

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 Pari da pk 0+236,278 a pk 2+256,986 - Tratto D**

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 2 D 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	
A02	Emissione a seguito RdM IG51-05-E-CV-RM-GN22-D0-002	GDP <i>[Signature]</i>	16/11/2015	Rocksoil <i>[Signature]</i>	23/11/2015	A. Mancarella <i>[Signature]</i>	27/11/2015	
A03	Modifica lotto costruttivo a seguito 2° A.M. (18.12.2015) - RdM IG51-04-E-CV-RM-GN22-D0-001	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-GN22-D0-001-A03
-----------	---------------------------------------

CUP: F81H92000000008

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN22-D0-001-A03</p>	<p>Foglio 2 di 33</p>

INDICE

INDICE.....	2
1 PREMESSA	3
2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3 ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO	3
4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	4
4.1 Corrispondenza tra le unità descritte nel PD/PE e le unità CARG	7
4.2 Inquadramento geologico generale	7
4.3 Assetto geologico locale.....	8
4.4 Evoluzione strutturale	9
4.4.1 Contatti tra le unità.....	11
4.4.2 La deformazione fragile nell'area di studio	11
4.5 Depositi quaternari	12
5 INDAGINI GEOGNOSTICHE	12
6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	13
6.1 Considerazioni generali	13
6.2 Complessi idrogeologici.....	16
6.2.1 Complesso 15.....	16
6.2.2 Complesso 16.....	17
6.2.3 Complesso 17.....	18
7 PROBLEMATICHE GEOLOGICHE A QUOTA GALLERIA.....	18
7.1 Condizioni geologiche attese.....	18
7.1.1 Presenza di faglie	21
7.1.2 Grado di fratturazione medio al di fuori delle faglie	21
7.1.3 Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso	22
7.1.4 Copertura topografica	22
7.2 Condizioni idrogeologiche.....	25
7.2.1 Carico idraulico e classe di comportamento idrogeologico	26
7.2.2 Afflussi in galleria.....	26
7.2.3 Interferenze con le sorgenti	27
7.3 Aspetti correlati alla geomorfologia e alla geologia del Quaternario	29
8 BIBLIOGRAFIA	30

<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-GN22-D0-001-A03</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 33</p>

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 GN22D, che si riferisce allo scavo della galleria naturale di interconnessione tra la linea III Valico e la linea di Voltri, binario pari, da pk 0+236,278 a pk 2+256,986 (Tratto D).

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  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-04-E-CV-RO-GN22-D0-001-A03	Foglio 4 di 33

- 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

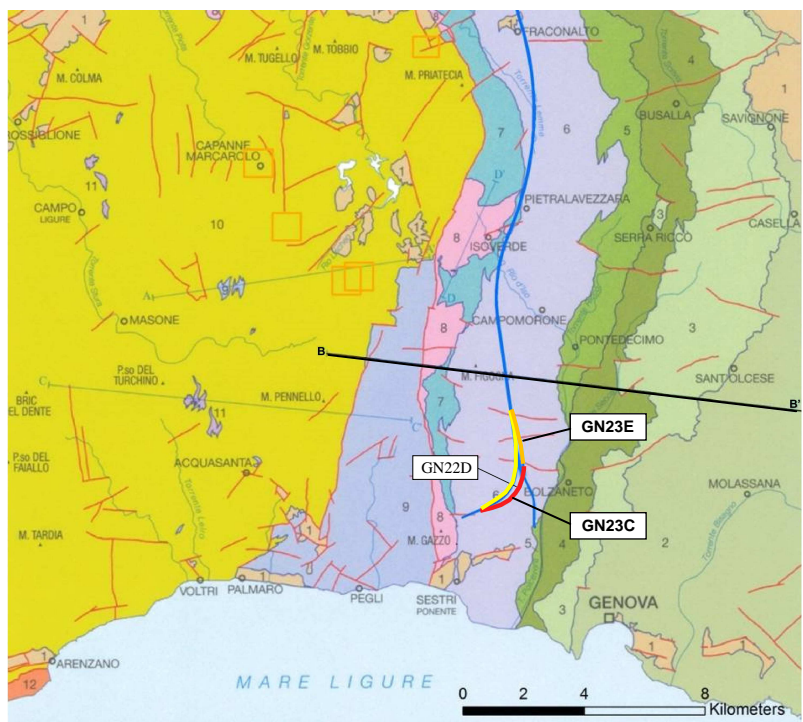
L'area di studio si colloca nella zona di giustapposizione tra i domini orogenici alpino e appenninico ("nodo collisionale ligure", Laubscher at. al., 1992; cfr. Figura 1), un settore strutturalmente complesso, recentemente interessato da una revisione cartografica legata alla realizzazione del nuovo 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 e Tabella 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.
2. la **Zona Sestri-Voltaggio** auct. (nel seguito ZSV), costituita due unità ofiolitiche (Cravasco-Voltaggio e Figogna) e un'unità di margine continentale (Gazzo-Isoverde). Il metamorfismo decresce progressivamente dalle unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde (scisti blu) all'unità Figogna (facies a pumpellyite-actinolite).

