino verrà realizzato un sistema di raccolta delle acque per la successiva utilizzazione a fini idropotabili, per cui si è resa necessaria una stima delle portate drenate dalla galleria per il dimensionamento delle tubazioni e delle opere idrauliche connesse.

La previsione, a regime, delle venute d'acqua in galleria è tra i problemi di maggiore difficoltà nel campo della geologia applicata, che richiede una notevole esperienza del terreno e di scavi di gallerie, per cui la stima delle portate drenate è stata effettuata adottando un approccio semiempirico, calcolando le portate mediante una formulazione analitica semplificata e confrontando i risultati ottenuti con le portate misurate durante la realizzazione di gallerie già eseguite.

Calcolo delle portate

Le venute d'acqua lungo il tracciato della galleria sono state stimate attraverso una formulazione analitica, calcolando la portata in funzione delle condizioni geometriche e idrogeologiche "medie" della tratta considerata.
È stata utilizzata una equazione che esprime la portata drenata da una galleria circolare scavata in un ambiente omogeneo. Va detto che l'ipotesi di isotropia ed omogenità non risulta propriamente consona a descrivere il drenaggio in roccia; tuttavia in tali condizioni il procedimento adottato, che tende a determinare una sovrastima della portata, può essere accettato in quanto a favore di sicurezza.

La formulazione utilizzata è la seguente:

$$Q = \frac{2 \pi K h_0 L}{\ln (2h_0/r_0)}$$ (Goodman et al., 1965)

dove Q è la portata drenata in galleria, K è il coefficiente di permeabilità medio della formazione attraversata dalla galleria, r_0 è il raggio di scavo della galleria, h_0 è la pressione idrostatica valutata come battente idrico, L è la lunghezza della tratta di galleria considerata. Assumendo per r_0 un valore medio di 7 m, e per il battente idrico h_0 ed il coefficiente di permeabilità K un intervallo di valori medi ipotizzabili dalle misure e prove eseguite in sito, è stato ottenuto, per ciascuna delle formazioni attraversate dagli scavi (Metabasalti, Calcari di Erselli, Argille a Palombini), un campo di valori di portata per l'intera tratta di galleria naturale lunga 2837 m: infatti a partire dalla Caverna Borzoli si intercettano per circa 1220 m i Metabasalti, per 87 m i Calcari di Erselli e negli ultimi 1530 m le Argille a Palombini.

La scelta dei valori di carico idraulico e di conducibilità idraulica adottati nei calcoli ha tenuto conto oltre che dei risultati delle indagini geognostiche e dei rilievi eseguiti in campo, anche di una serie di considerazioni riguardanti l'influenza sulla circolazione idrica profonda dell'assetto tettonico strutturale e delle variazioni di stato tensionale subite dall'ammasso nelle zone prossime alle gallerie già costruite (Fossa dei Lupi, Caverna Borzoli).

L'insieme di tutte le prove di permeabilità eseguite in sito nei Metabasalti (10 prove) ha fornito valori della conducibilità idraulica in massima parte prossimi o inferiori a 10^{-7} m/sec e con un solo valore di 10^{-6} m/sec, per cui è sembrato ragionevole , nei calcoli, considerare come valore rappresentativo della conducibilità idraulica della formazione dei Metabasalti un valore di permeabilità uguale a 10^{-7} m/sec.

Tuttavia, in una prima tratta di scavo stimata in circa 150 m a partire dalla Caverna Borzoli, la galleria si sviluppa in prossimità di una zona di disturbo tettonico e corre in affiancamento alla galleria Fossa dei Lupi. È probabile che gli effetti dovuti alla tettonica ed in parte anche al detensionamento subito durante i lavori di scavo delle gallerie già realizzate (Caverna Borzoli e Fossa dei Lupi), abbiano influito sul

grado di fratturazione e fessurazione dell'ammasso che in questa tratta risulta abbastanza elevato, come è stato osservato durante l'esecuzione dei sondaggi effettuati dall'interno della Caverna Borzoli, e di conseguenza sul valore della conducibilità idraulica che potrebbe risultare in questa tratta prossimo ai valori più elevati misurati (10^{-6} m/sec).

Tenuto conto dell'insieme dei dati e delle precedenti considerazioni si può ragionevolmente attribuire ai Metabasalti, nella prima tratta di 150 m, un valore di permeabilità prossimo all'estremo superiore dell'intervallo dei dati misurati ($K \sim 10^{-6}$ m/sec), e nella restante parte di 1070 m di tracciato sempre nei Metabasalti, un valore di permeabilità di un ordine di grandezza immediatamente inferiore ($K \sim 10^{-7}$ m/sec).

A titolo di confronto sono stati comunque effettuati calcoli delle portate assumendo per l'intera tratta in Metabasalti di 1220 m, una volta il valore massimo di conducibilità idraulica misurato nelle prove in sito (10^{-6} m/sec) ed una volta il valore immediatamente inferiore (10^{-7} m/sec), ottenendo così un quadro completo delle portate ottenibili con le diverse combinazioni possibili.

Per quanto riguarda i valori di carico idraulico assunti nei calcoli, si è fatto riferimento in primo luogo alle misure freatimetriche eseguite in corrispondenza dei fori attrezzati con piezometri ubicati lungo il tracciato.

Nella tratta in Metabasalti si è fatto riferimento alle misure freatimetriche eseguite nel sondaggio profondo PNGCE1G12 attrezzato con piezometro, in base alle quali è stato assunto un valore di carico idraulico sulla calotta della galleria di 220 m. Questo valore è stato ridotto nei primi 150 m a partire dalla Caverna Borzoli, per tener conto dell'abbassamento subito dalla piezometrica dovuto al drenaggio avvenuto durante i lavori di scavo delle gallerie già realizzate.

In questo caso il carico idraulico presente è stata stimato a partire dai dati di portata che sono stati registrati in corrispondenza della bocca foro del sondaggio orizzontale SOGCE1G06, lungo 123 m, eseguito in avanzamento nel terreno a tergo del

tampone di chiusura della Caverna Borzoli, dal quale dopo la perforazione è continuata a fuoriuscire una venuta d'acqua di circa 1-1,6 l/s (~0,6÷1 m³/10 min).

