

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 PARI  
DA PK 17+780.00 A PK 19+700.00 (EX GN14R)**

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA**

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

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 3	E	C V	R O	G N 1 4 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-GN14-10-001-A00.docx
-----------	--

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collimatori Integrali Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx <span style="float: right;">Foglio 2 di 31</span>

## INDICE

INDICE.....	2
1   PREMESSA .....	4
2   NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
3   ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO .....	4
4   INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE .....	5
5   CARATTERISTICHE LITOLOGICHE .....	7
5.1   Unità Figogna.....	7
5.1.1   Argille a Palombini del Passo della Bocchetta, aP (Cretaceo inf.).....	8
5.1.2   Metabasalti (B'), (cf. Metabasalti del M. Figogna).....	9
5.2   Unità del Bacino Terziario Piemontese .....	9
5.2.1   Formazione di Molare .....	9
6   EVOLUZIONE STRUTTURALE .....	13
6.1   Evoluzione strutturale sin-metamorfica .....	13
6.1.1   Gli eventi deformativi D1 e D2 .....	13
6.1.2   L'evento deformativo D3 .....	13
6.1.3   L'evento deformativo D4 .....	14
6.2   Evoluzione strutturale pos-tmetamorfica.....	14
7   INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	15
8   INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	16
8.1   Considerazioni generali.....	16
8.2   Complessi idrogeologici .....	18
8.2.1   Complesso 2 (c, d, aF) .....	19
8.2.2   Complesso 12 (FMc) .....	19
8.2.3   Complesso 13 (FMp, FMbc, FMa, cR).....	20
8.2.4   Complesso 14 (aP, dM, d", f, Mn, Se") .....	21
8.2.5   Complesso 16 (B', B'') .....	22
8.3   Sorgenti e sistemi di flusso .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
8.3.1   Considerazioni generali.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
9   ASPETTI CORRELATI ALLA GEOMORFOLOGIA E ALLA GEOLOGIA DEL QUATERNARIO .....	23
10  PROBLEMATICHE GEOLOGICHE IN RELAZIONE ALLO SCAVO IN GALLERIA.....	23
10.1  Condizioni geologiche attese in corrispondenza dell'opera .....	23

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 31</p>

10.1.1	Presenza di faglie.....	25
10.1.2	Piani di taglio a basso angolo .....	25
10.1.3	Grado di fratturazione medio al di fuori delle zone di faglia .....	26
10.2	Afflussi in galleria .....	26
10.2.1	Tratte da pk 18+180 a pk18+600; da pk 18+650 a pk 18+850; da pk 18+350 a pk 19+550 .....	27
10.2.2	Tratte da pk.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
10.2.3	Tratte da pk 19+575 a 20+988.....	28
10.3	Interferenze con le risorse di superficie .....	28
	BIBLIOGRAFIA.....	29

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collaboranti Integrali Webel	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx
	Foglio 4 di 31

## 1 PREMESSA

Il presente rapporto riguarda la realizzazione delle opere identificate dal codice WBS GN141, e riferite allo scavo lungo il binario di linea pari, dalla pK 17+680,00 alla pk 20+988,50. 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 e sono state realizzate nuove indagini geognostiche.

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".

L'opera è in deroga alla normativa successiva all'anno 2005. Per quanto riguarda gli aspetti inerenti la sismicità del settore interessato dal progetto, si rimanda alla relazione di inquadramento sismico dell'intera opera (doc. n. 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;
- l'analisi ed interpretazione delle immagini aeree disponibili;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collaboranti Integrali Valico	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx <span style="float: right;">Foglio 5 di 31</span>

- 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;
- l'interpretazione dei dati raccolti sul terreno alla luce dell'insieme delle informazioni disponibili;
- la redazione degli elaborati geologici del Progetto Esecutivo (PE).

