

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA  
LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI  
PROGETTO ESECUTIVO**

**GALLERIA NATURALE DI VALICO BINARIO DISPARI DA PK 17+790.03 A  
PK 19+700.00 (EX GN15R)  
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing. N. Meister	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 3	E	C V	R O	G N 1 5 1 0	0 0 1	A

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima Emissione	GDP 	12/01/2017	Rocksoil 	12/01/2017	A. Mancarella 	12/01/2017	

n. Elab.:	File: IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00
-----------	---------------------------------------

CUP: F81H92000000008



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegaranti Italiani Veicoli	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00
	Foglio 3 di 39

## INDICE

INDICE.....		3
1	PREMESSA.....	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
3	ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO.....	5
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	6
4.1	Unità metamorfiche della “zona Sestri-Voltaggio” l.s.....	8
4.1.1	Evoluzione strutturale.....	10
	Gli eventi deformativi D1 e D2.....	10
	L’evento deformativo D3 .....	10
	L’evento deformativo D4 .....	11
	Deformazione fragile .....	11
4.1.2	Unità Figogna.....	12
	Argille a Palombini del Passo della Bocchetta, aP (Cretaceo inf.) .....	13
	Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia (dM).....	15
	Metabasalti (B’), (cf. Metabasalti del M. Figogna) .....	15
4.2	Unità del Bacino Terziario Piemontese.....	15
4.2.1	Evoluzione tettonostratigrafica del Bacino Terziario Piemontese .....	15
4.2.2	Successione sedimentaria del BTP .....	16
	Litofacies ruditica poligenica (FMp).....	20
	Litofacies ruditica a clasti calcarei dominanti (FMc).....	21
	Litofacies brecciosa (FMbc) .....	21
	Litofacies siltoso-pelitica (FMs) .....	22
	Litofacies arenacea localmente fossilifera (FMa).....	23
5	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	24
6	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....	25
6.1.1	Considerazioni generali.....	25
6.1.2	Complesso 4 (c, d, aF) .....	25
6.1.3	Complesso 12 (FMc) .....	25
6.1.4	Complesso 13 (FMp, FMbc, FMa, cR).....	26
6.1.5	Complesso 15 (aP, dM, d”, f, Mn, Se”) .....	27
6.1.6	Complesso 17 (B’, B”) .....	29
7	ASPETTI CORRELATI ALLA GEOMORFOLOGIA E ALLA GEOLOGIA DEL QUATERNARIO .....	30

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Interurbani Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00
	Foglio 4 di 39

8	PROBLEMATICHE GEOLOGICHE IN RELAZIONE ALLO SCAVO IN GALLERIA	30
8.1	Condizioni geologiche attese in corrispondenza dell'opera .....	30
8.1.1	Presenza di faglie .....	32
8.1.2	Piani di taglio a basso angolo .....	33
8.1.3	Grado di fratturazione medio al di fuori delle zone di faglia .....	34
8.2	Afflussi in galleria .....	34
8.2.1	Tratta pk 17+790/18+275, 18+900/19+300 e 19+550/19+680 .....	36
8.2.2	Tratta pk 18+275/18+900 e 19+300/19+550 .....	35
8.2.3	Tratta pk 19+677/fine WBS .....	36
8.3	Interferenze con le risorse idriche superficiali.....	36
9	BIBLIOGRAFIA .....	38

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Intermodali Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00
	Foglio 5 di 39

## 1 PREMESSA

Il presente rapporto riguarda la realizzazione delle opere identificate dal codice WBS GN151, e riferite allo scavo lungo il binario di linea dispari, dalla pK 17+690,03 alla pK 20+998,53. L'intervento si inserisce nel quadro delle opere di linea previste dal Progetto Esecutivo del nuovo collegamento AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi".

La presente nota costituisce una revisione e un aggiornamento degli studi geologici eseguiti in fase di Progetto Definitivo, rispetto alla quale sono stati eseguiti ex novo alcuni rilievi geologici integrativi di superficie.

Questo rapporto descrive quanto rappresentato negli elaborati grafici allegati:

- profilo geologico generale;
- sezioni geologico-stratigrafiche trasversali
- carta geologica, geomorfologica e idrogeologica;

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente rapporto fa riferimento alla seguente documentazione:

- D.M. 11.03.1988 e s.m.i. "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e le scarpate, i criteri generali, e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"
- Circ. LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483 Legge 02/02/74, n.64 art.1. D.M. 11/03/1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione".

Il progetto è in deroga alle norme relative alla caratterizzazione sismica dei terreni successive al 2005 e una trattazione generale dell'argomento è già stata presentata in fase di Progetto Esecutivo nella Relazione Sismica (elaborato IG51-02-E-CV-RH-GE00-01-001-A00).

## 3 ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO

Lo studio geologico-geomorfologico e idrogeologico del sito di intervento ha previsto:

- l'esecuzione di una ricerca bibliografica;
- il rilevamento di terreno e l'acquisizione dei dati geologici, geomorfologici ed idrogeologici relativi alle aree di intervento;

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 6 di 39</span>

- l'analisi ed interpretazione delle immagini aeree disponibili;
- la revisione critica dei dati della campagna geognostica del Progetto Definitivo approvato nel 2005, nonché delle relazioni geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del medesimo Progetto Definitivo (PD);
- l'esame dei dati dei sondaggi e delle indagini integrative richieste in sede di Progettazione Esecutiva (ove disponibili);
- l'interpretazione dei dati raccolti sul terreno alla luce dell'insieme delle informazioni disponibili;
- la redazione degli elaborati geologici del Progetto Esecutivo (PE).

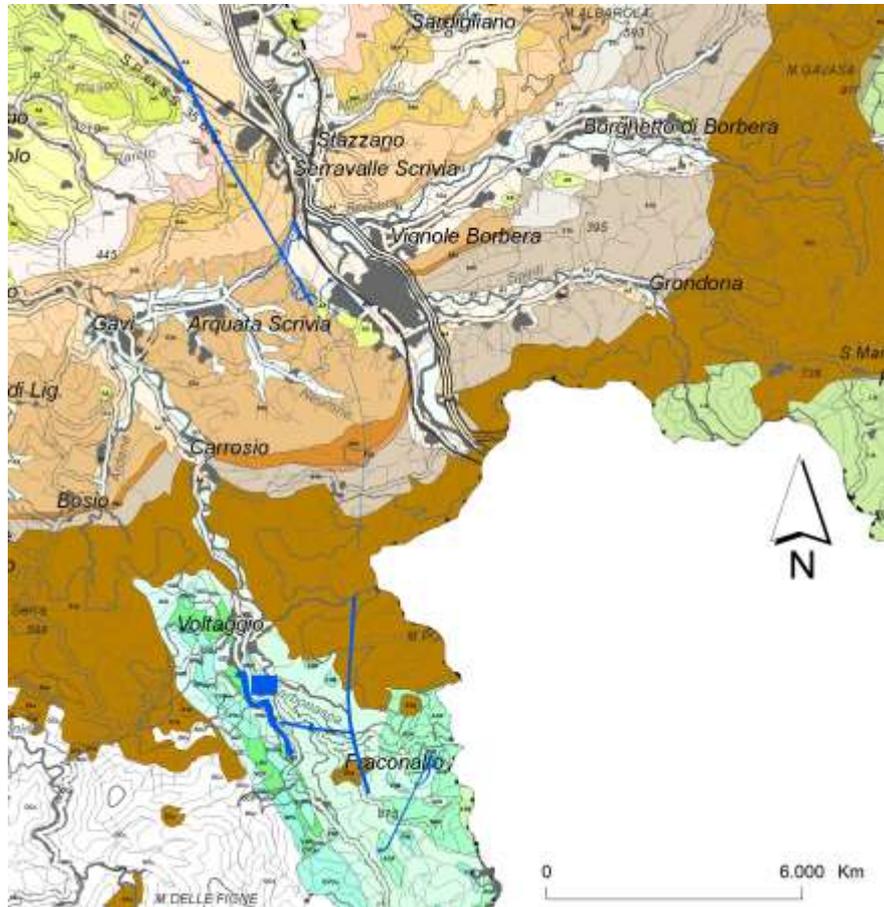
L'elaborazione dei dati è stata eseguita in ottemperanza alle specifiche tecniche di progettazione e alle richieste di approfondimento riportate nella delibera CIPE n. 80/2006, relative alle opere in oggetto.

Il gruppo di lavoro è così costituito:

- coordinamento generale:  
*Fiorenza Pennino, Luca Delle Piane;*
- supervisione e controllo elaborati:  
*Fiorenza Pennino, Luca Delle Piane, Paolo Perello;*
- coordinamento della produzione:  
*Alessia Musso, Dario Varrone;*
- rilevamento geologico-strutturale, idrogeologico sedimentologico-stratigrafico e geomorfologico, geologia tecnica:  
*Alessandra Giorza, Alessia Musso, Dario Varrone, Antonio Damiano, Luca Delle Piane, Paolo Perello;*
- idrogeologia, modellazione idrogeologica numerica, idrogeochimica:  
*Paolo Perello, Alessandro Baietto, Alessandra Giorza, Dario Varrone;*
- bilancio idrologico:  
*Alessandro Baietto, Davide Damato;*
- elaborazioni GIS e CAD:  
*Alessia Musso, Alessandra Giorza, Dario Varrone, Carlo Rolfo;*
- disegno tecnico e redazione elaborati: *Andrea Vaccaro, Ivan Zatti, Fabio Caselli, Carlo Rolfo, Raffaella Macrì, Andrea Sahner.*

#### 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La Galleria di Valico nella tratta compresa tra le progressive chilometriche 17+690,03 e 20+998,53 ricade nelle unità metamorfiche del "Gruppo di Voltri" *auct.* (Unità tettonometamorfica Figogna, cfr. Foglio 213-230 "Genova" della Carta Geologica d'Italia) e all'interno delle unità sedimentarie del Bacino Terziario Piemontese (Brecce della Costa di Cravara, cR e Formazione di Molare, FMp). (Figura 1).

**LEGENDA****Depositi alluvionali**

**A1/A6** depositi fluviali del bacino alessandrino (Pleistocene medio – Attuale)

**Bacino Terziario Piemontese**

**S8a** Successioni marnoso-siltose zancleane; **S6a** Successioni terrigene messiniane; **S4c** Evaporiti e successioni euxiniche messiniane; **S4b** Corpi arenaceo-conglomeratici tortoniano-messiniani; **S4a** Successioni marnose tortoniano-messiniane; **S3b** Successioni arenaceo-pelitiche ed arenacee serravalliano-tortoniane; **S3a** Successioni arenaceo-pelitiche e marnose burdigaliano-langhiane; **S2a** Successioni prevalentemente carbonatiche burdigaliane; **S1d** Depositi silicei aquitano-burdigaliani; **S1b** Successioni marnose rupeliano-aquitane; **S1c** Corpi lenticolari arenaceo-conglomeratici rupeliano-aquitane; **S1a** Successioni arenacee e arenaceo-pelitiche rupeliane.

**Dominio Ligure-Piemontese (unità non metamorfiche) - Flysch ad Helminthoides dell'Appennino**

**L1a** Formazione del M. Antola, Formazione di Bruggi-Selvapiana, Argilliti di Pagliaro (Campaniano-Maastrichtiano p.p.); **L1c** Flysch di Monte Cassio (Cretacico sup.-Eocene inf.?).

**Zona a scaglie tettoniche – Zona Sestri-Voltaggio**

**Unità Figogna:** **AGI** Argilloscisti di Costagiutta (Cretacico inf.); **AGF** Argilloscisti di Murta (Cretacico inf.).

**Unità Cravasco-Voltaggio:** **CVOo** metabasalti e metagabbri (Giurassico medio? – sup.).

**Figura 1. Estratto della nuova Carta Geologica del Piemonte in scala 1:250.000 (Piana et al., in prep.) con l'ubicazione del tracciato della linea AV/AC (in blu) e della WBS oggetto del presente rapporto.**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collinari Italiani Veicoli	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 8 di 39</span>

#### 4.1 Unità metamorfiche della “zona Sestri-Voltaggio” *l.s.*

L'area di studio si colloca nella zona di giustapposizione tra i domini orogenici alpino e appenninico (Figura 1), nota in letteratura come “nodo collisionale ligure” (Laubscher *at. al.*, 1992); questo settore ad elevata complessità strutturale è stato recentemente oggetto di una revisione cartografica con la realizzazione del foglio CARG n° 213-230 “Genova” alla scala 1:50.000 (Capponi *et al.*, 2009).