Assumendo che il foro di sondaggio induca nel terreno lo stesso effetto drenante di una galleria di raggio pari al raggio del foro (0,05 m) è possibile calcolare in modo inverso, applicando la stessa relazione che più avanti viene utilizzata per il calcolo delle portate drenate dalla galleria della Bretella dei Voltri [$Q = (2 \pi K h_0 L)/\ln (2h_0/r_0)$; (Goodman et al., 1965], il valore del carico idraulico per valori di portata e coefficiente di permeabilità imposti.

Nella tabella sottostante sono riportati i risultati delle portate drenate calcolate nel caso di una galleria di raggio pari a 0,05 m (equiparabile al foro di sondaggio), per valori di carico idraulico variabili da 20 a 240 m e valori del coefficiente di permeabilità K pari a 1E-6 e 1E-7 m/s.

K (m/s)	ho (m)	ro (m)	qo (m³/s/m)	qo (l/s/m)	L (m)	Q l/s
1,E-06	20	0,05	1,9,E-05	0,018799	123	2,3
1,E-06	40	0,05	3,4,E-05	0,034066	123	4,2
1,E-06	60	0,05	4,8,E-05	0,048436	123	6,0
1,E-06	80	0,05	6,2,E-05	0,06228	123	7,7
1,E-06	100	0,05	7,6,E-05	0,075755	123	9,3
1,E-06	120	0,05	8,9,E-05	0,088951	123	10,9
1,E-06	140	0,05	1,0,E-04	0,101923	123	12,5
1,E-06	160	0,05	1,1,E-04	0,114708	123	14,1
1,E-06	180	0,05	1,3,E-04	0,127336	123	15,7
1,E-06	200	0,05	1,4,E-04	0,139825	123	17,2
1,E-06	220	0,05	1,5,E-04	0,152194	123	18,7
1,E-06	240	0,05	1,6,E-04	0,164454	123	20,2
1,E-07	20	0,05	1,9,E-06	0,00188	123	0,2
1,E-07	40	0,05	3,4,E-06	0,003407	123	0,4
1,E-07	60	0,05	4,8,E-06	0,004844	123	0,6
1,E-07	80	0,05	6,2,E-06	0,006228	123	0,8
1,E-07	100	0,05	7,6,E-06	0,007576	123	0,9
1,E-07	120	0,05	8,9,E-06	0,008895	123	1,1
1,E-07	140	0,05	1,0,E-05	0,010192	123	1,3
1,E-07	160	0,05	1,1,E-05	0,011471	123	1,4
1,E-07	180	0,05	1,3,E-05	0,012734	123	1,6
1,E-07	200	0,05	1,4,E-05	0,013983	123	1,7
1,E-07	220	0,05	1,5,E-05	0,015219	123	1,9
1,E-07	240	0,05	1,6,E-05	0,016445	123	2,0

Tabella 8 - Valori di portata drenata calcolati per il foro di sondaggio suborizzontale SOGCE1G06, nelle diverse condizioni ipotizzate di carico idraulico e permeabilità dell'ammasso.

Dall'esame dei risultati si evince che valori di portata di 1-1,6 l/s, come quelli misurati alla bocca del foro di sondaggio suborizzontale SOGCE1G06, si ottengono assumendo un valore del coefficiente di permeabilità di 1E-7 m/s per valori di carico idraulico prossimi rispettivamente a 100 e 180 m; questi sono stati conseguentemente assunti nei successivi calcoli delle portate drenate dalla Bretella di Voltri come valori plausibili del carico idraulico presente nei primi 150 metri di tracciato nei Metabasalti.

Discorso analogo è stato fatto per la parte di tracciato che attraversa i Calcari di Erselli e le Argille a Palombini dove è stato assunto per entrambe le formazioni, tenendo conto dei risultati delle prove di permeabilità eseguite e delle misure freatimetriche, lo stesso valore di conducibilità idraulica (10^{-7} m/sec) e di carico idraulico medio (40 m).

I valori di conducibilità idraulica e di carico idraulico utilizzati nei calcoli ed i risultati di portata ottenuti sono sintetizzati di seguito in forma grafica e tabellare.

