

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 INTERCONNESSIONE VOLTRI - III VALICO BINARIO DISPARI DA PK 2+497.314 A PK 4+160,705 - TRATTO E RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI	
Consorzio Cociv Ing. E. Pagani		

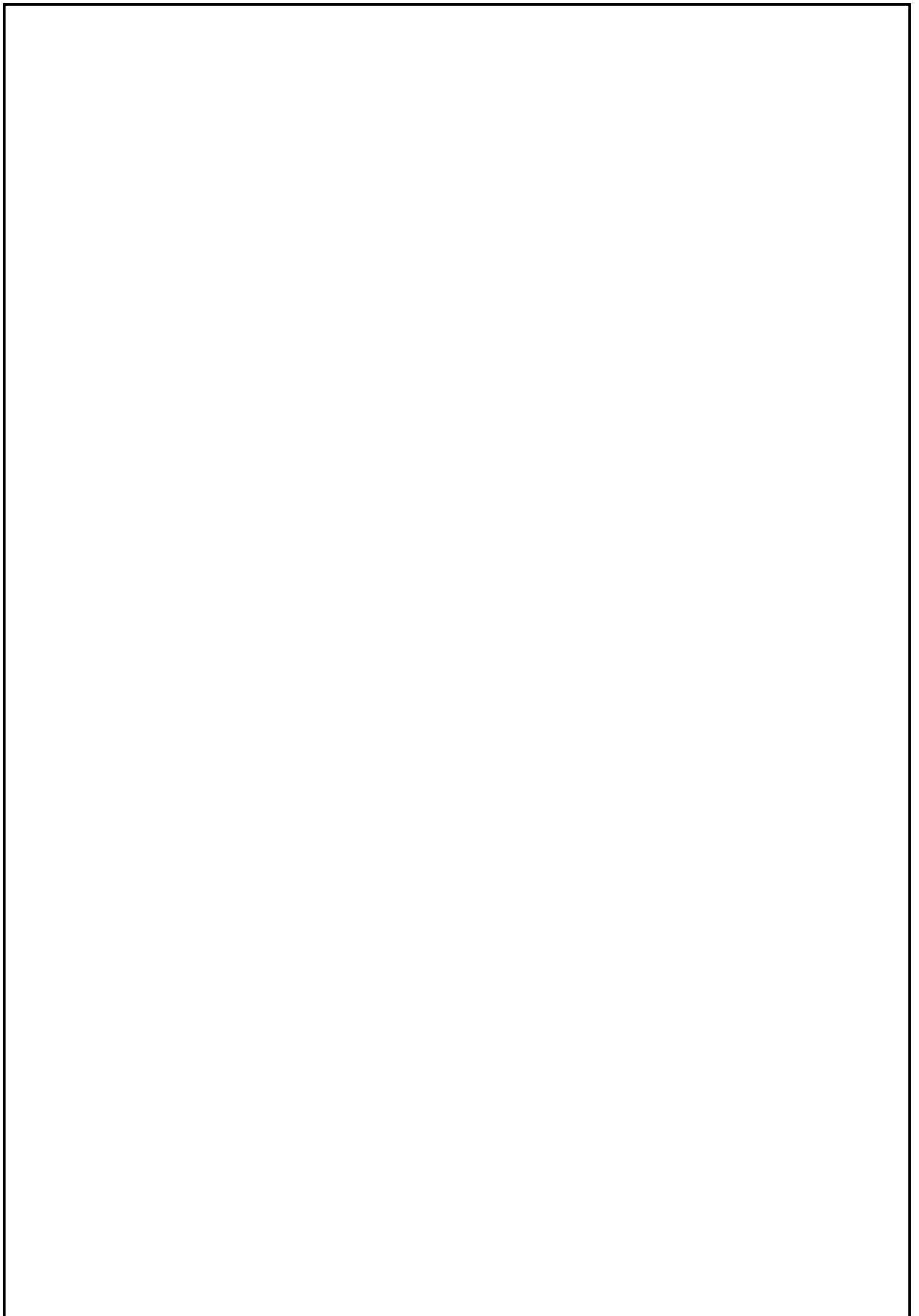
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 4	E	C V	R O	G N 2 3 E 0	0 0 1	A

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	GDP <i>[Signature]</i>	25/07/2014	Rocksoil <i>[Signature]</i>	28/07/2014	A. Palomba <i>[Signature]</i>	30/07/2014	
A01	Emissione a seguito RdM IG51-05-E-CV-RM-GN23-C0-002	GDP <i>[Signature]</i>	16/11/2015	Rocksoil <i>[Signature]</i>	23/11/2015	A. Mancarella <i>[Signature]</i>	27/11/2015	
A02	Modifica lotto costruttivo a seguito 2° A.M. (18.12.2015) - verifica generale tracciamento per minimali affinamenti post RdM IG51-03-E-CV-RM-GN23-C0-002 e IG51-04-E-CV-RM-GN22-D0-002	GDP <i>[Signature]</i>	01/03/2016	ROCKSOIL <i>[Signature]</i>	01/03/2016	A. Mancarella <i>[Signature]</i>	04/03/2016	

n. Elab.:	File: IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02
-----------	---------------------------------------

CUP: F81H92000000008



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02</p>	<p>Foglio 3 di 28</p>

INDICE

INDICE.....	3
1 PREMESSA	4
2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3 ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO	4
4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	5
4.1 Corrispondenza tra le unità descritte nel PD/PE e le unità CARG	8
4.2 Inquadramento geologico generale	8
4.3 Assetto geologico locale.....	9
4.4 Evoluzione strutturale	10
4.4.1 Contatti tra le unità.....	12
4.4.2 La deformazione fragile nell'area di studio	12
4.5 Depositi quaternari	13
5 INDAGINI GEOGNOSTICHE	13
6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	14
6.1 Considerazioni generali	14
6.2 Complessi idrogeologici.....	14
6.2.1 Complesso 15.....	15
6.2.2 Complesso 16.....	15
6.2.3 Complesso 17.....	16
7 PROBLEMATICHE GEOLOGICHE A QUOTA GALLERIA.....	16
7.1 Condizioni geologiche attese.....	16
7.1.1 Presenza di faglie	18
7.1.2 Grado di fratturazione medio al di fuori delle faglie	18
7.1.3 Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso	19
7.1.4 Copertura topografica	19
7.2 Condizioni idrogeologiche.....	20
7.2.1 Carico idraulico e classe di comportamento idrogeologico	21
7.2.2 Afflussi in galleria.....	22
7.2.3 Interferenze con le sorgenti	23
7.3 Aspetti correlati alla geomorfologia e alla geologia del Quaternario	24
8 BIBLIOGRAFIA	25

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02	Foglio 4 di 28

1 PREMESSA

Il presente rapporto fa parte del Progetto Esecutivo del nuovo collegamento AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi" e riguarda la realizzazione dell'opera identificata dal codice WBS GN23C, che si riferisce allo scavo della galleria naturale di interconnessione tra la linea III Valico e la linea di Voltri, Binario Dispari, da pk 2+497,314 a pk 4+160,705 (Tratto E).