Nell'area del Foglio Genova è possibile distinguere, da W verso E, tre settori caratterizzati dall'associazione di unità di crosta oceanica e di mantello, unità di margine continentale e unità costituite da flysch (Figura 2):

- le **unità tettonometamorfiche Voltri e Palmaro-Caffarella** (“Gruppo di Voltri” *auct.*): sono costituite dalle associazioni pre-cenomaniane di ofioliti e metasedimenti carbonatici del dominio oceanico ligure-piemontese. I litotipi dell'Unità Voltri hanno registrato un picco metamorfico eclogitico mentre la riequilibratura metamorfica delle rocce dell'Unità Palmaro-Caffarella è limitata alla facies scisti-blu (Federico *et al.* 2004). La distinzione sicura tra i litotipi delle due unità è in genere possibile solo a scala microscopica, in base ai caratteri mineralogico-petrografici.
- la **Zona Sestri-Voltaggio** *auct.* (ZSV): è costituita da tre unità tettonometamorfiche, di cui due ofiolitiche (Cravasco-Voltaggio e Figogna) e una di margine continentale (Gazzo-Isoverde). Il livello del metamorfismo è progressivamente decrescente passando dalle unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde (facies scisti blu) all'Unità Figogna (facies pumpellyite-actinolite).
- Il **dominio dei Flysch Appenninici**: è rappresentato dalle quattro unità tettoniche Mignanego, Montanesi, Ronco e Antola, sovrapposte con vergenza europea. Procedendo verso est, il grado metamorfico decresce da basso a bassissimo nelle prime tre unità fino ad arrivare a condizioni di diagenesi per l'Unità Antola.

A est, la Zona Sestri-Voltaggio è in contatto con le unità tettoniche di basso grado che compongono il dominio dei Flysch Appenninici. A ovest, essa è invece in contatto con le unità tettonometamorfiche Voltri e Palmaro-Caffarella, lungo una discontinuità regionale con direzione N-S, nota in bibliografia come *Linea Sestri-Voltaggio*; questo lineamento strutturale è classicamente ritenuto il limite fisico tra la catena alpina e quella appenninica, anche se le interpretazioni sulla sua natura sono spesso state tra loro discordanti: faglia trascorrente (Elter & Pertusati, 1973), sovrascorrimento (Cortesogno & Haccard, 1984) o faglia estensionale (Hoogerduijn Strating, 1994). Attualmente la ZSV è ritenuta un canale di concentrazione preferenziale della deformazione tettonica che, lungo di essa, si è ripetutamente scaricata in momenti diversi della storia evolutiva della catena e in regimi tettonici corrispondenti a livelli strutturali differenti (Capponi *et al.* 2009).



Figura 2. Schema tettonico dell'area interessata dal progetto (tratto dal foglio CARG "Genova").

GENERAL CONTRACTOR  <small>Consorzio Collimatori Italiani Veicoli</small>	ALTA SORVEGLIANZA  <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 10 di 39</span>

Il tracciato della linea AC/AV Milano-Genova si sviluppa, in territorio ligure, a cavallo delle unità tettonometamorfiche Palmaro-Caffarella e Sestri-Voltaggio. A scala locale, il territorio in cui si colloca il sito di intervento e le zone limitrofe, è ubicato nell'areale di affioramento della ZSV e più precisamente entro la formazione dell'unità tettonometamorfica Figogna.

#### 4.1.1 *Evoluzione strutturale*

L'evoluzione strutturale che caratterizza le unità tettonometamorfiche presenti è definita da quattro eventi deformativi principali (Capponi & Crispini, 1997). Le associazioni strutturali legate a questi quattro eventi sono riferibili a traiettorie seguite dai volumi rocciosi attraverso livelli cristallini via via più superficiali.

##### *Gli eventi deformativi D1 e D2*

I primi due eventi, definiti D1 e D2, hanno caratteri geometrici simili e sono rappresentati da sistemi di pieghe isoclinali-traspositive a tutte le scale, cui si accompagna lo sviluppo di una superficie composita, pervasiva a scala regionale, che è generalmente quella più evidente alla scala dell'affioramento (scistosità principale o SP).

Le pieghe D1/D2 hanno assi orientati tra NNW-SSE e NNE-SSW e piani assiali immergenti a medio-alto angolo generalmente verso E; l'inclinazione della SP aumenta procedendo da W a E, fino a divenire subverticale in corrispondenza della Zona Sestri-Voltaggio.

Le pieghe D1/D2 sono distinguibili tra loro con certezza solo quando sono sovrapposte geometricamente e possono assumere geometrie variabili tra le pieghe cilindriche e le pieghe a guaina. Nell'unità Figogna, le paragenesi metamorfiche sin-D1/D2 sono quelle tipiche della facies a pumpellyite-actinolite (Crispini & Capponi, 2001).

##### *L'evento deformativo D3*

L'evento deformativo D3, sviluppatosi in condizioni metamorfiche comprese tra le facies scisti verdi e scisti verdi inferiore, è caratterizzato dalla coesistenza di sistemi di pieghe e zone di taglio, che testimoniano una progressiva transizione delle unità tettonometamorfiche verso livelli cristallini più superficiali (Capponi & Crispini, 2002).

Le pieghe D3 sono strutture aperte da decimetriche a pluriettometriche, con assi debolmente inclinati sia verso NNE che verso SSW. Questa fase deformativa verticalizza la foliazione regionale SP e i fianchi delle strutture D1/D2 ed si esprime in modo abbastanza eterogeneo.

Alle pieghe di piegamento D3 si associano, soprattutto in zona di cerniera e lungo i fianchi rovesciati, zone di taglio duttile-fragile, a basso angolo e con cinematismo inverso; queste zone sono subparallele ai piani assiali 3 con direzione WNW-ESE e hanno caratteri che testimoniano un'intensa attività di fluidi carbonatici tipica di sistemi idrotermali a controllo tettonico. L'azione metasomatica è

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collinari Italiani Veicoli	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 11 di 39</span>

stata tale da idratare e carbonatare le rocce trasformandole; le serpentiniti, ad esempio, sono state trasformate in scisti a clorite, tremolite e actinolite, oppure in serpentiniti carbonatate.

Queste zone di taglio si sono probabilmente sviluppate progressivamente, in un ampio intervallo di tempo: esse possono infatti sia tagliare le pieghe D3, sia essere piegate da queste. L'analisi cinematica condotta dagli autori citati suggerisce per l'evento D3 una direzione regionale di raccorciamento finito con direzione NW-SE.

#### *L'evento deformativo D4*

L'evento deformativo D4 è espresso omogeneamente da un'associazione strutturale di pieghe, sovrascorrimenti e sistemi di faglie.

Le pieghe D4 sono strutture aperte plurichilometriche, con assi suborizzontali diretti tra N-S e NW-SE. I piani assiali sono inclinati verso W e sono talora associati a clivaggi che sviluppano minerali della facies a zeoliti. Si tratta di strutture fortemente asimmetriche, con una marcata vergenza tra E e NE.

Le pieghe D4 deformano i livelli di età oligocenica del Bacino Terziario Piemontese (Capponi et al., 2001) senza tuttavia coinvolgere i termini del Miocene inferiore; grazie a questi vincoli stratigrafici è possibile delimitare l'evento D4 alle fasi iniziali del Miocene inferiore.

I fianchi delle pieghe D4 sono frequentemente riattivati come sovrascorrimenti, con direzione di trasporto tra E e NE, associati allo sviluppo di rocce di faglia di potenza fino a decametrica. Queste strutture sono caratterizzate da fronti con persistenza chilometrica e sono associate a mineralizzazioni a zeolite, clorite e carbonati, indicative di livelli crostali piuttosto superficiali.

#### *Deformazione fragile*

All'evento D4 vengono riferiti alcuni sistemi di faglie ad alto angolo, organizzati in due diversi domini strutturali (Capponi et al., 2009), a nord e a sud del settore di contatto tra l'Unità Voltri e la Zona Sestri-Voltaggio. Nel dominio settentrionale le faglie hanno direzioni NW-SE e NE-SW, mentre in quello meridionale sono presenti faglie dirette N-S e NE-SW. L'andamento della Zona Sestri-Voltaggio, delimitata da queste strutture, è caratterizzato a N da direzioni NW-SE, al centro da direzioni NNE-SSW e infine a S da direzioni N-S.

Gli indicatori cinematici forniscono sensi di movimento prevalentemente trascorrenti destri, molte volte con componente inversa. Nelle zone di faglia N-S e NW-SE sono inoltre comuni strutture "a fiore" positivo.

Le faglie del sistema NE-SW sono solitamente meno persistenti e possono tagliare i sistemi di faglie N-S e NW-SE. Queste strutture sono localmente molto frequenti, definendo zone di concentrazione della deformazione, che possono agire come svincoli meccanici (*tear faults*) dei sovrascorrimenti D4.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collinari Italiani Veicoli	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 12 di 39</span>

Sistemi minori di faglie normali dirette NNE-SSW e WSW-ENE ed E-W, con persistenza anche chilometrica, possono tagliare tutte le strutture precedenti. In tutti i sistemi di faglie sono comuni fenomeni di riattivazione tardiva con movimenti di tipo normale.

Le associazioni strutturali D4 (pieghe + faglie) sono geometricamente e cinematicamente congruenti con un raccorciamento regionale di direzione NE-SW, correlato all'instaurarsi di un regime transpressivo destro attivo fino all'inizio del Miocene inferiore. Questo quadro cinematico sarebbe in accordo con il contesto geodinamico oligocenico-miocenico di questo settore della catena alpina, caratterizzato da una tettonica transpressiva legata alla convergenza obliqua delle placche europea e adriatica. In particolare, la zona Sestri-Voltaggio rappresenterebbe un sistema di svincolo destro di ordine minore, necessario ad accomodare la trascorrenza regionale sinistra del bordo meridionale della placca Adria (Capponi et al. 2009).

#### 4.1.2 Unità Figogna

L'unità tettonometamorfica Figogna è costituita da un basamento metaofiolitico e dalla relativa copertura metasedimentaria. L'unità Figogna corrisponde all'unità denominata "Timone - Bric Teiolo" *auct.*, denominazione adottata anche nel Progetto Definitivo (2004) ed include le seguenti formazioni:

- Argille a Palombini del Passo della Bocchetta (aP) (suddivise nella cartografia CARG nelle due sotto-unità degli Argilloscisti di Murta, AGF e degli Argilloscisti di Costagiutta, AGI);
- Metacalcari di Erzelli;
- Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia;
- Metabasalti del M. Figogna;
- Serpentiniti del Bric dei Corvi (zona di deformazione di Scarpino).

L'unità Figogna è interpretata come una serie ofiolitifera rovesciata, posizionata lungo il fianco inverso di una piega plurichilometrica coricata, successivamente ripiegata a formare una struttura regionale sinforme; le fasi deformative più recenti riattiverebbero i contatti tra le singole formazioni, generando superfici di scollamento lungo cui si determina una strutturazione a sovrascorrimenti interni all'unità (Capponi et al. 2009).

I metabasalti, relativamente indisturbati, sono interessati, nel settore occidentale dell'unità, da numerose faglie transpressive dirette N-S e a vergenza W, che determinano dei raddoppiamenti (*duplex*) della sequenza serpentiniti-metabasalti. Queste strutture sviluppano, soprattutto nelle serpentiniti, tessiture cataclastiche che sembrano agire da orizzonte plastico, assorbendo la maggior parte della deformazione. Al limite occidentale dell'unità si osservano inoltre scaglie di termini sedimentari bacinali, sviluppate tra le metabasiti e le adiacenti unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo.

Secondo un'ipotesi coerente con alcune osservazioni inedite di terreno (dati non pubblicati), la parte occidentale dell'unità Figogna ricade all'interno di una potente fascia di deformazione tettonica, che arriva a comprendere le dolomie del M. Gazzo, ed è caratterizzata da due piani di deformazione

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Intermodali Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 13 di 39</span>

cataclastica di estensione regionale, riferibili a un regime deformativo di tipo transpressivo: la *zona di deformazione di Timone*, coincidente con le “serpentiniti di Case Bardane” della cartografia CARG e la *zona di deformazione di Scarpino*, coincidente con le “serpentiniti del Bric dei Corvi” della cartografia CARG).

Sulla base di questa ricostruzione, appare verosimile che la presunta struttura a piega rovesciata ipotizzata da Capponi et al. (2009) potrebbe essere in realtà una zona a scaglie tettoniche, dove la sequenza dei litotipi è ripetuta per sovrascorrimento in un contesto regionale transpressivo, come del resto già messo in evidenza altrove dai rilievi CARG.

All'interno dell'unità Figogna i limiti stratigrafici originari sono comunemente trasposti ma localmente possono ancora essere considerati come contatti.

Nell'area interessata dall'opera affiorano i seguenti termini dell'Unità Figogna: le Argille a Palombini del Passo della Bocchetta (aP) e i Metabasalti (B') (cf. Metabasalti del Monte Figogna).

#### Argille a Palombini del Passo della Bocchetta, aP (Cretaceo inf.)

L'unità delle Argille a Palombini del Passo della Bocchetta, descritta come un complesso litostratigrafico unico dagli autori e dal Progetto Definitivo ed Esecutivo, è stata più recentemente suddivisa nel foglio CARG Genova in due sotto-unità: argiloscisti di Costagiutta (codice CARG: AGI) e argiloscisti di Murta (codice CARG: AGF).