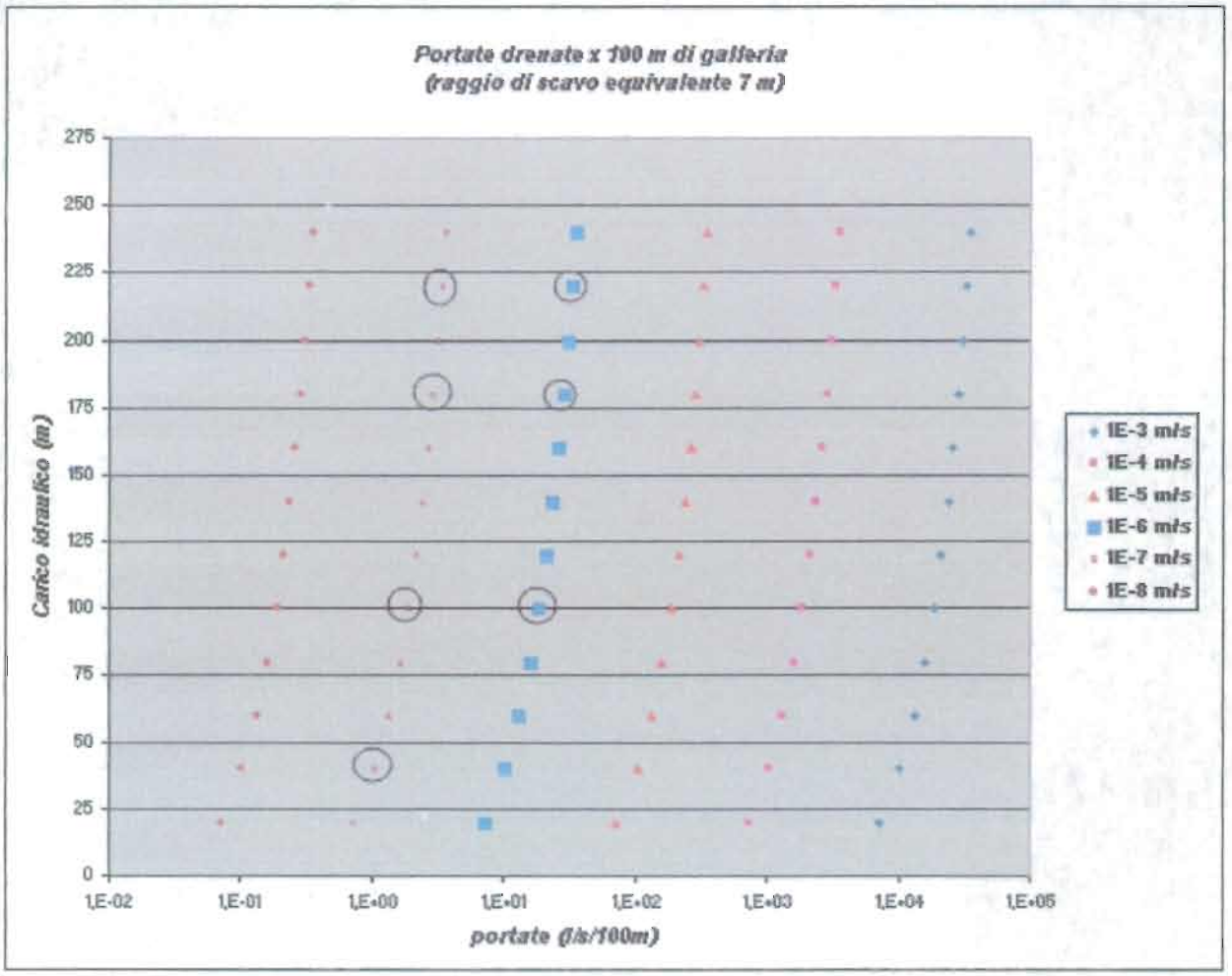


Fig. 9– Andamento della portata in funzione del carico idraulico e della permeabilità dell'ammasso.

formazione	permeabilità K (m/s)	carico idraulico ho (m)	portata x 100 m di galleria (l/s/100 m)	tratta complessiva L (m)	portata complessiva Q (l/s)	tratta parziale L (m)	portata lato Caverna Borzoli (l/s)	tratta parziale L (m)	portata lato Fegino (l/s)
metabasalti	1E-07	100	1,9	150	2,8	150	2,8		
metabasalti	1E-07	220	3,3	1070	35,7	268	8,9	802	26,8
calcari di erselli	1E-07	40	1,0	87	0,9			87	0,9
argille a palombini	1E-07	40	1,0	1530	15,8			1530	15,8
			TOTALE	2837	55,2	418	11,8	2419	43,5
metabasalti	1E-07	180	2,9	150	4,3	150	4,3		
metabasalti	1E-07	220	3,3	1070	35,7	268	8,9	802	26,8
calcari di erselli	1E-07	40	1,0	87	0,9			87	0,9
argille a palombini	1E-07	40	1,0	1530	15,8			1530	15,8
			TOTALE	2837	56,7	418	13,3	2419	43,5
metabasalti	1E-06	100	18,7	150	28,1	150	28,1		
metabasalti	1E-07	220	3,3	1070	35,7	268	8,9	802	26,8
calcari di erselli	1E-07	40	1,0	87	0,9			87	0,9
argille a palombini	1E-07	40	1,0	1530	15,8			1530	15,8
			TOTALE	2837	80,5	418	37,1	2419	43,5
metabasalti	1E-06	180	28,7	150	43,1	150	43,1		
metabasalti	1E-07	220	3,3	1070	35,7	268	8,9	802	26,8
calcari di erselli	1E-07	40	1,0	87	0,9			87	0,9
argille a palombini	1E-07	40	1,0	1530	15,8			1530	15,8
			TOTALE	2837	95,5	418	52,0	2419	43,5
metabasalti	1E-06	100	18,7	150	28,1	150	28,1		
metabasalti	1E-06	220	33,4	1070	357,2	268	89,5	802	267,7
calcari di erselli	1E-07	40	1,0	87	0,9			87	0,9
argille a palombini	1E-07	40	1,0	1530	15,8			1530	15,8
			TOTALE	2837	402,0	418	117,6	2419	284,4
metabasalti	1E-06	180	28,7	150	43,1	150	43,1		
metabasalti	1E-06	220	33,4	1070	357,2	268	89,5	802	267,7
calcari di erselli	1E-07	40	1,0	87	0,9			87	0,9
argille a palombini	1E-07	40	1,0	1530	15,8			1530	15,8
			TOTALE	2837	416,9	418	132,5	2419	284,4

Tabella 9 - Valori di portata calcolati nelle diverse condizioni ipotizzate di carico idraulico e permeabilità dell'ammasso

L'esame dei risultati mostra che le portate complessive drenate dalla galleria della Bretella di Voltri, calcolate nelle diverse condizioni di permeabilità e carico idraulico assegnati (punti cerchiati nel grafico), variano tra 55,3 e 416,9 l/s, con una portata specifica nei due casi, per i 2837 m di galleria, compresa tra 19,5 e 146,9 l/s/km.

Una quota parte delle portate, raccolta nella prima tratta di 418 m tra la progressiva km 8+793 di inizio dei lavori di scavo e la progressiva km 9+211 del punto di massimo del piano ferro, verrà recapitata nella Caverna Borzoli mentre la restante parte, raccolta nella tratta di 2419 m tra la progressive km 9+211 e 11+630, sarà convogliata verso l'imbocco lato Fegino.

In definitiva nelle diverse condizioni di permeabilità e carico idraulico prese in esame le portate convogliate nella Caverna Borzoli risultano comprese tra 11,8 e 132,5 l/s mentre quelle convogliate all'imbocco lato Fegino saranno comprese tra 43,5 e 284,4 l/s.

Analisi delle portate da precedenti esperienze di scavi di gallerie

Le conoscenze sperimentali su un argomento complesso come quello delle venute d'acqua in galleria sono estremamente eterogenee, e la difficoltà maggiore per chi deve trarre delle utili indicazioni dall'analisi dei dati disponibili, risiede nella ricerca di una comune chiave di lettura delle informazioni raccolte.

La trasposizione delle informazioni da una galleria ad un'altra, è una operazione da fare con estrema attenzione per non arrivare a conclusioni poco affidabili, in quanto le venute d'acqua dipendono in larga parte dal contesto geologico e dal modo in cui l'opera vi si inserisce (ubicazione planoaltimetrica, caratteristiche geometriche, modalità esecutive, ecc.).

Inoltre, durante la realizzazione di gallerie, vengono registrate con maggiore frequenza le portate eccezionali associate ad eventi spettacolari (come la disostruzione di faglie), trascurando le venute d'acqua minori.