Il settore entro cui è previsto lo scavo di questo tratto di galleria si estende nel territorio del comune di Genova, dalla dorsale del Bric dei Corvi Sud, attraversa le valli del Rio Pianego, del Rio Trasta, e del Rio Ciliegia, arrivando poco oltre la dorsale Murta – Parodi – Bric dei Corvi Nord in sinistra idrografica del Rio Ciliegia nei pressi della località Chiappino. Il Rio Pianego ed il Rio Ciliegia sono affluenti di destra del torrente Polcevera, mentre il rio Trasta è tributario, sempre di destra, del Rio Ciliegia.

La presente nota descrive in sintesi quanto rappresentato negli elaborati grafici allegati e costituisce una revisione e un aggiornamento degli studi geologici eseguiti in fase di Progetto Definitivo, rispetto alla quale sono stati eseguiti ex novo alcuni rilievi geologici integrativi di superficie.

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;
- 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);

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02 Foglio 5 di 28

- 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, e P. Perello;
- rilevamento geologico-strutturale, sedimentologico-stratigrafico e geomorfologico: Dott. Geol. L. Delle Piane, P. Perello, A. Damiano, A. Giorza, A. Musso, D. Varrone;
- idrogeologia, modellazione idrogeologica numerica, idrogeochimica: Dott. Geol. P. Perello, A. Baietto, A. Giorza;
- elaborazioni GIS e CAD: Dott. Geol. A. Musso, A. Giorza, D. Varrone.

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di studio si colloca nella zona di giustapposizione tra i domini orogenici alpino e appenninico ("nodo collisionale ligure", Laubscher at. al., 1992; cfr. Figura 1), un settore strutturalmente complesso, recentemente interessato da una revisione cartografica legata alla 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 tettonometamorfiche¹ Voltri e Palmaro-Caffarella** ("Gruppo di Voltri" auct.): associazioni pre-cenomaniane di ofioliti e metasedimenti carbonatici del dominio oceanico ligure-piemontese, caratterizzate da un picco metamorfico da eclogitico (Voltri) a scisti-blu (Palmaro-Caffarella; Federico et al. 2004). La distinzione tra le rocce delle due differenti unità è in genere possibile solo in base ai caratteri mineralogico-petrografici.

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Foglio 7 di 28
IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02		

3. Il **dominio dei Flysch Appenninici**, rappresentato da quattro unità tettoniche sovrapposte con vergenza europea (Mignanego, Montanesi, Ronco e Antola). Il grado metamorfico decresce verso est da basso a bassissimo, fino ad arrivare a condizioni di diagenesi nell'Unità Antola.

Il contatto occidentale tra la Zona Sestri-Voltaggio e le unità Voltri e Palmaro-Caffarella è sottolineato da una discontinuità regionale con direzione N-S, nota come *Linea Sestri-Voltaggio*, classicamente ritenuta il limite fisico tra le catene alpina e appenninica, pur con interpretazioni spesso discordanti: faglia trascorrente (Elter & Pertusati, 1973), sovrascorrimento (Cortesogno & Haccard, 1984) o faglia estensionale (Hoogerduijn Strating, 1994). Capponi et al., 2008 ritengono che la ZSV sia un canale di concentrazione preferenziale della deformazione tettonica, che si è ripetutamente scaricata lungo questo lineamento in diversi momenti dell'evoluzione della catena, a livelli strutturali e in regimi tettonici differenti.

Il tracciato del III Valico si sviluppa, in Liguria, a cavallo delle unità Palmaro-Caffarella e Sestri-Voltaggio. Il settore interessato dalla WBS in esame è ubicato all'interno della ZSV, entro la formazione delle "Argille a Palombini del Passo della Bocchetta" (unità Figogna).

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		Calcari di Erselli	cE		Metacalcari di Erzelli	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
	Calcari di Voltaggio	VOL		Calcari di Voltaggio	cV		Calcari 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
	Calcari di Lencisa	LEN		Calcari di Gallaneto	cG		Calcari di Lencisa	eN
	Calcari di Gallaneto	GLL		Gessi, anidriti e carnirole	gc		Calcari di Gallaneto	cG
	Gessi del Rio Riasso	GSR		Calcari 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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02 Foglio 8 di 28

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

Per garantire continuità tra le terminologie adottate nei progetti Definitivo e Esecutivo, recependo allo stesso tempo i dati di letteratura più recenti, sono state messe a confronto in Tabella 1 le nomenclature derivanti dalla cartografia ufficiale (Foglio CARG “Genova”; Capponi et al., 2009) e dagli studi pre-2009.

Per i dettagli inerenti l’assetto litostratigrafico e strutturale del settore considerato si rimanda alla relazione geologica generale (elaborato GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-02-001-A00). Di seguito si riepilogano sinteticamente le caratteristiche dei litotipi attraversati dalla WBS in esame.

4.2 Inquadramento geologico generale

La WBS in esame si sviluppa attraverso l’unità tettonometamorfica Figogna, corrispondente all’unità pre-CARG “*Timone-Bric Teiolo*” (denominazione adottata nel PD 2004) e costituita da un basamento metaofiolitico e dalla relativa copertura metasedimentaria; la successione-tipo include:

- “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).

Solo le prime quattro associazioni litologiche sopra elencate interessano il tracciato della WBS in oggetto.

I metabasalti, generalmente poco deformati, massivi e con tessitura a pillow, comprendono orizzonti di breccie basaltiche a tessitura fluidale, più raramente filoni massicci a tessitura doleritica e locali filoni di metadioriti. Un accenno di scistosità è più evidente dove si osserva lo stiramento dei pillow, che raramente è accentuato.