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

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.



- 1** DEPOSITI TARDO- E POST-OROGENICI
Successione del Bacino Terziario Piemontese, depositi pliocenici e quaternari
 - 2** UNITÀ TETTONICA ANTOLA
Unità costituita da flysch, non metamorfica
 - 3** UNITÀ TETTONICA RONCO
Unità costituita da flysch, a metamorfismo di anchizona
 - 4** UNITÀ TETTONICA MONTANESI
Unità costituita da flysch, a metamorfismo di anchizona
 - 5** UNITÀ TETTONICA MIGNANEGO
Unità costituita da flysch, a metamorfismo di anchizona
 - 6** UNITÀ TETTONOMETAMORFICA FIGOGNA
Unità di crosta oceanica, a metamorfismo in facies pumpellyite-actinolite
 - 7** UNITÀ TETTONOMETAMORFICA CRAVASCO - VOLTAGGIO
Unità di crosta oceanica, a metamorfismo in facies Scisti Blu (albite, clorite, Na-anfibolo, Na-pirosseno, lawsonite, pumpellyite, epidoto), con retrocessione moderata
 - 8** UNITÀ TETTONOMETAMORFICA GAZZO - ISOVERDE
Unità di margine continentale, a sovrainpronta metamorfica di alta pressione
 - 9** UNITÀ TETTONOMETAMORFICA PALMARO - CAFFARELLA
Unità di crosta oceanica, a metamorfismo in facies Scisti Blu (glaudite, Na-anfibolo, lawsonite), con retrocessione in facies Scisti Verdi più o meno pervasiva
 - 10** UNITÀ TETTONOMETAMORFICA VOLTRI
Unità di crosta oceanica e di mantello, a metamorfismo in facies Scisti Blu con eclogiti e riequilibratura in facies Scisti Verdi spesso pervasiva
 - 11** UNITÀ TETTONOMETAMORFICA ANGASSINO - TERMA
Unità di margine continentale, a sovrainpronta metamorfica di alta pressione
 - 12** UNITÀ TETTONOMETAMORFICA ARENZANO
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 AA'-AA' 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 2.