Risulta tuttavia di estrema importanza, per arrivare ad una stima delle portate quanto più attendibile, il riferimento alle esperienze acquisite nello scavo di alcune gallerie già realizzate i cui risultati sono sintetizzati nella sottostante tabella.

OPERA IN SOTTERRANEO	*LUNGHEZZA CUMULATA (km)*	*VENUTA STABILIZZATA (L/s)*	*PORTATA SPECIFICA STABILIZZATA (L/s/km)*
Galleria idroelettrica di Maurienne	105	1000	9.5
Galleria idroelettrica di Pont Ventoux	8.1	270	33
Tunnel stradale di Orelle	3.6	< 36	< 10
Tunnel stradale del Fréjus	13	debole	debole
Tunnel ferroviario del Fréjus (parte francese)	6.9	molto debole	molto debole
Tunnel stradale del Monte Bianco	11.6	< 424	< 37
Tunnel ferroviario del Lötschberg	43.1	235	5.5
Galleria idroelettrica di Bramefarine	4	90	22.5
BILANCIO TOTALE	*CUMULATO*	*CUMULATO*	*MEDIA*
	195.3	2055	10.5

Tabella 10 – Venute d'acqua rilevate in gallerie realizzate (da Groupement d'ingénierie PRO-TSE2, APR, 2005)

L'analisi dei dati raccolti relativi a gallerie già realizzate (Groupement d'ingénierie PRO-TSE2, APR, 2005), porta alle seguenti conclusioni:

1. la portata specifica media relativa ai 195 km di gallerie e tunnel analizzati è di 10.5 l/s/km;
2. questo valore è molto prossimo ai 9.5 l/s/km registrati per i 105 km delle gallerie idroelettriche della Maurienne;
3. le portate specifiche stabilizzate più importanti, registrate nel tunnel del Monte Bianco (< 37 l/s(km), possono essere correlate alla presenza di ghiacciai ubicati nella Vallée Blanche, al di sopra del tunnel;
4. la galleria idroelettrica di Point Ventoux ha anch'essa una portata specifica elevata, pari a 33 l/s/km, probabilmente non ancora stabilizzata.

Un ulteriore elemento di valutazione da prendere in considerazione, per la stima delle portate che saranno drenate dalla galleria della Bretella di Voltri, è rappresentato dal valore della portata attesa in fase di scavo e di quella stabilizzata,

calcolate dai progettisti della linea A.V/A.C. III Valico dei Giovi per le gallerie dell'interconnessione Voltri il cui tracciato complessivo (8354 m sommando l'Interconnessione binario pari e l'Interconnessione binario dispari) interessa le stesse formazioni attraversate dalla Bretella di Voltri con una presenza percentuale di formazioni acquifere intercettate (Metabasalti) pari a circa il 34% del tracciato (contro il 45% di tratta in Metabasalti della Bretella di Voltri, pari a 1220 m su complessivi 2837 m di tracciato); la portata attesa per le gallerie dell'interconnessione Voltri in fase di scavo è stata stimata in 13÷23 l/s/km e quella stabilizzata (a lungo termine) in 4÷7 l/s/km.

In virtù di quanto finora esposto, si ritiene che l'insieme dei dati raccolti e/o calcolati conduca a ritenere maggiormente attendibile per la galleria della Bretella di Voltri, secondo l'approccio semiempirico adottato (confronto tra i risultati ottenuti con i calcoli e le misure di portata registrate durante lo scavo di gallerie già realizzate), un valore di portata complessiva più vicino all'estremo inferiore dell'intervallo di valori ottenuti dai calcoli (50-60 l/s).

Questa portata verrà in parte recapitata alla Caverna Borzoli (10-15 l/s) ed in parte all'imbocco lato Fegino (40-45 l/s).

9. DESCRIZIONE GEOLOGICA LUNGO L'ASSE DEL TRACCIATO

Le caratteristiche geologiche del sottosuolo interessato dalla realizzazione dell'opera in esame sono descritte facendo riferimento a quanto rappresentato nel profilo geologico (costruito sul tracciato del binario pari, in scala 1:2000), che costituisce una ricostruzione interpretativa ottenuta integrando i dati di terreno con i risultati delle indagini geognostiche, ed al quale si rimanda per una migliore comprensione di quanto di seguito esposto.

L'opera interesserà in tutta la sua lunghezza le formazioni dell'Unità di M. Figogna; la galleria naturale si sviluppa (a progressiva 8+793) dalla già esistente Caverna Borzoli e gli scavi andranno ad iniziare in prossimità del limite fra le Serpentiniti e i Metabasalti. Proprio allo scopo di definire con maggiore accuratezza l'andamento di questo contatto sono state eseguite, nell'attuale fase progettuale, 5 perforazioni orizzontali (SOGCE1G01, SOGCE1G02, SOGCE1G03, SOGCE1G04, SOGCE1G05) e una inclinata (BH1) sul rene sinistro (in direzione Genova Voltri) della Caverna Borzoli e 10 perforazioni, orizzontali (SOGCE1G06, 3L331GT01) ed inclinate (BH2, BH3, BH4, BH5, BH6, BH10, BH11, BH11bis; vedi All.2 – Foto 10), sul tampone, nonché una serie di 5 sondaggi orizzontali (SOGCE1G07, SOGCE1G08, SOGCE1G09, SOGCE1G10, SOGCE1G11) sul rene sinistro (in direzione Genova Voltri) della galleria Fossa dei Lupi.

I risultati di tali indagini, associati agli esiti delle prove petrografiche e mineralogiche eseguite sui campioni prelevati, hanno reso disponibile una consistente mole di informazioni, tale da poter ricostruire con affidabilità la geometria del contatto. Tutte le perforazioni eseguite sul tampone hanno attraversato i Metabasalti; le Serpentiniti sono invece state intercettate solo nei sondaggi condotti sul rene sinistro della Caverna Borzoli. Correlando tali dati tra loro e con le informazioni di superficie si ricostruisce un limite fra le due formazioni inclinato ad alto angolo verso est, che pur prossimo alla posizione del tampone, mostra un andamento tale da non determinare l'interessamento delle Serpentiniti nelle operazioni di scavo della galleria di progetto.