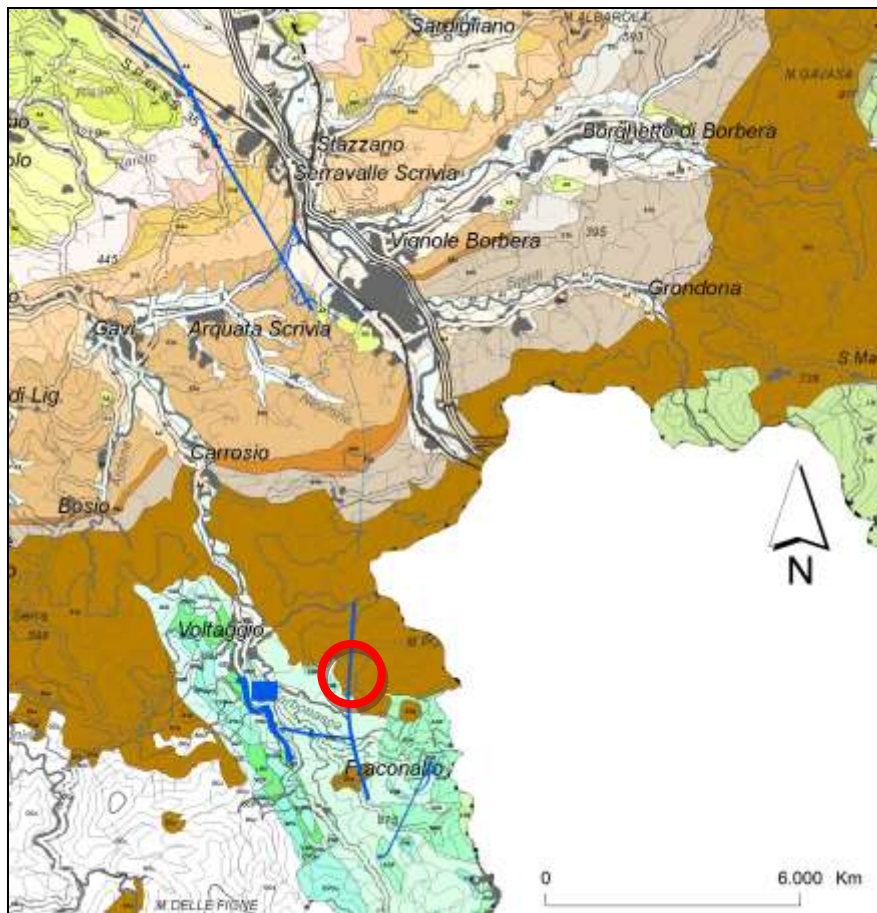
L'elaborazione dei dati è stata eseguita in ottemperanza alle specifiche tecniche di progettazione e alle richieste di approfondimento riportate nella delibera CIPE n. 80/2006, relative alle opere in oggetto.

Il gruppo di lavoro è così costituito:

- coordinamento generale: Dott. Geol. Luca Delle Piane (responsabile di progetto);
- supervisione e controllo elaborati: Dott. Geol. L. Delle Piane, Dott. Geol. Paolo Perello;
- rilevamento geologico-strutturale, sedimentologico-stratigrafico e geomorfologico: Dott. Geol. L. Delle Piane, Dott. Geol. P. Perello, Dott. Geol. Antonio Damiano, Dott.sa Geol. Alessandra Giorza, Dott.sa Geol. Alessia Musso, Dott. Geol. Dario Varrone;
- idrogeologia, modellazione idrogeologica numerica, idrogeochimica: Dott. Geol. Alessandro Baietto, Dott.sa Geol. Laura Citernesì;
- elaborazioni GIS e CAD: Dott.sa Geol. A. Musso, Dott.sa Geol. A. Giorza, I. Zatti.

#### 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

La Galleria di Valico nella tratta compresa tra le progressive chilometriche 17+680,00 e 20+988,50 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 (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 aquitaniano-burdigaliani; **S1b** Successioni marnose rupeliano-aquitaniense; **S1c** Corpi lenticolari arenaceo-conglomeratici rupeliano-aquitaniense; **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 (Cretaceo sup.-Eocene inf.?).

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

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

GENERAL CONTRACTOR  <small>Consorzio Collimatori Integrali Webol</small>	ALTA SORVEGLIANZA  <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx <span style="float: right;">Foglio 7 di 31</span>

## 5 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE

### 5.1 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 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).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collimatori Integrali Webel	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx
	Foglio 8 di 31

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).

### 5.1.1 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 geometrico-strutturali tra le due unità sono complicati dalla presenza di sistemi di pieghe ovest-vergenti.

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 pluri-decametrica. Gli argiloscisti di



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collimatori Integrali Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx
	Foglio 9 di 31

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 Crvasco-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 Argilloscisti 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 argilloscisti 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.

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.

### 5.1.2 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.

## 5.2 Unità del Bacino Terziario Piemontese

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

### 5.2.1 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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Conglomerati Integrali Valchi	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx <span style="float: right;">Foglio 10 di 31</span>

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 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:

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

#### 5.2.1a *Litofacies ruditica poligenica (FMp)*

L'unità è costituita da conglomerati e subordinati livelli arenacei. I conglomerati da clast- a matrix-supported con matrice arenacea, si presentano in strati metrici, localmente gradati e con gli elementi di dimensioni inferiori embriciati. 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.

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.

GENERAL CONTRACTOR  <small>Consorzio Collimatori Integrali Webol</small>	ALTA SORVEGLIANZA  <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx <span style="float: right;">Foglio 11 di 31</span>

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.*).

#### 5.2.1b *Litofacies ruditica a clasti calcarei dominanti (FMc)*

Conglomerati e breccie poligenici prevalentemente clast-supported, a matrice arenacea grigiastra (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). 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 breccie 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.*).

#### 5.2.1c *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. 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.

Data la scarsa maturità compositiva e tessitura 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collimatori Integrali Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx <span style="float: right;">Foglio 12 di 31</span>

#### 5.2.1d 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?).

#### 5.2.1e Litofacies arenacea localmente fossilifera (FMa)

Unità costituita da arenarie da grossolane a fini 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 Costruttori Italiani Veicoli	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx
	Foglio 13 di 31

## 6 EVOLUZIONE STRUTTURALE

### 6.1 Evoluzione strutturale sin-metamorfica

L'evoluzione strutturale che caratterizza le unità tettonometamorfiche che costituiscono il substrato del BTP è definita da quattro eventi deformativi principali, descritti da Capponi & Crispini (1997) e caratterizzati da associazioni strutturali riferibili a traiettorie seguite dalle unità attraverso livelli cristallini via via più superficiali.