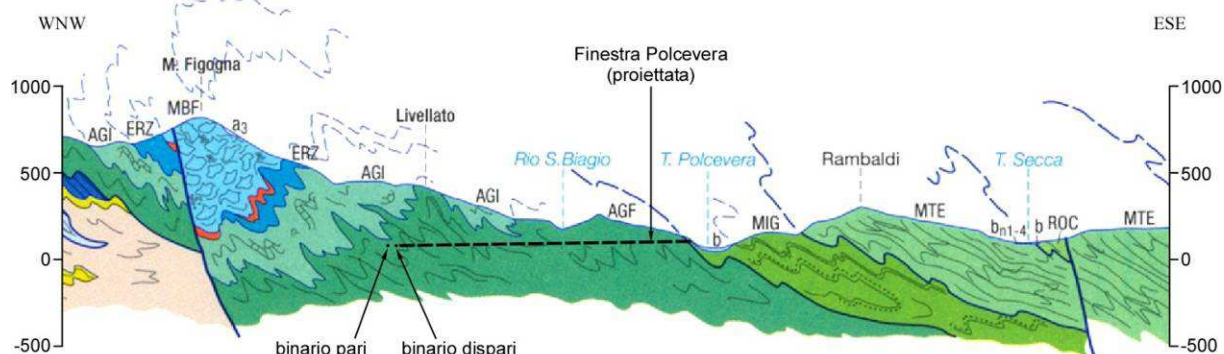


Figura 2 – Stralcio del profilo geologico BB’ attraverso la Val Polcevera e la dorsale del M. Figogna, estratto dal Foglio CARG “Genova” (cfr. Figura 1). Il profilo si colloca in corrispondenza della pk 4+764 (binario pari); vi è stata riportata la traccia della Finestra Polcevera, ubicata a N dell’area 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.

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''
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.

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN22-D0-001-A03
	Foglio 7 di 33

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-Vottaggio. 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).

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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-04-E-CV-RO-GN22-D0-001-A03	Foglio 8 di 33

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.

Le “Argille a Palombini” del Passo della Bocchetta sono state suddivise in ambito CARG Genova nelle sottounità 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.

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.

In affioramento si osservano argilloscisti a tessitura fittamente laminata, di colore da ocreo 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN22-D0-001-A03 Foglio 9 di 33

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.

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 crostali 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).

<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-GN22-D0-001-A03</p> <p style="text-align: right;">Foglio 10 di 33</p>

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 crostali 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-GN22-D0-001-A03</p> <p style="text-align: right;">Foglio 12 di 33</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 MI-GE è stata suddivisa su base litologica in diversi **complessi idrogeologici** (cfr. § 6.2) a permeabilità differente, distinguendo lungo l'asse delle gallerie settori con comportamento idrogeologico omogeneo. I sistemi di flusso idrico sotterraneo possono svilupparsi all'interno di un solo complesso idrogeologico, quando questo è limitato lateralmente da complessi meno permeabili, oppure possono attraversare più complessi permeabili adiacenti.

In generale sono stati distinti complessi permeabili per porosità e complessi permeabili per fratturazione. I primi sono essenzialmente i complessi costituiti da depositi sciolti superficiali (depositi quaternari) dove, essendo assenti fenomeni di cementazione o di metamorfismo, è presente una porosità primaria significativa. I secondi sono i complessi sviluppati in litotipi del substrato prequaternario che, essendo caratterizzati da fenomeni di cementazione (Bacino Terziario Piemontese) o di metamorfismo (substrato metamorfico alpino), possiedono una permeabilità primaria per porosità non significativa o, comunque, di diversi ordini di grandezza inferiore rispetto alla permeabilità per fratturazione.

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

- alla scala dei tunnel e ancor di più alla scala del massiccio, le permeabilità delle singole fratture, o dei singoli sistemi di fratture, non sono particolarmente significative, poiché la circolazione sotterranea avviene sempre lungo percorsi misti, che sfruttano più sistemi di fratture variamente interconnessi.
- Per definire il grado di permeabilità dei singoli sistemi di fratture sarebbero necessari studi di estremo dettaglio sullo stato di fratturazione, che varia da zona a zona, studi evidentemente non realizzabili nell'ambito di opere lineari di lunghezza di diverse decine di chilometri.
- Le prove idrauliche in foro, strumento principale attraverso cui viene definito il grado di permeabilità, restituiscono valori medi calcolati in una camera di prova che comprende generalmente più fratture.

