

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  
GN14A - DA PK 1+660.12 A PK 2+080.01 - TRATTO 1**

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing. E. Pagani	

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 A 0	0 0 1	A

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	GDP <i>[Signature]</i>	10/03/2014	Rocksoil <i>[Signature]</i>	12/03/2014	A. Palomba <i>[Signature]</i>	14/03/2014	
A01	Rimissione	GDP <i>[Signature]</i>	24/11/2014	Rocksoil <i>[Signature]</i>	26/11/2014	A. Palomba <i>[Signature]</i>	28/11/2014	
A02	Modifica lotto costruttivo	GDP <i>[Signature]</i>	21/06/2016	Rocksoil <i>[Signature]</i>	21/06/2016	A. Mancarella <i>[Signature]</i>	23/06/2016	

n. Elab.:	File: IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02
-----------	---------------------------------------

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p><b>CODIV</b> Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02</p>	<p>Foglio 2 di 51</p>

## INDICE

INDICE.....	2
1   PREMESSA .....	4
2   NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
3   ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO .....	4
4   INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE .....	6
4.1   Corrispondenza tra le unità descritte nel PD/PE e le unità CARG .....	8
5   LITOSTRATIGRAFIA .....	8
5.1   Unità Figogna .....	8
5.1.1   Serpentiniti del Bric dei Corvi (“Serpentiniti, serpentinoscisti e oficalci” nella cartografia PE) .....	11
5.1.2   Metaoficalciti di Pietralavezzara .....	11
5.1.3   Metabasalti del M. Figogna .....	11
5.1.4   Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia .....	12
5.1.5   Metacalcari di Erzelli .....	12
5.1.6   Argille a Palombini del Passo della Bocchetta aP, AGI, AGF (Cretaceo inf.) .....	13
5.1.7   Le Argille a Palombini nell’area di studio .....	14
6   EVOLUZIONE STRUTTURALE .....	21
6.1   Evoluzione strutturale sinmetamorfica .....	21
6.1.1   Gli eventi deformativi D1 e D2 .....	21
6.1.2   L’evento deformativo D3 .....	21
6.1.3   L’evento deformativo D4 .....	22
6.1.4   Contatti tra le unità .....	22
6.2   Evoluzione strutturale postmetamorfica .....	23
7   GEOLOGIA DELL’AREA DI INTERVENTO .....	23
7.1   Litostratigrafia locale .....	23
7.1.1   Basamento prequaternario .....	23
7.1.2   Copertura quaternaria .....	24
7.2   Assetto strutturale .....	26
7.2.1   La deformazione duttile nell’area di studio .....	26
7.2.2   La deformazione fragile nell’area di studio .....	28
7.3   Geomorfologia .....	30
8   INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	32
8.1   Indagini geofisiche .....	35

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02	Foglio 3 di 51

9	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	36
9.1	Modello idrogeologico generale.....	36
9.1.1	Complessi idrogeologici e permeabilità .....	36
9.2	Classi di comportamento idrogeologico .....	39
10	PROBLEMATICHE GEOLOGICHE A QUOTA GALLERIA .....	40
10.1	Condizioni geologiche attese.....	40
10.1.1	Litologia.....	40
10.1.2	Scistosità e anisotropia dell'ammasso roccioso .....	40
10.1.3	Presenza di faglie .....	41
10.1.4	Grado di fratturazione medio al di fuori delle faglie .....	42
10.1.5	Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso .....	42
10.2	Condizioni idrogeologiche.....	42
10.2.1	Carico idraulico .....	43
10.2.2	Afflussi in galleria.....	44
10.2.3	Interferenze con le sorgenti .....	44
10.3	Aspetti correlati alla geomorfologia e alla geologia del Quaternario .....	46
11	SINTESI E CONCLUSIONI .....	46
12	BIBLIOGRAFIA .....	48

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 4 di 51</p>

## 1 PREMESSA

Il presente rapporto riguarda la realizzazione dell'opera identificata dal codice WBS GN14A, prevista nell'ambito del Progetto Esecutivo del nuovo collegamento AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi" e rappresentata dallo scavo della Galleria Naturale di Valico, binario pari, da pk 1+660.12 a pk 2+080.01 (Tratto 1).

Il settore entro cui è previsto lo scavo dell'opera si colloca nel territorio del comune di Genova, tra la valle del Rio Ciliegia, affluente di destra del T. Polcevera, la dorsale Murta-Parodi-Chiappino-Bric dei Corvi e la valle del Rio Molinassi, altro affluente del Polcevera.

La presente nota revisiona gli studi geologici eseguiti in precedenza e descritti nel Progetto Definitivo, riguardanti le gallerie di linea; rispetto alla fase di PD sono stati eseguiti ex-novo alcuni rilievi geologici integrativi di superficie e nuove indagini geognostiche.

Questo rapporto descrive quanto rappresentato negli elaborati grafici allegati:

- carta geologica e geomorfologica;
- carta idrogeologica;
- profilo geologico e idrogeologico.

## 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;

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 5 di 51</p>

- 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: Dott. Geol. L. Delle Piane (responsabile di progetto);
- supervisione e controllo elaborati: Dott. Geol. L. Delle Piane, Dott. Geol. P. Perello;
- rilevamento geologico-strutturale, sedimentologico-stratigrafico e geomorfologico: Dott. Geol. L. Delle Piane, Dott. Geol. P. Perello, Dott. Geol. A. Damiano, Dott.sa Geol. A. Giorza, Dott.sa Geol. A. Musso, Dott. Geol. D. Varrone;
- idrogeologia, modellazione idrogeologica numerica, idrogeochimica: Dott. Geol. P. Perello, Dott. Geol. A. Baietto, Dott.sa Geol. A. Giorza;
- elaborazioni GIS e CAD: Dott.sa Geol. A. Musso, Dott.sa Geol. A. Giorza, Dott. Geol. D. Varrone.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 6 di 51</span>

## 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

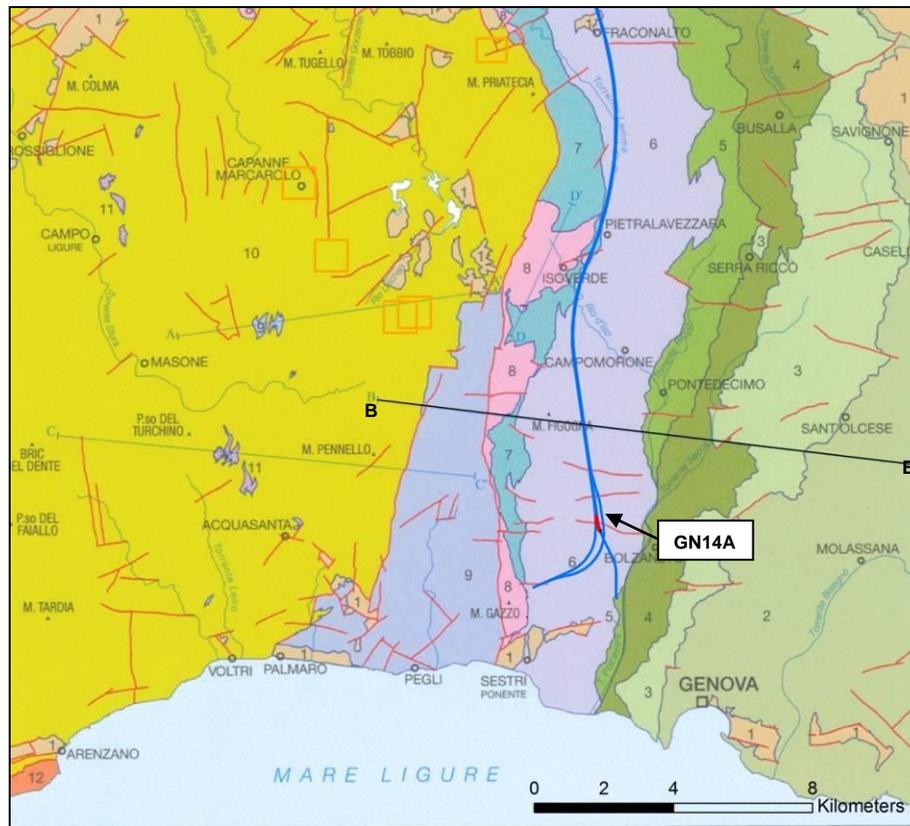
L'area di studio si colloca nella zona di giustapposizione tra i domini orogenici alpino e appenninico (Figura 1), nota in letteratura come "nodo collisionale ligure" (Laubscher *at. al.*, 1992); questo settore ad elevata complessità strutturale è stato recentemente oggetto di una dettagliata revisione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

1. le **unità tettonometamorfiche<sup>1</sup> 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.
2. la **Zona Sestri-Voltaggio** *auct.* (nel seguito 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).
3. 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).

<sup>1</sup> Con il termine di "unità tettonometamorfica" si intende un volume roccioso caratterizzato da incompatibilità metamorfiche e strutturali rispetto ai volumi adiacenti.



- |    |   |
|----|---|
| 1  | <b>DEPOSITI TARDO- E POST-OROGENICI</b><br>Successione del Bacino Terziario Piemontese, depositi pliocenici e quaternari  |
| 2  | <b>UNITÀ TETTONICA ANTOLA</b><br>Unità costituita da flysch, non metamorfica  |
| 3  | <b>UNITÀ TETTONICA RONCO</b><br>Unità costituita da flysch, a metamorfismo di anchizona   |
| 4  | <b>UNITÀ TETTONICA MONTANESI</b><br>Unità costituita da flysch, a metamorfismo di anchizona   |
| 5  | <b>UNITÀ TETTONICA MIGNANEGO</b><br>Unità costituita da flysch, a metamorfismo di anchizona   |
| 6  | <b>UNITÀ TETTONOMETAMORFICA FIGOGNA</b><br>Unità di crosta oceanica, a metamorfismo in facies pumpellyite-actinolite  |
| 7  | <b>UNITÀ TETTONOMETAMORFICA CRAVASCO - VOLTAGGIO</b><br>Unità di crosta oceanica, a metamorfismo in facies Scisti Blu (albite, clorite, Na-anfibolo, Na-piroseno, lawsonite, pumpellyite, epidoto), con retrocessione moderata  |
| 8  | <b>UNITÀ TETTONOMETAMORFICA GAZZO - ISOVERDE</b><br>Unità di margine continentale, a sovrainpronta metamorfica di alta pressione  |
| 9  | <b>UNITÀ TETTONOMETAMORFICA PALMARO - CAFFARELLA</b><br>Unità di crosta oceanica, a metamorfismo in facies Scisti Blu (giadeite, Na-anfibolo, lawsonite), con retrocessione in facies Scisti Verdi più o meno pervasiva   |
| 10 | <b>UNITÀ TETTONOMETAMORFICA VOLTRI</b><br>Unità di crosta oceanica e di mantello, a metamorfismo in facies Scisti Blu con eclogiti e riequilibratura in facies Scisti Verdi spesso pervasiva  |
| 11 | <b>UNITÀ TETTONOMETAMORFICA ANGASSINO - TERMA</b><br>Unità di margine continentale, a sovrainpronta metamorfica di alta pressione   |
| 12 | <b>UNITÀ TETTONOMETAMORFICA ARENZANO</b><br>Costituita da un Complesso di margine continentale, monometamorfico, a sovrainpronta metamorfica alpina da alta pressione a Scisti Verdi e da un Complesso di margine continentale, polimetamorfico, a metamorfismo pre-alpino in facies Anfibolitica e sovrainpronta metamorfica alpina da alta pressione a Scisti Verdi |
- Limite stratigrafico     
 — Contatto tettonico     
 — Faglia     
 A—A' Traccia di sezione geologica

**Figura 1 - Schema tettonico dell'area interessata dal progetto (tratto dal foglio CARG "Genova"). È riportata la tratta del tracciato di linea, per la parte inclusa nel taglio cartografico; in rosso, la WBS oggetto di studio. Con BB' è indicata la traccia della sezione geologica rappresentata in Figura 4.**

#### 4.1 Corrispondenza tra le unità descritte nel PD/PE e le unità CARG

Nell'intento di garantire una continuità tra la terminologia adottata in fase di Progetto Definitivo ed Esecutivo, senza tuttavia tralasciare le informazioni derivanti dai dati di letteratura più recenti, è stata realizzata una tabella, presentata di seguito, in cui è messa a confronto la nomenclatura derivante dalla cartografia ufficiale e quella impiegata in fase di Progetto Esecutivo.

Nella tabella sono inoltre evidenziati i casi in cui l'implementazione delle conoscenze in fase esecutiva ha imposto una variazione/integrazione della nomenclatura, della gerarchia e/o della descrizione delle unità stratigrafiche interessate dall'opera.

Foglio 213-230 Genova Cartografia Geologica d'Italia Scala 1:50.000			Tratta AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi" Progetto Definitivo			Tratta AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi" Progetto Esecutivo		
Unità Figogna	Argilloscisti di Murta	AGF	Unità Timone – Bric Teiolo	Argilliti a Palombini del passo della Bocchetta	aP	Unità Figogna	Argille a Palombini del passo della Bocchetta	aP
	Argilloscisti di Costagiutta	AGI		Calcarei di Erselli	cE		Metacalcari di Erselli	cE
	Metacalcari di Erzelli	ERZ		Scisti silicei	d'		Metasedimenti silicei della madonna della Guardia	dM
	Metasedimenti silicei della madonna della Guardia	MHF		Metabasalti	B'		Metabasalti del Monte Figogna	B'
	Metabasalti del Monte Figogna	MBF		Serpentiniti, serpentinoscisti e oficalci	Se'		Serpentiniti del Bric dei Corvi	Se'
	Serpentiniti del Bric dei Corvi	SPF		-	-		Metaoficalciti di Pietralavezzara	of'
	Metaoficalciti di Pietralavezzara	PLV						
Unità Cravasco-Voltaggio	Scisti filladici del monte Larvego	LRV	Unità Cravasco-Voltaggio	Metargilliti filladiche	f	Unità Cravasco-Voltaggio	Argilloscisti filladici del monte Larvego	f
	Calcarei di Voltaggio	VOL		Calcarei di Voltaggio	cV		Calcarei di Voltaggio	cV
	Metasedimenti silicei dell'Osteria dello zucchero	MHC		-	-		Metasedimenti silicei dell'Osteria dello zucchero	d''
	Metabasalti di Cravasco	CVS		Metabasalti	B''		Metabasalti di Cravasco	B''
	Metagabbri del Monte Lecco	MGC		Metagabbri	mG		Metagabbri	mG
	Serpentiniti di Case Bardane	SPV		Serpentiniti e serpentinoscisti	Se''		Serpentiniti di Case Bardane	Se''
							Metaoficalciti	of''
Unità Gazzo-Isoverde	Meta-argilliti di Bessega	MBG	Unità Monte Gazzo-Isoverde	Metargilliti nere	Mn	Unità Gazzo-Isoverde	Meta-argilliti di Bessega	Mn
	Calcarei di Lencisa	LEN		Calcarei di Gallaneto	cG		Calcarei di Lencisa	eN
	Calcarei di Gallaneto	GLL		Gessi, anidriti e carnirole	gc		Calcarei di Gallaneto	cG
	Gessi del Rio Riasso	GSR		Calcarei dolomiti del Monte Gazzo	dG		Gessi, anidriti e carnirole (Gessi del Rio Riasso)	gc
	Dolomie del Monte Gazzo	MDG					Dolomie del Monte Gazzo	dG

**Tabella 1 - Tabella nomenclaturale riassuntiva delle unità litostratigrafiche della Zona Sestri-Voltaggio presenti in letteratura, messi a confronto con i termini e le sigle adottate nelle fasi di progettazione Definitiva ed Esecutiva.**

## 5 LITOSTRATIGRAFIA

### 5.1 Unità Figogna

L'unità tettonometamorfica Figogna è costituita da un basamento metaofiolitico e dalla relativa copertura metasedimentaria; la successione-tipo presenta alcuni caratteri peculiari rispetto alle

sequenze di crosta oceanica delle altre unità: nei basalti, generalmente con tessitura a *pillow*, sono presenti livelli di ialoclastiti e breccie più o meno rimaneggiate, filoni basaltici e dioritici. I gabri, generalmente ben rappresentati nelle altre unità, sono volumetricamente molto ridotti.

L'unità Figogna corrisponde all'unità denominata "Timone - Bric Teiolo" dagli autori pre-CARG, denominazione adottata anche nel Progetto Definitivo (2004); essa include le seguenti formazioni:

- Argille a Palombini del Passo della Bocchetta (aP) (suddivise nella cartografia CARG nelle due sottounità 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).