Per quel che riguarda gli aspetti applicativi inerenti gli scavi nel litotipo basaltico, che si prevede verrà attraversato per circa 1220 m, si osserva quanto segue. Come accennato nei precedenti capitoli, in affioramento i Metabasalti mostrano una discreta qualità, con una fratturazione derivante dalla tettonizzazione che generalmente si presenta esaltata per i fenomeni di degradazione e disgregazione in ambiente subaereo. In profondità, dall'analisi dei sondaggi geognostici appare possibile quantificare in modo migliorativo le caratteristiche litotecniche dell'ammasso, che dovrebbe dunque presentare generalmente buone proprietà meccaniche. Le indagini eseguite nella Caverna Borzoli, in particolare i sondaggi orizzontali più lunghi 3L331GT01 (50 m di lunghezza) e SOGCE1G06 (123,5 m di lunghezza), individuano una zona a consistente fratturazione prossima al contatto con le Serpentiniti, localizzata immediatamente a tergo del tampone e che si può ragionevolmente supporre legata alla natura tettonica del limite fra le due formazioni.

Per quel che attiene agli aspetti idrogeologici nel corso della perforazione dei sondaggi orizzontali SOGCE1G06 e 3L331GT01 sono state registrate delle modeste venute d'acqua, di portata dell'ordine della frazione di l/s; dal foro del sondaggio SOGCE1G06 attualmente si ha una fuoriuscita d'acqua di circa 1-1,6 l/s; venute d'acqua in foro si sono verificate anche nel corso del sondaggio profondo PNGGCE1G12. Considerando inoltre la presenza in superficie, all'interno del settore di studio, di alcune sorgenti perenni in prossimità del contatto con i Calcari di Erselli e le Argille a Palombini (vedi Carta idrogeologica) e le caratteristiche di permeabilità dei Metabasalti di cui si è detto in *Cap. 8*, è lecito ipotizzare una circolazione idrica, presumibilmente compartimentata, nel massiccio vulcanico, in conseguenza della quale si potrebbero verificare delle venute d'acqua in corso d'opera. Tali afflussi idrici si prevedono di entità tale da poter esser controllati con idonei accorgimenti tecnici senza gravose difficoltà; comunque non potendosi escludere con certezza un rischio di depauperamento delle sorgenti in superficie, le prescrizioni CIPE sul Progetto Preliminare (Del. N. 79/03 del 29.9.2003 – GU 17.2.04), recitano, al punto 6:

"dovrà essere previsto un impianto acquedottistico provvisorio, collegato agli acquedotti cittadini, per sopperire alle necessità di quegli utenti che risulteranno danneggiati dal prosciugamento delle sorgenti o delle derivazioni in concessione". Inoltre, le prescrizioni CIPE sul Progetto Definitivo (Del. N. 85/06 del 29.3.2006 – GU 24.09.2006) recitano che *"per la galleria di prolungamento della Bretella si dovrà prevedere il recupero delle acque intercettate, qualora idonee all'uso potabile ..."*

Le informazioni disponibili dunque portano a concludere che lo scavo nei Metabasalti non dovrebbe comportare sensibili problematiche: si prevedono nell'insieme criticità locali limitate all'attraversamento di zone cataclasate (legate ad esempio a discontinuità tettoniche) che potrebbero veicolare eventuali flussi idrici di maggior portata.

All'altezza della progressiva 10+000 circa si prevede l'ingresso, attraverso un contatto tettonico, peraltro dislocato nella zona del tracciato da una ulteriore faglia orientata NW-SE (vedi Carta Geologica), nella formazione dei Calcari di Erselli. Qui la ricostruzione si basa unicamente su dati di superficie, non essendo stato possibile indagare l'area direttamente con sondaggi, essendo questa piuttosto impervia e quasi priva di viabilità. La formazione, costituita da una sequenza serrata di strati deformati di calcari micritici, spesso impuri per una più o meno abbondante frazione terrigena silicoclastica e con giunti di emipelagiti argillose, potrebbe risentire di tali disturbi tettonici e presentare qualità geomeccaniche non eccelse. La galleria permane all'interno dei Calcari di Erselli per un breve tratto, pari a circa 90 m, oltrepassato il quale giunge nella formazione delle Argille a Palombini del Passo della Bocchetta. Qui il litotipo prevalente è rappresentato da peliti scistose con una foliazione marcata, e nei quali possono essere rinvenuti livelli calcarei, di spessore variabile e dalla distribuzione eterogenea. Le Argille a Palombini verranno attraversate fino allo sbocco lato Fegino della galleria: nell'insieme si tratta di litotipi fortemente deformati che in condizioni di spinta tettonizzazione potrebbero mostrare non elevate caratteristiche meccaniche con conseguenti condizioni di instabilità del fronte di scavo; la presenza della componente pelitica e la accentuata scistosità

sviluppata in alcuni settori potrebbero inoltre determinare un comportamento spingente. A progressiva 10+450 e 11+100 circa si ipotizza l'attraversamento di discontinuità tettoniche la cui azione potrebbe aver determinato una degradazione delle proprietà meccaniche dei materiali. Si ritiene inoltre che adeguata attenzione dovrà essere prestata nello scavo degli ultimi 300 dell'opera in sotterraneo, per la riduzione delle coperture topografiche e per il sottoattraversamento della zona di S. Ambrogio di Fegino ove sono allocate preesistenze urbane in superficie. Alla riduzione dello spessore della copertura può infatti associarsi un peggioramento delle proprietà geotecniche dei litotipi in esame, facilmente suscettibili all'alterazione con conseguenti fenomeni di detensionamento superficiale. Dal punto di vista idrogeologico le Argille a Palombini presentano una permeabilità bassa per fratturazione, tale da far prevedere moderate manifestazioni idriche in fase di scavo, principalmente sotto forma di umidità o stillicidi. Tali manifestazioni potrebbero amplificarsi in presenza degli intercalari calcarei, maggiormente permeabili della massa argillitica circostante, che potrebbero peraltro rappresentare dei livelli acquiferi in pressione, nelle fasce fratturate associate alle zone di faglia o ancora nelle zone interessate dalla degradazione superficiale, ove l'alterazione del litotipo primario può creare le condizioni adatte alla formazione di una circolazione idrica pellicolare.