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

Per una descrizione dettagliata dei singoli complessi idrogeologici e delle relative caratteristiche, nonché dei sistemi di flusso intercettati dalla galleria 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	argillocisti, 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.

Nell'ambito degli studi idrogeologici eseguiti e quindi, anche, nel presente rapporto, in luogo del termine "permeabilità", ove si fa riferimento a valori fisici numericamente definiti, è stato di solito più correttamente impiegato il termine di "conducibilità idraulica" (k, espressa in m/s), dal momento che i valori fisici a cui si fa riferimento tengono conto delle proprietà del mezzo acquoso (densità unitaria, temperatura di 20°C ecc.), mentre la "permeabilità" (k, espressa in m^2) sarebbe in realtà una proprietà intrinseca dell'acquifero, indipendentemente dal fluido che lo permea. Si continuerà invece ad utilizzare il termine "permeabilità" o "grado di permeabilità" per indicare genericamente e a livello concettuale le proprietà idrogeologiche dei diversi ammassi, senza specifici riferimenti a valori fisici numericamente definiti.

Un'ulteriore premessa a carattere più generale è che, con riferimento alla permeabilità nel substrato cristallino, indipendentemente dagli aspetti legati alla litologia, si possono distinguere due diversi contesti:

1. ammasso roccioso in normali condizioni di fratturazione;
2. zone di faglia.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN22-D0-001-A03 Foglio 15 di 33

Il contesto di tipo 1 è quello largamente dominante; la permeabilità è indotta dalla presenza di un reticolo di fratture poco persistenti lateralmente (metri-decametri), o al più da faglie discrete con zona di tettonizzazione cataclastica di spessore modesto (dell'ordine del metro) e persistenza anch'essa modesta (metri-decametri). Ciò significa che a scala decimetrica, o metrica, talora, si possono avere permeabilità anche piuttosto elevate, determinate dalla presenza di singole fratture aperte o faglie discrete, ma a scala decametrico-ettometrica la permeabilità media risulta per lo più bassa, poiché le fratture hanno un grado d'interconnessione reciproca non molto elevato.

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

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

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

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

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

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

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 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 5. I valori maggiori 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 pluridecаметrica) tali valori hanno una rappresentatività locale, mentre l'ammasso a grande scala dovrebbe sempre presentare una permeabilità meno elevata.