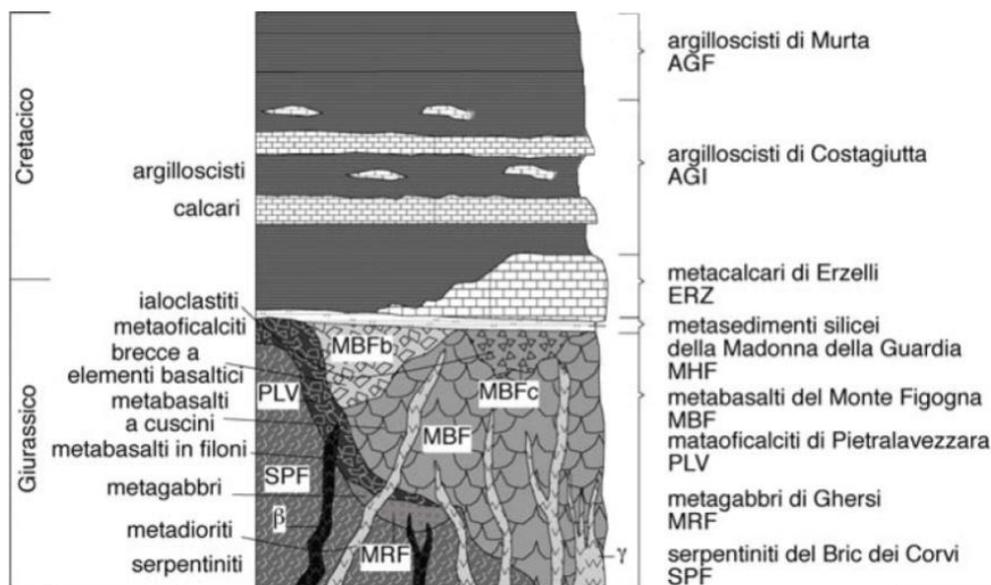
Uno schema sintetico dei rapporti stratigrafici all'interno dell'unità Figogna è presentato nella successiva Figura 3, da cui si osserva come la successione scisti silicei / metacalcari / argilloscisti costituisca la copertura del substrato ofiolitico costituito essenzialmente da metabasalti + serpentiniti.



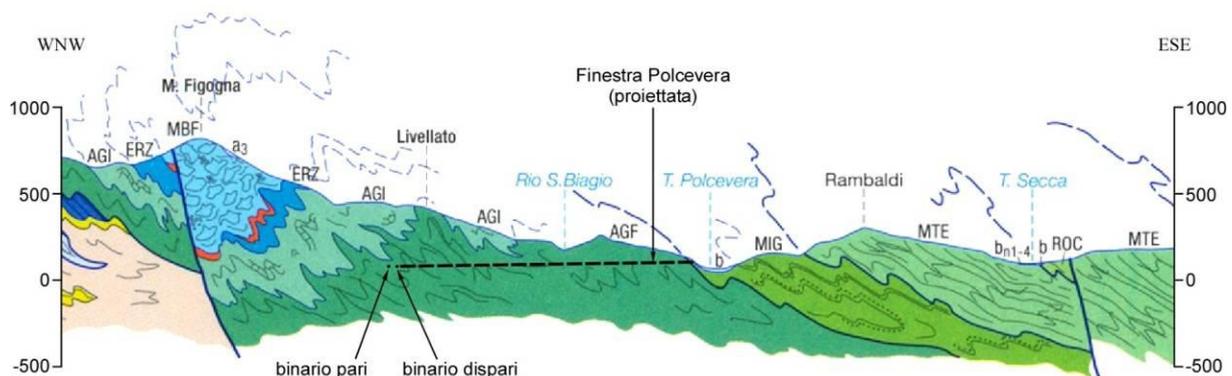
**Figura 2 – Stralcio del foglio CARG “Genova”, con individuazione dell’opera in esame e dei sondaggi geognostici realizzati in fase di PP e PD. Per la legenda si veda la Tabella 1.**

Nel Foglio CARG Genova l'unità Figogna è interpretata come una serie ofiolitifera rovesciata, posizionata lungo il fianco inverso di una piega anticlinale plurichilometrica coricata,

successivamente ripiegata a formare una struttura regionale sinforme; infatti, come si nota dal profilo geologico di Figura 4 (traccia BB' in Figura 1), la successione basalti / scisti silicei / calcari / argiloscisti rappresentata nella colonna stratigrafica di Figura 3 è rovesciata: infatti i basalti si trovano in posizione geometricamente soprastante, formando la culminazione della dorsale spartiacque e così via gli altri litotipi fino agli argiloscisti, che rappresentano il termine geometricamente più basso.



**Figura 3 – Schema dei rapporti stratigrafici tra le varie formazioni che costituiscono l'unità tettonometamorfica Figogna (Capponi et al., 2008).**



**Figura 4 – Stralcio del profilo geologico BB' attraverso la Val Polcevera e la dorsale del M. Figogna, estratto dal Foglio CARG "Genova" (cfr. Figura 1 e Figura 2). Il profilo si colloca in corrispondenza della pk 4+764 (binario pari). È riportata la traccia della Finestra Polcevera, ubicata circa 2 km a N dell'area di interesse (cfr. Figura 1), ma comunque utile per comprendere i rapporti strutturali tra le varie unità. Per la legenda litologica (sigle) si veda la Tabella 1.**

Secondo gli autori inoltre, 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., 2008; cfr. Figura 4).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 11 di 51</span>

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, pinzate tra le metabasiti e le adiacenti unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo.

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).

Di seguito viene descritta sinteticamente la litostratigrafia dell'unità, limitatamente alle formazioni che possono interessare lo sviluppo dell'opera.

#### 5.1.1 *Serpentiniti del Bric dei Corvi ("Serpentiniti, serpentinoscisti e oficalci" nella cartografia PE)*

*SPF, Dogger-Malm (Se' nella cartografia di PE)*

Serpentiniti a crisotilo, antigorite e lizardite, a tessitura cataclastica con fenomeni di deformazione duttile legati a pieghe di trascinamento disarmoniche e a strutture di flusso cataclastico sviluppate attorno a litoni di relitti lherzolitici, serpentinitici o di oficalci. Sono localmente presenti filoni di metabasalti rodingitizzati.

Sono distribuite sul fianco occidentale del M. Figogna e allungate in direzione N-S a definire una fascia di taglio cataclastico di potenza pluriettometrica, immergente verso E con inclinazioni medie comprese tra 45° e 65°.

#### 5.1.2 *Metaoficalciti di Pietralavezzara*

*of', Dogger? – Malm? (PLV nella cartografia CARG)*

Brecce tettoniche di fondo oceanico, talvolta rimaneggiate, a clasti prevalentemente serpentinitici e a cemento carbonatico, in corpi di dimensioni da decametriche a chilometriche affioranti principalmente tra Pietralavezzara e il Passo della Bocchetta.

#### 5.1.3 *Metabasalti del M. Figogna*

*B', Malm? (MBF nella cartografia CARG)*

Si tratta di metabasalti massivi e a pillow, con orizzonti di brecce basaltiche a tessitura fluidale, più raramente in filoni massicci a tessitura doleritica e con locali filoni decimetrico-metrici di metadioriti.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 12 di 51</span>

I metabasalti si presentano poco deformati; un accenno di scistosità è più evidente dove si osserva lo stiramento dei pillow, che raramente è accentuato.

Nelle parti centrali della formazione si osservano brecce basaltiche non deformate, con matrice a tessitura fluidale evidenziata da tessiture vacuolari primarie preservate. Presso la cresta spartiacque del M. Figogna sono osservabili facies ialoclastitiche vere e proprie. Più a S, nella cava di Borzoli, ubicata nella parte bassa in asse alla struttura, sono presenti orizzonti di oficalci, interessati da campi di fratture tensionali suturate da calcite.

I metabasalti, relativamente indisturbati da Borzoli al M. Figogna, sono interessati, nel settore occidentale, da numerose faglie transpressive dirette N-S e a vergenza W, che delimitano dei duplex della sequenza serpentiniti-metabasalti. Queste strutture sono associate a tessiture cataclastiche, soprattutto nelle serpentiniti, che nella sequenza serpentinite/basalto sembrano agire da orizzonte plastico, assorbendo la maggior parte della deformazione. A ridosso del limite occidentale dell'unità si osservano nuovamente scaglie dei termini bacinali sedimentari, pinzate tra le metabasiti e le unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo. A nord del M. Figogna i metabasalti affiorano in lembi allungati e discontinui di origine tettonica, all'interno della formazione degli argilloscisti di Costagiutta (§ 0), dove sono frequentemente associati a lembi di metasedimenti silicei (§ 5.1.4), metacalcari (§ 5.1.5) e metaoficalciti.

#### 5.1.4 Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia

*dM, Malm? (MHF nella cartografia CARG)*

Formano lembi sottilissimi e discontinui, sempre in associazione con i basalti nella caratteristica posizione stratigrafica che questi depositi conservano nelle successioni ofiolitifere. Possono essere rappresentati da scisti silicei, rossi o più raramente verdi e da ftniti zonate con sporadici livelli radiolaritici, oppure da scisti quarzosi rosso-rosati, fittamente foliati e con giunti. Il loro spessore medio non supera di solito i pochi metri (Marini, 1998). Localmente sono intercalati a peliti grigie e possono presentare livelli inquinati da prodotti vulcanoclastici (zona ad ovest del M. Figogna; Cortesogno & Haccard, 1984). Differiscono dai diaspri appartenenti alle serie Liguridi, in quanto queste ultime mostrano caratteri marcatamente propri di radiolariti e selci.

#### 5.1.5 Metacalcari di Erzelli

*cE, Malm? - Cretacico Inf.? (ERZ nella cartografia CARG)*

Si tratta di calcari microcristallini finemente arenacei di spessore fino a pluridecimetrico, talora foliati, con giunti pelitici; in alcuni strati sono osservabili tracce di gradazione torbidityca (Marini, 1998). Questa formazione è stata definita anche come "calcareniti" (Cortesogno & Haccard, 1984), e "calcaires en bancs" (Haccard, 1976).

La formazione è costituita da una sequenza serrata di strati deformati di calcari grigi a patina d'alterazione bianco-cinerina; sono riferibili a calcari micritici, spesso impuri per una più o meno abbondante frazione terrigena silicoclastica (soprattutto argilla e quarzo detritico) e con giunti di emipelagiti argillose nere; nelle zone ove questi sono più importanti, gli strati calcarei si presentano

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 13 di 51</span>

spesso boudinati. Accentuati processi di ricristallizzazione sono evidenziati dalla presenza di strati foliati con livelli di fillosilicati concentrati nell'intervallo pelitico maggiormente marnoso.

Gli strati calcarei maggiormente arenacei conservano alla base evidenti laminazioni sedimentarie e mostrano le caratteristiche di originarie torbiditi; la non trascurabile componente terrigena torbiditica farebbe presumere ambienti di deposizione pericontinentali (Marini, 1998).

La potenza è stimata in poche decine di metri, non superando i 50-60 metri nelle zone di migliore affioramento (Est di Erzelli; M. Figogna).

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

L'unità delle "Argille a Palombini del Passo della Bocchetta", descritta come un complesso litostratigrafico unico dagli autori pre-CARG e dal Progetto Definitivo, è stata successivamente suddivisa nel foglio CARG Genova in due sottounità (cfr. Figura 3):

- argillocisti di Costagiutta (codice CARG: AGI);
- argillocisti di Murta (codice CARG: AGF).

Per coerenza con il Progetto Definitivo e per evitare eccessive confusioni, si è scelto di mantenere la terminologia e il codice pre-CARG (aP), indicando, dove possibile, l'attribuzione dei litotipi affioranti all'una o all'altra delle due sottounità CARG sopra citate e distinguendo cartograficamente, sempre ove possibile, le due litofacies principali.

Le due sottounità AGI e AGF occupano posizioni strutturalmente e litostratigraficamente distinte: gli argillocisti di Costagiutta in posizione soprastante, gli argillocisti di Murta in posizione sottostante; i rapporti reciproci a scala regionale sono esemplificati dal profilo geologico di Figura 4, estratto dal foglio CARG "Genova". Il profilo ha un'orientazione E-W e passa per la sommità del M. Figogna, appena a sud del tracciato della finestra Polcevera. I rapporti geometrico-strutturali tra le due unità sono complicati dalla presenza di sistemi di pieghe ovest-vergenti, riferibili in gran parte all'evento deformativo D3 (§ 6.1.2).

Dal punto di vista litostratigrafico, la sottounità degli **argillocisti di Costagiutta** è costituita da alternanze di argillocisti e di calcari cristallini ("Palombini" auct.), metapeliti scistose grigio-nerastre, più o meno siltose, metasiltiti e metaareniti 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.

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 14 di 51</span>

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 individuate sono frequentemente la media di una stratificazione 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 pluridecametrica. Gli argilloscisti 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 **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 (Figura 5), 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.

Il rapporto stratimetrico metaareniti/metapeliti è di 1:2. 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.

### 5.1.7 Le Argille a Palombini nell'area di studio

Nel settore oggetto di studio affiorano, in superficie, i litotipi della formazione delle "Argille a Palombini del Passo della Bocchetta" (aP); secondo quanto riportato nel Foglio CARG "Genova", il settore interessato dallo scavo della WBS in oggetto ricade a cavallo di due aree in cui affiorano sia l'unità degli Argilloscisti di Murta (AGF), sia l'unità degli Argilloscisti di Costagiutta (AGI), strutturalmente soprastante (Figura 4). In sintesi, le due litofacies si differenziano per la presenza (Argilloscisti di Costagiutta, AGI) o l'assenza (Argilloscisti di Murta, AGF) di livelli di calcari micritici silicei a grana fine ("Palombini").

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 15 di 51</p>

L'unità AGI affiora prevalentemente in una stretta fascia verso lo spartiacque (Figura 2), con immersione generale verso W; in corrispondenza del tunnel, le due unità sarebbero, secondo l'interpretazione CARG, separate da una faglia con direzione circa E-W, ma la cui esistenza, in base ai dati rilevati sul terreno, rimane solamente presunta. Anche la presenza di interstrati calcarei (unità AGI) non è stata riscontrata sul terreno in maniera evidente.

Il settore circostante l'asse della galleria è caratterizzato dall'affioramento diffuso di argiloscisti omogenei e per lo più privi di orizzonti calcarei. Tuttavia, come si vedrà nel capitolo relativo alle indagini geognostiche, i sondaggi AA301G045 e SC18 hanno incontrato, tra 40 e 80 m, dei livelli decimetrici di calcari grigi che potrebbero essere riferiti alla litofacies calcarea AGI, che quindi si estenderebbe a livelli relativamente profondi.

La litofacies caratteristica in affioramento è un argiloscisto privo di interstrati calcarei, a tessitura fittamente laminata, di colore da ocraceo a grigio scuro e di aspetto sericeo o grafitoso, sovente con lenti centimetrico-decimetriche a quarzo e/o quarzo + calcite, parallelizzate alla foliazione principale e con essa piegate (Figura 5). Gli argiloscisti sono molto alterati nei primi metri dalla superficie, principalmente per ossidazione, dissoluzione del carbonato e argillificazione parziale delle fasi feldspatiche; con la profondità l'ammasso roccioso tende rapidamente a chiudersi, nello spazio di 4-6 m e il grado di alterazione tende a ridursi significativamente.

Il contatto tra le unità di Costagiutta e di Murta non è individuabile con precisione sul terreno, trattandosi più probabilmente di un passaggio transizionale, come indicato dalla colonna stratigrafica di Figura 3.



**Figura 5 – Argiloscisti pieghettati dalla fase D3 in sponda destra del Rio Trasta, a sud dell'area di intervento.**

Verso W, in direzione della dorsale spartiacque, gli argiloscisti AGF passano quindi gradualmente agli argiloscisti AGI per la graduale comparsa di intercalazioni carbonatiche decimetrico-metriche

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02 <table border="1" data-bbox="1420 232 1532 286"> <tr> <td>Foglio 16 di 51</td> </tr> </table>	Foglio 16 di 51
Foglio 16 di 51		

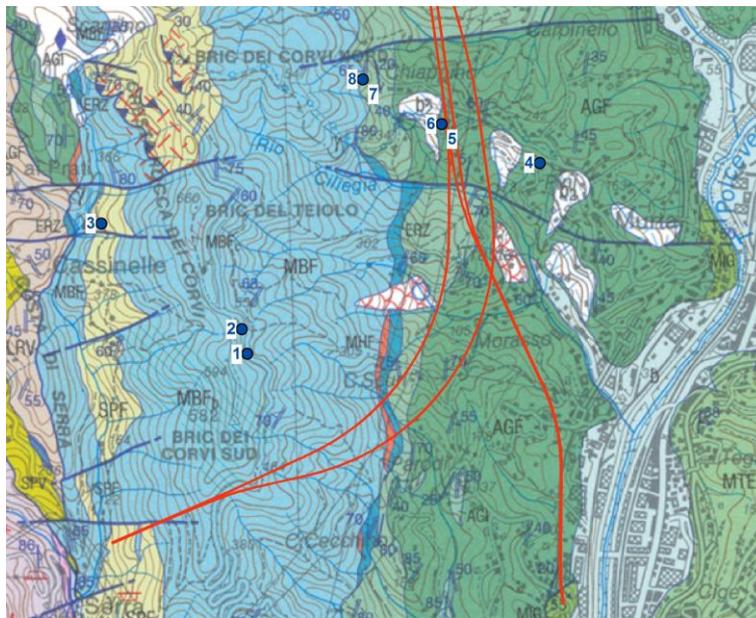
(tra l'altro non sempre presenti). Gli argilloscisti (AGI o AGF, a seconda dei casi) sono in contatto, verso W, con un sottile livello di Metacalcari di Erzelli (cE/ERZ), cui segue un livello ancora più sottile e discontinuo di scisti silicei (d', MHF); questi sono, a loro volta, in contatto stratigrafico con la grande massa di metabasalti del M. Figogna (B', MBF) che forma la dorsale montuosa allungata in direzione N-S tra il M. Figogna e Sestri Ponente (Figura 2).