I metabasalti, relativamente indisturbati da Borzoli al M. Figogna, sono localmente interessati da faglie transpressive associate a tessiture cataclastiche. A nord del M. Figogna i metabasalti affiorano in lembi allungati e discontinui di origine tettonica, all’interno della formazione delle “*Argille a Palombini*”, dove sono frequentemente associati a lembi di metasedimenti silicei, metacalcari e metaoficalciti. La tessitura è in genere massiva, anche se una scistosità può svilupparsi in corrispondenza delle facies brecciose e a pillow, dove è sottolineata dall’allungamento dei clasti e degli stessi pillow.

I metasedimenti silicei formano lembi sottili (spessore medio di pochi m) e discontinui, sempre in associazione con i basalti. Sono rappresentati da scisti silicei rossi o più raramente verdi, ftniti zonate con sporadici livelli radiolaritici, scisti quarzosi rosso–rosati (Marini, 1998).

I metacalcari formano una sequenza fittamente stratificata di calcari grigi micritici, spesso impuri (argilla e quarzo detritici), interessati da processi di ricristallizzazione (sviluppo di una foliazione). Gli strati più sembrano riferibili a originarie torbiditi (Marini, 1998). La potenza è stimata inferiore a 100 m.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02

Le “Argille a Palombini” del Passo della Bocchetta sono state suddivise in ambito CARG Genova nelle sottunità degli argilloscisti di Costagiutta (AGI) e degli argilloscisti di Murta (AGF), strutturalmente sottostanti (Figura 2). I rapporti geometrico-strutturali tra le due litofacies sono complicati dalla presenza di sistemi di pieghe ovest-vergenti a tutte le scale.

Dal punto di vista litostratigrafico, gli argilloscisti AGI sono caratterizzati dalla presenza di intercalazioni di calcari cristallini (i cosiddetti “Palombini”), rappresentati da calcari micritici silicei, calcari arenacei e meno frequenti calcari marnosi. L’età della formazione è ipotizzata barremiano-albiana (Capponi et al., 2009). Gli argilloscisti AGI affiorano diffusamente a E della dorsale del M. Figogna e, verso nord, oltre il confine regionale, da Pietralavezzara a Fraconalto (AL).

Gli argilloscisti AGF sono invece privi dei caratteristici interstrati calcarei. I contatti con le unità circostanti sono di tipo tettonico, mentre il passaggio agli argilloscisti AGI è di tipo stratigrafico, graduale e spesso difficilmente identificabile.

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 dal dominio dei Flysch Appenninici. L’età presunta è cretacea.

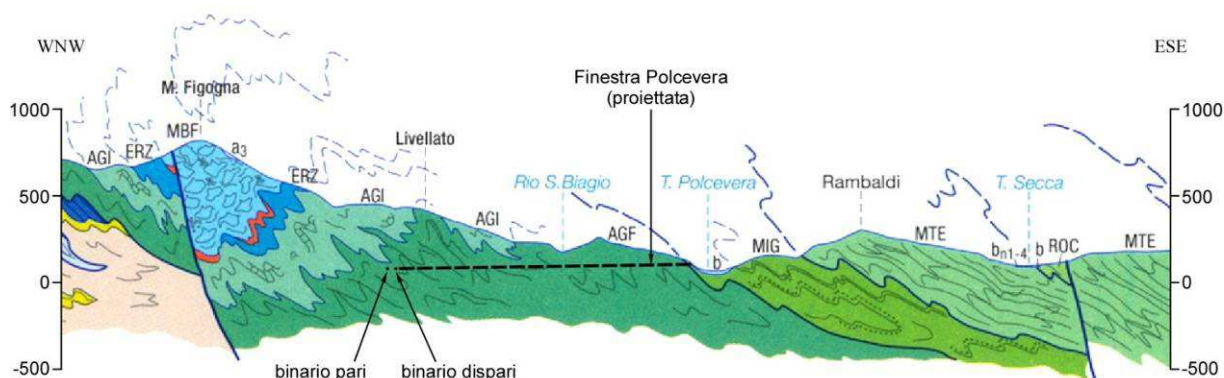


Figura 2 – Stralcio del profilo geologico BB’ attraverso la Val Polcevera e la dorsale del M. Figogna, estratto dal Foglio CARG “Genova” (cfr. Figura 1). Il profilo si colloca in corrispondenza della pk 4+764 (binario pari); vi è stata riportata la traccia della Finestra Polcevera, ubicata a N dell’area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

4.3 Assetto geologico locale

Nel settore interessato dalla WBS in oggetto affiorano i litotipi della formazione delle “Argille a Palombini”, comprendente sia l’unità degli Argilloscisti di Murta (AGF), sia l’unità degli Argilloscisti di Costagiutta (AGI).

L’unità AGI, data l’immersione generale verso W, prevale nel settore a W del tracciato della galleria, anche se in superficie la zona è caratterizzata dall’affioramento diffuso di argilloscisti privi di orizzonti calcarei. I vicini sondaggi AA301G045 e SC18 hanno incontrato, tra 40 e 80 m, dei livelli decimetrici di calcari grigi che possono essere riferiti alla litofacies calcarea AGI. Il contatto tra le unità AGI e AGF non è individuabile con precisione sul terreno, trattandosi di un passaggio transizionale tra litofacies molto simili quando non identiche.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02 Foglio 10 di 28

In affioramento si osservano argilloscisti a tessitura fittamente laminata, di colore da ocraceo a grigio scuro e di aspetto sericeo o grafitoso, sovente con lenti centimetrico-decimetriche a Qz e/o Qz + Cc, parallelizzate alla foliazione principale e con essa piegate (Figura 3). Nei primi metri dalla superficie si osserva una diffusa alterazione, principalmente per ossidazione, dissoluzione del carbonato e argillificazione parziale delle fasi feldspatiche; l'ammasso roccioso tende comunque a chiudersi in profondità e il grado di alterazione tende a ridursi significativamente nello spazio di 4-6 m.

Verso W, in direzione della dorsale del M. Figogna, gli argilloscisti AGF passano gradualmente agli argilloscisti AGI per la graduale comparsa di intercalazioni carbonatiche decimetrico-metriche (tra l'altro non sempre presenti). Segue un sottile livello di metacalcari di Erzelli (cE/ERZ), quindi un livello ancora più sottile e discontinuo di scisti silicei (d', MHF), in contatto stratigrafico con la grande massa di metabasalti (B', MBF) che forma la dorsale montuosa allungata in direzione N-S tra il M. Figogna e Sestri Ponente.

L'insieme di metacalcari, scisti silicei e metabasalti forma una sequenza stratigrafica rovesciata e immergente verso W (Figura 3) strutturalmente sottostante alla formazione AGI/AGF.