Per coerenza con il Progetto Definitivo si è scelto, in fase di Progetto Esecutivo, di mantenere la terminologia originaria ed il codice (aP), indicando, dove possibile, l'attribuzione dei litotipi affioranti all'una o all'altra delle due sotto-unità distinte nel Foglio 213 Genova, e distinguendo cartograficamente dove possibile, le due litofacies principali.

Le due sotto-unità occupano posizioni strutturalmente e litostratigraficamente distinte: gli argiloscisti di Costagiutta in posizione inferiore, gli argiloscisti di Murta in posizione superiore; i rapporti reciproci a scala regionale sono esemplificati dal profilo geologico di Figura 3, estratto dal foglio CARG “Genova”. Il profilo ha un'orientazione E-W e passa per la sommità del M. Figogna. I rapporti geometrico-strutturali tra le due unità sono complicati dalla presenza di sistemi di pieghe ovest-vergenti.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Costruttori Italiani Veicoli	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00	Foglio 14 di 39

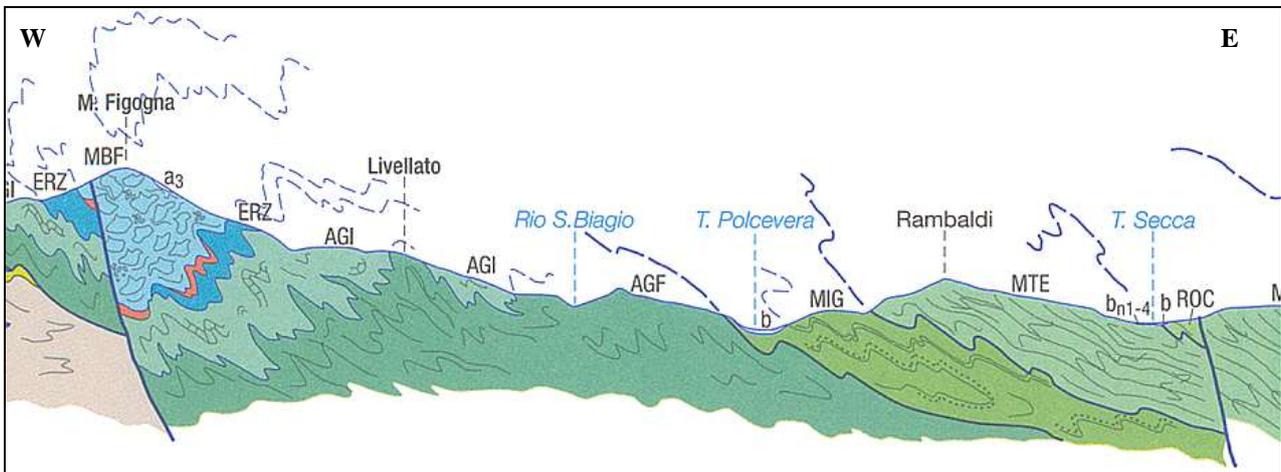


Figura 3. Profilo geologico E-W attraverso la Val Polcevera e la dorsale del M. Figogna (da Capponi et al., 2009).

Dal punto di vista litostratigrafico, la sottounità degli argiloscisti di Costagiutta è costituita da alternanze di argiloscisti e di calcari cristallini (“Palombini” auct.), metapeliti scistose grigio-nerastre, più o meno siltose, metasiltiti e meta-areniti in strati centimetrici, con intercalazioni di metacalcilutiti siltose più o meno marnose, di colore grigio o grigio-bruno in strati e banchi, più frequenti alla base della successione. I cosiddetti “Palombini” sono rappresentati da calcari cristallini comprendenti calcari micritici silicei, di colore grigio scuro tendente al grigio azzurro, a tessitura massiva, più raramente stratificata, calcari arenacei e meno frequenti calcari marnosi, che formano strati e banchi di potenza variabile da pochi cm a 1.5-2 m circa.

Lo spessore degli strati è generalmente centimetrico, ma nella parte alta della successione si osserva una stratificazione più irregolare con strati decimetrici e interstrati pelitici foliati. Sono frequenti noduli allungati e liste di quarzo microcristallino biancastro.

L'assenza di contenuto paleontologico non consente di determinare con precisione l'età della formazione che, per analogia con le Argille a Palombini delle successioni Liguri, è ipotizzata barremiano-albiana (Capponi et al., 2009).

Le giaciture misurate sono frequentemente la media di una foliazione disturbata da serie di pieghe più o meno frammentate; la scistosità descrive frequentemente pieghe a ginocchio con cerniere più o meno acute e pieghe serrate, a scala da centimetrica a pluridecimetica. Gli argiloscisti di Costagiutta affiorano diffusamente a E della dorsale del M. Figogna e, in misura minore, sul suo lato occidentale, dove sono in contatto tettonico con le unità Gazzo e Cravasco-Voltaggio. Nel settore meridionale del Foglio Genova affiorano soprattutto lungo il T. Chiaravagna e sono segnalati in scavi di fondazione e sondaggi; nel settore settentrionale si estendono diffusamente oltre il confine regionale, da Pietralavezzara a Fraconalto (AL).

Gli Argiloscisti di Murta a differenza dei precedenti sono privi dei caratteristici interstrati calcarei, i “Palombini” auct. che hanno dato il nome all'intera formazione. Sono rappresentati da un'alternanza di argiloscisti filladici color grigio scuro e grigio argenteo, a patina sericitica, con intercalazioni di sottili straterelli calcarei, di metasiltiti e di metaareniti fini, color grigio chiaro, nocciola in alterazione, con laminazioni piano-parallele localmente convolute. Gli strati hanno generalmente spessore da centimetrico a decimetrico; sono presenti orizzonti con strati fino a 30 cm di argilliti e metasiltiti.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collimatori Italiani Veicoli	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00
	Foglio 15 di 39

Le superfici di strato su roccia fresca sono normalmente lucide, con veli di sericite talcosa al tatto, talvolta con tracce di scorrimento interstrato e aspetto vetrificato (fenomeni di dinamometamorfismo); possono essere presenti noduli allungati e liste di quarzo microcristallino biancastro. I contatti con le unità sopra- e sottostanti sono di tipo tettonico.

L'unità affiora in una fascia allungata N-S, da Sampierdarena a Campomorone e oltre, in territorio piemontese, separando verso est gli argilloscisti di Costagiutta dall'unità flyschoidi di Mignanego (dominio dei Flysch Appenninici). L'età presunta è cretacea.

Le giaciture della stratificazione sono vergenti ad E presso il contatto con il Flysch di Mignanego, mentre nella direzione opposta (verso W) le giaciture sono raramente significative, poiché la stratificazione è disturbata da fitte sequenze di pieghe strizzate alla macroscale con assi orientati circa NNE-SSW.

#### Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia (dM)

L'unità affiora in modo discontinuo e comunemente si trova in contatto diretto con i metabasalti (B'), è costituita da sedimenti silicei-radiolaritici e livelli ematitici. Localmente si trovano livelli detritici ed altri fillosilicatici. Nel complesso, nell'area indagata, raggiungono spessori esigui di 1-2 metri al massimo. Sulla base dei dati di letteratura (Capponi et al 2009) l'unità è riferibile al Giurassico superiore.

#### Metabasalti (B'), (cf. Metabasalti del M. Figogna)

L'unità è costituita in prevalenza da basalti a pillow, localmente massivi, con livelli brecciosi. Si presentano con colorazioni che vanno dal verde scuro al bruno-violaceo nei punti in cui sono maggiormente alterati. Localmente contengono corpi filoniani. Sono comunemente interessati, in affioramento, da una fitta maglia di giunti.

## 4.2 Unità del Bacino Terziario Piemontese

### 4.2.1 Evoluzione tettonostratigrafica del Bacino Terziario Piemontese

I depositi del BTP ricoprono in discordanza unità di diversa composizione e pertinenza crostale (unità metamorfiche alpine e unità sedimentarie liguri), che sono state tra loro giustapposte dalla fase collisionale eocenica mesoalpina (Castellarin, 1994), corrispondente alla "fase ligure" (Elter & Pertusati, 1973). Tale configurazione è il risultato dell'evoluzione collisionale, a doppia vergenza, della catena alpina (Roure et al., 1996) che ha portato all'individuazione, sul suo lato interno, di un prisma orogenico complesso, riconoscibile anche nel sottosuolo fino ad una profondità di 6-7 km.

A partire dall'Eocene superiore e fino a tutto l'Oligocene inferiore, al di sopra della parte interna del prisma orogenico alpino si è sviluppato un bacino (Bacino Terziario epi-mesoalpino di Mutti et al., 1995) che può essere considerato come un bacino di retroforeland alpino in cui si sono deposte le successioni basali (Oligocene inferiore) del BTP e dei bacini epiliguri dell'Appennino settentrionale. Questo bacino si è sviluppato in seguito al retroscorrimento delle unità metamorfiche alpine su quelle liguri (fase mesoalpina o ligure auct.). I retroscorrimenti mesoalpini sono ben documentati nel

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collinari Italiani Veicoli	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 16 di 39</span>

sottosuolo padano (Roure et al., 1990; Fantoni et al., 2002), mentre in superficie sono rappresentati dalla Zona Sestri-Voltaggio (Cortesogno et al., 1979; Cortesogno & Haccard, 1984; Hoogerdujin Strating, 1994).

Alla fine dell'Oligocene inferiore, il contesto geodinamico regionale viene modificato dall'apertura del Bacino Ligure-Provenzale. Di conseguenza, tra l'Oligocene superiore e il Miocene medio, la cinematica di questa parte della catena alpina viene influenzata dagli eventi tettonici coevi alla costruzione della catena appenninica e la parte occidentale del bacino di retroforeland alpino viene incorporato in una nuova catena, ora a vergenza appenninica, differenziandosi in diversi domini tettono-stratigrafici, costituiti da successioni sedimentarie solo parzialmente confrontabili:

- l'Alto Monferrato e il bacino delle Langhe, sviluppati su un substrato costituito da unità metamorfiche alpine;
- il Monferrato e la zona Borbera-Grue, le cui successioni si sono deposte su unità liguri non metamorfiche (Piana & Polino, 1995; Biella et al., 1997);
- la Collina di Torino, poggiante su un substrato costituito da unità sudalpine (Mosca et al., 2009).

A partire dal Serravalliano, le successioni del BTP vengono coinvolte nella tettonica Nord-vergente padana (Falletti et al., 1995). I vari domini tettono-stratigrafici prima individuatisi vengono ad assumere la posizione di bacini satellite al di sopra del thrust belt sud-padano (Laubscher et al., 1992; Piana, 2000). Infine, nel Miocene superiore si individua il "thrust frontale padano" attraverso il quale il thrust belt sud-padano sovrascorre sull'avanfossa padana (ovvero appenninica) nel corso del Plio-Pleistocene.

In posizione interna rispetto al thrust belt sud-padano si riconoscono due settori in subsidenza (Alessandria e Savigliano), la cui evoluzione post-pleiocenica è da mettere in relazione a strutture compressive tardo mioceniche-attuali. In queste aree sono stati riconosciuti oltre 3.000 m di sedimenti plio-quadernari (Pieri & Groppi, 1981). Nel complesso la successione sedimentaria del BTP, prevalentemente terrigena-silicoclastica, si sviluppa dall'Eocene superiore al Miocene superiore (Messiniano), raggiungendo spessori che superano talora i 4.000 m (Mutti et al., 1995). Sulla base dei dati biostratigrafici e litostratigrafici, la successione sedimentaria del BTP è stata suddivisa in unità e gruppi di unità delimitati da superfici di discontinuità, cui corrispondono specifici eventi tettonici e variazioni assolute del livello marino.

#### 4.2.2 Successione sedimentaria del BTP

Delle varie unità che costituiscono la successione del Bacino Terziario Piemontese, nell'areale in cui ricade l'opera in progetto, si trovano le Breccie della Costa di Cravara (cR) e la Formazione di Molare (FM), costituita a sua volta da alcune litofacies caratteristiche.

##### 4.2.2a Breccie della Costa di Cravara

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collinari Italiani Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 17 di 39</span>

Brecce eterometriche, da monogeniche a poligeniche, a supporto di clasti organizzate in bancate plurimetriche mal definite ( Figura 4). I clasti presentano dimensioni decimetrico-metriche, a scarsa matrice è di colore grigiastro o verdastro. La composizione dei clasti è strettamente connessa alla natura del substrato; nel settore d'interesse sono sviluppate principalmente a spese dei metabasalti (B') dell'Unità Figogna.

La deposizione di questa unità è avvenuta in ambiente subaereo (breccia di versante/conoide da debris flow) in piccoli bacini discontinui (bacini intramontani), al di sopra di un substrato pre-oligocenico molto irregolare. La formazione è riferibile al Priaboniano?-Rupeliano p.p.