L'insieme comprendente metacalcari, scisti silicei e metabasalti forma una sequenza stratigrafica rovesciata (Figura 3), collocata in posizione geometricamente soprastante alla formazione aP e immergente verso W. I litotipi descritti non vanno quindi a intercettare il tracciato ferroviario nell'area di interesse (cfr. Figura 2 e Figura 4).

Anche la presenza di lenti tettoniche di metabasalti e scisti silicei all'interno degli argilloscisti aP, piuttosto comune a nord di Campomorone, sembra qui da escludere in base ai dati di terreno; anche il foglio CARG non riporta la presenza di intercalazioni di questa natura nel settore di studio.

#### 5.1.7a *Caratteri petrostrutturali*

Di seguito è presentata una descrizione dei principali caratteri mineralogico-petrografici e microstrutturali derivati dall'analisi in microscopia ottica di alcuni campioni di litotipi appartenenti all'unità tettonometamorfica Figogna, raccolti nel settore ligure dell'area di interesse per il progetto (bassa e media Val Polcevera). La localizzazione geografica dei campioni descritti, che comprendono essenzialmente argilloscisti (# 4, 5, 6), metabasalti (# 1, 2, 7, 8) e serpentiniti (# 3) è riportata in coordinate X-Y nella tabella e nella figura successive.



campione	X	Y	litotipo (cod. CARG)	campione	X	Y	litotipo (cod. CARG)
1	1489406	4922447	MBF	5	1490436	4923647	AGI
2	1489376	4922575	MBF	6	1490436	4923647	AGI
3	1488631	4923128	SPF	7	1490018	4923881	MBF
4	1490957	4923444	AGF	8	1490018	4923881	MBF

**Figura 6 – Ubicazione dei campioni in relazione alla geologia locale (foglio CARG Genova). In rosso il tracciato delle principali opere di linea. Coordinate Gauss-Boaga.**

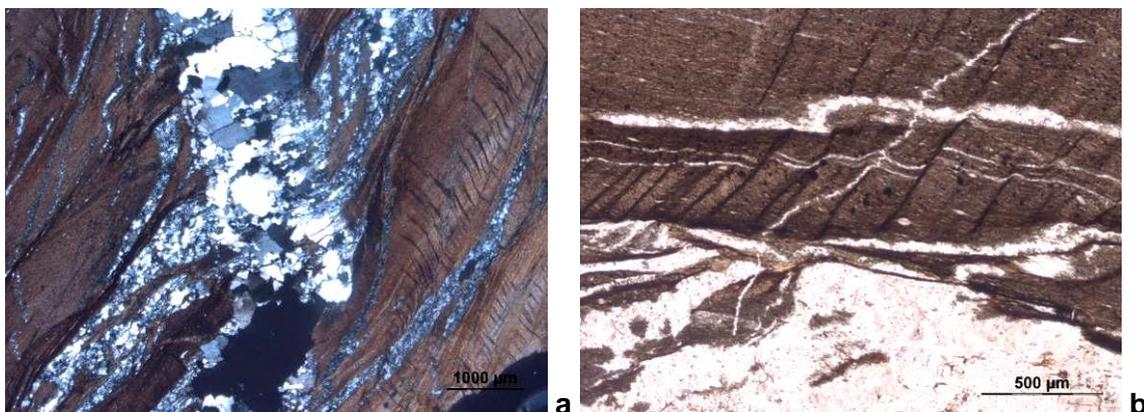
#### **Campione n. 4**

**Litotipo:** meta-argillite (*slate*).

**Località:** Val Polcevera.

**Mineralogia:** quarzo, mica bianca, clorite, opachi.

**Struttura:** la roccia mostra una foliazione molto ben sviluppata e una grana quasi irrisolvibile al microscopio, composta da un aggregato finissimo di quarzo e mica bianca. Sono presenti vene da submillimetriche a millimetriche di quarzo, sia concordanti sia discordanti rispetto alla foliazione (Figura 7a). Nei livelli quarzoso-micacei sono presenti piccoli aggregati lenticolari di clorite, allungati secondo la foliazione. La foliazione principale è deformata da più fasi di piegamento, riconoscibili per la presenza di cerniere di pieghe sradicate nella foliazione principale o messe in risalto dalle vene di quarzo di prima generazione. Sono presenti anche generazioni tardive di vene a quarzo che tagliano in discordanza la foliazione principale (Figura 7b).



**Figura 7 – (a): foliazione principale della roccia, con vene a quarzo sia parallele sia discordanti. La foliazione principale (S1+S2) è crenulata da una fase deformativa successiva (D3 probabile); (b): intersezione tra due generazioni di vene di quarzo; si noti il clivaggio di fase D3 probabile.**

**Campione n. 5**

**Litotipo:** argilloscisto.

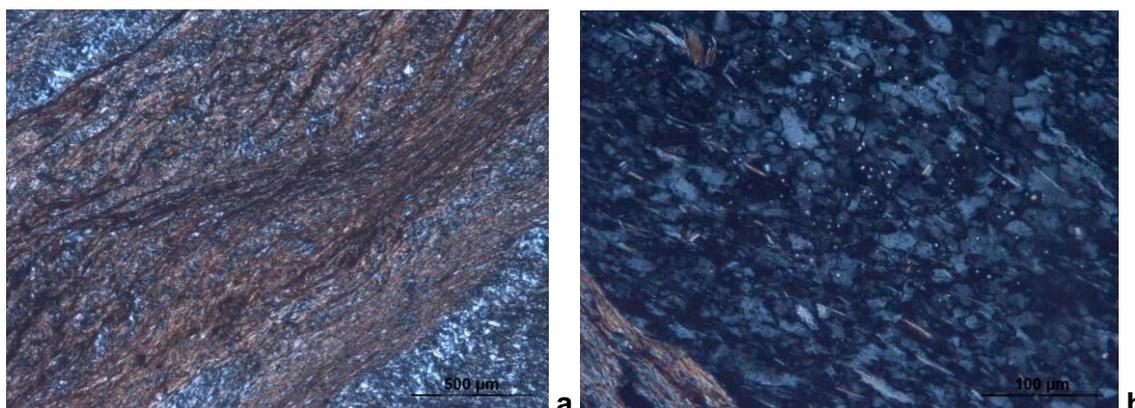
**Località:** Val Polcevera.

**Mineralogia:** quarzo, mica bianca, clorite, carbonato, anfibolo, opachi.

**Struttura:** la roccia rappresenta la porzione meno “argillosa” degli argilloscisti di Murta (AGF); è composta da quarzo e mica prevalenti (Figura 8) con subordinata clorite e carbonato in piccolissimi cristalli (Figura 9a). L’anfibolo è a grana molto fine omogenea. La foliazione è deformata da una piega di probabile fase D3, che negli orizzonti argillosi ha sviluppato una foliazione di piano assiale (Figura 9b). Nei livelli più ricchi in fillosilicati la clorite spesso forma noduli di piccole dimensioni, disposti obliquamente rispetto alla foliazione principale, che suggeriscono la presenza di una foliazione più vecchia. Si osservano opachi di medie dimensioni (probabile ematite) e piccoli aggregati di opachi, probabilmente grafite, derivati da originari resti organici.



**Figura 8 - Argilloscisto costituito da alternanze di livelli alternativamente più ricchi in fillosilicati o in quarzo, che definiscono una foliazione principale (S1±S2) deformata da pieghe aperte D3, con sviluppo di *pressure solution cleavage* di piano assiale.**



**Figura 9 – (a): dettaglio dell’immagine precedente, in cui si nota l’alternanza di livelli a quarzo ± carbonato e livelli a mica bianca; (b): dettaglio di un livello quarzoso in cui si riconosce la distribuzione dei minutissimi cristalli di carbonato (puntini più luminosi).**

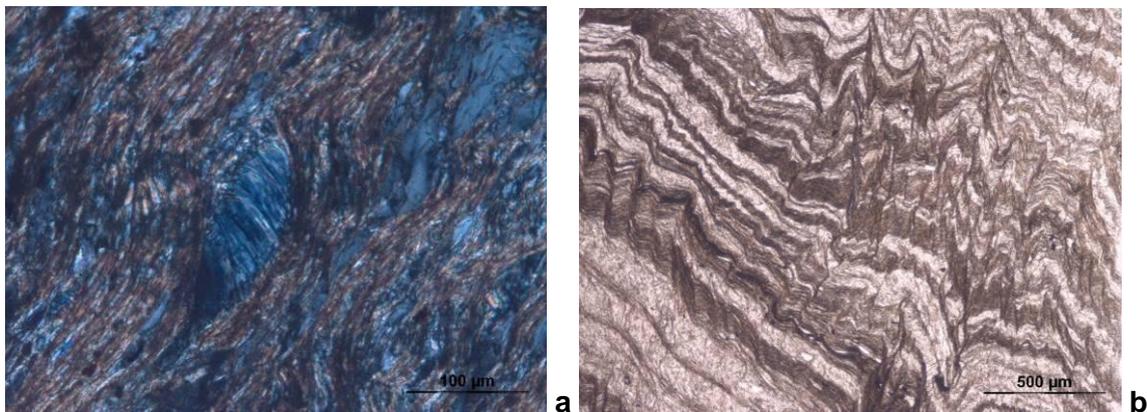
### **Campione n. 6**

**Litotipo:** argilloscisto.

**Località:** Val Polcevera.

**Mineralogia:** quarzo, clorite, mica bianca, minerali argillosi.

**Struttura:** la roccia, che rappresenta la porzione più argillosa degli argilloscisti di Murta (AGF), è costituita da alternanze di livelli a mica bianca, probabili minerali argillosi + clorite e livelli a quarzo prevalente. Sono presenti anche piccoli noduli di clorite allungati secondo la foliazione (Figura 10a) e occasionali clasti di altri litotipi.



**Figura 10 – (a): noduletto di clorite allungato secondo la foliazione principale; (b): la foliazione principale ( $S1 \pm S2$ ) è deformata da una crenulazione a spaziatura submillimetrica ( $S3$ ). Si confronti la figura (b) con le strutture mesoscopiche rappresentate in Figura 13.**

L'alternanza di livelli quarzosi e fillosilicatici, con spessore da millimetrico a submillimetrico, è chiaramente legata ad un processo di differenziazione metamorfica (Figura 11 ). Per quanto riguarda la storia deformativa si riconosce una foliazione principale ( $S1 \pm S2$ ), associata a un processo di differenziazione metamorfica e deformata da pieghe isoclinali, evidenziate dall'andamento delle vene di quarzo a grana molto fine (Figura 11 ). Segue un'ulteriore fase deformativa ( $D3$  probabile), che localmente sviluppa una finissima crenulazione con spaziatura submillimetrica (Figura 10b).



**Figura 11 - Foliiazione principale negli argilloscisti di Murta, definita da un'alternanza di livelli quarzosi e livelli fillosilicatici, generata da un processo di differenziazione metamorfica. Tale alternanza è tagliata da vene a quarzo successivamente deformate da un piegamento con piano assiale circa concordante con la foliazione principale (probabile fase  $D2$ ). Nell'angolo in alto a destra si intravede una pieghettatura aperta tardiva, associata a un leggero clivaggio di piano assiale, probabilmente riferibile alla fase  $D3$  (cfr. Figura 13).**

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 21 di 51</p>

## 6 EVOLUZIONE STRUTTURALE

### 6.1 Evoluzione strutturale sinmetamorfica

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

L'evoluzione strutturale che caratterizza le unità tettonometamorfiche presenti nell'area 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.

#### 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 submillimetriche a pluriometriche (es.: Figura 10, Figura 13), 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 e 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 stata tale da idratare e carbonatare le rocce trasformandole; le serpentiniti, ad

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02
	Foglio 22 di 51

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.

### 6.1.4 Contatti tra le unità

Secondo Capponi et al. (2008) il contatto tettonico tra l'unità Figogna e le due unità adiacenti Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde è posteriore alla fase composita D1+D2 ed è caratterizzato da zone di taglio milonitiche e cataclastiche sviluppate principalmente nei litotipi argillitici delle diverse unità.

Lungo la foliazione milonitica degli argilloscisti dell'unità Figogna sono presenti lenti da decametriche a chilometriche di metaofioliti, calcari e gessi che, secondo Capponi et al. (2008), costituiscono dei *boudin* trasposti lungo zone di taglio milonitico antecedenti alla deformazione D3, dalla quale risultano piegati.

Le unità tettoniche orientali, composte da flysch non metamorfici, sono sovrapposte tettonicamente all'unità tettonometamorfica Figogna secondo superfici immergenti verso est, anche se il riconoscimento dei contatti è problematico per la convergenza litologica dei litotipi e per la scarsa percentuale di affioramento.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 23 di 51</span>

## 6.2 Evoluzione strutturale postmetamorfica

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

In questo contesto, la zona Sestri-Voltaggio avrebbe costituito un sistema di svincolo trascorrente destro, di ordine minore, necessario ad accomodare la più importante trascorrenza regionale sinistra della megasutura localizzata lungo il bordo meridionale del cuneo formato dalla placca Adria. Al tempo stesso, secondo Capponi et al. (2009), durante il sovrascorrimento delle unità metaofiolitiche Liguri-Piemontesi sulle sottostanti unità flyschoidi, si sarebbe generato un sistema di faglie regionali, con direzione media NNW-SSE e con movimento prevalente di tipo trascorrente destro, denominato "sistema di faglie Sestri-Voltaggio/Lemme/Scriveria" (SLS), affiorante a cavallo tra il versante ligure e quello piemontese.

Queste strutture avrebbero agito come *tear faults*, cioè strutture trascorrenti che isolano lateralmente un settore in sovrascorrimento da quelli adiacenti, accomodando a scala locale, insieme ai sovrascorrimenti correlati, la trascorrenza sinistra instauratasi lungo il bordo meridionale della placca Adria a partire dall'Oligocene sup.

## 7 GEOLOGIA DELL'AREA DI INTERVENTO

### 7.1 Litostratigrafia locale

#### 7.1.1 Basamento prequaternario

Nel settore oggetto di studio affiorano i litotipi della formazione delle "Argille a Palombini del Passo della Bocchetta" (aP). Più in particolare, in accordo con l'interpretazione strutturale suggerita dal

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 24 di 51</span>

Foglio CARG Genova (Capponi et al., 2007, 2009), il camerone di tipo “C” compreso tra le PK 1+426 e 1+660 ricade all’interno dell’unità degli Argilloscisti di Murta (AGF), che in quest’area è strutturalmente sottostante agli Argilloscisti di Costagiutta (AGI). Questi ultimi affiorano verso lo spartiacque in una stretta fascia che, data l’immersione generale delle unità verso W, non dovrebbe estendersi fino a raggiungere la galleria in esame (Figura 2).

In affioramento, gli Argilloscisti di Murta (AGF) rappresentano il litotipo dominante mentre sono del tutto assenti i tipici livelli di calcari micritici silicei a grana fine, talora arenacei e marnosi, che caratterizzano gli Argilloscisti di Costagiutta.

La litofacies caratteristica è un argilloscisto a tessitura fittamente laminata, di colore da ocraceo a grigio scuro e di aspetto sericeo o grafitoso, sovente con lenti centimetrico-decimetriche a quarzo e/o quarzo + calcite, parallelizzate alla foliazione principale e con essa piegate. Gli argilloscisti sono molto alterati nei primi metri dalla superficie, principalmente per ossidazione e per argillificazione parziale delle fasi feldspatiche, mentre con la profondità l’ammasso roccioso tende rapidamente a chiudersi.