La presenza di lenti tettoniche di metabasalti e scisti silicei all'interno degli argilloscisti AGI/AGF, piuttosto comune a nord di Campomorone, sembra qui da escludere in base ai dati di terreno, come peraltro confermato dalla cartografia geologica CARG.



Figura 3 – Argilloscisti pieghettati dalla fase D3 in sponda destra del Rio Trasta, a sud dell'area di intervento.

4.4 Evoluzione strutturale

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 11 di 28</p>

Come descritto in dettaglio nella relazione geologica generale del Progetto Esecutivo (GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-02-001-A00), l'evoluzione strutturale delle unità presenti nell'area è definita da quattro eventi deformativi principali (Capponi & Crispini, 1997, 2002; Crispini & Capponi, 2001), che hanno accompagnato la loro risalita attraverso livelli cristallini via via più superficiali:

- i primi due eventi (D1, D2), sono simili e sono rappresentati da pieghe isoclinali traspositive a tutte le scale, associate allo sviluppo della scistosità principale (SP), una superficie composita D1+D2, pervasiva a scala regionale. Gli assi di piega sono orientati tra NNW-SSE e NNE-SSW; i piani assiali immergono a medio-alto angolo verso E).

Le pieghe D1/D2 sono distinguibili con certezza solo quando sono sovrapposte geometricamente. Le paragenesi metamorfiche sin-D1/D2 sono tipiche della facies a pumpellyite-actinolite.

- L'evento D3 esprime un raccorciamento con direzione regionale NW-SE e si sviluppa in condizioni metamorfiche tra le facies scisti verdi e scisti verdi inferiore, generando un'associazione di pieghe e zone di taglio, che testimonia la progressiva transizione verso livelli cristallini superficiali.

Le pieghe aperte D3 da microscopiche a plurichilometriche, con stile da aperto a serrato, sovente disarmoniche e con fianchi rovesciati (Figura 4), hanno assi suborizzontali diretti circa N-S e determinano una dispersione della SP e dei fianchi delle strutture D1/D2, che immergono sia verso E sia verso W, venendo localmente verticalizzate. Il piegamento è associato allo sviluppo di un clivaggio di crenulazione millimetrico-centimetrico, da pervasivo a spaziato, che riorienta i piani della SP.

Nel settore della WBS in esame (area Murta-Carpinello-Chiappino-Morasso-Trasta) i piani assiali D3 e il clivaggio S3 associato immergono mediamente verso N80°E con inclinazione variabile tra 20 e 70° ca. L'involgimento della SP composita identifica un asse di piega A3 suborizzontale, diretto N-S.

Oltre al clivaggio S3, la deformazione D3 determina lo sviluppo (soprattutto in zona di cerniera e lungo i fianchi rovesciati) di zone di taglio duttile-fragile, a basso angolo e con cinematismo inverso. Queste zone di taglio, anch'esse subparallele ai piani assiali D3, hanno caratteri che testimoniano un'intensa attività di fluidi carbonatici tipica di sistemi idrotermali a controllo tettonico. Nelle carote di sondaggio realizzate negli argilloscisti sono molto frequenti, rappresentate da livelli di brecce cataclastiche, spesso con gouge argilloso, di spessore mediamente inferiore al metro.

- Un successivo evento deformativo (D4) è espresso 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. Considerazioni stratigrafiche permettono di 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.



Figura 4 – 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.

4.4.1 Contatti tra le unità

Secondo Capponi et al. (2008) il contatto tettonico tra l'unità Figogna e le adiacenti unità 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. Gli autori interpretano le lenti decametrico-chilometriche di metaofioliti, calcari e gessi che si rinvencono localmente negli argilloscisti, come *boudin* trasposti lungo zone di taglio milonitico antecedenti alla deformazione D3, dalla quale sono piegati.

Le unità tettoniche orientali, composte da flysch non metamorfici, sono sovrapposte tettonicamente all'unità 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.

4.4.2 La deformazione fragile nell'area di studio

Nell'area di studio non sono state individuate in affioramento faglie significative, soprattutto perché le condizioni di affioramento non sono favorevoli e gli indizi morfologici e fotogeologici non appaiono sufficienti, da soli, a stabilire la presenza di strutture fragili importanti. È comunque possibile individuare dei fotolineamenti che in alcuni casi potrebbero corrispondere a zone di faglia e di fratturazione, lungo le quali si imposta di preferenza l'erosione. La bassa percentuale di affioramento non consente tuttavia una verifica efficace dei fotolineamenti sul terreno.

I principali set di lineamenti identificati 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 alcuni di questi

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 13 di 28</p>

lineamenti più persistenti. Anche l'alveo del vicino Rio Ciliegia corrisponde a un lineamento approssimativamente rettilineo del set L3, tuttavia non vi è evidenza chiara di strutture tettoniche significative.

Ai fotolineamenti osservati si aggiungono alcune faglie, individuate dalla cartografia CARG, per lo più prive di evidenze di terreno. Allo stato attuale delle conoscenze, la loro presenza a quota galleria è solo presunta ma non accertata.

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

- negli argilloscisti sono osservabili piccoli piani di taglio sin-D3 a medio-basso angolo, associati a cataclasi di spessore centimetrico-decimetrico.
- Nei sondaggi gli argilloscisti attraversati sono caratterizzati dalla presenza sporadica di rocce di faglia, con spaziatura per lo meno ettometrica, che possono essere riferite sia a faglie subverticali, sia a piani di taglio 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, sia a quota galleria.
- 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.

4.5 Depositi quaternari

La WBS in esame si sviluppa interamente in galleria, a profondità tale da non interferire in alcun modo con le formazioni superficiali.

Per una descrizione dettagliata delle formazioni quaternarie affioranti nel settore considerato, si rimanda quindi ai contenuti del rapporto geologico generale.

5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

L'elenco delle indagini geognostiche ritenute significative per la ricostruzione geologico-idrogeologica del settore d'interesse (e delle aree limitrofe) è riportato nella successiva Tabella 2.

I sondaggi che interessano direttamente lo sviluppo della WBS sono riportati nel profilo geologico previsionale allegato, sotto forma di una colonna stratigrafica semplificata, proiettata sul piano del profilo secondo la direzione strutturale dominante (quindi non semplicemente in direzione perpendicolare al profilo).

Per una descrizione dettagliata delle stratigrafie dei singoli sondaggi si rimanda ai relativi elaborati emessi dalle imprese incaricate delle perforazioni.