#### 6.1.1 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).

#### 6.1.2 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 pluriometriche, 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 Collimatori Integrali Webol	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx <span style="float: right;">Foglio 14 di 31</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.

### 6.1.3 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.

## 6.2 Evoluzione strutturale post-metamorfica

L'evoluzione strutturale post-metamorfica coinvolge sia le unità metamorfiche della ZSV, sia le unità sedimentarie del BTP, attraverso deformazioni e strutture almeno in parte comuni ai due domini.

Capponi et al. (2009) identificano sul versante ligure tre set principali di faglie, osservabili a scala regionale e in parte corrispondenti a stadi evolutivi successivi:

- Set 1: faglie con direzione subparallela all'andamento della Zona Sestri-Voltaggio e del sistema SLS, con direzioni prevalenti da NNW-SSE.
- Set 2: faglie con direzione compresa tra ENE-WSW e ESE-WNW; questo set è riferito dagli autori delle note illustrative a una fase successiva a quella che avrebbe generato l'associazione strutturale del Set 1.
- Set 3: giunti e fratture con orientazioni comprese tra NE-SW ed ENE-WSW.

Dal punto di vista dell'evoluzione strutturale più recente, le associazioni strutturali tardive (pieghe D4 e sistemi di faglie) sembrano geometricamente e cinematicamente congruenti con un raccorciamento regionale di direzione NE-SW, correlato all'instaurarsi del regime transpressivo

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx <span style="float: right;">Foglio 15 di 31</span>

legato alla convergenza obliqua oligo-miocenica delle placche europea e adriatica (Capponi et al., 2009).

In generale è possibile inquadrare in un contesto strutturale omogeneo i dati strutturali di terreno, riferendo le diverse famiglie di strutture misurate ad associazioni strutturali specifiche.

- faglie principali trascorrenti destre di direzione NNW-SSE;
- faglie secondarie trascorrenti destre di direzione prevalente: NW-SE, N-S;
- faglie secondarie trascorrenti sinistre di direzione prevalente: NE-SW e da E-W a ENE-WSW.

## 7 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le indagini geognostiche disponibili nel settore della WBS GN141 sono rappresentate dai sondaggi: L2-AS4, L2-AS4bis, L3-S18, L3-S18bis, SR15, L2-S22, AA301G115 e L2-S23; nel presente capitolo vengono messe in rilievo le principali indicazioni emerse dalla realizzazione delle varie campagne di indagini, mentre per una descrizione dettagliata delle stratigrafie dei sondaggi si rimanda ai relativi rapporti di perforazione.

In generale, i sondaggi realizzati in questo settore hanno messo in luce la presenza, all'interno delle "Argille a Palombini", di numerose intercalazioni e masse maggiori di metabasalti con associati scisti silicei, incontrate in profondità in misura nettamente maggiore rispetto a quanto i dati di rilevamento geologico di superficie lasciassero supporre. In particolare, importanti masse di metabasalti sono state attraversate dai fori L2-A-S4bis, L3-S18 e SR15 (quest'ultimo, tra l'altro, è intestato nella formazione di Molare e raggiunge l'appoggio basale sul substrato metamorfico intorno a 100 m di profondità).

Di particolare interesse è il foro L2-A-S4bis, realizzato a fianco del foro L2-AS-4 dopo che questo aveva dovuto essere interrotto, per problemi correlati al rinvenimento di gas in foro<sup>1</sup>. Il nuovo sondaggio, verticale, attraversa ripetutamente delle rocce di faglia caratterizzate da proto-brecce, brecce cataclastiche e gouge di faglia argilloso. È molto probabile che questa zona di faglia rappresenti una struttura maggiore subverticale, caratterizzata, come molte altre strutture, da diversi piani di taglio fragile subparalleli, che si intrecciano con andamento anastomosato, isolando dei litoni da decametrici a ettometrici di roccia relativamente meno deformata. Si ritiene che questa faglia possa coincidere con il fondo della Valle Carbonasca, che costituisce un fotolineamento evidente, quasi rettilineo, con direzione WNW-ESE, visibile dalla testata di questa valle laterale fino all'abitato di Voltaggio. Lo spessore complessivo della zona di faglia è difficile da definire in base al sondaggio che, essendo verticale, ha probabilmente intersecato più volte la stessa struttura; è comunque verosimile che la potenza complessiva della zona di faglia sia dell'ordine di alcune

<sup>1</sup> per approfondimenti in merito alle problematiche correlate al gas, si faccia riferimento ai più dettagliati documenti specifici allegati al progetto.

GENERAL CONTRACTOR  <small>Consorzio Collimatori Integrali Volcol</small>	ALTA SORVEGLIANZA  <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx <span style="float: right;">Foglio 16 di 31</span>

decine di metri, inclusa la “damage zone” ad elevata fratturazione presente ai bordi dell’involuppo dei piani di taglio principali.

Un'altra zona di faglia potenzialmente importante è stata attraversata dal foro SR15 intorno a 225 m (ma con damage zone estesa per diverse decine di metri intorno a questa quota), dove parrebbe disolcare la superficie di appoggio basale della sequenza del BTP, con movimento principale di tipo trascorrente obliquo.