Il contatto tra le unità di Costagiutta e di Murta non è individuabile con precisione sul terreno, trattandosi più probabilmente di un passaggio transizionale, come indicato dalla colonna stratigrafica di Figura 3.

Verso ovest, in direzione della dorsale spartiacque, gli argilloscisti AGF passano quindi gradualmente agli argilloscisti AGI per graduale comparsa di intercalazioni carbonatiche decimetrico-metriche (tra l’altro non sempre presenti). Gli argilloscisti di Costagiutta (o di Murta, quando i primi sono assenti) sono a loro volta in contatto verso ovest con un sottile livello di metacalcri (metacalcri di Erzelli, cE, ERZ), cui segue un livello ancora più sottile e discontinuo di scisti silicei (d’, MHF). Gli scisti silicei sono in contatto stratigrafico con la grande massa di metabasalti del M. Figogna (B’, MBF) che forma la dorsale montuosa allungata in direzione N-S tra il M. Figogna e Sestri Ponente (Figura 2).

L’insieme comprendente metacalcri, scisti silicei e metabasalti forma una sequenza stratigrafica rovesciata (Figura 4), collocata in posizione geometricamente soprastante alla formazione aP e immergente verso ovest. I litotipi descritti non vanno quindi a intercettare il tracciato ferroviario nell’area di interesse.

La presenza di lenti tettoniche di metabasalti e scisti silicei all’interno degli argilloscisti aP, piuttosto comune a nord di Campomorone, sembra qui da escludere in base ai dati di terreno; anche il foglio CARG non riporta la presenza di intercalazioni di questa natura nel settore di studio.

### 7.1.2 Copertura quaternaria

Il substrato prequaternario è coperto da depositi alluvionali, localizzati essenzialmente nel letto del corso d’acqua principale (cfr. cartografia allegata) e da una coltre detritica di versante pressoché ubiquitaria.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 25 di 51</span>

### 7.1.2a Coltri detritiche di versante

La coltre detritica di versante ha, nell'area considerata, caratteri litologici fortemente condizionati dalla litologia del substrato. Le "Argille a Palombini" sono piuttosto sensibili all'alterazione superficiale; in questi litotipi, la dominante granulometria fine della roccia determina la formazione di prodotti residuali di tipo siltoso-argilloso che tendono ad avere permeabilità molto bassa; anche la roccia inalterata è caratterizzata da bassa permeabilità, per cui l'orizzonte di alterazione superficiale non si estende a grande profondità.

Tipicamente, quindi, la coltre detritico-colluviale che si origina da questi litotipi ha, sui versanti e nelle zone di cresta, uno spessore esiguo, inferiore a 1 m; negli impluvi e al piede dei versanti, processi di dissesto superficiale (colamenti, soliflussi, *mud flow*, ecc.) possono accumulare spessori di materiale detritico più consistenti (da 3 a 6 m).

Nell'area di studio, il detrito di versante è costituito da limi argillosi localmente sabbiosi, inglobanti elementi litoidi da centimetrici a pluridecimetrici costituiti da frammenti di argilloscisti; sulla base delle osservazioni effettuate in sito lo spessore medio di questi depositi può essere cautelativamente valutato in circa 1-3 m.

### 7.1.2b Depositi di frana

Sulle successioni argillitiche affioranti sul versante destro della Val Polcevera i depositi di frana sono generalmente da poco a mediamente potenti, in quanto derivano essenzialmente da dissesti a carattere superficiale, sviluppati a carico dei primi metri di coltre detritica e di substrato alterato.

Le caratteristiche di tali depositi sono analoghe a quelle della coltre detritico-colluviale, cioè granulometria fine, frazione limoso-argillosa non trascurabile. Si tratta quindi di depositi parzialmente coesivi, con bassa permeabilità e moderata-scarso capacità drenante.

I dissesti di questo tipo si attivano per lo più come colate di fango e detrito, che si formano in occasione di eventi piovosi di forte intensità, oppure come soliflussi a lenta evoluzione, favoriti dalla saturazione del terreno. L'estensione dei singoli fenomeni franosi legati a questa categoria di suoli è in genere piuttosto esigua.

Nell'area rilevata per lo studio della WBS in oggetto sono state osservate alcune frane della tipologia descritta, localizzate essenzialmente al piede dei versanti, lungo sbancamenti stradali che hanno destabilizzato il pendio per alcuni metri a monte della strada, oppure in presenza di scarpate di erosione fluviale, lungo il corso d'acqua principale e i suoi affluenti. Questi dissesti perdono rapidamente l'evidenza morfologica, sia a causa della densa vegetazione, sia a causa del progressivo rimodellamento delle nicchie di distacco e dei corpi di accumulo.

### 7.1.2c Depositi alluvionali

Nel settore interessato dalla WBS i depositi alluvionali attuali sono confinati agli alvei dei degli affluenti laterali del T. Polcevera; sono costituiti principalmente da ghiaie medie e grossolane a matrice sabbiosa e da ghiaie e sabbie limose.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 26 di 51</span>

I torrenti minori dell'area, tributari del Polcevera, sono associati a alluvionali organizzati in corpi sedimentari discontinui e di spessore ridotto, per lo più inferiore a 1 m, costituiti da ghiaie sabbiose e sabbie limose; i corsi d'acqua presenti nell'area di studio e, più in generale, in tutto il settore della Val Polcevera, sono caratterizzati da una marcata attività erosiva e da alvei in costante approfondimento, per cui il letto di questi corsi d'acqua è in gran parte caratterizzato dall'affioramento del substrato prequaternario.

Più a sud, al di fuori dell'area di interesse, la Val Polcevera è occupata in buona parte da depositi alluvionali grossolani, poiché riceve apporti dallo smantellamento dei rilievi impostati non solo nelle formazioni argillitiche e flyschoidi, ma anche nelle rocce metamorfiche della ZSV. Dati di sondaggi mettono comunque in evidenza anche settori con matrice a forte componente limosa e subordinatamente argillosa, a conferma dell'alimentazione molto eterogenea. Verso lo sbocco a mare tali livelli raggiungono un notevole spessore (pluridecametrico). Lo spessore dei depositi alluvionali della Val Polcevera (risalenti fino al Pliocene inferiore) è per lo più irregolare poiché essi colmano una superficie erosionale che, verso il settore a mare, può raggiungere i - 30/- 35 m rispetto all'attuale livello marino.

## 7.2 Assetto strutturale

### 7.2.1 La deformazione duttile nell'area di studio

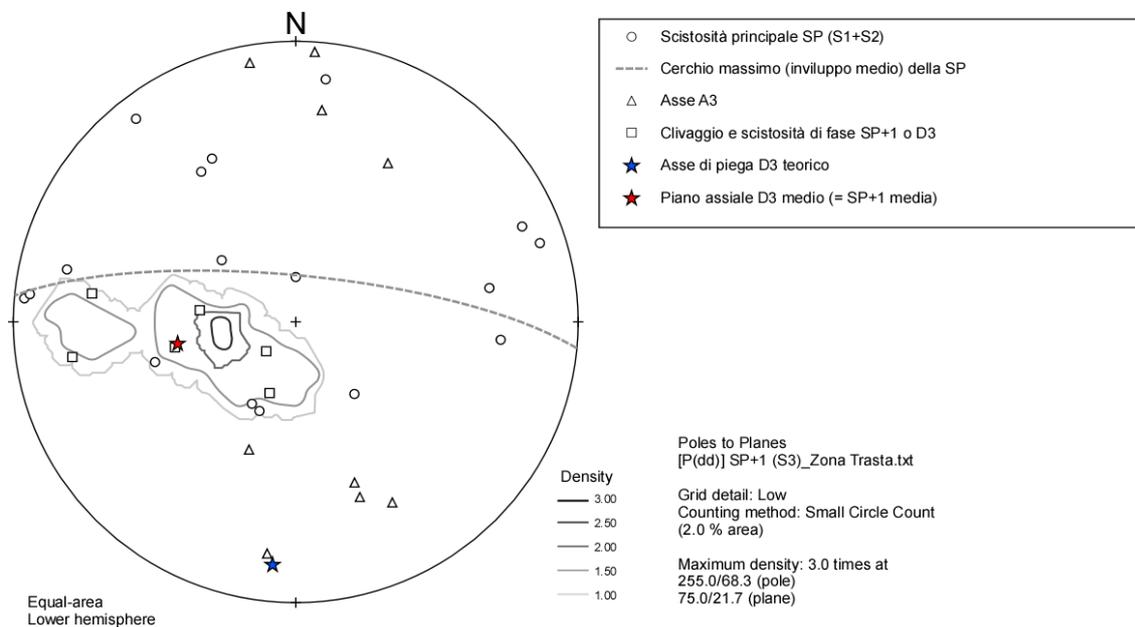
L'assetto strutturale della formazione delle "Argille a Palombini" è caratterizzato dalla presenza di una scistosità composita (S1+S2) pervasiva, con orientazione molto dispersa ma nel complesso con disposizione media tangente a un cerchio massimo ("best-fit girdle" in Figura 12) con giacitura 005/76. Questa disposizione della SP, che determina in affioramento giaciture immergenti sia verso E sia verso W, è determinata da una fitta successione di pieghe con stile da aperto a serrato, sovente disarmoniche e con fianchi rovesciati, ad asse mediamente diretto N-S, riferibili all'evento deformativo D3 precedentemente descritto.

In superficie si osservano serie di pieghe decimetrico-metriche a tutte le scale (Figura 5, Figura 13), che interessano in maniera pervasiva l'ammasso roccioso e che si associano allo sviluppo di un clivaggio spaziatto di piano assiale (SP+1), localmente passante a una vera e propria scistosità (S3) che occasionalmente oblitera quasi la SP composita preesistente.

Nel settore della WBS in esame (area Murta-Carpinello-Chiappino-Morasso-Trasta) i piani assiali D3 e la foliazione S3 associata immergono mediamente verso N79°E tra 20 e 70° ca. (cfr. simboli quadrati e contour in Figura 12). L'inviluppo delle giaciture della SP composita identifica un asse di piega A3 (teorico) con giacitura 185/14 (asterisco blu in Figura 12).

L'asse A3 teorico (che coincide con il polo del "best fit girdle") è in ottimo accordo con la giacitura degli assi di piega A3 misurati sul terreno, identificati dai simboli a triangolo in Figura 12.

Le più antiche pieghe isoclinali D1+D2 associate allo sviluppo della SP formano per lo più cerniere intrafoliali trasposte, visibili a scala decimetrica o centimetrica; non sono individuabili strutture di maggiori dimensioni riferibili alle fasi deformative precoci.



file: [P(dd)] SP\_Zona Trasta.txt

n = 17

Data differ significantly from uniform at the 0.95 level

Expected Distribution: Girdle

Preferential Orientation: None

Fold Axis: azimuth/plunge = 185.4/13.5

Best-fit Girdle: dipdir/dip = 5.4/76.5

Radius of confidence at 5%: 32.98 degrees

K = 2.14

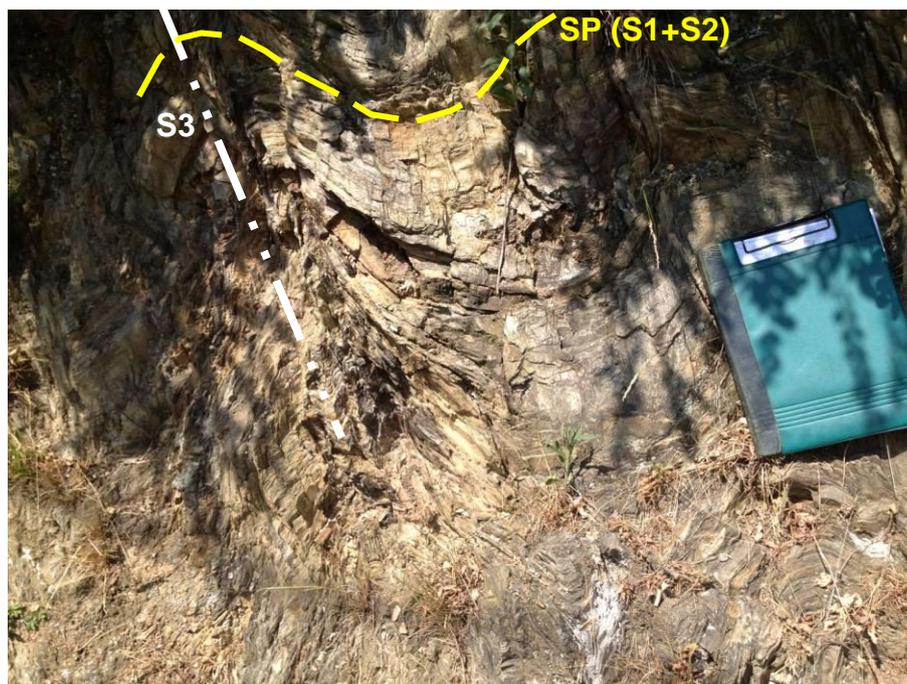
Eigenvectors:

- 1: 281.7 / 24.6

- 2: 69.1 / 61.5

- 3: 185.4 / 13.5

**Figura 12 –** Proiezione stereografica equiareale di Schmidt (emisfero inferiore) relativa ai dati strutturali misurati negli argilloscisti affioranti nel settore di studio. Le giaciture misurate sul terreno sono individuate dai seguenti simboli: cerchi (SP), quadrati (SP+1), triangoli (A3).



**Figura 13 –** Argilloscisti pieghettati dalla fase D3 nel settore a W della borgata di Trasta. Si nota un evidente clivaggio di piano assiale, con spaziatura centimetrica, legato alle pieghe D3.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 28 di 51</p>

Nel complesso quindi, l'ammasso roccioso presenta una forte anisotropia data dalla scistosità principale pervasiva, con struttura molto eterogenea a scala metrico-decаметrica, ma relativamente uniforme alla scala dell'intera opera. Allo stato attuale delle conoscenze, l'assetto geologico in corrispondenza della WBS in oggetto si può comunque ritenere noto con sufficiente precisione, data la notevole omogeneità litologica della formazione degli Argilloscisti di Murta (AGF).

I dati di sottosuolo disponibili derivano da alcuni sondaggi eseguiti lungo la linea a nord del settore di interesse, grazie ai quali il modello geologico di riferimento è da considerare sufficientemente affidabile; possibili differenze dal punto di vista dell'assetto strutturale a quota galleria, rispetto a quanto si osserva in superficie e nei sondaggi vicini, possono essere dovute a variazioni a scala decametrica della giacitura della scistosità, per effetto di pieghe aperte di fase D3, oppure a zone di faglia e/o piani di taglio cataclastico la cui presenza non è però, ad oggi, del tutto confermata dalle osservazioni di terreno. Si tratta comunque di differenze relativamente poco significative rispetto al quadro generale delineato.

La presenza, in profondità, di lenti di metabasalti e associati scisti silicei, è alquanto improbabile, poiché tali intercalazioni di natura tettonica si rinvengono nell'unità delle Argille a Palombini esclusivamente a nord del settore M. Figogna / Campomorone.

### 7.2.2 *La deformazione fragile nell'area di studio*

Nell'area di studio non sono state individuate in affioramento faglie significative, anche e soprattutto perché le condizioni di affioramento non sono favorevoli alla loro osservazione e gli indizi morfologici e fotogeologici non appaiono sufficienti, da soli, a stabilire se nell'area siano presenti o meno delle strutture fragili importanti.

Le riprese aeree disponibili consentono comunque di individuare alcuni fotolineamenti, ad esempio brusche variazioni della direzione degli alvei, tratti di impluvio approssimativamente rettilinei o scarpate con andamento lineare, che potrebbero corrispondere, almeno in alcuni casi, a zone di maggiore debolezza del substrato individuate da faglie e fratture, lungo le quali si imposta di preferenza l'erosione. La bassa percentuale di affioramento non consente tuttavia una verifica efficace dei singoli fotolineamenti sul terreno.

I principali set di lineamenti identificati (Figura 14) hanno direzione compresa tra NE-SW e ENE-WSW (L1) e subordinatamente N-S (L2) e WNW-ESE (L3). La spaziatura tra i fotolineamenti rilevati nell'intorno dell'opera è dell'ordine di 100-200 m ca. La WBS oggetto di studio interseca solo uno di questi lineamenti, cui non è possibile sul terreno associare una struttura precisa.