**Figura 4. Breccie della Costa di Cravara ad elementi di metabasalti (B') in località Val Carbonasca.**

#### 4.2.2b *Formazione di Molare*

Nel settore di studio l'unica formazione affiorante è rappresentata da una potente successione ruditico-arenitica riferibile al Rupeliano, di ambiente da continentale a marino marginale. In letteratura questi depositi sono indicati a ovest dello Scrivia come "formazione di Molare", mentre ad est si trovano i Conglomerati di Savignone e i Conglomerati della Val Borbera (Ghibaudo et al., 1985). In generale si tratta di depositi parzialmente coevi con un significato paleoambientale confrontabile. L'area di studio si trova ad ovest dello Scrivia e quindi, in conformità ai dati di letteratura, le suddette unità sono state indicate come formazione di Molare.

La formazione di Molare, che può raggiungere una potenza di oltre 1.500 metri (Gnaccolini et al., 1999), poggia in discontinuità angolare sul substrato metamorfico (unità tettonometamorfiche Figogna e Cravasco-Voltaggio, cfr. Foglio 213-230 "Genova" della Carta Geologica d'Italia) o sulla formazione delle Breccie della Costa di Cravara (cR). La formazione di Molare rappresenta i primi depositi della successione del BTP che si sedimentano su un substrato fortemente irregolare, caratterizzato da alti e bassi strutturali che ne determinano la forte variabilità nello spessore complessivo e nella composizione dei clasti. Da questo ne deriva inoltre che la superficie di

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collinari Italiani Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 18 di 39</span>

appoggio basale, geometricamente irregolare, spesso non è congruente con la giacitura della stratificazione regionale.

Le principali aree-sorgente dei clasti sono rappresentati, in questo settore, dalle unità tettonometamorfiche Figogna e Cravasco-Voltaggio; subordinatamente si trovano clasti riferibili alle “unità liguri” (come l’unità Erro-Tobbio) e a quelle “appenniniche” (Flysch dell’Antola).

All’interno della formazione di Molare sono state distinte cinque litofacies, caratterizzate da rapporti geometrici reciproci di sovrapposizione e/o di eteropia di facies:

- litofacies ruditica poligenica (FMp),
- litofacies ruditica a clasti calcarei dominanti (FMc),
- litofacies brecciosa (FMbc),
- litofacies siltoso-pelitica (FMs),
- litofacies arenacea (FMa).

Nello schema tettonostratigrafico sono tentativamente rappresentati i rapporti geometrici tra le varie unità sedimentarie del BTP interessate dall’opera, in relazione con l’assetto strutturale locale (Figura 5).

***NOTA:** in fase di Progetto Definitivo, all’interno della Formazione di Molare, sono state distinte varie unità tra cui il “Membro conglomeratico cementato a ciottoli calcarei” e il “Membro conglomeratico parzialmente cementato o non cementato”. Questa distinzione è stata fatta basandosi principalmente sulle caratteristiche che le due unità presentano in affioramento: il “Membro conglomeratico parzialmente cementato o non cementato” si presenta con superfici/pareti di aspetto prevalentemente calanchivo, mentre il “Membro conglomeratico cementato a ciottoli calcarei” sviluppa superfici nette, subverticali. Queste differenze nell’alterazione superficiale sono da imputarsi probabilmente ad una differente tipologia di cementazione; tuttavia, dall’osservazione di numerose carote di sondaggio che hanno attraversato queste unità, risulta evidente che, in profondità, la cementazione della Formazione di Molare è piuttosto omogenea all’interno di tutte le litofacies distinte (Figura 6). In conclusione quindi, in fase di Progetto Esecutivo, la distinzione tra le varie unità che costituiscono la Formazione di Molare è avvenuta basandosi sulle sole caratteristiche litologiche e tessiturali, prescindendo dalle caratteristiche che queste ultime presentano in affioramento.*

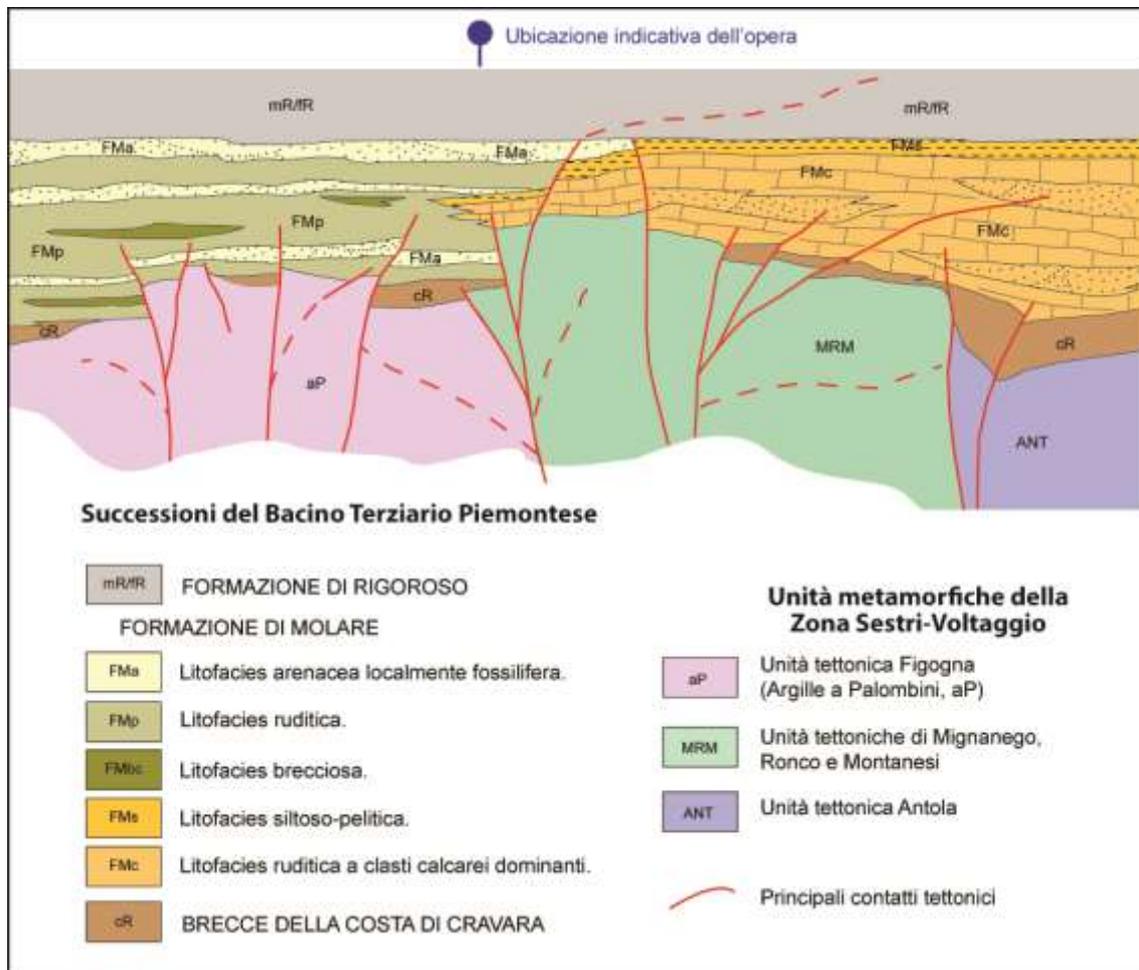


Figura 5. Schema tettonostratigrafico (sezione orientata indicativamente da ovest ad est) del settore interessato dall'opera.



Figura 6. Sondaggio AA301G115, Formazione di Molare, litofacies ruditica poligenica (FMp) (cf. "Membro conglomeratico parzialmente cementato o non cementato - Progetto Definitivo").

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Interregionali Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 20 di 39</span>

### Litofacies ruditica poligenica (FMp)

L'unità è costituita da conglomerati e subordinati livelli arenacei (Figura 7). I conglomerati da clast- a matrix-supported con matrice arenacea, si presentano in strati metrici, localmente gradati e con gli elementi di dimensioni inferiori embriicati. I ciottoli presentano un grado di arrotondamento variabile (da subangolosi a ben arrotondati) e consistono di metabasiti, serpentiniti, eclogiti, calcescisti, marmi e micascisti; localmente sono stati osservati anche dolomie e calcari. I clasti serpentinitici talora contengono asbesti in modeste quantità concentrati in fratture, anche se non si esclude che localmente possano essere presenti delle concentrazioni maggiori.



**Figura 7. - Litofacies ruditica poligenica (FMp): evidenti le alternanze di areniti grossolane e ruditi a scarsa matrice e clasti pluricentimetrici.**

I clasti hanno dimensioni medie tra 10 e 20 cm, ma eccezionalmente si possono trovare blocchi fino ad oltre 1 m di diametro. Localmente la successione risulta maggiormente organizzata, con strati gradati di potenza metrica a base erosionale. Gli strati arenacei, di potenza centimetrico-decimetrica, sono costituiti da litareniti con lamine oblique a piccola scala e piano-parallele. Il contenuto fossilifero è rappresentato esclusivamente da frustoli vegetali per lo più carbonizzati.

L'unità ha una potenza minima osservata di 400 metri circa ed è riferibile al Rupeliano, per inquadramento con le altre unità.

Nel complesso la litofacies ruditica poligenica è costituita da depositi di ambiente di transizione continentale-marino, connessi ad un sistema fluviale poco sviluppato di tipo torrentizio-braided in prossimità del suo sbocco in un'area bacinale (depositi di fan-delta *auct.*).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Intermodali Veicoli	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 21 di 39</span>

### Litofacies ruditica a clasti calcarei dominanti (FMc)

Conglomerati e brecce poligenici prevalentemente clast-supported, a matrice arenacea grigiastra (Figura 8). I clasti, da centimetrici a metrici, sono costituiti soprattutto da litotipi calcarei e dolomitici, e subordinatamente da basalti e metaofioliti. Gli elementi di maggiori dimensioni (max. 1-2 m) si trovano spesso concentrati ed allineati secondo la stratificazione principale, presentano una struttura clast-supported e sono probabilmente il risultato di un periodo più o meno prolungato di assenza di sedimentazione in cui la matrice più fine è stata allontanata per effetto dell'azione delle acque. In tutta la litofacies sono presenti livelli metrici di areniti grossolane microconglomeratiche, con laminazione piano-parallela (nei sedimenti più fini) e livelli di brecce calcaree ad elementi centimetrici.

L'unità ha una potenza minima osservata di 400 metri circa ed è riferibile al Rupeliano per inquadramento con le altre unità.

Da un punto di vista paleoambientale, ha un significato analogo a quello della litofacies ruditica poligenica (FMp), si tratta cioè di depositi riferibili ad un ambiente di transizione continentale-marino, fortemente dominato da apporti fluviali (depositi di fan-delta *auct.*).



**Figura 8. Litofacies ruditica a clasti calcarei dominanti (FMc) in prossimità del monte Porale.**

### Litofacies brecciosa (FMbc)

Si tratta di una breccia monogenica, a supporto di clasti, ad elementi di serpentiniti e subordinate metaperidotiti. Scarsa matrice argillosa grigio-verdastra. Localmente sono presenti blocchi di dimensioni metriche (Figura 9). Nel complesso si tratta di una litofacies presente a vari livelli stratigrafici all'interno della litofacies FMp. Lo spessore massimo osservato per questa unità varia da 50 a oltre 100m.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Intermodali Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 22 di 39</span>



**Figura 9. Dettaglio della litofacies brecciata monogenica ad elementi di serpentiniti (FMbc).**

Data la scarsa maturità composizionale e tessiturale e l'assenza di strutture sedimentarie, questi sedimenti possono essere interpretati come dei depositi di versante-conoide detritico ad alimentazione locale-intrabacinale, scarsamente mobilizzati.

Come indicato, la quasi totalità dei clasti è costituita da rocce serpentinitiche, tuttavia sul terreno è stata rilevata una presenza piuttosto scarsa di asbesti, concentrati in rare, sottili patine in frattura all'interno di alcuni clasti serpentinitici, anche se non si esclude che localmente possano essere presenti delle concentrazioni maggiori.

Questa unità è riferibile al Rupeliano per inquadramento con le altre unità.

#### Litofacies siltoso-pelitica (FMs)

Marne argillose, marne siltose e areniti molto fini, micacee, di colore grigiastro, con frustoli e frammenti vegetali carbonificati. In affioramento presentano spesso una coltre di alterazione argillosa di colore giallastro-ocra con spessori di 1-2 metri.

L'unità è arealmente poco diffusa, è stata osservata nel settore compreso tra le località di Sottovalle, Borlasca e Valle Carbonasca, dove raggiunge una potenza di 45-50 m circa; è riferibile al Rupeliano per inquadramento con le altre unità.