Questa struttura potrebbe convergere in una struttura analoga, presente poco più a sud (ma non intercettata dai sondaggi), facente parte del medesimo sistema della faglia della Val Carbonasca diretto WNW-ESE. Le due faglie sembrerebbero isolare un blocco di basamento metamorfico determinandone la risalita tra due settori di affioramento dei conglomerati di Molare; il loro rigetto verticale stimato potrebbe essere dell'ordine del centinaio di metri, ma il movimento maggiore dovrebbe essere sempre di tipo trascorrente, con rigetto non determinabile.

Ulteriori informazioni geologiche di interesse, evidenziate dai sondaggi realizzati, sono:

- la presenza di estesi settori di ammasso caratterizzati da elevata fratturazione e dalla presenza di piani di faglia minori, non cartografabili e non rappresentabili con precisione sui profili di progetto;
- la frequente associazione tra metabasalti e livelli di scisti silicei rossastri riferibili a ex radiolariti (es.: L3-S18), che consente di definire il “top” stratigrafico della sequenza attraversata.

## 8 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

### 8.1 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.

La permeabilità degli ammassi rocciosi nell'area di interesse è molto spesso anisotropa e il flusso avviene preferenzialmente lungo discontinuità più o meno diffuse al loro interno. A rigore in contesti di questo tipo dovrebbero essere definite le permeabilità lungo i sistemi di frattura, ma ciò, di fatto, non è realistico per i seguenti motivi:

- alla scala del tunnel e ancor di più alla scala del massiccio, le permeabilità delle singole fratture o sistemi di frattura non sono particolarmente significative, poiché la circolazione sotterranea avviene sempre lungo percorsi misti, che sfruttano più sistemi di fratture variamente interconnessi.



- Per definire il grado di permeabilità dei singoli sistemi di frattura sarebbero necessari studi di estremo dettaglio sullo stato di fratturazione, che varia da zona a zona, studi evidentemente non realizzabili nell'ambito di opere lineari di lunghezza plurichilometrica.
- Le prove idrauliche in foro, strumento principale attraverso cui viene definito il grado di permeabilità, restituiscono valori medi calcolati in una camera di prova che comprende generalmente più fratture.

Per le precedenti ragioni si è ritenuto opportuno introdurre una semplificazione, riconducendo la permeabilità discontinua dell'ammasso roccioso a quella di un mezzo poroso e facendo quindi riferimento al concetto di "permeabilità equivalente", ovvero ad un tensore di permeabilità, del quale per la classificazione è stato considerato il valore maggiore.

Nel presente capitolo ai fini descrittivi si farà riferimento alle seguenti classi di permeabilità:

Classe	Conducibilità idraulica in m/s	Descrizione
K1	$> 10^{-4}$	molto alta
K2	$10^{-5}$ a $10^{-4}$	alta
K3	$10^{-6}$ a $10^{-5}$	medio-alta
K4	$10^{-7}$ a $10^{-6}$	media
K5	$10^{-8}$ a $10^{-7}$	bassa
K6	$< 10^{-8}$	molto bassa

**Tabella 1 – Descrizione delle classi di conducibilità idraulica utilizzate (N.B.: la classificazione non è valida per le rocce carsiche, per le quali è necessaria una valutazione specifica).**

Si precisa che nel prosieguo di questo rapporto in luogo del termine "permeabilità" spesso, ove si fa riferimento a valori fisici numericamente definiti, verrà più correttamente impiegato il termine "conducibilità idraulica" (K, espressa in m/s), dal momento che i valori fisici a cui si fa riferimento tengono conto delle proprietà del mezzo acquoso (densità unitaria, temperatura di 20°C ecc.), mentre la "permeabilità" (k, espressa in m<sup>2</sup>) sarebbe in realtà una proprietà intrinseca dell'acquifero indipendente dal fluido che lo permea. Si continuerà invece ad utilizzare il termine "permeabilità" o "grado di permeabilità" per indicare genericamente e a livello concettuale le proprietà idrogeologiche dei diversi ammassi, senza specifici riferimenti a valori fisici numericamente definiti.

E' altresì necessario fare una premessa a carattere più generale, poiché, con riferimento alla permeabilità nel substrato cristallino, indipendentemente dagli aspetti legati alla litologia, si possono distinguere due diversi contesti:

1. Ammasso roccioso in normale stato di fratturazione
2. Zone di faglia

Il contesto di tipo 1 è quello largamente dominante; la permeabilità è indotta dalla presenza di un reticolo di fratture poco persistenti lateralmente (metri-decametri), o al più da faglie discrete con zona di tettonizzazione cataclastica di spessore modesto (dell'ordine del metro) e persistenza anch'essa modesta (metri-decametri). Ciò significa che a scala decimetrica o metrica talora si

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collaboranti Integrali Webol	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx <span style="float: right;">Foglio 18 di 31</span>

possono avere permeabilità anche piuttosto elevate, determinate dalla presenza di singole fratture aperte o faglie discrete, ma a scala decametrico-ettometrica la permeabilità media risulta perlopiù bassa, poiché le fratture hanno un grado d'interconnessione reciproca non molto elevato.