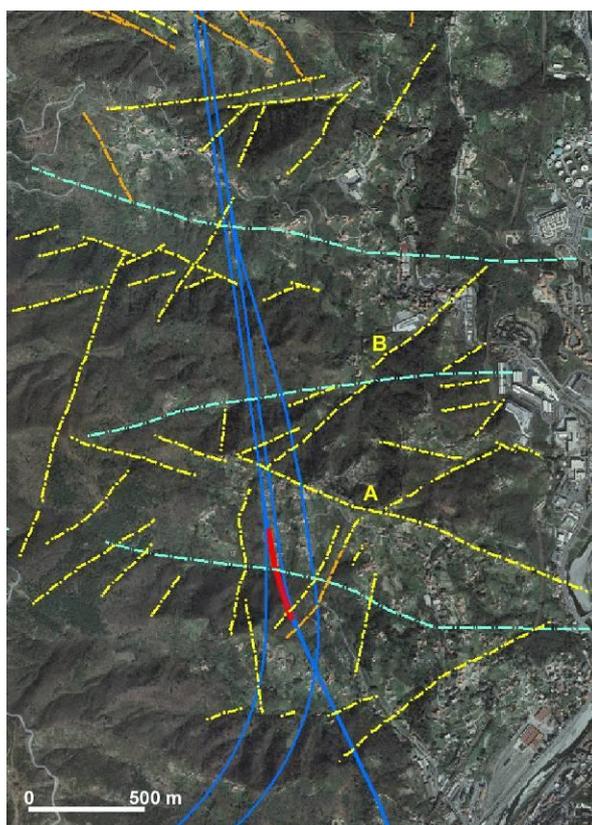
Anche il tratto d'alveo del Rio Ciliegia che corre a cavallo della WBS in oggetto sembra corrispondere a un lineamento approssimativamente rettilineo del set L3, tuttavia anche in questo caso non vi è evidenza chiara di strutture tettoniche significative.

Ai fotolineamenti osservati si aggiungono alcune faglie, individuate dalla cartografia CARG (Figura 14), che sono da considerare solo presunte, in quanto sul terreno non vi è una chiara evidenza della loro presenza; infatti, l'apparente dislocazione delle unità litostratigrafiche lungo tali strutture, indicata nel Foglio "Genova" (cfr. Figura 2), spesso non è chiaramente determinabile sul terreno, a

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02	Foglio 29 di 51

causa della bassa percentuale di affioramento e potrebbe essere spiegata altrettanto efficacemente con semplici variazioni della giacitura legate alla deformazione duttile.

Per tale motivo, allo stato attuale delle conoscenze, la loro presenza a quota galleria è solo presunta ma non accertata.



**Figura 14 – Principali elementi strutturali lineari dell’area di studio; sulla destra il fondovalle del T. Polcevera.**

**Legenda:** (giallo): fotolineamenti, potenzialmente riferibili a discontinuità strutturali; (arancione): faglie presunte, da sondaggio, da rilievi di terreno e/o da dati del PD riveduti; (azzurro): faglie principali da cartografia CARG, Foglio “Genova”; (blu): tracciati di linea; (rosso): WBS in esame.

Per quanto riguarda le discontinuità minori, si può osservare che:

- piccoli piani di taglio a medio-basso angolo non cartografabili (mesofaglie), associati a cataclasiti di spessore centimetrico, sono talora osservabili negli argilloscisti in associazione a clivaggi di piano assiale di pieghe aperte D3; l’associazione tra piani assiali D3 e zone di taglio cataclastico a cinematisimo inverso è riconosciuta in diversi altri settori della Val Polcevera.
- Nei sondaggi descritti nel capitolo successivo, gli argilloscisti attraversati sono caratterizzati dalla presenza sporadica di zone di roccia brecciata e argillificata, che ricorrono relativamente di rado, con spaziatura per lo meno ettometrica e che possono essere riferiti sia a zone di faglia sia a piani di taglio cataclastico a basso angolo. Una faglia in particolare, intercettata dal sondaggio SC18, è stata estrapolata sia in superficie, dove potrebbe coincidere con un fotolineamento di direzione NNE-SSW (Figura 14), sia a quota galleria.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02 <table border="1" style="float: right; margin-left: auto;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Foglio 30 di 51</td> </tr> </table>	Foglio 30 di 51
Foglio 30 di 51		

- Zone di relativo incremento della deformazione fragile ed eventualmente di cataclasi possono infine essere associate a scorrimenti interstrato (*slip* flessurale), anch'essi legati al piegamento D3.

In definitiva, è molto probabile che l'ammasso roccioso lungo l'asse della galleria possa essere interessato da alcune strutture fragili che, in base a quanto si osserva sul terreno e in sondaggio, dovrebbero essere di potenza relativamente ridotta (alcuni metri) e non dovrebbero determinare un peggioramento diffuso delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso, al di fuori della *damage zone* loro associata. Le faglie principali presunte si localizzano intorno alle pk 1+730 e 1+900 circa.

### 7.3 Geomorfologia

L'area oggetto di studio è situata a cavallo dell'alveo del Rio Ciliegia. Il settore in esame non è stato soggetto al glacialismo pleistocenico, per cui le uniche espressioni morfologiche sono correlate all'evoluzione dei versanti per gravità e per erosione fluviale torrentizia. L'area di studio ricade in una zona collinare con quota massima di circa 200-220 m sulla verticale della linea nei pressi della WBS in esame; le zone di testata dei due bacini raggiungono i 550-650 m di quota, in corrispondenza della dorsale M. Figogna-Bric Teiolo. I versanti sono nel complesso piuttosto acclivi, e sono spesso stati rielaborati in epoca storica da terrazzamenti diffusi, connessi a un'attività di sfruttamento e gestione del territorio montano che nei secoli passati è stata piuttosto intensiva.

In base ai dati contenuti negli elaborati del Piano di Bacino del T. Polcevera, i versanti della valle del Rio Ciliegia e del Rio Trasta non risultano caratterizzati da particolare propensione all'instabilità superficiale. Nelle tavole del piano sono identificate, sul versante in destra del Rio Ciliegia, due ampie aree in "frana attiva" per fluidificazione dei terreni incoerenti della coltre superficiale, che coincidono con due impluvi laterali la cui morfologia non sembra però mostrare indizi di particolare dissesto. Queste aree, cautelativamente mantenute a livello cartografico, sono state ridimensionate in base alla distribuzione degli affioramenti osservata sul terreno.

La banca dati IFFI Liguria (<http://cartodownloadpubb.regione.liguria.it>) riporta inoltre alcuni fenomeni franosi descritti come colamenti generici, in stato quiescente, localizzati nel bacino del Rio Ciliegia a valle delle frazioni Chiappino e Parodi e sul versante E del Bric del Teiolo. La cartografia CARG riporta inoltre due settori costituiti da "accumulo di frana" (senza specificarne lo stato di attività) in sponda destra del Rio Trasta a W del tracciato di linea e in sponda destra del Rio Ciliegia, appena a E del tracciato, in corrispondenza delle due WBS GN12 e GN13. Queste zone sono intensamente vegetate, tuttavia non mostrano indizi di movimenti in atto, oltre a non essere indicate nella cartografia IFFI e del Piano di Bacino del Polcevera. Anche volendo mantenere l'informazione derivata dal CARG, bisogna osservare che la distribuzione degli affioramenti di substrato stabile suggerisce una ripermimetrazione del presunto dissesto localizzato più a W.

Dal punto di vista dell'interazione tra morfologia e dinamica delle acque superficiali, si osserva come i processi erosivi dovuti alle acque di ruscellamento superficiale siano ovunque piuttosto intensi, con frequenti fenomeni di erosione diffusa, soprattutto a carico di quei pendii lasciati incolti e privi di vegetazione boschiva.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 31 di 51</p>

Il reticolo idrografico minore è costituito in prevalenza da aste a deflusso stagionale o temporaneo ed è soggetto a un generale processo di ringiovanimento, presumibilmente per cause neotettoniche. Infatti, l'erosione concentrata di fondo lungo le aste dei corsi d'acqua, sia negli impluvi laterali sia lungo i rii maggiori è piuttosto accentuata. Gli argilloscisti non sviluppano una coltre di alterazione molto potente e questa viene facilmente incisa e dilavata dalle acque di ruscellamento; di conseguenza, buona parte degli alvei e delle sponde dei corsi d'acqua sono direttamente incisi nel substrato prequaternario.

A conferma della tendenza erosiva del reticolato idrografico vi è anche l'esiguità dei depositi alluvionali deposti in alveo e il fatto che le alluvioni meno recenti sono progressivamente erose nel corso degli eventi di piena..

Data la collocazione delle opere in progetto, non sono comunque ipotizzabili interferenze da parte della dinamica delle acque superficiali.

La verifica di terreno delle informazioni geomorfologiche deducibili dalla cartografia esistente è stata indirizzata, fra l'altro, a valutare lo stato di dissesto dei versanti, in relazione a dissesti a carattere meno superficiale (tipo DGPV), potenzialmente in grado di interferire con le opere in sotterraneo. Non sono tuttavia emersi elementi tali da far ritenere che vi sia il rischio di interferenza con fenomeni di questo tipo.

Il rilevamento ha messo in luce come la totalità dei fenomeni di instabilità di versante presenti sia legata all'evoluzione della coltre detritica superficiale, la cui potenziale suscettibilità al dissesto è determinata:

- dalle caratteristiche geomeccaniche relativamente mediocri dell'ammasso roccioso nella fascia di maggiore alterazione superficiale, che può raggiungere alcuni metri di spessore;
- dagli scadenti parametri di resistenza dei terreni della coltre detritica, che derivano direttamente dalla disgregazione del substrato metapelitico e che sono quindi caratterizzati da matrice a granulometria prevalentemente limoso-argillosa;
- dall'azione erosiva dei corsi d'acqua, che tende a destabilizzare gli accumuli detritici deposti al piede dei versanti.

Nel corso dei rilievi di terreno sono stati osservati diversi fenomeni franosi superficiali; si tratta in generale di scivolamenti per fluidificazione dei terreni incoerenti della coltre detritica, che non interessano il substrato prequaternario e rimangono confinati a un orizzonte molto corticale, di spessore non superiore a 3-5 m. Molto spesso questi fenomeni sono in stato appena incipiente e sono identificabili unicamente per la presenza di fratture e avvallamenti nel manto stradale. I corpi di accumulo, a tessitura caotica e dello spessore di alcuni metri, sono in genere visibili a pochi metri dalla zona di distacco, a conferma della ridotta entità dei movimenti.

Fenomeni localizzati di instabilità sono anche possibili in corrispondenza di sbancamenti stradali non adeguatamente sostenuti e protetti dall'erosione per ruscellamento.

In base alle informazioni acquisite e date le caratteristiche dei fenomeni osservati, si esclude qualsiasi interferenza tra la dinamica gravitativa di versante e la WBS in progetto.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 32 di 51</span>

## 8 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Sono disponibili le stratigrafie di massima di quattro sondaggi, eseguiti in fase di PP e di PD per caratterizzare il tracciato ferroviario dal punto di vista geologico-idrogeologico e geotecnico-geomeccanico, che possono essere utilizzate per una verifica dello stato dell'ammasso roccioso in profondità, in relazione a quanto osservato sul terreno.

Si tratta dei sondaggi:

- AA301G045 - Progetto Preliminare (2002), della lunghezza di 70 m, realizzato lungo la strada per Trasta, 150 m a ENE dell'asse della galleria,  $pk_{\text{pari}} 1+725$  ca.
- AA301G048 - Progetto Preliminare (2002), della lunghezza di 65 m, interamente carotato, realizzato lungo il Rio Ciliegia, 30 m a WSW dell'asse della galleria,  $pk_{\text{pari}} 1+875$  ca.
- AA301G049 - Progetto Preliminare (2002), della lunghezza di 127 m, realizzato lungo la valle del Rio Ciliegia, in asse al binario Pari, 340 m ca. a NNW della WBS GN13 (punto mediano dell'opera);
- SC18 – Progetto Definitivo (2004), lunghezza 130 m, realizzato all'incirca nello stesso punto del precedente sondaggio AA301G045.
- L3-S19 – Progetto esecutivo (2015), della lunghezza di 70 m, realizzato in loc. Via Favale a Nord-ovest del precedente sondaggio AA301G045.

Le stratigrafie dei sondaggi disponibili sono state analizzate in dettaglio allo scopo di ricostruire l'assetto geologico del settore interessato dalla WBS in esame; i risultati di questa analisi sono sintetizzati nei profili di progetto allegati al presente rapporto. Di seguito si riassumono sinteticamente le principali caratteristiche delle stratigrafie dei diversi sondaggi; per i dettagli inerenti le singole stratigrafie si rimanda ai documenti disponibili, prodotti dalle ditte incaricate dell'esecuzione delle indagini.

Il **sondaggio AA301G045** ha attraversato depositi quaternari fino a (presumibilmente) 8.8 m dal p.c., quindi argilloscisti alterati tra 8.8 e 11 m e successivamente argilloscisti da grigio scuri a nerastri, con vene biancastre a quarzo-calcite, da compatti a fratturati. La fascia maggiormente fratturata è compresa tra 15,4 e 19,0 m dove si rileva la presenza di livelli centimetrici di gouge argilloso (possibile zona di faglia).

Non sono disponibili né la documentazione fotografica, né indicazioni sulla giacitura della foliazione, che si presume interessata da un fitto piegamento.

Il **sondaggio AA301G045** ha attraversato depositi quaternari fino a 2 m dal p.c., quindi argilloscisti alterati tra 2 e 3 m e successivamente argilloscisti grigio scuro, con patine di ossidazione e, localmente, con livelli più destrutturati ("frammenti lapidei immersi in matrice sabbiosa derivante dalla disgregazione della roccia") di pochi dm di spessore.

Tratti molto fratturati sono individuati da 31 a 32 m, da 40 a 45 m e da 63 a 65 m, mentre nella restante parte del sondaggio le fratture sono prevalentemente meccaniche lungo foliazione. Non vengono riconosciute faglie, tuttavia i tratti tra 8.5 e 9 m e tra 31 e 32 m, dove viene descritto un

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 33 di 51</p>

argiloscisto “*meno consistente, più molle*”, potrebbero corrispondere a zone cataclastiche con associato gouge di faglia, con giacitura imprecisata.

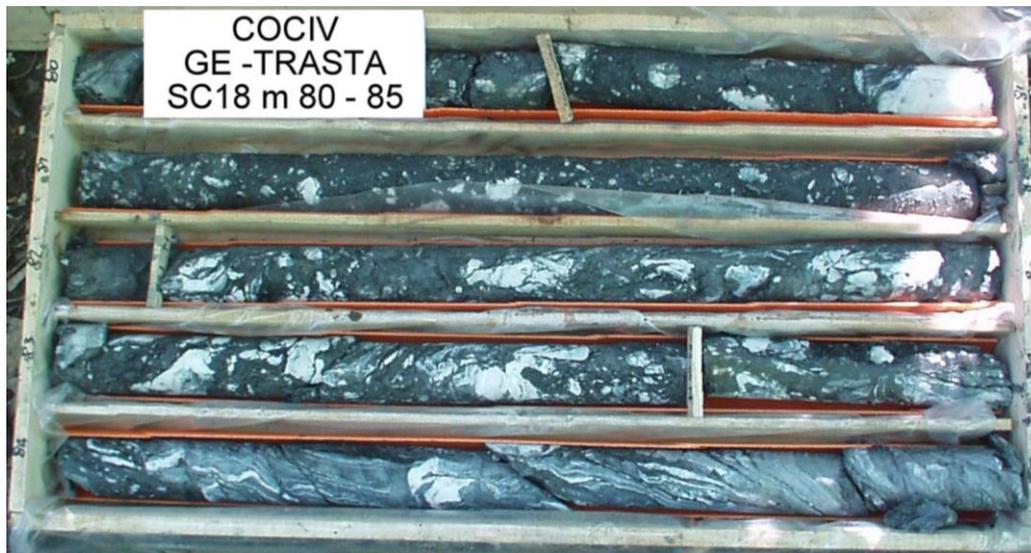
Non sono disponibili indicazioni sulla giacitura della foliazione, che si presume interessata da una fitta pieghettatura.

Il **Sondaggio AA301G049** ha attraversato depositi quaternari fino a (presumibilmente) 7.7 m dal p.c., quindi argiloscisti alterati tra 7.7 e 9.3 m, argiloscisti da grigi a grigio scuri, molto fratturati e mediamente alterati fra 9.3 e 14.4 m, argiloscisti da grigio scuro a nerastri, molto foliati, con lenti e vene a quarzo-calcite. La roccia è per lo più compatta, con porzioni meno consistenti individuate negli intervalli 20.0 ÷ 20.5 m, 22.0 ÷ 23.0, 42.15 ÷ 43.5, 85.0 ÷ 89.0, 90.0 ÷ 93.0, 119.0 ÷ 123.0 e 124.6 ÷ 127.0. È segnalata la locale presenza di “livelli centimetrici di argilla” (gouge?) ma non di zone di faglia vere e proprie.