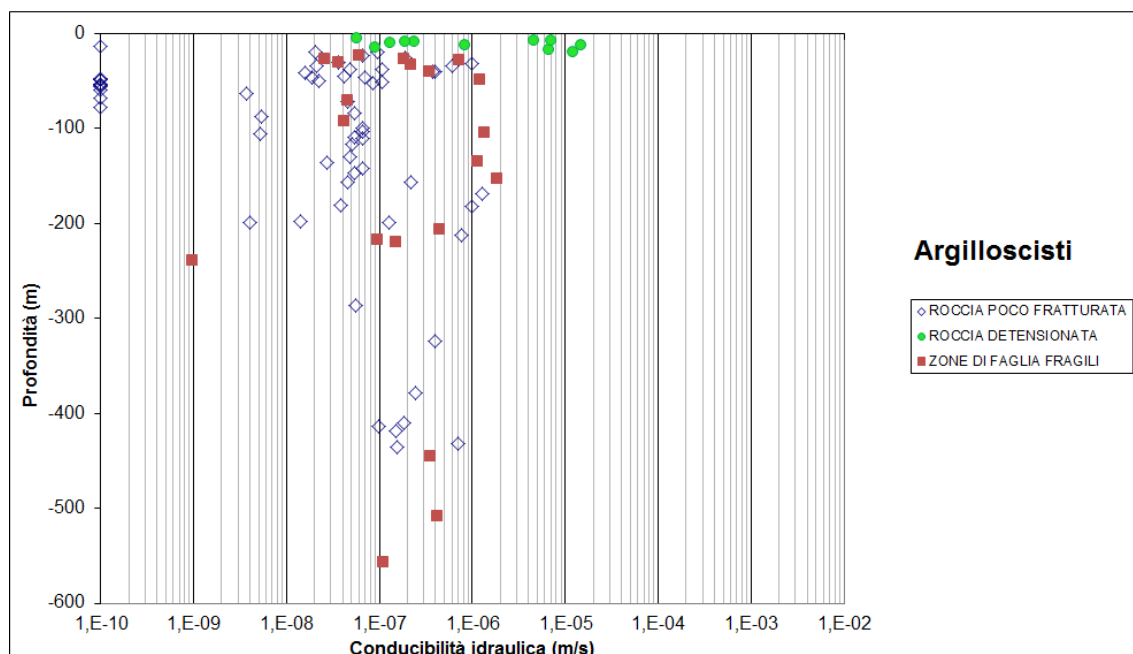


Figura 5. Grafico delle conducibilità idrauliche per gli argilloscisti (Argille a Palombini e argilliti in genere).

Il grafico evidenzia, altresì, valori per la conducibilità fino a $1E-10$ m/s che possono essere riconducibili a situazioni locali in cui la frazione fillosilicatica, essendo predominante, abbassa ulteriormente i valori di conducibilità dell'ammasso roccioso. In ogni caso i test che hanno mostrato conducibilità idrauliche inferiori a $5E-09$ m/s sono molto pochi.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN22-D0-001-A03 Foglio 17 di 33

Dall'osservazione dei sondaggi è stato possibile inserire nel diagramma di Figura 5 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.

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 5) 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.

6.2.2 Complesso 16

I litotipi appartenenti a questo complesso presentano una composizione carbonatica dominante; tuttavia, a vari livelli nelle successioni esistono degli interstrati di varia potenza (da centimetrica a decimetrica), con composizione fillosilicatica prevalente.

La permeabilità è secondaria e supportata dalla fratturazione, poiché la porosità primaria può essere considerata irrilevante ai fini pratici.

Non esistono test idraulici realizzati direttamente all'interno delle formazioni litostratigrafiche che costituiscono il complesso tuttavia, sulla base delle osservazioni di terreno, si può ragionevolmente ipotizzare che esso sia caratterizzato da un grado di permeabilità basso, in normale stato di fratturazione, con conducibilità che oscillano tra $1E-07$ e $1E-08$ m/s. Sono però possibili aumenti fino a $1E-06$ m/s e riduzioni fino a 10^{-9} m/s.

Le zone di faglia possono determinare incrementi di permeabilità anche piuttosto consistenti (indicativamente fino a $1E-05$ m/s), soprattutto nelle fasce di danneggiamento. Nella zona di nucleo è possibile l'accumulo di materiale più fine (*gouge*), con conseguente effetto compartimentante. Tuttavia tale effetto ha rilevanza solo locale, dal momento che la componente carbonatica è di gran lunga prevalente e che tale componente, quando soggetta a deformazione fragile, non produce rocce di faglia compartimentanti.

Un aspetto molto importante è lo sviluppo di fenomeni di dissoluzione del carbonato, di entità non trascurabile. Lungo le bancate carbonatiche, litologicamente prevalenti, possono infatti svilupparsi reticoli microcarsici o veri e propri condotti carsici con aperture di entità cm-dm. Qualora presenti, i reticoli di condotti sono verosimilmente soggetti a parziale compartimentazione, poiché gli interstrati carbonatici sono spesso separati da interstrati fillosilicatici in cui la dissoluzione del carbonato non si sviluppa. Appare quindi verosimile che all'interno del complesso possano esistere flussi su più livelli separati da interstrati fillosilicatici.