Nel complesso, l'assenza di strutture sedimentarie significative e l'abbondanza di resti vegetali suggerisce per questa litofacies una sedimentazione in ambiente marino prossimale/deltizio (parte distale di una piana fluviale?).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collaoratori Italiani Veicoli	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 23 di 39</span>

### Litofacies arenacea localmente fossilifera (FMa)

Unità costituita da arenarie da grossolane a fini (Figura 10) localmente fossilifere, in strati decimetrico-metrici gradati e caratterizzati, in affioramento, da fenomeni di cementazione differenziale; localmente sono presenti lamine oblique a basso angolo da tempesta (hummocky cross-stratification). Sono presenti, soprattutto nella parte inferiore della litofacies, intercalazioni centimetrico-decimetriche di conglomerati e microconglomerati ad elementi caratterizzati da un buon grado di arrotondamento e sfericità. Questi depositi sono intensamente bioturbati, con gallerie da bioturbazione di tipo Thalassinoides con diametro centimetrico.

Localmente alla base dell'unità è presente un livello a grossi ciottoli e blocchi interpretabile come un lag basale legato alla trasgressione marina o a un intervallo di stasi della sedimentazione. Talora sulle superfici dei blocchi sono presenti briozoi e foraminiferi incrostanti.

L'unità ha una potenza non superiore a 50 metri circa.

Dove presente, l'associazione fossilifera è costituita da *Nummulites fichteli*, bivalvi (pectinidi e ostreidi), echinodermi, alghe corallinacee, briozoi, scafopodi e coralli individuali. La presenza di *Nummulites fichteli* permette di riferire l'unità al Rupeliano p.p.

La litofacies FMa è stata deposta in un ambiente di rampa interna-media con sedimentazione prevalentemente silicoclastica o mista, caratterizzata da eventi da tempesta e da episodici apporti fluviali (flussi iperpicnali) in un probabile contesto di shoreface/frontera deltizio di sistemi deposizionali di fan delta.

Questa litofacies è presente e comune nella maggior parte dei settori del BTP (es. Carrosio, Ovada) dove costituisce l'unità stratigraficamente più alta della formazione di Molare, rappresentando i primi depositi francamente marini dell'intero Bacino Terziario Piemontese. Nel settore oggetto d'indagine invece, questa litofacies compare a più livelli stratigrafici indicando che in queste aree a forte controllo strutturale, la sedimentazione è caratterizzata da più cicli trasgressivo-regressivi indotti probabilmente dalla tettonica.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Interregionali Veicoli	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 24 di 39</span>



**Figura 10. Monte Porale-Valle Carbonasca. Litofacies arenacea FMa della formazione di Molare con evidenti gallerie di bioturbazione maggiormente cementate (parte alta dell'immagine).**

## 5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le indagini geognostiche ritenute significative per la ricostruzione geologico-idrogeologica del settore d'interesse sono di seguito elencate, secondo l'ordine in cui compaiono lungo la WBS in oggetto:

codice sondaggio	fase progettuale	caratteristiche/unità attraversate
L4-A-S4	PE	Argille a Palombini del Passo della Bocchetta + Metabasalti
L4-A-S4bis	PE	Argille a Palombini del Passo della Bocchetta + Metabasalti
L3-S18	PE	Argille a Palombini del Passo della Bocchetta + Metabasalti
L3-S18 bis	PE	sondaggio non proiettabile
SR15	PD	Formazione di Molare, Formazione delle Brecce della Costa di Cravara, Argille a Palombini del Passo della Bocchetta + Metabasalti
L2-S22	PE	Formazione di Molare
AA301G115	PP	Formazione di Molare
L2-S23	PE	Formazione di Molare

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Interurbani Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00
	Foglio 25 di 39

Per una descrizione dettagliata dei sondaggi si rimanda ai relativi elaborati.

## 6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

### 6.1.1 Considerazioni generali

L'area di studio è stata suddivisa su base litologica in diversi complessi idrogeologici a permeabilità differente distinguendo, lungo l'asse delle gallerie, settori con comportamento idrogeologico omogeneo. I sistemi di flusso idrico sotterraneo possono svilupparsi all'interno di un solo complesso idrogeologico, quando questo è limitato lateralmente da complessi meno permeabili, oppure possono attraversare più complessi permeabili adiacenti.

Per una trattazione generale relativa all'assetto idrogeologico dell'area d'interesse si rimanda alla relativa Relazione Idrogeologica Generale (GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-02-001-A00 e successive revisioni).

L'area d'interesse ricade nei complessi idrogeologici 4, 12, 13, 15 e 17 di seguito descritti.

### 6.1.2 Complesso 4 (c, d, aF)

I depositi quaternari non sono oggetto di interesse diretto per questa tratta poiché si sviluppa interamente nel substrato pre-quaternario. È comunque pertinente all'opera in progetto, vista la possibilità da parte di questi depositi di costituire dei serbatoi in grado di garantire una alimentazione rilevante a strutture idrogeologiche del substrato, che potrebbero essere intercettate dalla galleria.

In quest'area i depositi quaternari dominanti sono quelli della coltre detritico-colluviale che si forma a spese del substrato sottostante. La coltre ha spessore variabile, compreso tra 1 e 3 metri, a seconda della posizione rispetto al versante e del substrato da cui deriva.

La coltre, nelle porzioni più pellicolari, è costituita da elementi litoidi di taglia da subcentimetrica a decimetrica, immersi in matrice limoso-sabbiosa, e con caratteristiche variabili in funzione del litotipo di provenienza; per questo tipo di depositi si può parlare di conducibilità idraulica per porosità primaria. In profondità, dove il deposito consiste principalmente del substrato disarticolato si passa ad un contesto misto di permeabilità per fratturazione e porosità a seconda del grado di allentamento dell'ammasso roccioso.

Non sono disponibili prove di tipo idraulico per i depositi quaternari ma sembra comunque ragionevole presupporre una conducibilità stimata compresa tra  $1 \times 10^{-6}$  e  $1 \times 10^{-8}$  m/s.

### 6.1.3 Complesso 12 (FMc)

Dai dati di terreno emerge che questa facies della Formazione di Molare presenta generalmente un grado di cementazione piuttosto elevato anche in superficie. Si ritiene, perciò che la componente

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Interurbani Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00
	Foglio 26 di 39

della permeabilità data dalla porosità primaria sia da considerare nulla, facendo della permeabilità per fratturazione la componente dominante.

Non sono disponibili test idraulici eseguiti direttamente su questo complesso idrogeologico, ciononostante la conducibilità idraulica può essere assimilata per affinità tessiturali a quella delle altre facies della Formazione di Molare (cfr.6.1.4). Tali facies presentano per l'ammasso roccioso al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra  $1 \times 10^{-7}$  e  $1 \times 10^{-8}$  m/s; localmente si potrebbero riscontrare conducibilità maggiori (fino a  $1 \times 10^{-6}$  m/s) o minori (fino a  $1 \times 10^{-9}$  m/s).

Analogamente (cfr.6.1.4), anche per le zone di faglia la conducibilità idraulica è stata stimata, nell'ordine dei  $1 \times 10^{-6}/1 \times 10^{-8}$  m/s. Le osservazioni di terreno hanno infatti permesso di verificare che nelle zone di faglia che attraversano i litotipi di questo complesso sono presenti fenomeni di ricementazione che non consentono lo sviluppo di permeabilità particolarmente elevate. Si può ipotizzare che lungo le faglie del complesso le permeabilità maggiori siano relative sia alla zona di danneggiamento che alla zona di nucleo, essendo poco probabile l'effetto di compartimentazione, data la presenza di scarsa matrice fine.

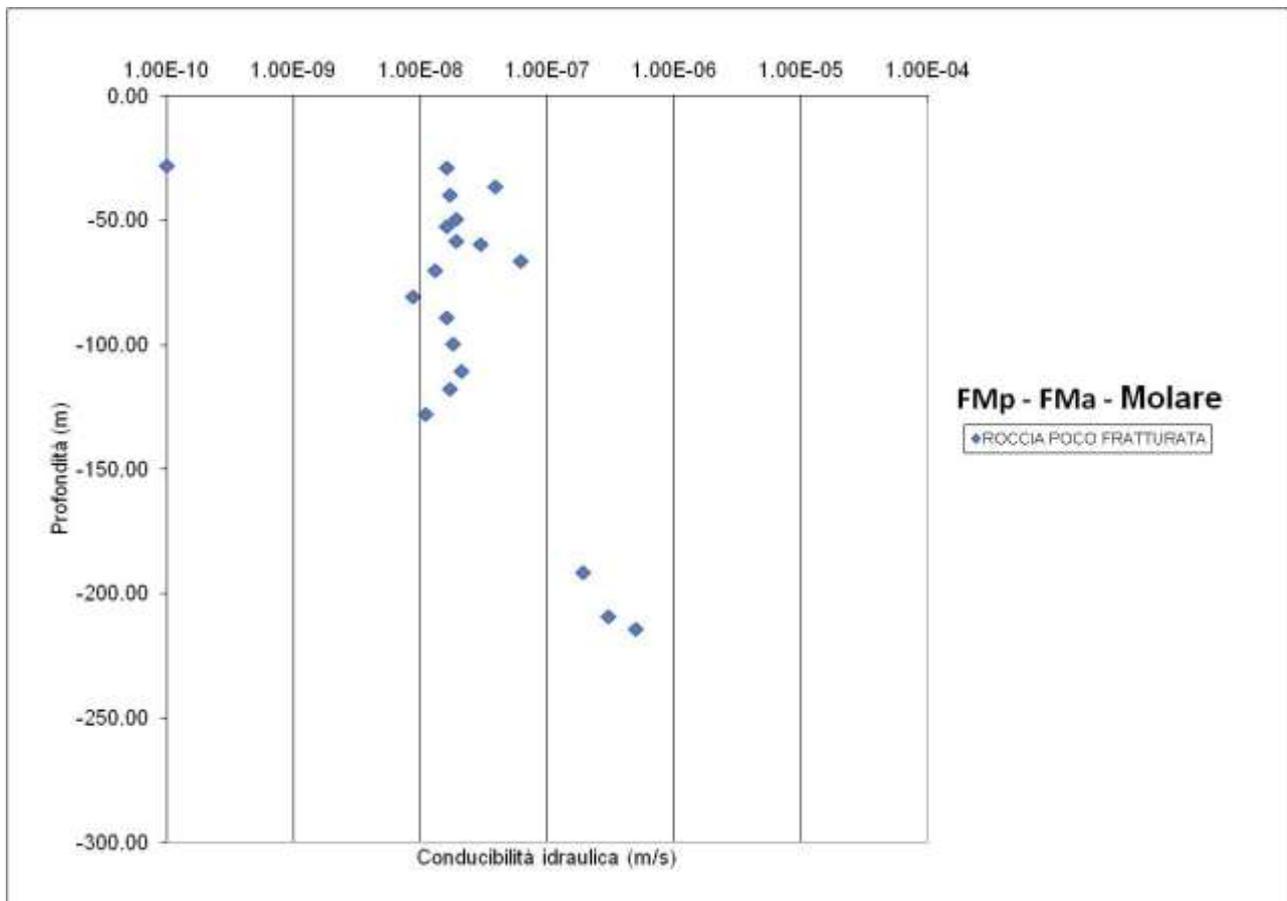
Contrariamente alle facies incluse nel Complesso 13, la facies che costituisce questo complesso è composta da prevalenti clasti carbonatici (cfr. 4.2.2b), ciò la rende suscettibile a fenomeni di dissoluzione chimica del carbonato che potrebbero portare localmente l'ammasso roccioso a conducibilità da alte a molto alte, a causa dello sviluppo di microcarsismo lungo le faglie e fratture. Inoltre, come è stato notato dai rilievi di terreno, in questa formazione possono essere sporadicamente presenti dei veri e propri fenomeni carsici, con la formazione di cavità allungate di dimensioni metriche, raramente interconnesse. Sembra tuttavia probabile che sia i fenomeni di dissoluzione sia i rari fenomeni carsici si verificano prevalentemente a livelli pellicolari dell'ammasso roccioso, indicativamente per profondità inferiori ai 100m. Non si può tuttavia escludere che sporadicamente i fenomeni di dissoluzione, con conseguenti associati incrementi di conducibilità idraulica, si spingano anche a profondità maggiori.

#### 6.1.4 Complesso 13 (FMp, FMbc, FMa, cR)

Dall'esame delle carote dei sondaggi disponibili emerge che a profondità maggiori di 10-20m generalmente i litotipi che costituiscono questo complesso presentano un grado di cementazione molto elevato. Pertanto il tipo di permeabilità dominante è quella per fratturazione, mentre la permeabilità per porosità può essere considerata irrilevante.

Delle eccezioni a questa condizione prevalente potrebbero esistere ove fossero presenti fenomeni di decementazione, come frequentemente accade a livelli pellicolari dell'ammasso roccioso (10-20m) nella litofacies FMp. Non si può escludere che fenomeni di decementazione siano sporadicamente presenti anche a profondità maggiori, indicativamente fino a 50-100m.

I test idraulici disponibili sull'intera area di progetto all'interno di questo complesso indicano per l'ammasso roccioso al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra  $1 \times 10^{-7}$  e  $1 \times 10^{-8}$  m/s.