Non sono disponibili né la documentazione fotografica, né indicazioni sulla giacitura della foliazione, che si presume interessata da un fitto piegamento.

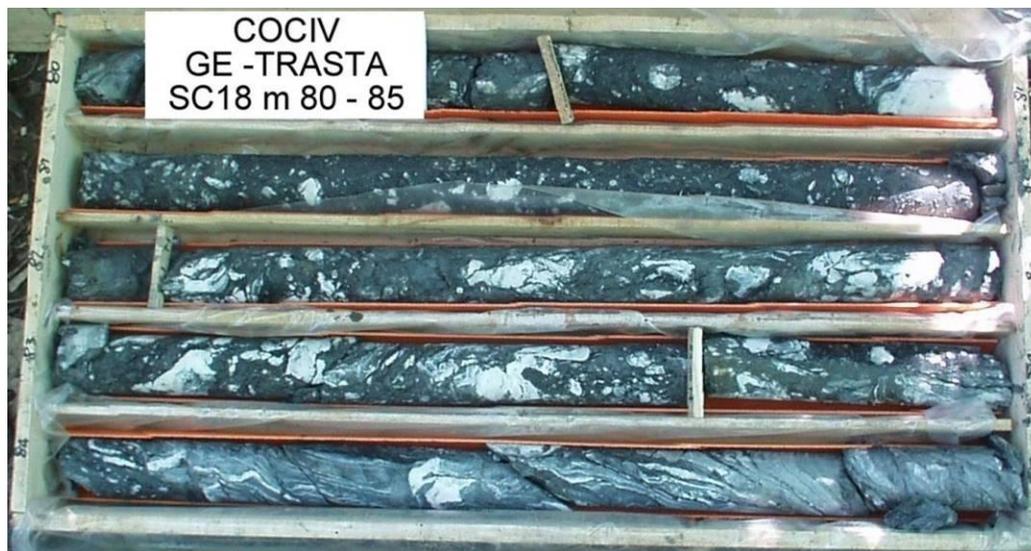
Il **sondaggio SC18** ha praticamente ribattuto l’asse del sondaggio AA301G045, attraversando argiloscisti in posto molto alterati, fratturati e ossidati fino a 4.5 m dal p.c., quindi argiloscisti grigio-nerastri molto fratturati ma non ossidati tra 4.5 e 7 m e infine una sequenza omogenea di argiloscisti grigio-nerastri con lenti e vene centimetrico-decimetriche a Qz-Cc e con foliazione fittamente pieghettata da pieghe aperte D3 a scala da centimetrica a metrica. L’ammasso si presenta in genere poco o mediamente fratturato.

La roccia è molto fratturata fino a 25 m, mentre al di sotto di tale profondità si riconoscono alcune zone a brecce cataclastiche ben distinguibili nella documentazione fotografica (zone di faglia probabili). La principale fascia di brecce cataclastiche a frammenti di Qz±Cc e di argiloscisti in matrice costituita da gouge argilloso caotico, grigio-nerastro, si colloca tra 76 e 84 m (Figura 16); fasce minori di brecce cataclastiche si osservano tra 42.5 e 43.5 m, tra 46.5 e 48.2 m, tra 68 e 73.2 m, tra 85.3 e 85.8 m.



**Figura 15 – Sondaggio SC18: esempio di breccie cataclastiche a frammenti chiari (Qz e Cc) in matrice cataclastica grigio-nerastra, localmente argillificata. Nel tratto di carota tra 84 e 85 m si osserva un ammasso sano, con alcune pieghe D3 centimetrico-decimetriche.**

La potenza reale della zona di faglia attraversata dal sondaggio è stimabile in base all'analisi delle fotografie, da cui risulta probabile un'inclinazione media intorno a 60-70° (Figura 16); con tale inclinazione, lo spessore reale della fascia cataclastica principale, attraversata per 8 m ca. tra 76 e 84 m, risulta dell'ordine di 2,5-3 m.



**Figura 16 – Sondaggio SC18: esempio di breccie cataclastiche a frammenti chiari (Qz e Cc) in matrice cataclastica grigio-nerastra, localmente argillificata (carote da 80 a 84.1 m). Nel tratto di carota tra 84.1 e 85 m si osserva un ammasso sano, con alcune pieghe D3 centimetrico-decimetriche.**

Il **sondaggio L3-S19**, al di sotto di 3,3 m di depositi colluviali superficiali, ha attraversato argillocisti di colore grigio scuro – nerastro, localmente grigio chiari, moderatamente fratturali, (RQD medio >50%) e localmente molto fratturati (8-10 m – RQD = 0). La roccia di presenta

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 35 di 51</p>

fittamente foliata, con scistosità da perpendicolare fino ad inclinata a 20° circa rispetto all'asse carota. Verso il fondo del sondaggio (65-70 m) si osservano ripiegamenti intensi della foliazione, con geometrie da serrate ad aperte.

In conclusione, tra gli elementi di maggiore interesse emersi dall'analisi delle stratigrafie si segnala quanto segue:

- nel foro AA301G045 è presente una zona di faglia potente circa 4 m, tra 15,4 e 19,0 m dove si rileva la presenza di livelli centimetrici di gouge argilloso.
- Nello stesso foro, a partire dalla profondità di 50 m, si osservano frequenti intercalazioni calcaree riferibili all'unità con "Palombini" degli Argilloscisti di Costagiutta (AGI); è probabile che a tale profondità si trovi un limite graduale tra le unità AGF e AGI.
- Queste informazioni sono confermate del foro SC18, che ha praticamente ribattuto l'asse del sondaggio AA301G045; tra 37.8 e 76 m sono segnalati livelli con "alta percentuale di cemento calcareo" (unità AGI?); inoltre è presente una fascia principale di brecce cataclastiche a frammenti di Qz ± Cc e di argilloscisti in matrice costituita da gouge argilloso caotico, grigio-nerastro, tra 76 e 84 m di profondità.
- Considerazioni di carattere fotogeologico e geomorfologico suggeriscono che questa faglia possa essere correlata a un fotolineamento del set L1, di direzione NNE-SSW (Figura 14) e che, quindi, possa andare a intersecare l'opera in progetto verso la pk 1+625.
- La potenza reale della zona di faglia attraversata dal sondaggio SC18 è stimabile, in base all'inclinazione media dei piani di taglio, nell'ordine di 2,5-3 m; la giacitura è inclinata di 60-70°.
- Al di fuori delle fasce cataclastiche, l'ammasso roccioso si presenta piuttosto sano, con frequenti fratture delle carote lungo i piani di foliazione, sempre molto ravvicinati. L'RQD è prossimo ai valori più elevati (> 80) per più del 60% della lunghezza totale carotata; nelle zone di fratturazione può variare tra 30 e 70 (20% del totale), mentre solo in zone di particolare fratturazione e/o cataclasi si abbassa a valori inferiori a 20 (20% del totale, di cui quasi tutto nella fascia superficiale, tra 0 e 25 m dal piano campagna).
- La scistosità principale immerge di 20-40° (direzione imprecisata) fino a 65-70 m, per poi raddrizzarsi al di sotto di tale profondità, per effetto della D3 a scala pluridecimetrica, assumendo inclinazioni tra 60 e 90° e localmente rovesciandosi. In base alle giaciture misurate in affioramento, la direzione dell'inviluppo della SP si dispone intorno a un asse D3 suborizzontale e orientato da N-S a NNE-SSW.

## 8.1 Indagini geofisiche

In fase di PD è stata eseguita una tomografia sismica superficiale in corrispondenza della WBS R11A, corrispondente all'attraversamento del Rio Trasta da parte dei binari di linea; in base all'interpretazione fornita dai geofisici sarebbe presente una prima fascia di "materiale detritico molto allentato", fino alla profondità di 10÷12 m, caratterizzata da velocità delle onde sismiche  $V_p < 2$  km/s. A questa zona superficiale, interpretata come "in parte detritica e in parte anche lapidea assai degradata", segue un altro orizzonte interpretato come "materiale lapideo molto

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 36 di 51</p>

alterato e fratturato” per almeno 3÷6 m di spessore ( $V_p = 2-3$  km/s) e successivamente “materiale lapideo più consistente” fino alle maggiori profondità indagate.

I rilievi geologici di dettaglio eseguiti in sito per il Progetto Esecutivo sia per la WBS IN1A sia per l’opera in oggetto hanno messo in evidenza la presenza del substrato costituito da argilloscisti a profondità di pochi metri al di sotto della coltre detritica di versante e spesso anche subaffiorante al di sotto di pochi decimetri di materiale sciolto di versante.

Come già osservato per la WBS RI1A, sulla base dei dati di terreno e anche di dati di  $V_p$  relativi ad altri contesti, riteniamo che l’interpretazione fornita con i rilievi geofisici possa essere parzialmente rivista; il limite di  $V_p = 2000$  m/s come interfaccia tra coltre detritica e substrato molto alterato appare eccessivo, se si considera che velocità tra 2 e 2.2 km/s sono abbastanza comuni in rocce metamorfiche poco fratturate (gneiss).

Il passaggio tra coltre detritico-colluviale e substrato roccioso alterato può verosimilmente essere collocato a velocità inferiori; analogamente, anche l’interfaccia tra substrato alterato e substrato poco alterato si colloca realisticamente a velocità inferiori a quelle indicate, considerato che gli argilloscisti affioranti non mostrano di essere particolarmente degradati.

## 9 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

### 9.1 Modello idrogeologico generale

L’elaborazione del modello idrogeologico concettuale in fase di PE ha portato alla revisione della suddivisione in complessi idrogeologici delle unità geologiche interessate dal tracciato ferroviario, come adottata nella fase di PD. La revisione è basata principalmente su un’analisi di maggior dettaglio delle prove idrauliche disponibili per i sondaggi del PP e del PD, integrate con nuove prove idrauliche realizzate nel quadro delle indagini complementari previste dal PE.

La caratterizzazione dettagliata dei vari complessi idrogeologici intercettati dal tracciato dell’opera è contenuta nella Relazione Idrogeologica Generale del Progetto Esecutivo (elaborato GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE-00-0-2-001-A00) e nelle tavole idrogeologiche allegate.

Nel presente rapporto verrà fornita una sintesi dei dati principali utili alla descrizione del comportamento idrogeologico delle formazioni attraversate, mentre per i dettagli si rimanda alla lettura della suddetta relazione idrogeologica generale.

#### 9.1.1 Complessi idrogeologici e permeabilità

La WBS in esame si sviluppa all’interno della formazione delle “Argille a Palombini del Passo della Bocchetta” (aP), facente parte del Complesso Idrogeologico 15, in cui la permeabilità è legata al grado di fratturazione dell’ammasso roccioso e al tipo di roccia considerato.

I litotipi di questo complesso idrogeologico fanno parte di unità metamorfiche con permeabilità sostanzialmente legata alla fratturazione dell’ammasso roccioso, a sua volta dipendente dalla

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 37 di 51</span>

reologia del tipo di roccia considerato. Trattandosi di litotipi a prevalente composizione fillosilicatica il grado di permeabilità non raggiunge mai valori particolarmente elevati.

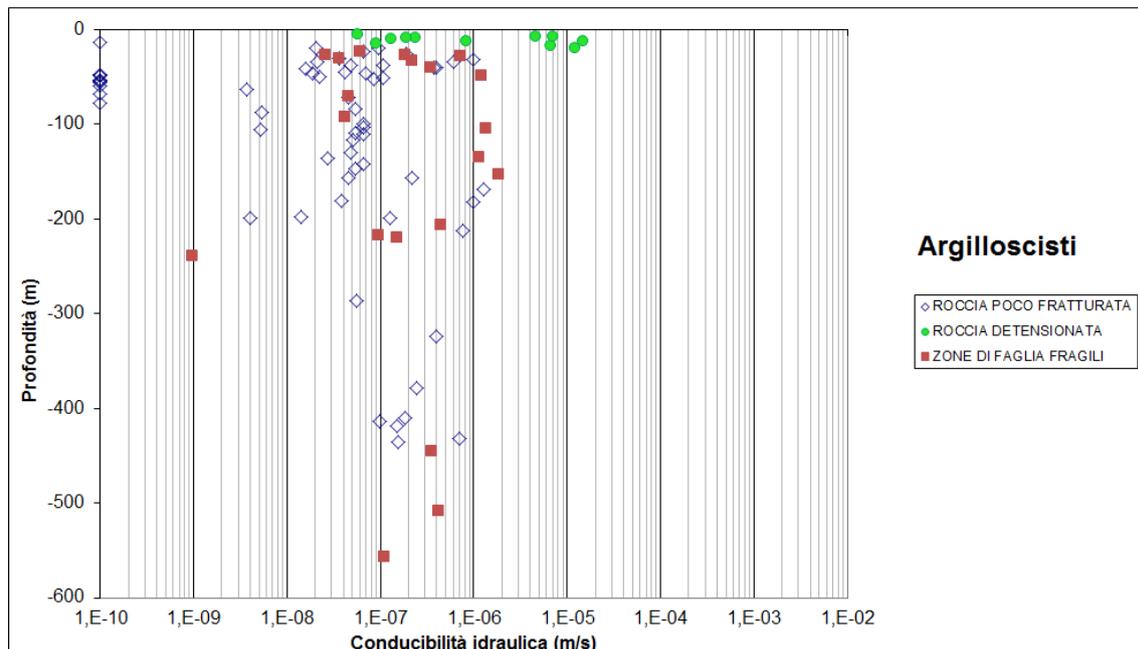
I test idraulici disponibili sull'intera area di progetto indicano, al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra  $1E-07$  e  $1E-08$  m/s, meno frequentemente tendenti a  $1E-06$  m/s, come evidenziato dal diagramma di Figura 17. Esistono numerose incertezze circa la rappresentatività dei valori maggiori. Essi derivano in gran parte da test Lugeon eseguiti nei sondaggi di PD, che presentano diagrammi con curve pressione/portata alquanto anomale. Volendo ritenere rappresentativi tali valori elevati, essi potrebbero corrispondere a bancate carbonatiche di maggior spessore, a comportamento più rigido e quindi maggiormente fratturate; dal momento che queste bancate non hanno mai un'estensione laterale particolarmente elevata (al più pluridecimetrica) tali valori hanno una rappresentatività locale, mentre l'ammasso a grande scala dovrebbe sempre presentare una permeabilità meno elevata.

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 17) mostra una certa dispersione dei valori, anche se si può osservare che la conducibilità nelle faglie è distribuita con maggior frequenza in un intervallo compreso all'incirca tra  $1E-06$  e  $1E-07$  m/s, con sporadici valori di conducibilità anche di poco maggiori di  $1E-06$ . 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. Anche nel caso delle zone di faglia esistono comunque delle perplessità in merito alla rappresentatività dei test idraulici disponibili.

Le perplessità riguardo alla possibile elevata conducibilità idraulica dei litotipi appartenenti a questo complesso, sia in zona di faglia che nei settori con normale stato di fratturazione, derivano soprattutto dall'analisi dei dati di scavo delle finestre Val Lemme, Polcevera e, in parte, Castagnola. Queste finestre che, al momento della redazione del presente rapporto sono ormai in gran parte terminate, sono pressoché interamente scavate all'interno degli argilloscisti e per esse COCIV dispone di dati di monitoraggio delle portate ai portali.

La galleria Val Lemme, che misura circa 1600m di lunghezza, scarica al portale delle portate dell'ordine dei 0,5-1,5 l/s a seconda del periodo dell'anno. Questi afflussi, ormai da considerarsi stabilizzati, provengono peraltro quasi interamente dai primi 150m dall'imbocco, ove le coperture topografiche sono relativamente basse e la permeabilità dell'ammasso risente ancora dello stato di alterazione, detensionamento e parziale dissoluzione del carbonato, tutti fenomeni che tendono ad incrementarla rispetto a quella dell'ammasso non alterato.

La galleria Polcevera, che misura circa 1800m, scarica anch'essa portate molto basse, dell'ordine dei 2,5-3,5 l/s; in questo caso gli afflussi non sono concentrati nella zona del portale ma in diverse zone lungo lo sviluppo dell'opera.



**Figura 17. Grafico delle conducibilità idrauliche per gli argilloscisti (Argille a Palombini e argilliti in genere).**

La Galleria Castagnola, al momento della redazione del presente rapporto scavata fino alla pk 1+600 ca., presenta portate che oscillano tra 1 e 0,5 l/s.

Tutti questi dati mostrano come nei circa 5 km di gallerie ad oggi scavati negli argilloscisti, le portate stabilizzate o pseudo-stabilizzate risultino sempre molto basse. Portate di questo tipo, se analizzate in back-analysis mediante le funzioni analitiche utilizzate nel paragrafo 5.2 della relazione idrogeologica generale implicano l'assunzione di conducibilità idrauliche dell'ordine di  $1E-08$  m/s per l'ammasso roccioso in normale stato di fratturazione e di  $5E-08$  m/s per le zone di faglia.