6.2.3 Complesso 17

I litotipi di questo complesso idrogeologico presentano un comportamento reologico generalmente più fragile rispetto alla maggior parte degli altri complessi. Ciò determina una maggior persistenza e pervasività delle fratture, pertanto la permeabilità, anche in stato di fratturazione normale (fuori dalle zone di faglia), è maggiore che negli altri complessi.

I test idraulici disponibili sull'intera area di progetto indicano per l'ammasso roccioso al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra $1E-06$ e $1E-07$ m/s come evidenziato dal diagramma di Figura 6.

Localmente si sono riscontrate anche conducibilità minori (fino a $1E-08$ m/s), che possono essere correlate a un basso stato di fratturazione o a una scarsa apertura delle fratture legata all'elevata copertura topografica.

Nelle zone di faglia non sono stati eseguiti test idraulici. Sono comunque stimate conducibilità idrauliche dell'ordine di $1E-04$ - $1E-07$ m/s, poiché le osservazioni di terreno hanno messo in luce la presenza ampie zona di danneggiamento, in cui la fratturazione e la permeabilità, sono più elevate. La zona di nucleo generalmente non è caratterizzata dalla presenza di rocce di faglia, ma da un piano di frattura principale con permeabilità analoga a quelle della *damage zone*. Pertanto fenomeni di compartimentazione lungo la faglia, pur non potendo essere esclusi, sono poco probabili.

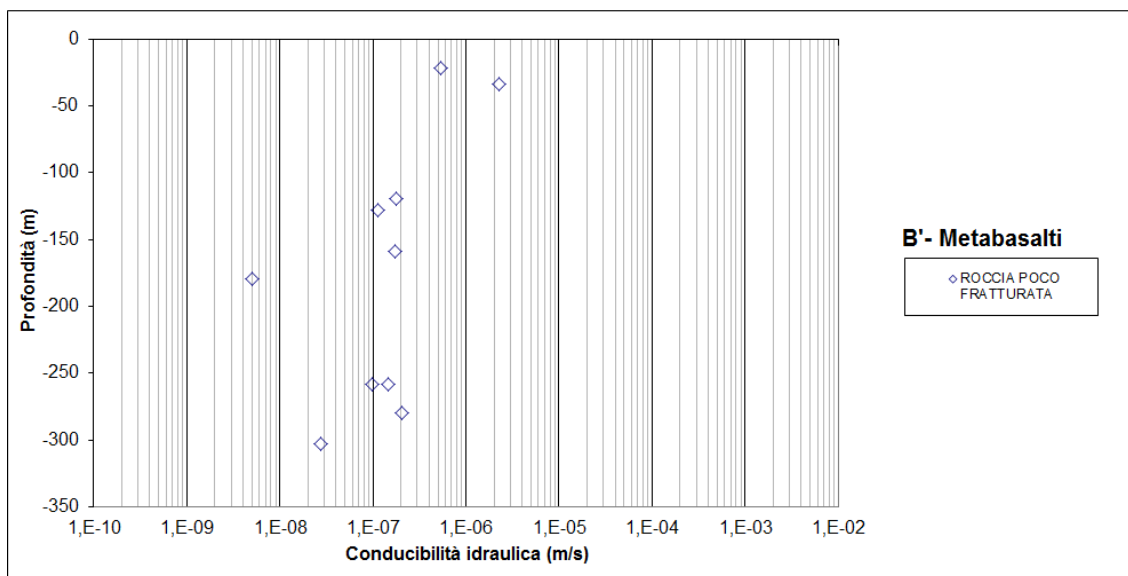


Figura 6. Grafico delle conducibilità idrauliche per i metabasalti.