Si segnala inoltre che dallo sbocco della galleria naturale (progressiva 11+630) fino all'inizio del portale della galleria artificiale (progressiva 11+653) la sezione di scavo andrà ad interessare, in misura progressivamente maggiore, le coperture quaternarie, rappresentate da terreni di riporto e dalle coltri eluvio-colluviali. Questi, nel complesso costituiscono materiali rimaneggiati, o, se in posto, alterati, con scadenti caratteristiche geotecniche.

Questi depositi verranno interessati dalle lavorazioni previste in progetto anche nel tratto finale del tracciato, allo scoperto, congiuntamente ai depositi alluvionali del T. Polcevera, cui risultano sovrapposti o in eteropia laterale.

10. BIBLIOGRAFIA

1. BORTOLOTTI V., CORTESOGNO L., GIANELLI G., PICCARDO G.B. & SERRI G. (1976) – I filoni basaltici delle ofioliti dell'Appennino settentrionale ed il loro significato nella formazione del bacino oceanico ligure. Ofioliti, 1.
2. BOSCHI E., FAVALI P., FRUGONI F., SCALERA G., SMRIGLIO G. (1995) – Mappa delle massime intensità macrosismiche risentite in Italia. Istituto Nazionale di Geofisica e Dipartimento di Protezione Civile.
3. CHIESA L., CORTESOGNO L., FORCELLA F., GALLI M., MESSIGA B. PASQUARÈ G., PEDEMONTE G.M., PICCARDO G.B., ROSSI P.M. (1975) – Assetto strutturale ed interpretazione geodinamica del Gruppo di Voltri. Boll. Soc. Geol. It., 94.
4. CHIESA L., CORTESOGNO L., FORCELLA F., GALLI M., (1977) – Caratteri e distribuzione del metamorfismo alpino nel Gruppo di Voltri e nelle zone limitrofe della liguria occidentale con particolare riferimento al metamorfismo di alta pressione. Rend. Soc. It. Min. Petrol., 33.
5. CORTESOGNO L., GRANDJACQUET C., HACCARD D. (1979) – Contribuiton a l'etude de la liason alpes-Apennins; evolution tectono-metamorfique des principaux ensembles ophiolitiques de Ligurie. Ofioliti, 4.
6. CORTESOGNO L. & HACCARD D. (1980) – Presentation des principales unites constitutives de la zone de Sestri-Voltaggio et leurs relations structurales. Bull. Soc. Gelo. France, 7e s.; 21.
7. CORTESOGNO L. & HACCARD D. (1984) – Note illustrative alla carta geologica della zona Sestri Voltaggio. Mem. Soc. Geol. It., 28 .
8. CRISPINI L. (1996) - Analisi strutturale dei metasedimenti del gruppo di Voltri e della zona Sestri-Voltaggio: implicazioni nell'evoluzione tettonica e geodinamica alpina. 129
9. CRISPINI L. & CAPPONI G. (2001) - Tectonic evolution of the Voltri Group and Sestri Voltaggio Zone (southern limit of the NW Alps): a review. Ofioliti, 26(2a).
10. GALLI M. (1954) – Studi petrografici sulle ofioliti dell'Appennino Ligure: I diabasi di Sestri Ponente. Per. Min., 23.

11. GOODMAN R., MOYE D., SCHALKWYK A., JAVANDEL I. (1965) – Groundwater inflow during tunnel driving. Eng. Geol. 2.

12. Groupement d'ingénierie PRO-TSE2, APR - Raggruppamento d'ingegneria PRO-TSE2, PR SETEC-ITALFERR-SNCF-SYSTRA-TRACTEBEL-SCETAUROUTE-METROPOLITANA MILANESE-SEMALY-ARCADIS- GEODATA-GEOS-INGEROP-AMBERG-GEOCONSULT-ANTEA-BRGM-AI ENGINEERING-TEI (2005) - Rapporto finale del lotto B2 'Geologia' – Relazione Idrogeologica – Studi idrogeologici per la progettazione della linea ferroviaria Torino-Lione.

13. HACCARD D. (1976) – Carte geologique au 1/50000 de Sestri – Voltaggio. Pubbl. C.N.R., Italie, Pise.

14. HOOGERDUIJNG STRATING E.H. (1991) – The evolution of the Piemontese Ligurian ocean. A structurul study of ophiolite complexes in Liguria. Geol. Ultraiectina, 74.

15. HOOGERDUIJN STRATING,E.H. (1994) - Extensional faulting in an intraoceanic subduction complex-working hypothesis for the Palaeogene of the Alps-Apennine system. Tectonophysics, 238.

16. LAUBSCHER, H.P. (1988) - The arcs of the Western Alps and the Northern Apennines: an updafed view. Tectonophysics, 146.

17. MARINI M. (1975) – Primi risultati del rilevamento geologico di dettaglio della "Zona Sestri Voltaggio". Boll. Soc. Geol. It, 94.

18. MARINI M. (1976) – Serie ofiolitiche ed assetto strutturale della Valpolcevera. Ofioliti, 1.

19. MARINI M. (1977) - Carta geologica del versante ligure della Zona Sestri Voltaggio. Ofioliti, 2.

20. MARINI M. (1978) – La linea Sestri Voltaggio nel quadro dell'evoluzione tettogenetica del limite Alpi-Appennino. Una proposta di interpretazione. Mem. Soc. Geol. It., 19.

21. MARINI M. (1984) – Il quadro deformativo del settore ligure della zona Sestri Voltaggio con particolare riguardo alle strutture a grande scala. Mem. Soc. Geol. It., 28.

22. MARINI M. (1987) – Le deformazioni fragili del Pliocene Ligure. Implicazioni nella geodinamica alpina. Mem. Soc. Geol. It., 29.

23. MARINI M. (1998) - Carta geologica della Val Polcevera e zone limitrofe (Appennino settentrionale) alla scala 1:25.000. Note illustrative. Atti Ticinensi di Scienze della Terra, 40.

24. MARRONI M. & PANDOLFI L. (1996) – The deformation history of an accreted ophiolite sequence: the Internal Liguride Units (Northern Apennins, Italy). Geod. Acta, 9.

25. NOSEGNO S., MONTALDO C. ET ALII, (1998) – Atlante cartografico geologico del territorio del Comune di Genova: cartografia geologica, geomorfologica ed idrogeologica in scala 1:10.000. A cura del Comune di Genova, Regione Liguria e AMGA.