Dal momento che il dato di scavo coinvolge volumi di ammasso ben maggiori di quanto non accada per un test idraulico di tipo Lugeon, esso è da ritenersi maggiormente significativo; pertanto il grado di permeabilità degli argilloscisti è da ritenersi basso.

Per quanto attiene invece allo stato di permeabilità di questi litotipi a basse profondità, dall'osservazione dei sondaggi è stato possibile inserire nel diagramma di Figura 17 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 più elevate, comprese tra  $1E-05$  e  $1E-07$  m/s. Peraltro i dati di scavo sembrano confermare che l'ammasso in argilloscisti sotto coperture anche fino a 100m, sembra risentire di fenomeni di alterazione e dissoluzione del carbonato.

La galleria Campasso, ad oggi completamente scavata, che presenta una lunghezza di circa 500m e coperture basse, che raggiungono al più i 70m, ha presentato venute temporanee puntuali nell'ordine dei 3,5 l/s; la galleria. Allo stesso modo la Galleria di Valico, di cui al momento della redazione del presente rapporto risultano scavati circa 200m dal portale sud, ha presentato venute puntuali fino a 5 l/s sotto coperture dell'ordine dei 70-80m, probabilmente associate alla presenza di una zona di faglia.

Questi dati, ove analizzati in back-analysis tramite le formulazioni analitiche di cui al capitolo paragrafo 5.2 della relazione idrogeologica generale, attestano di conducibilità idrauliche degli argillocisti nell'ordine dei 1E-07 m/s – 1E-06 m/s. Pertanto si può concludere che sotto coperture dell'ordine del centinaio di metri o inferiori siano da assumersi per questo complesso delle permeabilità di questo ordine di grandezza.

## 9.2 Classi di comportamento idrogeologico

Gli aspetti teorici inerenti il comportamento idrogeologico dell'ammasso e l'evoluzione del carico idraulico in funzione dello scavo di un tunnel sono sviluppati nella Relazione Idrogeologica Generale, cui si rimanda per i dettagli.

In questa sede si richiama unicamente la classificazione delle gallerie in progetto in base al comportamento idrogeologico dell'ammasso scavato, in relazione i) ai carichi idraulici attesi e ii) alla permeabilità.

Nell'ambito della quantificazione della permeabilità dell'ammasso roccioso si è fatto riferimento alle classi indicate nella successiva Tabella 2.

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 2 – 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).**

Sulla base di questa classificazione, sono state definite quattro diverse classi di comportamento idrogeologico dell'ammasso, sintetizzate in Tabella 3 e riportate nel profilo geologico-idrogeologico previsionale. Per la Classe A è possibile prendere in considerazione la realizzazione di un rivestimento completamente impermeabile. Per le classi B, C e D sarà necessario valutare l'opportunità di realizzare un sistema drenante al contorno delle gallerie, che in funzione delle portate attese (colonna "rischio") potrà andare (a titolo di esempio) da semplici fori per la dissipazione delle sovrappressioni, a dreni spinti per alcuni m all'interno della fascia di plasticizzazione, a un drenaggio sistematico lungo tutto il contorno del rivestimento.

classe	carico idraulico	permeabilità	formazioni-tipo
A	< 50 m	*	*
B	> 50 m	molto bassa	marne, argille
C	> 50 m	medio-bassa	argillocisti, conglomerati, metabasalti
D	> 50 m	elevata	faglie, carsico

(\*): geologia e permeabilità sono ininfluenti

**Tabella 3 – Classi di comportamento idrogeologico e rischio atteso legato al carico idraulico.**

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 40 di 51</span>

## 10 PROBLEMATICHE GEOLOGICHE A QUOTA GALLERIA

### 10.1 Condizioni geologiche attese

#### 10.1.1 Litologia

Il tratto di galleria considerato si sviluppa all'interno della formazione delle Argille a Palombini del Passo della Bocchetta (aP), costituita da argiloscisti, metapeliti scistose grigio-nerastre, più o meno siltose, metasiltiti e metaareniti in strati centimetrici, con intercalazioni di metacalcilutiti siltose più o meno marnose, di colore grigio o grigio-bruno in strati e banchi.

La litofacies a "Palombini" (alternanze di calcari silicei micritici a tessitura massiva, calcari arenacei e meno frequenti calcari marnosi, in strati e banchi di potenza da centimetrica a metrica) è assente, in affioramento, nell'area di studio. Tuttavia, i due sondaggi AA301G045 (PP) e SC18 (PD), realizzati nello stesso punto, mettono in evidenza a profondità compresa tra circa 40 e 80 m, la presenza di livelli carbonatici che potrebbero essere riferiti ai calcari sopra descritti.

A livello del tunnel è probabile che vengano attraversati essenzialmente argiloscisti privi di intercalazioni calcaree riferibili alla litofacies AGF, anche se non si può escludere che, a causa di deformazioni duttili e/o per faglia, localmente possano essere intercettate zone con presenza di interstrati calcarei (AGI).

La scomparsa dei livelli calcarei nella parte bassa del sondaggio SC18, fa effettivamente pensare che la comparsa in galleria della litofacies a "Palombini" (AGI) sia legata a una cerniera di piega a grande scala, probabilmente riferibile alla fase D3.

L'unità interessata dallo scavo della galleria è quindi rappresentata in prevalenza dalla litofacies degli "Argiloscisti di Murta" (AGF), con possibile locale presenza della litofacies degli "Argiloscisti di Costagiutta" con livelli calcarei (AGI).

Per la descrizione litologica e strutturale di dettaglio si rimanda al capitolo 4.

#### 10.1.2 Scistosità e anisotropia dell'ammasso roccioso

Lo scavo della galleria verrà realizzato in un ammasso roccioso caratterizzato da una notevole omogeneità litologica e da una forte anisotropia strutturale, quest'ultima dovuta alla presenza di una fitta foliazione metamorfica, con spaziatura da submillimetrica a centimetrica e alle frequenti variazioni di giacitura riscontrabili a tutte le scale, per effetto delle pieghe di fase D3.

Al di fuori delle zone di faglia, l'ammasso roccioso sarà quindi abbastanza omogeneo se considerato alla scala dell'intero sviluppo dell'opera, ma strutturalmente eterogeneo alla scala del fronte di scavo.

La distribuzione della deformazione D3 è il principale fattore condizionante questa eterogeneità strutturale: il motivo geometrico dominante lungo lo sviluppo dell'opera sarà la presenza di pieghe aperte e disarmoniche, da centimetriche a pluridecametriche, con vergenza prevalente verso W o WSW, probabilmente associate a piccoli piani di taglio cataclastico, immergenti verso E-ENE, con

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02
	Foglio 41 di 51

cinematismo prevalentemente inverso, sviluppati parallelamente al piano assiale delle pieghe e più frequenti in zona di cerniera e di fianco inverso.

Il profilo geologico allegato riporta una ricostruzione che graficamente risulta falsata rispetto all'assetto sopra descritto, poiché la traccia della sezione è subparallela o a basso angolo di intersezione, rispetto agli assi di piega A3; le strutture di piega D3, che sono le più evidenti alla scala del fronte di scavo, appaiono quindi esageratamente serrate nella sezione geologica interpretativa. Anche l'andamento medio della scistosità principale rappresentato nel profilo non rende conto dell'immersione reale della SP, che nella maggior parte dei casi è o verso est o verso ovest.

### 10.1.3 Presenza di faglie

Nel settore d'indagine non è stata direttamente riscontrata la presenza di faglie in affioramento, soprattutto per l'estesa copertura di detrito, suolo e vegetazione, che limitano fortemente la percentuale di affioramento.

Il profilo interpretativo allegato riporta alcune faglie potenzialmente in grado di intercettare l'asse della WBS in esame, in particolare:

- la faglia attraversata dal sondaggio SC18, che presenta un piano di deformazione principale potente almeno 2-3 m ed associato a numerosi piani minori subparalleli, per una potenza complessiva stimabile in almeno 5-6 m. Correlando tentativamente questa struttura a un'espressione morfologica superficiale, rappresentata da un debole fotolineamento di direzione NNE-SSW (set L1), l'intersezione con l'asse della galleria è ipotizzabile in corrispondenza della pk 1+625 ca.; questa struttura si collocherebbe quindi appena fuori dalla tratta di galleria in esame, tuttavia è anche possibile che la zona di fratturazione ad essa associata possa interessare marginalmente il tratto in questione.
- Una faglia presunta, coincidente con un secondo fotolineamento subparallelo al precedente, che potrebbe intersecare l'asse della galleria verso la pk 1+730 ca.
- Una delle faglie identificate dalla cartografia CARG, qui interpretata solo come struttura presunta, al pari delle altre precedentemente descritte. L'intersezione con l'asse della galleria è ipotizzabile in corrispondenza della pk 1895.

È presumibile che tutte queste strutture presentino un piano di taglio principale associato a rocce di faglia (cataclasiti e gouge) di spessore plurimetrico. Oltre a queste strutture, è probabile che l'ammasso sia caratterizzato dalla presenza di piani di taglio cataclastico a basso-medio angolo, a cinematismo prevalentemente inverso, paralleli ai clivaggi di piano assiale della fase D3 (superfici SP+1 o S3). Questi piani possono essere associati allo sviluppo di fasce cataclastiche di spessore da centimetrico a pluridecimetrico.

Diverse faglie minori, rappresentate sia da strutture discordanti, sia da piani di taglio lungo superfici di scorrimento flessurale intra-foliazione, potranno essere incontrate in più punti lungo lo scavo, tuttavia non si tratta di strutture in grado di determinare un sensibile decadimento delle condizioni geomeccaniche generali.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 42 di 51</span>

#### 10.1.4 Grado di fratturazione medio al di fuori delle faglie

Il grado di fratturazione al di fuori delle zone di faglia può variare da medio a basso, con sviluppo di fratture più nette all'interno di livelli più compatti e di clivaggi di fratturazione pervasivi nei livelli più fillosilicatici. La superficie di discontinuità principale è rappresentata dalla scistosità, che facilita la suddivisione dell'ammasso in lastre e scaglie appiattite, con spaziatura centimetrico-decimatrica.

Per quanto riguarda la valutazione qualitativa del grado di stabilità del fronte di scavo, sono state stimate condizioni di stabilità a breve-medio termine, al di fuori delle zone di faglia; condizioni di instabilità localizzata, con possibili splaccamenti, localizzati principalmente in calotta o sul paramento sinistro (considerando una direzione di avanzamento verso N), potranno verificarsi nel caso che la foliazione intersechi l'asse tunnel con direzione ad esso subparallela, immersione prevalente verso W e inclinazione a medio-basso angolo (20-50° dall'orizzontale).

#### 10.1.5 Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

In base a quanto osservato durante lo scavo dei cunicoli Castagnola e Val Lemme, a parte le sezioni in prossimità dell'imbocco, dove l'ammasso è risultato scadente e quasi privo di coesione, le condizioni medie incontrate sono riferibili alla classe IV di Bieniawski, tendente alla IV superiore, con sporadici tratti in III. Sono presenti alcune zone fratturate e tettonizzate in classe V. In generale, nel cunicolo Castagnola si è riscontrato un progressivo miglioramento delle condizioni geomeccaniche dell'ammasso con l'avanzamento dello scavo, anche se la brevità del tratto scavato e la sopravvenuta interruzione dei lavori non consentono di trarre una conclusione definitiva in tal senso.

## 10.2 Condizioni idrogeologiche

Gli argilloscisti attraversati sono caratterizzati da permeabilità per fratturazione da bassa a molto bassa e non costituiscono quindi un acquifero significativo, salvo possibili condizioni di maggiore permeabilità legate alla presenza delle zone di faglia. In base ai dati idrogeologici raccolti durante lo scavo delle finestre Castagnola e Val Lemme, risulta che le tratte scavate hanno incontrato un ammasso roccioso, costituito da argilloscisti con intercalazioni di "palombini", sostanzialmente impermeabile. Ad eccezione delle zone di imbocco, più permeabili e con stillicidi più o meno diffusi (portate medie di 0.5 l/s per 10 m di galleria), la restante parte delle due gallerie non ha messo in evidenza significative venute d'acqua, ad esclusione di alcune piccole manifestazioni idriche nei tratti con maggiore densità di intercalazioni di "palombini" fratturati; le venute risultano comunque di entità molto modesta e di durata limitata nel tempo.

Nella galleria in esame quindi, negli argilloscisti della formazione aP con o senza "palombini", si attendono in assenza di faglie, condizioni generalizzate di umidità e solo localmente stillicidi da deboli a diffusi, in particolare nelle zone con debole copertura, dove gli scisti sono alterati e maggiormente permeabili.

La permeabilità all'interno delle zone di faglia minori non differisce di molto rispetto a quella dell'ammasso in normale stato di fratturazione, poiché la tessitura fortemente scistosa e la

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 43 di 51</p>

dominante componente fillosilicatica degli argilloscisti prevengono lo sviluppo di larghe fasce di fratturazione, accomodando parte della deformazione attraverso scorrimenti intra-scistosità.

I piani di faglia principali, associato allo sviluppo di prodotti di frizione a forte componente argillosa (gouge) possono addirittura svolgere un'azione di compartimentazione dell'acquifero, piuttosto che rappresentare canali a maggiore conduttività, data la bassa permeabilità delle rocce di faglia argillose. Le fasce idraulicamente più trasmissive, legate alle faglie, sono quindi limitate a uno spessore di pochi metri di roccia intensamente fratturata (*damage zone*), ai lati dei piani di taglio principali.

Alle strutture fragili precedentemente descritte potranno essere associate venute d'acqua di debole entità (stillicidi concentrati e/o piccole venute puntuali) in rapido esaurimento nel tempo; il resto dello scavo sarà in prevalenti condizioni di umidità.

Nel complesso quindi, lo scavo del tratto della galleria di linea compreso tra le pk 1+660.12 e 2+080.01 non presenta problematiche particolari dal punto di vista idrogeologico, considerata la bassa permeabilità dei litotipi attraversati, la bassa copertura, l'assenza di un acquifero profondo significativo e l'assenza di un bacino di alimentazione esteso.

In base ai dati idrogeologici pregressi, relativi allo scavo della Finestra Polcevera, risulta che l'intera tratta scavata negli argilloscisti della formazione aP presenta condizioni generalizzate di umidità e solo localmente stillicidi da deboli a diffusi, in particolare nelle zone con debole copertura, dove gli scisti sono alterati e maggiormente permeabili.

È probabile che le medesime condizioni si ripetano anche in corrispondenza della WBS oggetto del presente rapporto, pur considerando la vicinanza dell'alveo del Rio Ciliegia. Il corso d'acqua potrebbe, in effetti, alimentare la falda nell'ammasso fratturato, tuttavia, la bassa permeabilità degli argilloscisti e l'assenza di zone di faglia significative, fanno ritenere che la presenza di acqua lungo lo scavo sia molto limitata.

### 10.2.1 Carico idraulico

Il carico idraulico in regime imperturbato è valutato in base alle indicazioni fornite dai piezometri collocati in diversi sondaggi e in particolare, per l'area di interesse, dal piezometro del foro AA301G049, attrezzato con cella Casagrande, che indica oscillazioni del livello di falda in roccia tra -1 e -5 m dal piano campagna; i sondaggi AA301G045, AA301G048 e SC18 forniscono dati meno utili, in quanto riferiti alla quota del fondovalle del Rio Ciliegia, a una cetera distanza dall'asse opera.

Ciò premesso, si può stimare che il carico idraulico in galleria, riferito alla quota del piano del ferro, sia così distribuito:

- tra 50 e 90 m, dalla pk 1+660.12 (inizio WBS) alla pk 1+830 ca.;
- tra 30 e 50 m, dalla pk 1+830 alla pk 1+950 ca.;
- tra 50 e 100 m, dalla pk 1+950 alla pk 2+060 ca.;
- > 100 m tra la pk 2+060 e la pk 2+080.01 (termine WBS).

Non sono da escludere venute puntuali lungo possibili discontinuità in collegamento idraulico con l'alveo del Rio Ciliegia, nel qual caso il carico idraulico corrispondente, in regime imperturbato, sarà approssimativamente pari alla differenza tra la quota dell'alveo (100 m) e la quota a cui le venute saranno incontrate.

### 10.2.2 Afflussi in galleria

La portata drenata dalle gallerie è stata valutata effettuando una serie di modelli numerici mediante il programma di calcolo FEFLOW. Per i dettagli della metodologia si rimanda alla Relazione Idrogeologica Generale di progetto; di seguito, vengono illustrate le principali conclusioni.