Il contesto di tipo 2 è subordinato e correlato alla presenza di zone di faglia cataclastiche principali di spessore plurimetrico fino a decametrico, in cui oltre a una densità di fratturazione molto elevata, possono essere presenti anche livelli di brecce tettoniche (materiale pseudo-poroso). In questo contesto la permeabilità è generalmente piuttosto alta, poiché il grado di interconnessione tra le fratture è elevato e sovente le fratture presentano riempimenti granulari poco coesivi (brecce e microbrecce). Si deve comunque tenere conto del fatto che nelle zone di faglia le rocce cataclastiche più permeabili costituiscono due salbande dette "zone di danneggiamento" poste sui due lati di una fascia maggiormente deformata detta "zona di nucleo". In questa fascia può essere presente una maggior quantità di materiale a grana fine (gouge) poco permeabile. La zona di nucleo può pertanto costituire un setto poco permeabile più o meno potente, interno alla fascia permeabile.

## 8.2 Complessi idrogeologici

L'attribuzione del grado di permeabilità ad ogni complesso idrogeologico attraversato dal tracciato di progetto è basata sui dati di conducibilità misurati nei sondaggi e disponibili in letteratura. Laddove non sono disponibili valori misurati o quando i dati disponibili non garantiscono un'adeguata rappresentatività statistica, la stima della conducibilità è stata basata su una analisi critica dei dati geologici terreno e sull'analogia con formazioni con caratteristiche idrodinamiche simili. Durante le fasi di rilevamento di terreno è stata prestata particolare attenzione alla descrizione dello stato di fratturazione e del grado di cementazione.

Va altresì specificato che i valori di conducibilità idraulica forniti si riferiscono ad una scala decametrica o pluridecametrica, significativa per la dimensione delle opere in progetto. A piccola scala (metrica o plurimetrica), come già ricordato in precedenza, potrebbero essere incontrati valori anche più elevati di quelli indicati nel presente rapporto e negli elaborati correlati, dal momento che a tale scala la permeabilità potrebbe essere governata dalle caratteristiche idrauliche di singole fratture. Questi elementi tuttavia spesso risultano poco interconnessi a scala maggiore, risultando ininfluenti per considerazioni idrogeologiche a scala medio-grande quale quella di interesse per il presente lavoro.

Durante la fase di perforazione dei sondaggi geognostici del PD sono state eseguite prove di tipo Lefranc e Lugeon (campagne geognostiche 1992-1993, 1996, 2001-2002 e 2004). I valori di conducibilità, espressi in Unità Lugeon e in m/s, sono stati dedotti dall'interpretazione delle prove idrauliche.

I terreni testati presentano, nella maggior parte dei casi, un grado di permeabilità primario basso o molto basso; il deflusso idrico sotterraneo è quindi determinato dalla permeabilità per fratturazione, condizionata dal grado di interconnessione dei sistemi di fratture.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collimatori Integrali Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx <span style="float: right;">Foglio 19 di 31</span>

### 8.2.1 Complesso 2 (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.

### 8.2.2 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 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.8.2.3). 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, come evidenziato dal diagramma di Figura 2; 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.8.2.3), 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. 5.2.1), ciò la rende suscettibile a fenomeni di dissoluzione chimica del carbonato che potrebbero portare localmente l'ammasso roccioso a

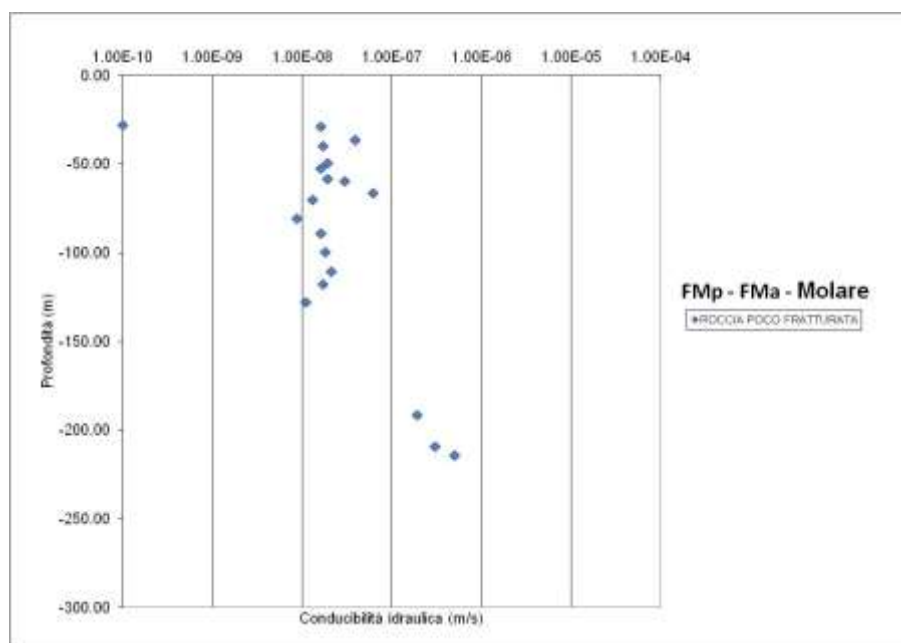
conducibilità da alte a molto alte, a causa dello sviluppo di microcarsismo lungo le faglie e fratture. Inoltre, come è stato notato dai rilievi di terreno, in questa formazione possono essere sporadicamente presenti dei veri e propri fenomeni carsici, con la formazione di cavità allungate di dimensioni metriche, raramente interconnesse. Sembra tuttavia probabile che sia i fenomeni di dissoluzione sia i rari fenomeni carsici si verifichino 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.