**Figura 11. Grafico delle conducibilità idrauliche delle facies della Formazione di Molare (FMp e FMa) da prove sui sondaggi del Progetto definitivo (SR16) e preliminare (AA301G055, AA301G115).**

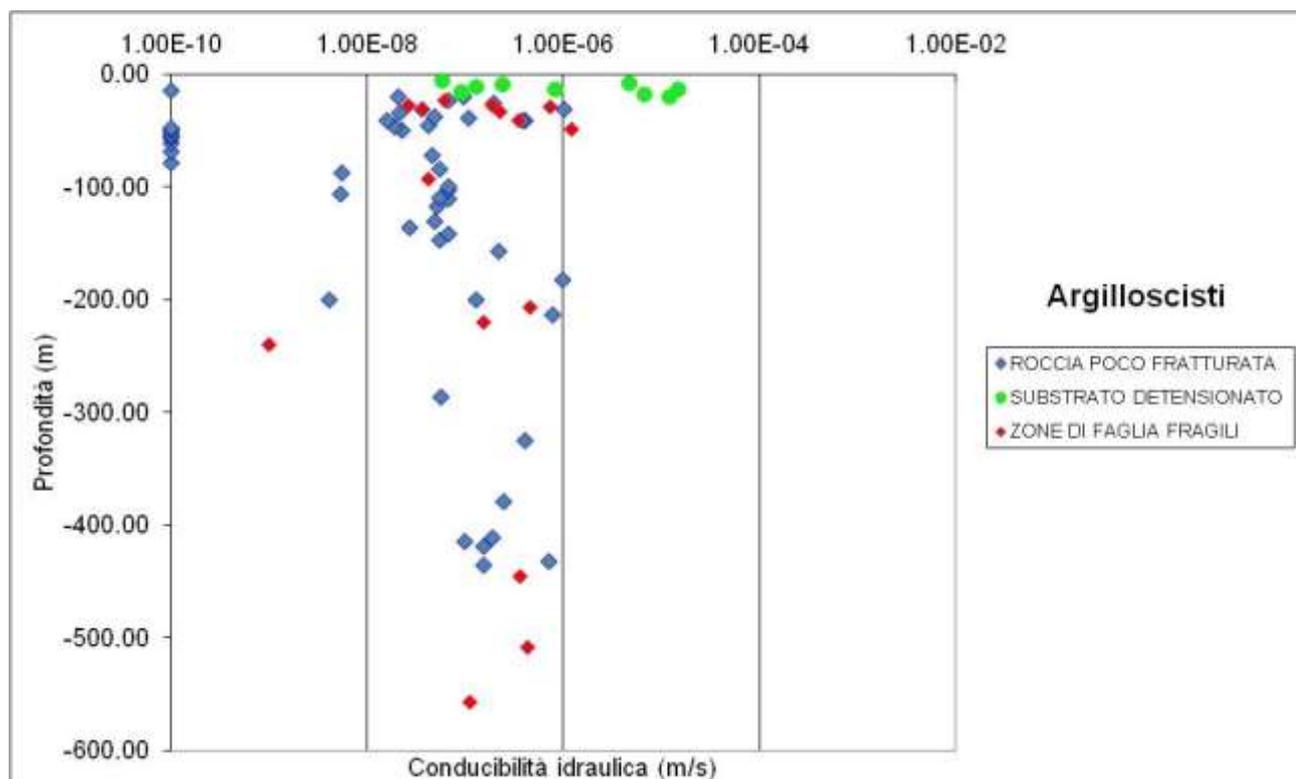
Il medesimo diagramma evidenzia che localmente si sono riscontrate anche conducibilità maggiori (indicativamente fino a  $1 \times 10^{-6}$  m/s) o minori (indicativamente fino a  $1 \times 10^{-9}$  m/s). Questi valori possono essere correlati a stati di fratturazione particolari e locali dell'ammasso roccioso.

Nelle zone di faglia non sono stati eseguiti test idraulici. Per questi elementi tettonici, che generalmente costituiscono anche i principali elementi idrogeologici dell'ammasso roccioso, sono comunque state stimate delle conducibilità idrauliche piuttosto ridotte, dell'ordine dei  $1 \times 10^{-6}/1 \times 10^{-8}$  m/s. Le osservazioni di terreno hanno infatti permesso di verificare che nelle zone di faglia che attraversano i litotipi di questo complesso sono presenti fenomeni di ricementazione che non consentono lo sviluppo di permeabilità particolarmente elevate. Si può ipotizzare che lungo le faglie del complesso le permeabilità maggiori siano relative alle zone di danneggiamento, mentre le zone di nucleo possono presentare un effetto compartimentante per la presenza più o meno continua di prodotti di frizione tettonica con granulometria fine.

#### 6.1.5 Complesso 15 (aP, dM, d'', f, Mn)

I litotipi di questo complesso idrogeologico fanno parte di unità metamorfiche ove la permeabilità è sostanzialmente legata al grado di fratturazione dell'ammasso roccioso, a sua volta dipendente dalla reologia del tipo di roccia considerato.

I test idraulici disponibili sull'intera area di progetto indicano per l'ammasso roccioso al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra  $1 \times 10^{-7}$  e  $1 \times 10^{-8}$  m/s, meno frequentemente tendenti  $1 \times 10^{-6}$  m/s, come evidenziato dal diagramma di Figura 12.



**Figura 12. Grafico delle conducibilità idrauliche per gli argilloscisti da prove in foro di sondaggi del progetto preliminare e definitivo. Sono state distinte prove eseguite in roccia poco fratturata, substrato detensionato e zone di faglia.**

Il grafico evidenzia, altresì, valori per la conducibilità fino a  $1 \times 10^{-10}$  m/s che possono essere riconducibili a situazioni locali in cui la frazione fillosilicatica, essendo predominante, abbassa ulteriormente i valori di conducibilità dell'ammasso roccioso.

Dall'osservazione dei sondaggi è stato possibile inserire nel diagramma di Figura 12 una serie di dati che rappresentano la permeabilità dell'ammasso roccioso detensionato nei primi metri al di sotto della superficie (indicativamente da 5 fino a 20 m); tali dati mostrano conducibilità molto più elevate, comprese tra  $1 \times 10^{-5}$  e  $1 \times 10^{-7}$  m/s.

Dall'analisi dei sondaggi e dal confronto con i dati di terreno sono state individuate delle zone di faglia ove sono state eseguite delle prove di tipo idraulico. Il grafico (Figura 12) mostra una certa dispersione dei valori, anche se si può osservare che la conducibilità nelle faglie è distribuita in un

intervallo tra  $10^{-6}$  e  $10^{-7}$  m/s nelle prove eseguite a profondità più basse (fino a 100 m), mentre l'intervallo si sposta tra  $10^{-7}$  e  $10^{-9}$  m/s man mano che la profondità aumenta. Dalle osservazioni di terreno si può ipotizzare che lungo le faglie di questo complesso le permeabilità maggiori siano relative alle zone di danneggiamento, mentre le zone di nucleo possono presentare un effetto di compartimentazione per lo sviluppo di rocce di faglia a granulometria fine e con componente argillosa generalmente impermeabile.

### 6.1.6 Complesso 17 (B', B'')

I litotipi di questo complesso idrogeologico presentano un comportamento reologico generalmente più fragile rispetto a quello dei litotipi della maggior parte degli altri complessi. Ciò determina una maggior persistenza e spesso anche pervasività delle fratture; pertanto il grado di permeabilità, anche in condizioni di normale stato di fratturazione (ovverosia fuori dalle zone di faglia), risulta maggiore che negli altri complessi.

I test idraulici disponibili sull'intera area di progetto indicano per l'ammasso roccioso al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra  $1 \times 10^{-6}$  e  $1 \times 10^{-7}$  m/s come evidenziato dal diagramma di Figura 13.

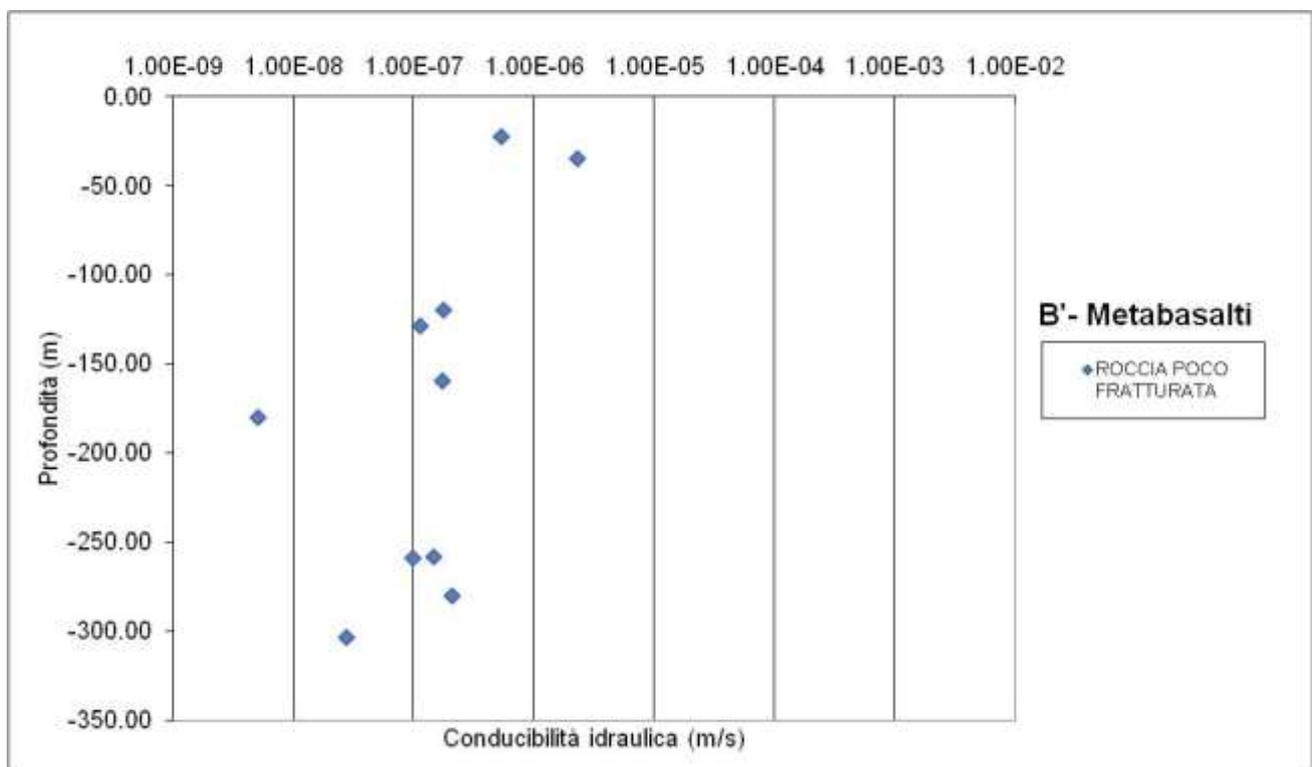


Figura 13. Grafico delle conducibilità idrauliche per i metabasalti da prove in foro di sondaggi del progetto preliminare e definitivo.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Interregionali Veicoli	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 30 di 39</span>

Localmente si sono riscontrate anche conducibilità minori (fino a  $1 \times 10^{-8}$  m/s), valori che possono essere correlati a un basso stato di fratturazione o a una scarsa apertura delle fratture legata alla elevata copertura topografica.

Nelle zone di faglia non sono stati eseguiti test idraulici. Per questi elementi tettonici sono comunque state stimate delle conducibilità idrauliche dell'ordine dei  $1 \times 10^{-4}/1 \times 10^{-7}$  m/s. Infatti le osservazioni di terreno hanno messo in luce la presenza di faglie mediamente caratterizzate da un'ampia zona di danneggiamento in cui il grado di fratturazione e quindi la permeabilità sono più elevate. La zona di nucleo generalmente non è caratterizzata dalla presenza di rocce di faglia ma da un piano di frattura principale con permeabilità analoghe a quelle della zona di danneggiamento. Pertanto fenomeni di compartimentazione lungo la faglia, pur non potendo essere esclusi, sono ritenuti poco probabili.

## 7 ASPETTI CORRELATI ALLA GEOMORFOLOGIA E ALLA GEOLOGIA DEL QUATERNARIO

Data la posizione dell'opera prevista, che si colloca ad alcune centinaia di metri al di sotto del piano campagna, l'influenza di fenomeni geomorfologici superficiali e della presenza di depositi gravitativi e/o fluviali è da ritenersi di scarsa rilevanza.

Nella carta geologico-geomorfologica allegata, sono comunque riportati i principali depositi alluvionali pleistocenico-attuali, gli accumuli dei principali fenomeni gravitativi e le forme del paesaggio ad esse connessi.