I risultati ottenuti per il regime transitorio relativamente alla tratta in esame sono riportati nella specifica tabella, allegata allo studio idrogeologico generale (elaborato GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE-00-0-2-001-A00), in cui viene valutata la portata in regime transitorio a un giorno dallo scavo.

Con riferimento alle classi di portata indicate nella tabella sottostante e riportate nel profilo geologico-idrogeologico previsionale, gli afflussi idrici stimati per questa tratta, in fase di scavo (regime transitorio), rientrano nella classe 1 (tra 0 e 0.16 l/s per 10 m di galleria) come condizione dominante, con occasionale aumento fino a 2 l/s/10 m (classe 3).

In fase di scavo è prevedibile che, in condizioni ordinarie, si incontrino manifestazioni idriche di entità notevolmente ridotta, con umidità diffusa e locali stillicidi; eventuali venute d'acqua puntuali andranno probabilmente incontro a una rapida diminuzione ed eventualmente all'esaurimento completo nel corso di pochi giorni o settimane, data l'assenza di un acquifero molto permeabile.

Nel caso in cui dovessero essere incontrate venute puntuali lungo discontinuità in collegamento idraulico con il Rio Ciliegia, queste potrebbero non subire variazioni significative nel tempo; tuttavia, anche in questo caso la portata prevista è ridotta.

classe	da	a	unità di misura
1	0	0.16	l/s per 10 m di galleria
2	0.16	0.4	
3	0.4	2	
4	> 2		

**Tabella 4 – Classi di portata delle venute d'acqua in galleria utilizzate nel profilo geologico-idrogeologico previsionale.**

### 10.2.3 Interferenze con le sorgenti

Nel corso dei rilievi eseguiti per il PE è stata fatta una verifica del censimento dei punti d'acqua realizzato in fase di PD, allo scopo di verificare e validare, attraverso ulteriori approfondimenti geologici, l'eventuale rischio di interferenza e isterilimento definito, nel PD, attraverso l'indice DHI (Dematteis et al., 1999), per la cui mappatura si fa riferimento alle specifiche tavole allegata alla relazione geologica e idrogeologica generale.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 45 di 51</span>

La verifica svolta sulle sorgenti, captate e non, prossime all'area di intervento, ha confermato l'esistenza di due tipologie di emergenze:

- 1) sorgenti alimentate da circuiti idrogeologici superficiali e localizzati, che risiedono nella coltre detritica di versante e nella sottostante fascia di substrato roccioso più allentata e alterata, per uno spessore complessivo della zona satura che solitamente non supera i 4-5 m e che, anzi, spesso si riduce a meno di 2 m.
- 2) Sorgenti potenzialmente alimentate da circuiti idrogeologici profondi, localizzati in particolare nella *damage zone* associata a lungo discontinuità (faglie) principali.

Gli acquiferi del tipo (1) hanno un carattere discontinuo e sono alimentati direttamente dalle precipitazioni; l'estensione dei bacini idrogeologici di alimentazione coincide con l'estensione dei bacini idrografici a monte della sezione di chiusura a cui si collocano le emergenze idriche; i bacini idrografici, separati dalle dorsali spartiacque, non risultano in comunicazione reciproca dal punto di vista idrogeologico.

Le emergenze idriche si manifestano nei punti in cui il substrato meno fratturato affiora o si approssima comunque alla superficie topografica; diverse emergenze puntuali situate alla testata dei bacini imbriferi alimentano i piccoli corsi d'acqua stagionali che incidono il substrato; un carattere frequentemente riscontrato in questi rii è il progressivo incremento della portata man mano che si scende verso il fondovalle, a testimonianza di un'alimentazione diffusa proveniente dall'acquifero superficiale lungo tutta la lunghezza dell'asta.

L'acquifero superficiale è, quindi, nettamente separato dall'acquifero in roccia, il che determina un rischio di interferenza per le sorgenti presenti nell'area pressoché nullo.

Gli acquiferi del tipo (2) possono avere un'alimentazione non direttamente controllata dalle precipitazioni e quindi meno soggetta a variazioni stagionali; appartiene a questo secondo complesso una serie di punti d'acqua censiti lungo una possibile zona di faglia a WNW dell'asse di linea, lungo il fondo di un impluvio.

Tra tutti i punti d'acqua localizzati nella zona di influenza dello scavo delle gallerie di linea, sei di questi presentano un indice di pericolosità di isterilimento non trascurabile. Si tratta delle sorgenti censite con i seguenti codici:

-SGE277   -SGE278   -SGE280   -SGE35   -SGE250   -SGE251

Il punto SGE277 presenta una pericolosità alta, essendo situato in prossimità della faglia intercettata dal sondaggio SC18; il punto SGE280, localizzato in prossimità della faglia presunta segnalata nella cartografia CARG, è caratterizzato da pericolosità bassa, il punto SGE278 presenta una pericolosità media. Anche i punti SGE35, SGE250 ed SGE251, pur se situati a distanza maggiore dall'opera in oggetto, presentano, il primo, un grado di pericolosità di isterilimento alto, i due rimanenti, basso.

Va comunque sottolineato che, in seguito a una verifica di terreno specifica, queste sorgenti sono risultate tutte riferibili a un circuito idrogeologico superficiale, residente nei depositi della coltre detritico-colluviale e nell'orizzonte superficiale di substrato alterato. La correlazione con un circuito

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 46 di 51</span>

idrogeologico localizzato lungo la zona di faglia è quindi solo ipotetica e la pericolosità stimata mediante DHI è cautelativa.

Per quanto riguarda la localizzazione dei punti d'acqua menzionati e la mappatura dell'indice DHI, si faccia riferimento agli elaborati relativi allo studio idrogeologico generale, in particolare i gradi di pericolosità sopra indicati fanno riferimento all'allegato 5 della relazione idrogeologica generale – sezione "Indice DHI per le gallerie di linea".

### 10.3 Aspetti correlati alla geomorfologia e alla geologia del Quaternario

Data la posizione dell'opera prevista rispetto alla superficie, l'influenza di fenomeni geomorfologici superficiali e della presenza di formazioni quaternarie è da ritenersi di scarsa rilevanza.

Nella carta geologico-geomorfologica allegata, sono comunque riportati i principali depositi alluvionali pleistocenico-attuali e gli accumuli dei principali fenomeni gravitativi dedotti in base alla banca dati IFFI e a verifiche di terreno.

## 11 SINTESI E CONCLUSIONI

L'opera prevista sarà realizzata all'interno degli argilloscisti della formazione delle Argille a Palombini del Passo della Bocchetta (aP), e più in particolare nell'unità denominata Argilloscisti di Murta (AGF), caratterizzata dall'assenza di interstrati calcarei.

L'ammasso roccioso presenta una marcata eterogeneità strutturale, data dalla presenza di una scistosità submillimetrica pervasiva e dall'intenso piegamento legato all'evento deformativo D3, che genera pieghe aperte a scala da decimetrica a pluridecametrica, responsabili di continue variazioni dell'orientazione media della scistosità principale rispetto allo scavo.

Lo stato di fratturazione dell'ammasso è generalmente basso, con spaziatura dei giunti di ordine pluridecimetrico o metrico. L'RQD delle carote estratte dal sondaggio SC18 eseguito in fase di PD è spesso (per più del 60% della lunghezza totale carotata) prossimo ai valori più elevati; nelle zone di fratturazione può variare tra 30 e 70 (20% del totale), mentre solo in zone di particolare fratturazione e/o cataclasi si abbassa a valori inferiori a 20 (20% del totale, di cui quasi tutto nella fascia superficiale, tra 0 e 25 m dal piano campagna<sup>2</sup>).

La geologia del tratto interessato dallo scavo della WBS in progetto è sintetizzata nel profilo geologico-geomeccanico interpretativo allegato. La sezione è subparallela agli assi delle pieghe maggiori D3 e quindi non riflette la reale giacitura della scistosità; la struttura reale sarà caratterizzata da pieghe aperte a tutte le scale, con vergenza W e con piano assiale a medio-basso angolo immergente verso E, che determineranno un'inclinazione prevalente della SP verso il

<sup>2</sup> N.B.: il sondaggio è stato realizzato in prossimità del piede del versante e in vicinanza dell'alveo del Rio Ciliegia, per cui risente probabilmente di fenomeni di rilascio superficiale più accentuati ma che hanno carattere locale.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02
	Foglio 47 di 51

paramento sinistro e subordinatamente verso il paramento destro (direzione di scavo verso nord), con angoli estremamente variabili.

La disarmonicità della deformazione e la forte variabilità della geometria delle pieghe potrebbero comunque determinare significative variazioni dell'assetto strutturale locale, con bruschi cambiamenti anche nello spazio di pochi metri.

La densità delle faglie deducibile dallo studio dei fotolineamenti è circa dell'ordine di una struttura potenzialmente significativa (spessore della zona cataclastica metrico-plurimetrico) ogni centinaio di metri o più. Due faglie presunte, di spessore plurimetrico, con inclinazione di circa 60-70°, potrebbero intercettare l'asse della WBS in esame, intorno alle PK 1+730 ca. e 1+900 ca. La faglia attraversata dal sondaggio SC18 si collocherebbe appena fuori dalla tratta in esame, che tuttavia potrebbe essere interessata marginalmente dalla zona di fratturazione ad essa associata.

Qualora le faglie presunte dovessero essere confermate, si prevede un decremento delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso per uno spessore reale di circa una decina di metri, che dato l'angolo di intersezione potrebbero, lungo scavo, diventare 20-30.

L'eventuale probabile presenza di zone tettonizzate di ordine minore (potenza della zona cataclastica inferiore a 1 m) non dovrebbe rappresentare un fattore particolarmente critico nei confronti delle condizioni geomeccaniche dell'ammasso. Queste zone di faglia minori possono essere rappresentate i) da strutture fragili tardive discordanti rispetto alla SP (faglie s.s.), ii) da zone di scorrimento flessurale intra-foliazione, parallele o subparallele alla SP e/o iii) da piani di taglio a medio-basso angolo, paralleli ai clivaggi di piano assiale di fase D3.

Dal punto di vista idrogeologico, la WBS in esame si sviluppa nel complesso idrogeologico n° 15 (Argille a Palombini del Passo della Bocchetta), con grado di conducibilità idraulica medio-basso. Il carico idraulico atteso è inferiore a 50 m solo tra le pk 1+830 e 1+950 ca. mentre per il restante sviluppo dell'opera è superiore a 50 m.

La classe di comportamento idrogeologica prevalente è la C, con afflussi deboli stimabili in meno di 0,16 l/s per 10 m di galleria al di fuori delle zone di faglia e di tra 0,4 e 2 l/s per 10 m di galleria in corrispondenza delle faglie. L'applicazione del metodo DHI ha permesso di stimare un indice di pericolosità di isterilimento non trascurabile per alcuni punti d'acqua situati nella zona di influenza dell'opera, anche se tale valutazione appare cautelativa in relazione alle caratteristiche dei circuiti idrogeologici che alimentano le sorgenti.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 48 di 51</p>

## 12 BIBLIOGRAFIA

- Amorosi A., Ricci Lucchi F. & Tateo F. (1995) - The Lower Miocene siliceous zone: a marker in the palaeogeographic evolution of the northern Apennines. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 118: 131-149.
- Barelli, V. (1835) - Cenni di statistica mineralogica degli stati di S.M. il Re di Sardegna. Tipografia Fodratti, Torino.
- 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.
- Biella G.C., Gelati R., Lozej A., Rossi P.M. & Tabacco I. (1988) - Sezioni geologiche nella zona limite Alpi occidentali-Appennino settentrionale ottenute da dati geofisici. *Rend. Soc. Geol. It.*, 11: 287-292.
- 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.
- Briano, G., Isella, L., Restagno, S., Rodino, A., Trimboli, M. & Vigo, M. (2011) - Problematiche idrogeologiche, geotecniche e di gestione del rischio, associate alle vecchie aree estrattive in ambito urbano nei gessi di Isoverde. Convegno di Geologia Urbana (Genova), Poster. <http://www.sggconsult.it>
- 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. *Ophioliti*, 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.
- Castello, B., Moro, M., Chiarabba, C., Di Bona M., Doumaz F., Selvaggi G., Amato A. (2004) - Carta della sismicità in Italia. Centro Nazionale Terremoti - INGV.
- Chiarabba, C., Jovane, L. & Di Stefano, R. (2005) - A new view of Italian seismicity using 20 years of instrumental recordings. *Tectonophysics*, 395, 251-268.
- 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. *Ophioliti*, 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02</p> <p>Foglio 49 di 51</p>

- 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.
- D'Atri A. & Tateo F. (1994) - Volcano-sedimentary beds of Oligocene age from the Tertiary Piedmont Basin (NW Italy): biostratigraphy and mineralogy. *Giornale di Geologia*: III, 56/1, 79-95. Bologna.
- Dela Pierre F., Piana F., Fioraso G., Boano P., Bicchi E., Forno M.G., Violanti D., Clari P. & Polino R. (2003) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 157 "Trino". APAT Roma: 147 pp.
- 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. It.*, 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.
- Festa A., Boano P., Irace A., Lucchesi S., Forno M.G., Dela Pierre F., Fioraso G. & Piana F. (2009a) - Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 156 Torino Est. ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca ambientale, Roma.
- Fusinieri, A., in AA.VV. (1831) - *Annali delle Scienze del Regno Lombardo Veneto*. Tomo 1. Padova, tipografia del Seminario.
- Galbiati B. (1977) - La successione oligo-miocenica tra Rigoroso e Carrosio (Bacino ligure-piemontese). *Atti Ist. Geol. Univ. Pavia*, 26: 30-48.
- Gelati R. (1967) - Osservazioni stratigrafiche sull'Oligo-Miocene delle Langhe (Piemonte-Italia). *Pubbl. Ist. Geol. Univ. Milano*, 236: 1-18.
- Gelati R. (1968) - Stratigrafia dell'Oligo-Miocene delle Langhe tra le valli dei fiumi Tanaro e Bormida di Spigno. *Riv. Ital. Paleont. Strat.*, 74: 865-967.
- Ghibaud 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 50 di 51</p>

- 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.
- Marini, M. (1998) - Carta geologica della Val Polcevera e zone limitrofe (Appennino Settentrionale) alla scala 1:25.000. Note illustrative. *Atti Ticinensi di Scienze della Terra*, 40, 33-64.
- 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.
- Piccardo, G.B. (1984) - Le ofioliti metamorfiche del gruppo di Voltri, Alpi Liguri: caratteri primari ed interpretazione geodinamica. *Mem. Soc. Geol. It.*, 28, 11, 95-114.
- 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.
- Principi, G. & Treves, B. (1984) - Il sistema corso-appenninico come prisma d'accrescimento. *Riflessi sul problema generale del limite Alpi-Appennini*. *Mem. Soc. Geol. It.*, 28, 10, 549-576.
- Protezione Civile (2004) - Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.
- Ramsay, J.G. (1967) - *Folding and fracturing of rocks*. Mc Graw-Hill New York, 568 pp.
- Rebora, G. (1990) - Massi erratici sulle argilliti nell'area Bocchetta-Voltaggio (Alessandria). *Il Naturalista*, 3, 3.
- 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.
- Scholle, P.A. (1970) - The Sestri-Voltaggio Line: a transform fault induced tectonic boundary between the Alps and the Apennines. *American Journal of Science*, 269, 343-359.
- Schumacher, M. E. & Laubscher, H. P. (1996) - 3D crustal architecture of the Alps-Appennines join - a new view on seismic data. *Tectonophysics*, 260, 349-363.
- Sibson, R.H. (1977) - Fault rocks and fault mechanisms. *J. Geol. Soc. Lond.*, 133, 191-213.
- Sturani, C. (1975) - Explanatory notes on the Western Alps (from the Sestri-Voltaggio line to the Val d'Ossola). *Quaderni de "La ricerca scientifica"*, 90, 28.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-03-E-CV-RO-GN14-A0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 51 di 51</p>

- Sturani, C. (1973) - Considerazioni sui rapporti tra Appennino Settentrionale ed Alpi Occidentali. Estratto dal quaderno n. 183. Atti del Convegno sul tema: "Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino", 183, 119-142.
- Tateo F. (1992) - Studio mineralogico-geochimico di sedimenti vulcanoderivati (Oligocene-Miocene inferiore) nell'appennino settentrionale. PhD Thesis, Univ. Bologna, 216 pp.
- Tamponi, M. (1994) - Very-low and low grade metamorphism in Internal Ligurid units (northern Apennines, Italy). *Plinius*, 11, 190-194.
- Vanossi, M., Cortesogno, L., Galbiati, B., Messiga, B., Piccardo, G. & Vannucci, R. (1984) - Geologia delle Alpi Liguri: dati, problemi, ipotesi. *Mem. Soc. Geol. It.*, 28, 11, 5-75.