### 8.2.3 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, come evidenziato dal diagramma di Figura 2.



**Figura 2. 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).**

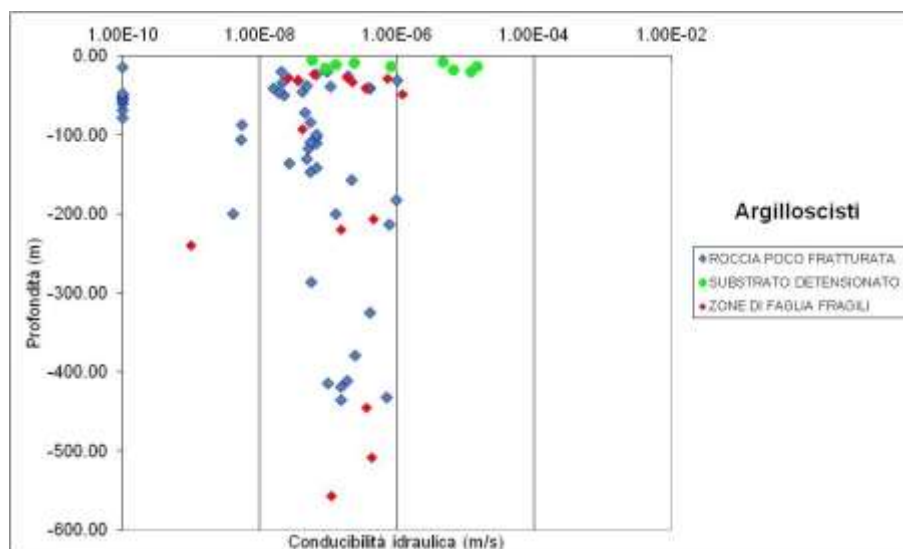
Il medesimo diagramma evidenzia che localmente si sono riscontrate anche conducibilità maggiori (indicativamente fino a  $1 \times 10^{-6}$  m/s) o minori (indicativamente fino a  $1 \times 10^{-9}$  m/s). Questi valori possono essere correlati a stati di fratturazione particolari e locali dell'ammasso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

#### 8.2.4 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 3.



**Figura 3. 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.**

GENERAL CONTRACTOR  <small>Consorzio Collimatori Integrali Veloci</small>	ALTA SORVEGLIANZA  <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx <span style="float: right;">Foglio 22 di 31</span>

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 3 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 3) 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.

### 8.2.5 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 4.

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.

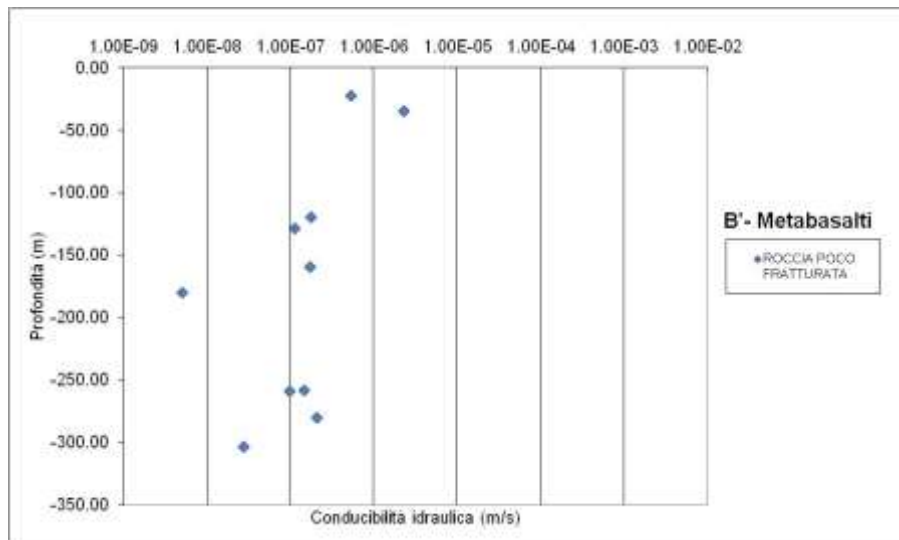


Figura 4. Grafico delle conducibilità idrauliche per i metabasalti da prove in foro di sondaggi del progetto preliminare e definitivo.

## 9 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.

## 10 PROBLEMATICHE GEOLOGICHE IN RELAZIONE ALLO SCAVO IN GALLERIA

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

Nel tratto della galleria di valico compreso tra le Pk17+680,00 alla Pk 20+988,50 (WBS ex GN14R) è previsto l'attraversamento delle Argille a Palombini del Passo della Bocchetta (aP), e della Formazione di Molare (Fmbc e FMp). Per la descrizione litologica di dettaglio si rimanda al Capitolo 4.