## 8 PROBLEMATICHE GEOLOGICHE IN RELAZIONE ALLO SCAVO IN GALLERIA

### 8.1 Condizioni geologiche attese in corrispondenza dell'opera

Nel tratto della galleria di valico compreso tra le PK 17+690,03 e 20+998,53 (WBS ex GN15R) è previsto l'attraversamento delle Argille a Palombini del Passo della Bocchetta (aP), dei Metabasalti (B'), delle Breccie della Costa di Cravara (cR) e della Formazione di Molare (Fmbc e FMp).

Il tratto compreso tra le **PK17+690,03/18+300 ca.**, **PK18+900/19+300 ca.** e **PK 19+575/19+680 ca.** attraversa i metabasalti (B'); si tratta di basalti a pillow, localmente massivi, con livelli brecciosi. Si presentano con colorazioni che vanno dal verde scuro al bruno-violaceo nei punti in cui sono maggiormente alterati. Localmente contengono corpi filoniani.

Il tratto compreso tra le **PK18+300/18+900 ca.** e **PK19+300/19+575 ca.** e attraversa le Argille a Palombini del passo della Bocchetta (aP-AGI). A quota galleria (Figura 11) si presentano come argilliti di colore grigio scuro con livelli e di metasedimenti calcarei (con spessore massimo di 5-6 cm). Presentano evidenti strutture plicative, alla mesoscala. Localmente sono sviluppate vene e noduli di quarzo e calcite con spessore da millimetrico a centimetrico. Sono inoltre presenti livelli di cataclasi caratterizzate argille di colore grigio scuro con elementi millimetrici di argilliti

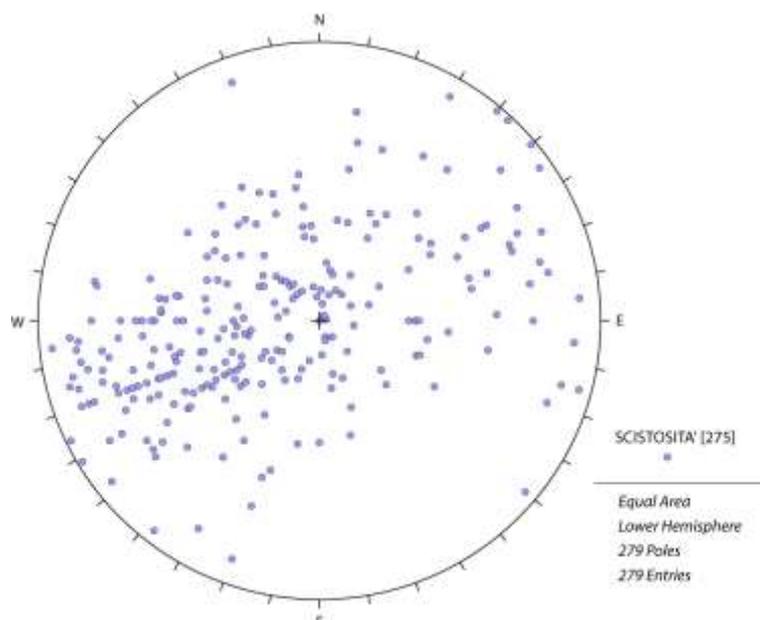
GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Interregionali Veicoli	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 31 di 39</span>

metamorfiche e subordinatamente clasti di calcite o quarzo, angolari, alterati (con diametro massimo di 2-4 cm).

L'andamento medio della scistosità principale (Figura 15) misurato nelle Argille a Palombini del Passo della Bocchetta, in accordo con i dati di letteratura, è riferibile agli eventi deformativi D1/D2.



Figura 14. Argille a palombini del Passo della Bocchetta (aP), Sondaggio SR15.

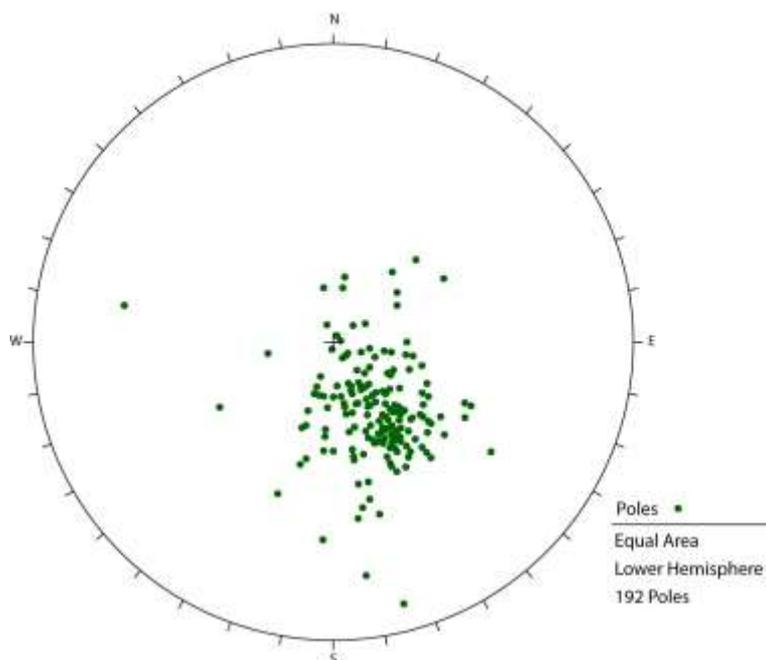


GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Interregionali Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00	Foglio 32 di 39

**Figura 15. Stereogramma dei poli della scistosità principale (D1/D2) all'interno delle Argille a Palombini del Passo della Bocchetta (aP).**

Il tratto compreso tra le **PK 19+680 ca./19+775 ca.** attraversa presumibilmente la litofacies ruditica poligenica (FMp) della Formazione di Molare caratterizzata da alternanze irregolari di livelli ruditici grossolani e livelli arenitici-microconglomeratici. Inoltre è possibile che localmente si trovino blocchi di dimensioni metriche isolati all'interno della litofacies. Come evidenziato nel profilo geologico, non si esclude la presenza di corpi a geometria lenticolare, spessore metrico ed estensione laterale plurimetrica, riferibili alla litofacies brecciosa (FMbc) e/o alla litofacies ruditica ad elementi calcarei dominanti (FMc).

L'andamento medio della stratificazione delle unità sedimentarie è riportato nello stereogramma di Figura 18.



**Figura 16. Stereogramma dei poli della stratificazione delle successioni sedimentarie del BTP.**

### 8.1.1 Presenza di faglie

L'insieme dei dati derivanti dal Progetto Definitivo, dalla bibliografia e dalle nuove verifiche eseguite sul terreno, ha permesso di ipotizzare una maggior presenza di strutture disgiuntive (faglie normali, inverse e trascorrenti) rispetto a quanto precedentemente prospettato.

Le evidenze morfologiche di un sistema di faglie ben sviluppato con direzione circa est-ovest sono state verificate e confermate dai nuovi rilievi di terreno che hanno messo in luce l'esistenza di faglie di tipo trascorrente e di sistemi coniugati, sia all'interno delle successioni sedimentarie del Bacino Terziario Piemontese, sia nelle successioni metamorfiche. Nel complesso, il passo medio delle strutture è di circa 300-700 m il che comporta un maggior numero di discontinuità fragili rispetto al Progetto Definitivo, riportate a titolo previsionale lungo il profilo longitudinale.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Intermodali Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00
	Foglio 33 di 39

A titolo d'esempio è qui descritta la struttura presente in prossimità della **pk 19+575**. Si tratta di una faglia a medio-alto angolo immergente verso S come evidenziato dal sondaggio SR15. La roccia di faglia è costituita da un gouge argilloso ad elementi di argillocisti e basalti (Figura 17), sono inoltre presenti indizi dello sviluppo di piani a basso angolo.



**Figura 17. Sondaggio SR15, esempio di come si presentano le Argille a Palombini del Passo della Bocchetta in condizioni indisturbate (in basso) e quando sono attraversate da una faglia (in alto, gouge sviluppato a spese di argille/argillocisti).**

### 8.1.2 Piani di taglio a basso angolo

In fase di Progetto Definitivo erano state ipotizzate delle strutture tettoniche a basso angolo all'interno delle formazioni di Molare e Rigoroso; esse sono state osservate e caratterizzate ulteriormente nel corso delle verifiche di terreno relative alla fase di PE. Benché sul profilo previsionale non siano rappresentate strutture di questo tipo perché mai osservate in affioramento o nei sondaggi è bene comunque tenere presente che la loro presenza non può essere esclusa e la mancanza di osservazioni al riguardo in questa WBS può essere legata a problematiche di campionamento.

I piani a basso angolo sono più pervasivi e con persistenza laterale maggiore all'interno della successione sedimentaria del Bacino Terziario Piemontese mentre, all'interno delle unità metamorfiche la deformazione indotta da queste strutture è spesso dissipata da scorrimenti di piccola entità lungo i piani della scistosità principale.

Le zone di taglio osservabili in affioramento nel BTP fuori della zona di interesse hanno giacitura subparallela alla stratificazione e una potenza apparente di 70-80 m. All'interno della zona di taglio le superfici di stratificazione sono completamente obliterate e si osserva una ripetizione a scala centimetrico-decimetrica di superfici di movimento, principali e associate. Il grado di fratturazione della roccia all'interno della zona di taglio è estremamente elevato e qualora una di tali zone dovesse essere intercettata dallo scavo potrebbe causare un notevole decadimento della qualità geotecnica dell'ammasso roccioso.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collagarrani Itinerali Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 34 di 39</span>

### 8.1.3 Grado di fratturazione medio al di fuori delle zone di faglia

Il grado di fratturazione è generalmente medio per le Argille a Palombini (aP) e medio-alto per i metabasalti (B') che hanno un comportamento reologico tipico di materiali più rigidi e che quindi presentano giunti a persistenza più elevata, che comunemente non si propagano all'interno delle Argille a Palombini.

## 8.2 Afflussi in galleria

La stima degli afflussi in fase di scavo è stata effettuata sulla base di diversi parametri quali la conducibilità idraulica dei vari complessi idrogeologici (cfr. 6), il carico idraulico, la presenza di zone di faglia e fratturazione, la presenza di zone carsificate o con fenomeni di dissoluzione del carbonato. I valori di afflusso attribuiti scaturiscono, inoltre, dall'esperienza acquisita durante lo scavo di tunnel in contesti simili e dall'analisi bibliografica sui dati idrogeologici di tunnel già scavati. Sono inoltre disponibili i dati dei tratti già scavati delle finestre Val Lemme e Castagnola.

Sui profili allegati, per l'attribuzione degli afflussi in fase di scavo è stata utilizzata la classificazione di Bieniawski (1989), individuando 4 classi che definiscono una portata stimata in l/s normalizzata per 10 m di scavo (Tabella 1). In alcuni casi, nelle fincature dei profili allegati sono stati aggiunti dei simboli "-", "- -", "+" e "++" che indicano possibili aumenti locali di una (- e +) o due (-- e ++) classi di portata rispetto alla classe prevalente prevista. La probabilità di occorrenza dei suddetti aumenti/diminuzioni rispetto alla classe principale è stata stimata nell'ordine dello 0-30%.

Di seguito viene presentata una breve descrizione dell'assetto idrogeologico atteso per tratte idrogeologicamente omogenee lungo il tracciato.

Classe	Stima degli afflussi in fase di scavo (l/s per 10 m di scavo)
1	0-0.16
2	0.16-0.4
3	0.4-2
4	>2

**Tabella 1 – Descrizione delle classi stimate per gli afflussi in galleria in regime transitorio secondo la classificazione di Bieniawski (1989), espressa in l/s per 10 m di scavo.**

E' bene precisare che nella descrizione che segue le portate descritte sono quelle transitorie, ovvero quelle che si verificano nelle prime ore/giorni dallo scavo. Poiché le portate di una galleria variano in funzione della sezione drenante considerata, ovvero della tratta considerata, nell'ambito del presente studio si è scelto di riferirsi alle portate drenate su 10m di galleria. Tale criterio, che viene comunemente adottato nell'ambito delle previsioni di scavo di una galleria, si giustifica ove si consideri che la lunghezza di 10m corrisponde allo sviluppo medio di una tratta di scavo giornaliera. I valori delle portate sono stati inoltre stimati assumendo che la galleria drena

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collinari Italiani Veicoli	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00
	Foglio 35 di 39

liberamente, in assenza di rivestimenti impermeabilizzanti o operazioni di riduzione della permeabilità (es. iniezioni di malte cementizie o resine).

Anche per i carichi idraulici è bene precisare che quelli descritti nel seguito sono dei carichi idraulici stimati per le condizioni idrogeologiche imperturbate, ovverosia prima dell'inizio degli scavi. A seguito degli scavi, i carichi tenderanno poi a diminuire in maniera consistente. Se la galleria viene lasciata libera di drenare senza operazioni di riduzione della permeabilità al contorno, i valori di carico idraulico a costruzione terminata e rivestimenti ultimati, potranno indicativamente attestarsi su valori compresi tra lo 0% e il 30% del valore iniziale imperturbato. E' bene precisare che già in corso di scavo, via via che il fronte avanza tenderà ad incontrare condizioni di carico idraulico già parzialmente differenti da quella naturale, a causa del drenaggio innescato dalla tratta già eseguita retrostante il fronte. Va altresì rimarcato che i valori di carico idraulico qui riferiti sono quelli da tenere in conto qualora si intendesse procedere alla realizzazione di un rivestimento non drenante, poiché verosimilmente, in assenza di drenaggio, in tempi più o meno prolungati a seconda della permeabilità e della ricarica dalla superficie (mesi/anni) il carico idraulico naturale tenderebbe in linea di massima a ripristinarsi.