26. Provincia di Genova Area 06, Difesa del suolo e Pianificazione di Bacino (2003) - Piano di Bacino stralcio del Torrente Chiaravagna

27. Provincia di Genova Area 06, Difesa del suolo e Pianificazione di Bacino (2003) - Piano di Bacino stralcio del Torrente Polcevera

11. ALLEGATO 1 – Documentazione fotografica



Foto 1 – Affioramento di serpentiniti tettonizzate

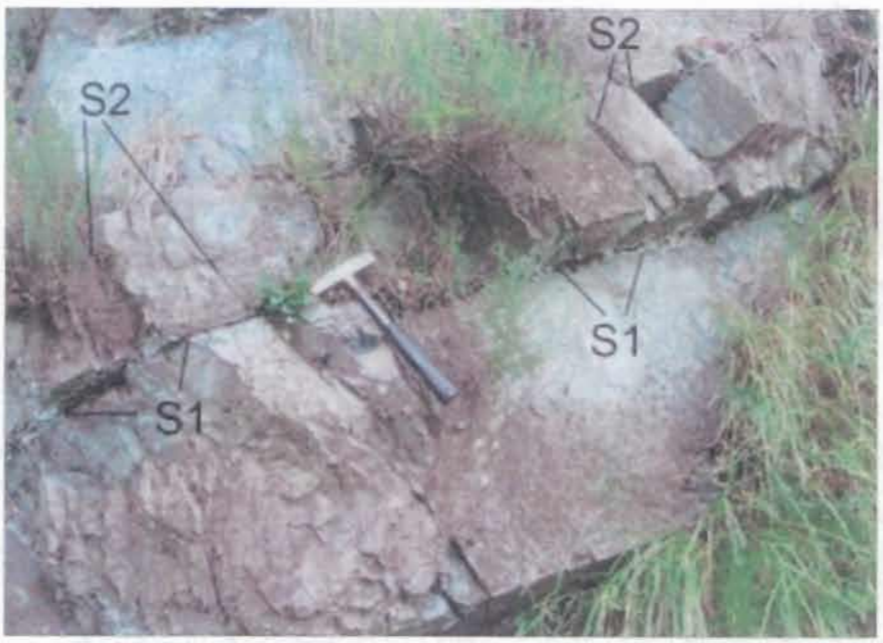


Foto 2 – Peridotiti serpentinizzate: sono visibili due sistemi di foliazione



Foto 3 – Metabasalti affioranti ai margini della Strada Militare di Borzoli.



Foto 4 - Metabasalti a pillows, versante orientale del Bric di Teiolo.



Foto 6 – Calcari di Erselli in giacitura sub-verticale affioranti nei pressi di C. Cecchino.



Foto 7 - Calcari di Erselli, versante orientale della dorsale di B. dei Corvi.



Foto 8 – Argille a Palombini del Passo della Bocchetta, affioramento in prossimità di C. Sturla



Foto 9 – Argille a Palombini del Passo della Bocchetta: sono visibili le micropieghe nei livelli pelitici e le intercalazioni carbonatiche

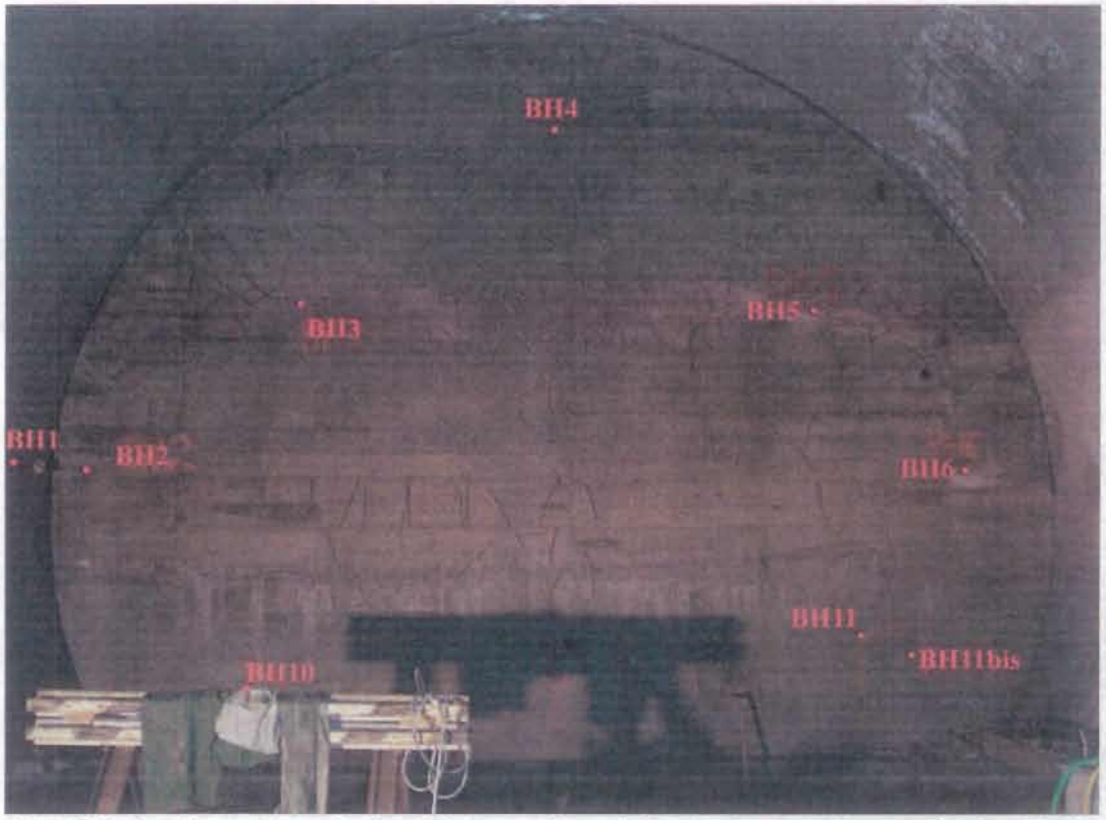


Foto 10 – Distribuzione delle indagini eseguite sul tampone e sul rene sinistro della Caverna Borzoli durante la campagna 2008