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 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
inizio WBS	0+910	<u>Metabasalti del Monte Figogna (B’).</u>	
		Metabasalti massivi e a pillow, con orizzonti di brecce basaltiche a tessitura fluidale, tessiture vacuolari primarie preservate e locali facies ialoclastitiche. Presenza di rari filoni massicci a tessitura doleritica e filoni decimetrico-metrici di metadioriti. Rari orizzonti di oficalci, interessate da sistemi di fratture tensionali sigillate da calcite.	I metabasalti del M. Figogna sono poco deformati, generalmente massicci o privi di foliazione. Un accenno di scistosità è più evidente dove si osserva lo stiramento dei pillow, che raramente è accentuato. Metabasalti foliati, associati ai metasedimenti silicei, possono essere presenti vicino al contatto con i Calcari di Erzelli.
0+910	0+915	<u>Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia (dM).</u>	
		Lembi sottili e discontinui di scisti silicei, rossi o più raramente verdi e da ftaniti zonate con sporadici livelli radiolaritici, oppure da scisti quarzosi rosso-rosati, fittamente foliati e con giunti.	Tessitura finemente foliata.

0+915	0+945	<p><u>Calcari di Erzelli (cE).</u></p> <p>Livello di spessore molto variabile (10-40 m) di calcari micritici grigi a patina d'alterazione bianco-cinerina in strati deformati. Presenza di una frazione terrigena silicoclastica (soprattutto argilla e quarzo detritico) più o meno abbondante e di interstrati di emipelagiti argillose nere.</p>	<p>Anisotropia strutturale legata alla presenza di una marcata stratificazione, costituita da bancate calcaree, con interstrati pelitico-marnosi, deformata dal piegamento riferibile alle fasi D1/D2 e D3.</p> <p>Accentuati processi di ricristallizzazione sono evidenziati dallo sviluppo di una foliazione a fillosilicati nei livelli più marnosi. Gli strati calcarei più competenti si presentano spesso boudinati.</p>
0+945	fine WBS	<p><u>Argille a Palombini del P.so della Bocchetta (aP).</u></p> <p>Argilloscisti, 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>	<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-GN22-D0-001-A03 Foglio 21 di 33

	<ul style="list-style-type: none"> - 0+945/1+400: argillocisti di Costagiutta (AGI) prevalenti, con alternanze di metacalcari cristallini. - 1+400/1+585: argillocisti di Murta (AGF) possibili, poveri o privi di livelli carbonatici. - 1+585/1+880: argillocisti di Costagiutta (AGI) prevalenti, con alternanze di metacalcari cristallini. 1+880/2+357: Argillocisti di Murta (AGF) prevalenti. 	
--	--	--

7.1.1 Presenza di faglie

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

- 1+005 / 1+010: faglia principale con possibile *damage zone* estesa tra 0+990 e 1+030;
- 2+185 (in corrispondenza della valle del Rio Ciliegia): faglia presunta posizionata sulla base delle 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 argillocisti.

La superficie di discontinuità principale degli argillocisti 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 argillocisti 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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN22-D0-001-A03
	Foglio 22 di 33

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 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 relativamente ridotta in corrispondenza dell'intersezione con la valle del Rio Trasta (pk 1+500 / 1+560 ca.), ma soprattutto in corrispondenza dell'intersezione con la valle del Rio Ciliegia (pk 2+150 / 2+220 ca.).

La situazione geologico-strutturale nei punti a minore copertura è stata indagata in dettaglio attraverso un rilievo geologico e geomorfologico specifico, realizzato in scala 1:1.000 su una base topografica appositamente realizzata. Il rilievo ha permesso di verificare la posizione degli affioramenti del substrato, lo stato di fratturazione e deformazione dell'ammasso e la posizione, lo spessore e la natura delle coltri detritiche superficiali. Sulla base dei nuovi dati acquisiti sono state realizzate alcune sezioni supplementari, sia a scala generale (comprendenti cioè l'insieme delle gallerie del nodo), sia a scala locale sui singoli tunnel. Le carte e le sezioni geologiche sono presentate nell'elaborato allegato "Carte e sezioni di approfondimento – Attraversamento Rio Trasta-Rio Ciliegia" (IG51-05-E-CV-GZ-GN22-D0-001).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN22-D0-001-A03 Foglio 23 di 33