Codice	Fase progettuale	Codice	Fase progettuale
AA301G045	PP	L4-S18	PE
AA301G048	PP	L5-S3	PE
AA301G049	PP	L5-S4	PE
AA301G050	PP	L5-S8	PE
L3-S19	PE	L5-S10	PE
SC18	PD		

Tabella 2 – Sondaggi utilizzati per la ricostruzione geologica del settore in cui si sviluppa la WBS in esame.

6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

6.1 Considerazioni generali

La zona interessata dallo sviluppo della linea è stata suddivisa su base litologica in diversi **complessi idrogeologici** (cfr. § 0) a permeabilità differente, distinguendo lungo l'asse delle gallerie settori con comportamento idrogeologico omogeneo.

Per una descrizione dettagliata dei singoli complessi idrogeologici e delle relative caratteristiche, nonché dei sistemi di flusso intercettati dalle gallerie di linea si rimanda a quanto contenuto nella relazione Idrogeologica Generale (doc. GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-02-001-A00, gennaio 2015).

Nel presente capitolo si farà riferimento alle “*classi di permeabilità*” e alle “*classi di comportamento idrogeologico*” come definite nel suddetto rapporto generale, riassunte nelle tabelle seguenti.

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 3 – 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).

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

(*): geologia e permeabilità sono ininfluenti

Tabella 4 – Classi di comportamento idrogeologico e rischio atteso legato al carico idraulico in assenza di drenaggio del cavo.

6.2 Complessi idrogeologici

La tratta di WBS in esame attraversa i seguenti complessi a comportamento idrogeologico omogeneo (cfr. doc. GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-02-001-A00):

- Complesso 15: Argille a Palombini, metasedimenti silicei della Madonna della Guardia;
- Complesso 16: calcari di Erzelli;
- Complesso 17: metabasalti del Monte Figogna.

6.2.1 Complesso 15

All'interno del Complesso 15 la permeabilità è sostanzialmente legata al grado di fratturazione dell'ammasso roccioso.

I test idraulici disponibili sull'intera area di progetto indicano conducibilità idrauliche variabili tra 1×10^{-10} e 1×10^{-2} m/s, meno frequentemente tendenti a 1×10^{-6} m/s. Valori fino a 1×10^{-10} m/s possono essere riconducibili a situazioni locali in cui predomina la frazione fillosilicatica.

La permeabilità dell'ammasso roccioso detensionato, che si rinviene indicativamente fino a 5-20 m dalla superficie, è più elevata, con conducibilità comprese tra 1×10^{-8} e 1×10^{-6} m/s.

Nelle zone di faglia la conducibilità è distribuita nell'intervallo tra 10^{-8} e 10^{-6} m/s, per profondità fino a 100 m, tra 10^{-10} e 10^{-8} m/s per profondità superiori. È presumibile che le permeabilità maggiori si abbiano nelle zone di danneggiamento, mentre le zone di nucleo possono al contrario avere un effetto compartimentante per lo sviluppo di rocce di faglia a componente argillosa (gouge).

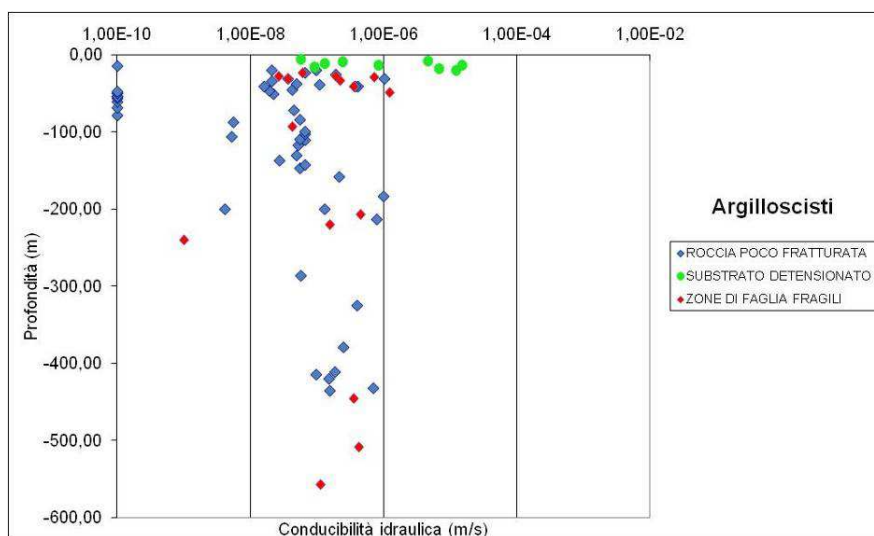


Figura 5 - Grafico delle conducibilità idrauliche per gli argilloscisti da prove in foro di sondaggi del PP, PD e PE. Sono state distinte prove eseguite in roccia poco fratturata (blu), substrato detensionato (verde) e zone di faglia (rosso).

6.2.2 Complesso 16

I litotipi di questo complesso hanno una componente carbonatica dominante. La permeabilità è essenzialmente legata alla fratturazione.

Non esistono test idraulici nelle formazioni litostratigrafiche che costituiscono il complesso, la cui permeabilità è comunque bassa, in uno stato di fratturazione normale, con conducibilità tra 10^{-10} e 10^{-8} m/s, localmente in aumento fino a 10^{-6} m/s o in diminuzione fino a 10^{-10} m/s.

Nelle zone di faglia la permeabilità può indicativamente aumentare fino a 10^{-4} m/s, soprattutto nelle fasce di danneggiamento.

Un aspetto non trascurabile è lo sviluppo all'interno di questo complesso di fenomeni di dissoluzione carsica, con formazione di reticoli microcarsici o veri e propri condotti con apertura fino a pluridecimetrica. Verosimilmente, i reticoli di condotti carsici sono in parte compartimentati per la presenza di interstrati fillosilicatici non soggetti a dissoluzione, determinando all'interno del complesso flussi su più livelli separati.

6.2.3 Complesso 17

I litotipi di questo complesso sono più fragili rispetto alla maggior parte degli altri complessi, il che determina la formazione di discontinuità più persistenti e pervasive; pertanto la permeabilità è in media maggiore rispetto agli altri complessi.

La conducibilità idraulica prevalente varia tra 1×10^{-8} e 1×10^{-6} m/s (Figura 6), con locali valori fino a 1×10^{-5} m/s correlabili a un basso grado di fratturazione o alla chiusura delle discontinuità nelle zone a maggiore copertura topografica.