12. ALLEGATO 2 – Schede descrittive dei punti d'acqua

Scheda punto d'acqua S1 anno 2002				
Regione	Liguria		Provincia	Genova
Comune	Genova		Località	Scarpino
Coord. Gauss Boaga:	Est		Nord	
Gestore	Privato			
Quota m s.l.m.	550			
Perenne	si		Captata	no
Uso			Portata l/s	0,07
Temperatura aria °C	11			
Temperatura acqua °C	8,8			
PH	9,2			
Colore	incolore			
Torbidità	trasparente			
Conducibilità μS/cm	312			
Potenziale redox mV	-60			
Ossigeno disciolto mg/l	4,86			

Scheda punto d'acqua S2 anno 2002				
Regione	Liguria		Provincia	Genova
Comune	Genova		Località	Scarpino
Coord. Gauss Boaga:	Est		Nord	
Gestore	Privato			
Quota m s.l.m.	580			
Perenne	si		Captata	tubazione
Uso	potabile e irriguo		Portata l/s	
Temperatura aria °C	12,9			
Temperatura acqua °C	12,4			
PH	8,9			
Colore	incolore			
Torbidità	trasparente			
Conducibilità μS/cm	328			
Potenziale redox mV	-107			
Ossigeno disciolto mg/l	4,86			

Scheda punto d'acqua S3 anno 2004				
Regione	Liguria		Provincia	Genova
Comune	Genova		Località	Fegino
Coord. Gauss Boaga:	Est		Nord	
Gestore	Consorzio privato Costiera di Fegino			
Quota m s.l.m.	325			
Perenne	si		Captata	galleria
Uso	potabile e irriguo		Portata l/s	2

Temperatura aria °C	12,5
Temperatura acqua °C	16
PH	7
Colore	
Torbidità	
Conducibilità μS/cm	240
Potenziale redox mV	
Ossigeno disciolto mg/l	



Punto d'acqua S3

Scheda punto d'acqua S4 anno 2004				
Regione	Liguria		Provincia	Genova
Comune	Genova		Località	Fegino
Coord. Gauss Boaga:	Est		Nord	
Gestore	Consorzio Costiera di Fegino			
Quota m s.l.m.	220			
Perenne	si		Captata	bottino di presa
Uso	potabile e irriguo		Portata l/s	2,9
Temperatura aria °C	13			
Temperatura acqua °C	13,4			
PH	7,9			
Colore				
Torbidità				
Conducibilità μS/cm	197			
Potenziale redox mV				
Ossigeno disciolto mg/l				



Punto d'acqua S4

Scheda punto d'acqua S5 anno 2004				
Regione	Liguria		Provincia	Genova
Comune	Genova		Località	Fegino
Coord. Gauss Boaga:	Est		Nord	
Gestore	Privato (Sig.ra Cadenasso)			
Quota m s.l.m.	90			
Perenne	si		Captata	galleria
Uso	irriguo		Portata l/s	0,015
Temperatura aria °C	13,8			
Temperatura acqua °C	11			
PH	7			
Colore				
Torbidità				
Conducibilità μS/cm	585			
Potenziale redox mV				
Ossigeno disciolto mg/l				



Punto d'acqua S5

Scheda punto d'acqua S6 anno 2004				
Regione	Liguria		Provincia	Genova
Comune	Genova		Località	Buscaggi-Fegino
Coord. Gauss Boaga:	Est		Nord	
Gestore	Piccolo consorzio privato (Sig. Bertolo)			
Quota m s.l.m.	150			
Perenne	si		Captata	muro in pietra
Uso	domestico e irriguo		Portata l/s	0,25
Temperatura aria °C	10,5			
Temperatura acqua °C	12,8			
PH	7			
Colore				
Torbidità				
Conducibilità μS/cm	565			
Potenziale redox mV				
Ossigeno disciolto mg/l				

Scheda punto d'acqua S7 anno 2004				
Regione	Liguria		Provincia	Genova
Comune	Genova		Località	Parodi-Fegino
Coord. Gauss Boaga:	Est		Nord	
Gestore	Privato (Sig. Vercelli)			
Quota m s.l.m.	170			
Perenne			Captata	captazione parziale
Uso	domestico		Portata l/s	0,06
Temperatura aria °C	9,5			
Temperatura acqua °C	11,5			
PH	7			
Colore				
Torbidità				
Conducibilità μS/cm	331			
Potenziale redox mV				
Ossigeno disciolto mg/l				



Punto d'acqua S7

Scheda punto d'acqua S8 anno 2004				
Regione	Liguria		Provincia	Genova
Comune	Genova		Località	Parodi - Fegino
Coord. Gauss Boaga:	Est		Nord	
Gestore				
Quota m s.l.m.	125			
Perenne			Captata	no
Uso			Portata l/s	0,05

Temperatura aria °C	7,2
Temperatura acqua °C	11,8
PH	7
Colore	
Torbidità	
Conducibilità μS/cm	502
Potenziale redox mV	
Ossigeno disciolto mg/l	



Punto d'acqua S8

Scheda punto d'acqua S9 anno 2002				
Regione	Liguria		Provincia	Genova
Comune	Genova		Località	
Coord. Gauss Boaga:	Est		Nord	
Gestore				
Quota m s.l.m.	325			
Perenne	si		Captata	no
Uso			Portata l/s	-
Temperatura aria °C	9,9			
Temperatura acqua °C	9,5			
PH	7,9			
Colore	incolore			
Torbidità	trasparente			
Conducibilità μS/cm	130			
Potenziale redox mV	-47			
Ossigeno disciolto mg/l	6,25			

Scheda punto d'acqua S10 anno 2008				
Regione	Liguria		Provincia	Genova
Comune	Genova		Località	
Coord. Gauss Boaga:	Est		Nord	
Gestore				
Quota m s.l.m.	300			
Perenne			Captata	no
Uso			Portata l/s	-
Temperatura aria °C				
Temperatura acqua °C				
PH				
Colore				
Torbidità				
Conducibilità μS/cm				
Potenziale redox mV				
Ossigeno disciolto mg/l				

Scheda punto d'acqua S11 anno 2008				
Regione	Liguria		Provincia	Genova
Comune	Genova		Località	
Coord. Gauss Boaga:	Est		Nord	
Gestore				
Quota m s.l.m.	180			
Perenne			Captata	no
Uso			Portata l/s	-

Temperatura aria °C	
Temperatura acqua °C	
PH	
Colore	
Torbidità	
Conducibilità μS/cm	
Potenziale redox mV	
Ossigeno disciolto mg/l	