Il tratto compreso tra le **PK17+780,00 e 19+625 ca.** attraversa le Argille a Palombini del passo della Bocchetta (aP) e i metabasalti (B').

Le argille a Palombini, a quota galleria si presentano come argilloscisti di colore grigio scuro con livelli di metasedimenti calcarei (con spessore massimo di 5-6 cm) e con evidenti strutture plicative

alla mesoscala. Localmente sono molto sviluppate vene e noduli di quarzo e calcite con spessore da millimetrico a centimetrico. Sono inoltre presenti livelli di cataclasiti caratterizzate da gouge argilloso di colore grigio scuro, con porzioni di argilloscisti brecciati e subordinati clasti di calcite o quarzo angolari alterati (diametro massimo di 2-4 cm).

Nel tratto compreso tra la pk 18+850 e 19+300 è probabile che la galleria attraversi un intervallo più o meno continuo di metabasalti (B'); questa estrapolazione è stata possibile grazie ai dati forniti dal sondaggio L3-S18, nonché da osservazioni dirette sul terreno. Dato l'andamento generale poco prevedibile di queste unità basaltiche, all'interno delle Argille a Palombini, cautelativamente l'intervallo di metabasalti (B') è stato esteso a quota galleria per 400 m circa verso N rispetto al punto di intercetta del sondaggio L3-S18.

Il tratto compreso tra le **PK 19+625 ca. e 20+988,50 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 arenitica (FMc), 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.

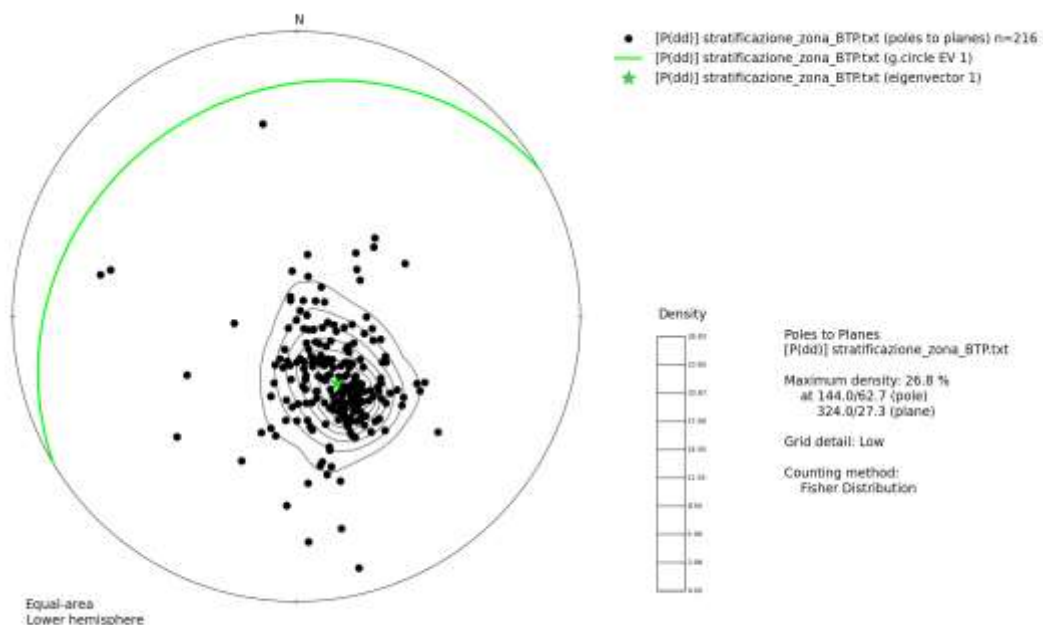


Figura 5. Stereogramma dei poli della stratificazione delle successioni sedimentarie del BTP.

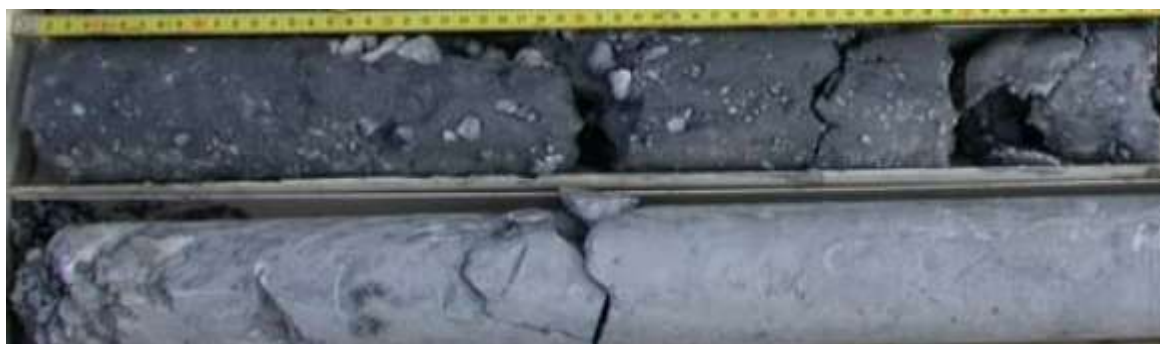


GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collimatori Integrali Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx <span style="float: right;">Foglio 25 di 31</span>