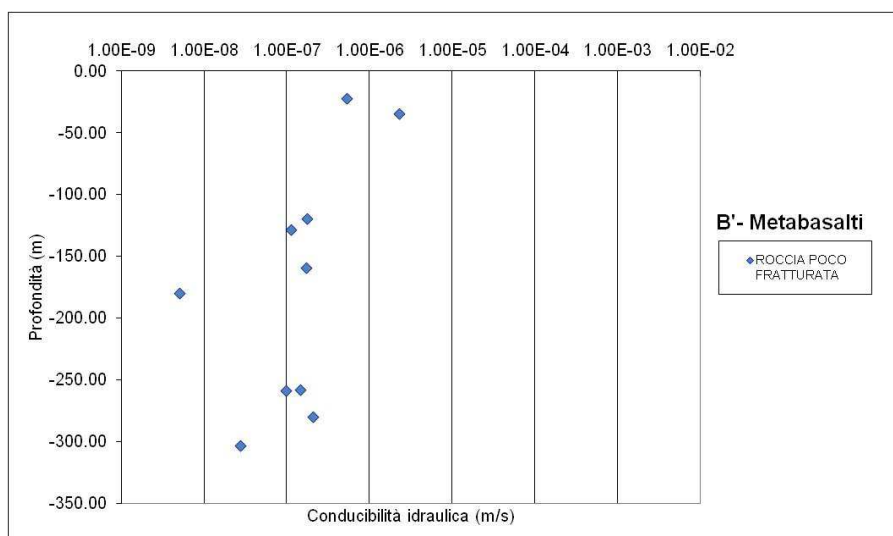


Figura 6. Grafico delle conducibilità idrauliche per i metabasalti da prove in foro di sondaggi del progetto preliminare e definitivo.

Non sono disponibili test idraulici per le zone di faglia, dove è stimabile una conducibilità dell'ordine di 1×10^{-8} / 1×10^{-6} m/s, legata alla presenza di un'ampia zona di danneggiamento; la zona di nucleo generalmente non sviluppa gouge argilloso, quindi la permeabilità è analoga; fenomeni di compartimentazione lungo la faglia sono quindi poco probabili, anche se non da escludere.

7 PROBLEMATICHE GEOLOGICHE A QUOTA GALLERIA

7.1 Condizioni geologiche attese

Il profilo geologico allegato riporta una ricostruzione geologica che dal punto di vista grafico appare falsata, rispetto alla geometria reale delle pieghe e dell'andamento dei contatti tra i litotipi, a causa

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Foglio 17 di 28
IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02		

del fatto che l'asse del tracciato e il piano della sezione geologica sono subparalleli agli assi di piega di fase D3.

Le pieghe D3, che sono le più evidenti alla scala del fronte di scavo, appaiono quindi esageratamente serrate, nella sezione geologica interpretativa, rispetto alla loro reale geometria di pieghe aperte o "a ginocchio", per un puro effetto di intersezione. Anche l'andamento medio della scistosità principale rappresentato nel profilo non rende conto della sua immersione reale, che nella maggior parte dei casi è o verso est o verso ovest.

Di seguito sono sintetizzate le condizioni geologiche attese lungo il tracciato.

pk		Condizioni geologiche previste	
da	a	Geologia/litostratigrafia	Assetto strutturale
2+497	fine WBS	<p><u>Argille a Palombini del P.so della Bocchetta (aP).</u></p> <p>Argillocisti, 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. I "Palombini" sono rappresentati da calcari silicei micritici a tessitura massiva, calcari arenacei e meno frequenti calcari marnosi, in strati e banchi di potenza da centimetrica a metrica.</p> <p>Il tracciato della WBS si sviluppa in prossimità del limite cartografico tra le due facies con "Palombini" (AGI) e senza intercalazioni calcaree (AGF). Sulla base dei rapporti strutturali reciproci il limite tra le due litofacies può essere attraversato più volte durante lo scavo della galleria.</p> <p>Ammasso roccioso caratterizzato da notevole omogeneità litologica alla scala del fronte di scavo.</p> <p>La distribuzione previsionale delle litofacies nella WBS in esame è la seguente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2+497/3+800: argillocisti di Murta (AGF) prevalenti, poveri o privi di livelli carbonatici. 	<p>Forte anisotropia strutturale, dovuta alla presenza di una fitta foliazione metamorfica, con spaziatura da submillimetrica a centimetrica e alle frequenti variazioni di giacitura a tutte le scale, per effetto delle pieghe di fase D3. Al di fuori delle zone di faglia, l'ammasso roccioso è quindi omogeneo alla scala dell'opera, ma strutturalmente anisotropo alla scala del fronte di scavo.</p> <p>La distribuzione della deformazione D3 condiziona l'eterogeneità strutturale e l'alternanza a grande scala tra le due litofacies. Il motivo geometrico dominante è dato da pieghe aperte e disarmoniche, da centimetriche a pluridecametriche, con vergenza verso W o WSW, associate a piccoli piani di taglio cataclastico, immergenti verso E-ENE, con cinematismo inverso, sviluppati lungo il piano assiale delle pieghe e più frequenti in zona di cerniera e di fianco inverso.</p>

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02 Foglio 18 di 28

		- 3+800/fine: argilloscisti di Costagiutta (AGI) prevalenti, con alternanze di metacalcari cristallini.	
--	--	---	--

7.1.1 Presenza di faglie

Lungo il profilo interpretativo allegato sono state proiettate alcune faglie alle seguenti progressive:

- 2+620 – 2+630 (in corrispondenza della valle del Rio Ciliegia): faglie presunte posizionate in base alle indicazioni della cartografia CARG;
- 3+460 – 3+470: faglia presunta posizionata in base alle indicazioni della cartografia CARG;

Oltre a queste strutture, è probabile che l'ammasso sia caratterizzato dalla presenza di diversi 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.

7.1.2 Grado di fratturazione medio al di fuori delle faglie

Il grado di fratturazione al di fuori delle zone di faglia può variare da medio-alto nei metabasalti a medio-basso negli argilloscisti.

La superficie di discontinuità principale degli argilloscisti è rappresentata dalla scistosità regionale pervasiva, con direzione tra NNE-SSW e SSE-NNW e con inclinazione estremamente variabile intorno agli assi di piega D3, ugualmente diretti circa N-S. La SP negli argilloscisti e nei metacalcari facilita la suddivisione dell'ammasso in lastre e scaglie appiattite, con spaziatura centimetrico-decimetrica. All'interno dei metabasalti non si ha una superficie dotata della stessa pervasività e l'ammasso roccioso si presenta notevolmente più isotropo.