### 8.2.1 Tratta pk 18+275/18+900 e 19+300/19+550

Permeabilità/connettività: in questi settori, localizzati all'interno del complesso idrogeologico 15, il grado di permeabilità atteso nei tratti privi di discontinuità rilevanti è da basso a molto basso con corrispondente connettività ridotta, fatta eccezione per la presenza di lenti di basalti di estensione e posizione incerta che potrebbero portare a locali aumenti del grado di permeabilità (medio-alta).

Nelle tratte in cui è prevista l'intersezione con zone di faglia, cautelativamente si può stimare che si possano incontrare sporadiche zone ad elevata permeabilità intervallate da frequenti zone a permeabilità moderata. Sembra ragionevole ipotizzare che il grado di connettività sia abbastanza basso, anche nei settori dove la permeabilità è maggiore, dal momento che i rilievi di terreno mettono in evidenza una scarsa persistenza dei sistemi di frattura correlati alla faglia e la presenza di abbondante matrice fine.

Carichi idraulici: il carico idraulico stimato è compreso tra 150 e 250 m, non sono disponibili dati da sondaggi circa il livello d'acqua.

Portate massime transitorie: le portate massime transitorie stimate sono riferibili alla classe 1. Si ipotizza un locale passaggio alla classe 2/3 in corrispondenza di eventuali lenti di basalto, ed in corrispondenza delle faglie.

Va comunque notato che le previsioni di afflusso per le faglie presenti negli argilloscisti (classe 3) sono da considerarsi piuttosto conservative, tenendo in conto che esse sono basate su dati di permeabilità desunti da prove idrauliche puntuali realizzate nei sondaggi eseguiti, mentre lo scavo delle finestre in corso (particolarmente Val Lemme e Polcevera), che rappresenta sicuramente un dato statisticamente più rappresentativo, sta dimostrando che verosimilmente la conducibilità negli argilloscisti è ancora minore di quella originariamente prevista. Difficilmente gli afflussi transitori, anche in zona di faglia saranno superiori alla classe 2.

GENERAL CONTRACTOR  <small>Consorzio Collagarrani Itinerali Veloci</small>	ALTA SORVEGLIANZA  <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 36 di 39</span>

### 8.2.2 Tratta pk 17+790/18+275, 18+900/19+300 e 19+550/19+680

Permeabilità/connettività: in questi settori, localizzati all'interno del complesso idrogeologico 17 (Basalti), il grado di permeabilità atteso nei tratti privi di discontinuità rilevanti è medio, poiché i litotipi di questo complesso mostrano fratture piuttosto conduttive.

Nelle tratte in cui è prevista l'intersezione con zone di faglia, la permeabilità può divenire anche piuttosto elevata e può essere accompagnata da un buona grado di connettività, con corrispondente discreta capacità di ricarica.

Carichi idraulici: i carichi idraulici stimati sono variabili nell'intervallo tra 100 e 200 m.

Portate transitorie: le portate massime transitorie stimate sono riferibili alle classi 2 e 3 (tra 0,16 e 2 l/s\*10m) nei settori esterni alle zone di deformazione delle faglie; in corrispondenza delle faglie si potrebbero incontrare venute di ordine anche superiore ai 2l/s\*10m.

### 8.2.3 Tratta pk 19+677 / fine WBS

Permeabilità/connettività: la tratta si trova all'interno della Formazione di Molare, in particolare nelle litofacies brecciosa (FMbc) e ruditica parzialmente cementata (FMp). Ad entrambe è stato attribuito un grado di permeabilità basso dato dallo scarso grado di fratturazione media dell'ammasso roccioso osservata in superficie ed una conseguente modesta connettività delle fratture.

Carichi idraulici: il carico idraulico è stimato piuttosto elevato, compreso tra i 150 e i 200 m.

Portate massime transitorie: le portate massime transitorie stimate sono riferite alla classe 1 con passaggio alla classe 2 in corrispondenza delle faglie principali.

## 8.3 Interferenze con le risorse idriche superficiali

Al fine di valutare la possibile interferenza tra l'opera e le risorse idriche di superficie è stato calcolato un indice di pericolosità di isterilimento per le sorgenti (Drawdown Hazard Index DHI, Dematteis et al., 1999). Si tratta di una metodologia di analisi probabilistica applicata allo scavo in sotterraneo, il cui approccio si basa sull'utilizzo di matrici di interazione binaria e globale (Hudson, 1992 e Jiao, 1995).

La quasi totalità di queste sorgenti mostra una pericolosità trascurabile, essendo sorgenti la cui portata è principalmente garantita da circuiti superficiali che non dovrebbero interferire con l'opera in sotterraneo.

Per una trattazione più approfondita di questa tematica si rimanda alla relazione idrogeologica generale ed ai relativi elaborati grafici (Carta di pericolosità d'isterilimento delle risorse idriche).

La maggior parte delle sorgenti presenti nell'intorno significativo della WBS mostra una pericolosità trascurabile, essendo sorgenti la cui portata è principalmente garantita da circuiti superficiali che non dovrebbero interferire con l'opera in sotterraneo.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <div style="float: right;">Foglio 37 di 39</div>

Alle sorgenti SVO12, SVO13, SVO14, SVO15, SVO16, SVO26, SVO329, SVO 340 E SVO197 è stata attribuita una pericolosità di isterilimento bassa, mentre alla SVO198 è stata attribuita una pericolosità media.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collinari Italiani Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 38 di 39</span>

## 9 BIBLIOGRAFIA

- Biella G., Polino R., De Franco R., Rossi P.M., Clari P., Corsi A. & Gelati R. (1997) - The crustal structure of the western Po plain: reconstruction from the integrated geological and seismic data. *Terra Nova*, 9: 28-31.
- Boni A. & Casnedi R. (1970) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000: Fogli 69 e 70 "Asti" e "Alessandria". Poligrafica & Carte Valori, Ercolano: 64 pp.
- Capponi, G. & Crispini, L. (1997) - Progressive shear deformation in the metasediments of the Voltri Group (Ligurian Alps, Italy): occurrence of structures recording extension parallel to the regional foliation. *Boll. Soc. Geol. It.*, 116, 267 - 277.
- Capponi, G. & Crispini, L. (2002) - Structural and metamorphic signature of alpine tectonics in the Voltri Massif (Ligurian Alps, northwestern Italy). *Eclogae geol. Helv.*, 95, 31-42.
- Capponi, G., Crispini, L., Giammarino, S., Bruzzo, D., Garofano, M., Lano, M., Piazza, M., Vigo, E., Del Tredici, S. & Pacciani, G. (2007) – Carta Geologica d'Italia. Foglio 231-214 Genova. Progetto CARG, Università di Genova/Dip.Te.Ris., Regione Liguria.
- Capponi, G., Crispini, L., Piazza, M. & Amandola, L. (2001) - Field constraints to the Mid-Tertiary kinematics of the Ligurian Alps. *Ofioliti*, 26(2b), 409-416.
- Capponi, G., Crispini, L., Cortesogno, L., Gaggero, L., Firpo, M., Piccazzo, M., Cabella, R., Nosengo, S., Bonci, M.C., Vannucci, G., Piazza, M., Ramella, A., Perilli, N., et alii (2009) - Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 213-230 – Genova.
- Castellarin A. (1994) – Strutturazione eo- e mesoalpina dell'Appennino settentrionale attorno al "nodo ligure". *Studi Geol. Camerti*, vol. spec., CROP 1-1A: 99-108.
- Cortesogno L., Di Battistini G., Lucchetti G. & Venturelli G. (1979) - Metamorphic assemblages of two high pressure-low temperature ophiolitic units of central-western Liguria: mineralogical and chemical features and tectonic significance. *Ofioliti*, 4 (2): 121-156.
- Cortesogno L. & Haccard D. (1984) - Note illustrative alla carta geologica della zona Sestri-Voltaggio. *Mem. Soc. Geol. It.*, 28: 115-150.
- 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), 161-164.
- Dematteis, A., Kalamaras, G. & Eusebio, A. (1999) - A systems approach for evaluating springs drawdown due to tunneling. *Atti del convegno AITES ITA*, 69 Hudson, 1992.
- Elter P. & Pertusati P. (1973) – Considerazioni sul limite Alpi-Appennino e sulle sue relazioni con l'arco delle Alpi occidentali. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 12: 359-375.
- Falletti P., Gelati R. & Rogledi S. (1995) - Oligo-Miocene evolution of Monferrato and Langhe, related to deep structures. In: R. POLINO & R. SACCHI (Ed.) *Atti Convegno Rapporti Alpi-Appennino*. Acc. Naz. Sci., Sc. Doc., 14: 1-19.
- Fantoni R., Bello M., Ronchi P. & Scotti P. (2002) - Po Valley oil play: from the Villafortuna-Trecate field to South Alpine and Northern Apennines exploration. *EAGE Conf. Florence, Extended Abstracts Book*: 4 pp.
- Federico, L., Capponi, G., Crispini, L., & Scambelluri, M. (2004) - Exhumation of alpine high-pressure rocks: insights from petrology of eclogite clasts in the Tertiary Piedmontese basin (Ligurian Alps, Italy). *Lithos*, 74 , 21-40.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Italiani Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN15-10-001-A00 <span style="float: right;">Foglio 39 di 39</span>

- Ghibaudo G., Clari P. & Perello M. (1985) - Litostratigrafia, sedimentologia ed evoluzione tettonico-sedimentaria dei depositi miocenici del margine Sud-Orientale del Bacino Terziario Ligure-Piemontese (Valli Borbera, Scrivia e Lemme). *Boll. Soc. Geol. It.*, 104: 349-397.
- Gnaccolini M., Gelati R. & Falletti P. (1999) - Sequence Stratigraphy of the "Langhe" Oligo-Miocene Succession, Tertiary Piedmont Basin, Northern Italy. In: DE GRACIANSKY P.C., HARDENBOL J, JACQUIN T. & VAIL P. (Eds.), *Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins*. SEPM, Spec. Publ., 60: 233-244.
- Haccard, D. (1976) - Carte géologique au 1:50000 de Sestri-Voltaggio. Pubblicazione CNR, Pisa.
- Hoogerduijn Strating E.H. (1994) - Extensional faulting in an intraoceanic subduction complex - working hypothesis for the Paleogene of the Alps-Appennine system. *Tectonophysics*, 238: 255-273.
- Laubscher H.P., Biella G.C., Cassinis R., Gelati R., Lozej A., Scarascia S. & Tabacco I. (1992) - The collisional Knot in Liguria. *Geol. Rund.*, 81: 275-289.
- Mosca P., Polino R., Rogledi S. & Rossi M. (2009) - New data for the kinematic interpretation of the Alps-Appennines junction (Northwestern Italy). *Int. J. Earth Sc.*, 99, 833-849.
- Mutti E., Papani L., Di Biase D., Davoli G., Mora S., Segadelli S. & Tinterri R. (1995) - Il Bacino Terziario Epimesoalpino e le sue implicazioni sui rapporti tra Alpi ed Appennino. *Mem. Sci. Geol.*, 47: 217-244.
- Piana, F., Falletti, P., Fioraso, G., Irace, A., Mosca, P., et alii (in prep.) – Carta geologica del Piemonte in scala 1:250.000. Consiglio Nazionale delle Ricerche, IGG Torino; Università degli Studi di Torino, DST; Politecnico di Torino, DIATI.
- Piana F. & Polino R. (1995) - Tertiary structural relationships between Alps and Appennines: the critical Torino Hill and Monferrato area, Northwestern Italy. *Terra Nova*, 7: 138-143.
- Pieri M. & Groppi G. (1981) - Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy, *Quad. CNR, Prog. Fin. Geodinamica*, Roma: 1-13.
- Polino, R., Clari, P., Crispini, L., D'Atri, A., Dela Pierre, F., Novaretti, A., Piana, F., Ruffini, R. & Timpanelli, M. (1995) - Rapporti Alpi-Appennino e guide alle escursioni. *Atti del Convegno: "Rapporti tra Alpi e Appennino"*, Accademia Nazionale delle Scienze, 14, 531-593.
- Roure F., Polino R. & Nicolich R.P. (1990) - Early Neogene deformation beneath the Po plain: constraints on the post-collisional Alpine evolution. *Mém. Soc. Géol. France N. S.*, 156: 309-322.
- Roure F., Bergerat F., Damotte, B., Mugnier, J.L. & Polino R. (1996) - The ECORS-CROP Alpine seismic traverse. *Mem. Soc. Géol. France*, 170: 1-113.