### 10.1.1 Presenza di faglie

L'insieme dei dati disponibili ha permesso di migliorare il dettaglio delle conoscenze riguardanti l'assetto strutturale fragile dell'ammasso attraversato dalle gallerie in progetto. In particolare, le evidenze morfologiche di un sistema di faglie ben sviluppato con direzione circa WNW-ESE sono state verificate e confermate dai nuovi rilievi di terreno che hanno inoltre permesso di definire l'esistenza di cinematismi di tipo trascorrente, sia all'interno delle successioni sedimentarie del Bacino Terziario Piemontese, sia nelle successioni metamorfiche. Nel complesso, la spaziatura media delle strutture maggiori è di circa 300-700 m.

Per quanto riguarda più in dettaglio la WBS in oggetto, è stata ipotizzata in base ai dati dei sondaggi la presenza di zone di faglia, da subverticali a immergenti ad alto angolo verso S, come riportato nel relativo elaborato grafico. La roccia di faglia è costituita da gouge argilloso ad elementi di argiloscisti (Figura 6), basalti e serpentiniti, a seconda del litotipi interessato.



**Figura 6. 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/argiloscisti).**

### 10.1.2 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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collimatori Integrali Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx <span style="float: right;">Foglio 26 di 31</span>

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.

### 10.1.3 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.

## 10.2 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. 8), 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 2). 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 2 – 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.**

È bene precisare che, nel seguito, le portate descritte sono quelle transitorie, che si verificano nelle prime ore/giorni dallo scavo. Poiché le portate variano in funzione della lunghezza della sezione drenante considerata, nell'ambito del presente studio si è scelto di riferirsi alla lunghezza di riferimento di 10 m di galleria. Tale criterio, comunemente adottato nell'ambito dello scavo di gallerie, si giustifica considerando che la lunghezza di 10 m corrisponde allo sviluppo medio di una

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collimatori Integrali Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx
	Foglio 27 di 31

tratta di scavo giornaliera. I valori delle portate sono stati inoltre stimati assumendo che la galleria drena liberamente, in assenza di rivestimenti impermeabilizzanti o operazioni di riduzione della permeabilità (es. iniezioni di malte cementizie o resine).

I carichi idraulici descritti nel seguito, sono quelli stimati per condizioni idrogeologiche imperturbate, cioè prima dell'inizio degli scavi. A seguito dello scavo, i carichi tenderanno a diminuire in maniera consistente. Se la galleria è lasciata libera di drenare senza 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.

In corso di scavo, via via che il fronte avanza, si incontreranno già condizioni di carico idraulico parzialmente differenti da quello allo stato naturale, a causa del drenaggio innescato dalla parte di galleria già scavata.

Tuttavia, i valori di carico idraulico qui indicati sono quelli di riferimento per la progettazione e 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 tenderà in linea di massima a ripristinarsi su valori prossimi a quelli che caratterizzano lo stato imperturbato.

### 10.2.1 Tratte da pk 18+180 a pk 18+850; da pk 19+330 a pk 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: i carichi idraulici stimati sono variabili nell'intervallo tra 100 e 250 m.

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  Consorzio Collimatori Integrali Webol	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx <span style="float: right;">Foglio 28 di 31</span>

### 10.2.2 Tratte da pk 17+780 a 18+180; da pk 18+850 a pk 19+330; da pk 19+570 a pk 19+630

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: il carico idraulico è stimato piuttosto elevato, compreso tra i 100 e i 200 m nella prima delle sottotratte considerate (da pk 17+780 a 18+180), tra i 150 e 250m nella seconda e terza sottotratta (da pk 18+850 a pk 19+330 e da da pk 19+570 a pk 19+630).

Portate massime 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.

### 10.2.3 Tratte da pk 19+625 a 20+988

Permeabilità/connettività: la tratta elencata 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 200 e i 300 m.

Portate massime transitorie: le portate massime transitorie stimate sono riferite alla classe 1+ (0.16-0.4 l/s · 10 m), con passaggi alla classe 2 e localmente 3 in corrispondenza dei sistemi di faglie principali.

## 10.3 Interferenze con le risorse di superficie

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). Essa restituisce un valore di pericolosità di isterilimento della risorsa idrica che ricade nelle quattro classi indicate in Tabella 3. Le classi adottate non hanno una suddivisione lineare, ovvero non sono state suddivise in intervalli di uguale ampiezza, allo scopo di fornire una valutazione ampiamente cautelativa.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collimatori Integrali Voltri	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx <span style="float: right;">Foglio 29 di 31</span>

DHI	Grado di pericolosità
0-0.1	trascurabile
0.1-0.2	basso
0.2-0.3	medio
0.3-1	alto

**Tabella 3 – Gradi di pericolosità di isterilimento delle sorgenti.**

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 sottoterraneo.

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.

## 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collaboranti Integrali Volcol	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx <span style="float: right;">Foglio 30 di 31</span>

- 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.
- 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 Apennines: 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-03-E-CV-RO-GN14-10-001-A00.docx</p>	<p>Foglio 31 di 31</p>

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.