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 saranno probabili all'interno degli argilloscisti, con possibili splaccamenti, localizzati principalmente:

- in calotta o sul paramento sinistro (direzione di avanzamento verso N), nel caso che la foliazione intersechi l'asse tunnel con immersione verso W;
- in calotta o sul paramento sinistro nel caso che la foliazione intersechi l'asse tunnel con immersione verso E.

Sempre all'interno degli argilloscisti, saranno possibili fenomeni di convergenza anche significativi o anomali, in funzione dei rapporti di intersezione locale tra l'asse di scavo e le grandi strutture D3, in particolare le zone di cerniera di piega e i piani di taglio a basso angolo sviluppati lungo i piani

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02 Foglio 19 di 28

assiali. Una localizzazione precisa di questi fenomeni o di settori a maggiore rischio da questo punto di vista è tuttavia impossibile, data l'estrema variabilità strutturale che si riscontra negli argilloscisti.

All'interno dei metabasalti il grado di fratturazione al di fuori delle faglie è generalmente più elevato, data la reologia più rigida del litotipo.

7.1.3 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.

7.1.4 Copertura topografica

In base ai dati topografici disponibili, la copertura topografica al di sopra della galleria è fortemente ridotta in corrispondenza dell'intersezione con la valle del Rio Cilliegia, tra le pk 2+580 e 2+640 ca. Il punto a minore copertura, in corrispondenza dell'alveo, ha circa 13 m di roccia, tra la calotta del tunnel e l'alveo del Rio Cilliegia (lo spessore delle alluvioni, circa 0,5 m, è trascurabile).

L'assetto geologico in corrispondenza della zona di intersezione è stato verificato con un rilievo geologico appositamente realizzato su una base topografica di dettaglio in scala 1:500. I risultati di tale rilievo sono presentati, sotto forma di carta geologica e profili previsionali in scala 1:500, nell'elaborato grafico allegato. Il medesimo elaborato riporta anche alcune sezioni trasversali complementari in scala 1:2.000.

Nel settore in esame si riscontra la presenza di uno spessore di detrito dell'ordine di alcuni metri in sinistra (alluvioni terrazzate, coltre detritico-colluviale e detrito di versante localmente interessati da processi di *creeping*), e di meno di 2 m in destra (coltre).

Considerando che:

- le alluvioni terrazzate in sinistra idrografica appoggiano in roccia alla quota dell'alveo attuale;
- spostandosi verso sinistra rispetto all'alveo attuale non è possibile escludere che il fondovalle sepolto (interfaccia roccia/copertura) vada approfondendosi, anche se si tratta di un'eventualità molto remota; non si hanno comunque dati di indagini dirette per supportare tale ipotesi;
- lo spessore in depositi quaternari non contribuisce al sostegno dello scavo ma, al contrario, grava passivamente sul setto in roccia che si frappone fra la volta del tunnel e l'interfaccia roccia-detrito;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02
	Foglio 20 di 28

si può ipotizzare la permanenza di una criticità anche prima e dopo il punto di minore copertura topografica, per lo meno fino a che non si raggiunga uno spessore in roccia sopra alla calotta fino a 20 m almeno. Per spessori in roccia superiori a 20 m e fino a 30 m permane una situazione di attenzione, anche se il comportamento dell'ammasso dovrebbe risentire in maniera progressivamente minore dell'interferenza prodotta dallo scavo.

In considerazione di queste valutazioni, si individua come critica tutta la tratta compresa tra le pk 1+970 e 2+035 e come tratte potenzialmente critiche e comunque da monitorare quelle comprese tra le pk 2+560 e 2+640.

Lungo il fondovalle del Rio Ciliegia è stata ipotizzata una struttura tettonica rappresentata da una faglia presunta, segnalata nella cartografia CARG. Tuttavia, dall'analisi strutturale di terreno non sono risultate strutture tettoniche significative, per lo meno laddove il substrato affiora: In particolare, l'intero alveo del Rio Ciliegia è in roccia sana (argilloscisti), priva di faglie e/o zone di forte fratturazione; analogamente, gli affioramenti in destra orografica, pur se interessati da fenomeni di alterazione e fratturazione/rilascio superficiali, non presentano strutture di rilievo.

Non si possono invece avere informazioni sull'eventuale presenza di faglie parallele all'asse vallivo in sinistra orografica, dove gli affioramenti sono coperti da alluvioni recenti terrazzate e dalla coltre detritica di versante. L'informazione relativa alla faglia CARG è quindi stata mantenuta per cautela.

L'ammasso roccioso presenta un certo grado di rilascio e disarticolazione lungo il fianco destro della valle del Ciliegia, mentre in corrispondenza dell'alveo del rio esso appare meno disturbato. Tale rilascio non è pervasivo ma interessa settori localizzati e appare almeno in parte legato alla presenza di strutture tettoniche minori, cioè piccoli piani di taglio a basso angolo, con cataclasiti di spessore centimetrico-decimetrico, e giunti aperti.

La permeabilità dell'ammasso roccioso potrebbe risentire, a scala locale, di questo assetto strutturale e della presenza di zone di roccia rilasciata, in particolare per quanto riguarda la tratta di una ventina di metri di lunghezza a cavallo del fondovalle. La possibile connessione idraulica tra il tunnel e il corso d'acqua, lungo eventuali discontinuità aperte, potrebbe determinare in fase di scavo una forte interferenza con il rio e quindi, da un lato, venute d'acqua consistenti in galleria e, dall'altra, un impatto non trascurabile sul deflusso superficiale.

In presenza di un disturbo eccessivo legato allo scavo potrebbero inoltre verificarsi fenomeni di subsidenza localizzati, favoriti dallo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso e dalla presenza di fratture aperte, con possibili ripercussioni anche sulla stabilità delle coltri detritiche che poggiano sui due versanti in sinistra e in destra idrografica. Tenendo presente questa eventualità è opportuno prevedere, nel tratto compreso tra le pk 2+560 e 2+640, si suggerisce l'adozione di misure cautelative e comunque, di un monitoraggio topografico della superficie, finalizzato all'individuazione di eventuali subsidenze in fase di scavo.

7.2 Condizioni idrogeologiche

Fatte salve le condizioni idrogeologiche particolari descritte nel paragrafo precedente per il settore di interferenza tra il tunnel e la valle del Rio Ciliegia, gli argilloscisti attraversati dalla galleria 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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02
	Foglio 21 di 28

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.

All’interno degli argilloscisti della formazione aP, con o senza “palombini”, si attendono quindi, 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 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, associati 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.

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.

7.2.1 Carico idraulico e classe di comportamento idrogeologico

Il carico idraulico in regime imperturbato è valutato in base alle indicazioni fornite dai piezometri collocati in diversi sondaggi attrezzati con cella Casagrande nelle aree limitrofe a quella interessata dalla presente WBS, che indicano un livello di falda in roccia superficiale, oscillante tra -1 m e -10 m ca. dal p.c., a seconda del foro e delle oscillazioni stagionali.

Ciò premesso, si può stimare che il carico idraulico in galleria, in assenza di drenaggio del cavo, riferito alla quota calotta sia inferiore a 50 m solo in corrispondenza della tratta a minore copertura coincidente con l’asse della valle del Rio Ciliegia (pk 2+560 e 2+640).

Al di fuori di questa zona il carico idraulico potenziale è verosimilmente di poco inferiore alla copertura topografica, anche se in assenza di afflussi in galleria (ammasso poco permeabile) si tratta di una condizione solo virtuale.

Per quanto riguarda le classi di comportamento idrogeologico che correlano permeabilità generale dell'ammasso e carico idraulico (Tabella 4), queste sono distribuite come indicato nella successiva Tabella 5.

Non sono da escludere venute puntuali lungo possibili discontinuità in collegamento idraulico con gli alvei dei corsi d'acqua che incidono il versante soprastante al tracciato, nelle zone a minore copertura topografica; in questo caso, il carico idraulico corrispondente, in regime imperturbato, sarà approssimativamente pari alla differenza tra la quota dell'alveo e la quota a cui le venute saranno incontrate.

progressive		quadro geologico	classe
da	a		
inizio		argilloscisti	C
		zona di faglia (<i>core + damage zone</i>)	D
	fine	argilloscisti	C
			A

Tabella 5 – Classi di comportamento idrogeologico per la WBS oggetto del presente rapporto.

7.2.2 Afflussi in galleria

7.2.2a Regime transitorio

E' stata valutata la portata in regime transitorio a 1 giorno dallo scavo (colonna Qt_{1g} nella suddetta tabella), riportando i risultati graficamente nell'allegato profilo di progetto. Con riferimento alle classi di portata indicate nella successiva Tabella 6, gli afflussi idrici stimati per questa tratta in fase di scavo, quindi in regime transitorio, sono:

- Classe 1 (tra 0 e 0,16 l/s per 10 m di galleria) negli argilloscisti non interessati da faglie;
- Classe 2 (tra 0,16 e 0,4 l/s per 10 m di galleria) nella zona di faglia presunta in corrispondenza del Rio Ciliegia.

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 i corsi d'acqua principali (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	
2	0.16	0.4	l/s per 10 m di galleria
3	0.4	2	
4	> 2		

Tabella 6 – Classi di portata delle venute d’acqua in galleria utilizzate nel profilo geologico-idrogeologico previsionale.

Per quanto riguarda ulteriori dettagli, nonché gli aspetti relativi alle portate previste in regime stabilizzato, si rimanda ai contenuti della relazione idrogeologica generale allegata al progetto esecutivo della linea.

7.2.3 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).

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 gran parte delle 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;

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 24 di 28</p>

Tra tutti i punti d'acqua localizzati nella zona di influenza dello scavo della galleria in oggetto, alcuni sono caratterizzati, secondo la valutazione dell'indice DHI, da pericolosità non nulla. Si tratta dei seguenti punti d'acqua:

- SGE277, con grado di pericolosità di isterilimento alto.
- SGE250 e SGE251, con grado di pericolosità di isterilimento basso;

Nel caso della sorgente SGE277 la pericolosità è determinata dal fatto che essa emergono in corrispondenza di una faglia presunta (possibili sorgenti di tipo 2) che potrebbe essere intercettata dalla galleria. In realtà la pericolosità di isterilimento maggiore per questa sorgente deriva soprattutto dal tratto di interconnessione di pertinenza della WBS GN23C, che dovrebbe intercettare con maggior probabilità, nella sua terminazione verso nord la suddetta faglia. Dato però che l'ubicazione esatta della faglia non è determinabile e, collocandosi essa in prossimità del punto di unione delle due WBS, anche per la WBS in questione esiste una pericolosità elevata determinata dalla possibile intersezione della galleria con questa struttura.

Per le sorgenti SGE250 e SGE 251 la pericolosità è determinata dalla possibile ubicazione lungo la prosecuzione di zone di faglia che intercettano il tracciato, oltre che da conducibilità piuttosto elevate, che potrebbero indicare sistemi leggermente più profondi della norma.

7.3 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, fuorché per il fatto che in sinistra dell'alveo attuale del Rio Ciliegia, nella zona a minore copertura, sono presenti alluvioni terrazzate che potrebbero mascherare un eventuale (poco probabile) approfondimento dell'alveo in roccia.

Nella fascia studiata non sono presenti dissesti di rilievo, tali da interferire con la WBS in esame nella zona a minore copertura topografica; lungo la strada sterrata che corre in destra poco sopra il fondovalle del Rio Ciliegia sono state individuate alcune piccole frane superficiali, che interessano la coltre detritica di spessore inferiore a 1 m che ricopre gli argilloscisti in posto, innescate in passato da eventi piovosi intensi e favorite dalla presenza dello sbancamento stradale. Si tratta comunque di fenomeni trascurabili.

Nella carta geologico-geomorfologica allegata, sono 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 25 di 28</p>

8 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. *Ofioliti*, 26(2b), 409-416.
- Capponi, G., Crispini, L., Cortesogno, L., Gaggero, L., Firpo, M., Piccazzo, M., Cabella, R., Nosengo, S., Bonci, M.C., Vannucci, G., Piazza, M., Ramella, A., Perilli, N., et alii (2009) - Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 213-230 - Genova.
- Castellarin A. (1994) - Strutturazione eo- e mesoalpina dell'Appennino settentrionale attorno al "nodo ligure". *Studi Geol. Camerti*, vol. spec., CROP 1-1A: 99-108.
- 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. *Ofioliti*, 4 (2): 121-156.
- Cortesogno L. & Haccard D. (1984) - Note illustrative alla carta geologica della zona Sestri-Voltaggio. *Mem. Soc. Geol. It.*, 28: 115-150.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 26 di 28</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-Treccate 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;">IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 27 di 28</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 style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-GN23-E0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 28 di 28</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.