Nelle due aree analizzate sono assenti faglie significative, mentre l'ammasso roccioso è caratterizzato da una scistosità pervasiva SP pieghettata a tutte le scale (da centimetrica a pluridecimetrica), per effetto di pieghe da aperte ad acute riferibili alla fase deformativa D3, il piegamento fa sì che a scala locale la SP immerga alternativamente verso WSW ed ENE, con angoli compresi tra 30 e 90°. La vergenza delle pieghe è verso WSW, i piani assiali D3 immergono di 40-60° verso ENE (pur con significative variazioni dovute al fatto che la deformazione non è cilindrica). Gli assi di piega sono invariabilmente a basso angolo di immersione, sia verso NNW sia verso SSE, anche in questo caso con variazioni dovute alla non cilindricità delle pieghe.

Nel complesso comunque, la deformazione presente fa sì che, alla scala del tunnel e del versante, l'involuppo medio della SP immerga ad alto angolo verso WSW. Ci si trova in un settore di cerniera pluri-tettonica, poiché le simmetrie predominanti sono del tipo a "M".

L'insieme dei dati strutturali riferiti ai due settori del Rio Trasta e del Rio Ciliegia, acquisiti nell'ambito dei nuovi rilievi di dettaglio, è presentato nei diagrammi strutturali della successiva Figura 7.

Lungo il Rio Trasta, il punto a minore copertura ha circa 32 m di roccia, tra la calotta del tunnel e l'alveo. Lo spessore delle alluvioni è trascurabile, ridotto a meno di un metro nei brevi tratti in cui queste sono presenti. Sono assenti faglie di rilievo, per cui la qualità geomeccanica dell'ammasso roccioso e la relativa permeabilità dovrebbero mantenersi, in condizioni normali, sui valori tipici degli argilloscisti. La situazione che si determina nella tratta in questione non appare quindi particolarmente problematica, anche se la ridotta copertura impone in ogni caso l'adozione di misure cautelative meglio specificate nel seguito.

Lungo il Rio Ciliegia la copertura topografica è di circa 21,5 m, in corrispondenza dell'alveo, sulla verticale della calotta (cfr. sezione "A" nell'elaborato citato). Si tratta di un setto interamente in roccia, poiché l'alveo del Rio Ciliegia incide direttamente il substrato pre-quaternario, costituito da argilloscisti. A parità di condizioni strutturali e geomeccaniche si hanno quindi circa 10 m di copertura topografica in meno rispetto al settore Trasta.

In presenza di un setto in roccia di spessore ridotto si possono ipotizzare le seguenti criticità eventuali:

- la presenza di un ammasso roccioso fratturato e in parte rilasciato potrebbe amplificare gli effetti indotti dallo scavo, in particolare l'estensione della zona plastica verso l'alto fino alla superficie;
- la propagazione di discontinuità di neoformazione dal cavo verso la superficie potrebbe aumentare la permeabilità media dell'ammasso; le discontinuità potrebbero convogliare l'acqua del torrente verso lo scavo, con conseguente aumento delle infiltrazioni in galleria e impatto sulla risorsa idrica superficiale;
- l'estensione della zona plastica fino alla superficie potrebbe indurre cedimenti e subsidenze di entità non precisabile.

Nelle condizioni geologico-strutturali e geomorfologiche riscontrate lungo il Rio Ciliegia, la probabilità che queste criticità si verifichino è abbastanza bassa; questo soprattutto in considerazione dei seguenti aspetti:

- l'ammasso roccioso esposto lungo l'alveo è in ottime condizioni dal punto di vista geomeccanico, poco fratturato e non rilasciato;
- non vi sono discontinuità maggiori, come faglie o fasce di fratturazione, visibili in affioramento.

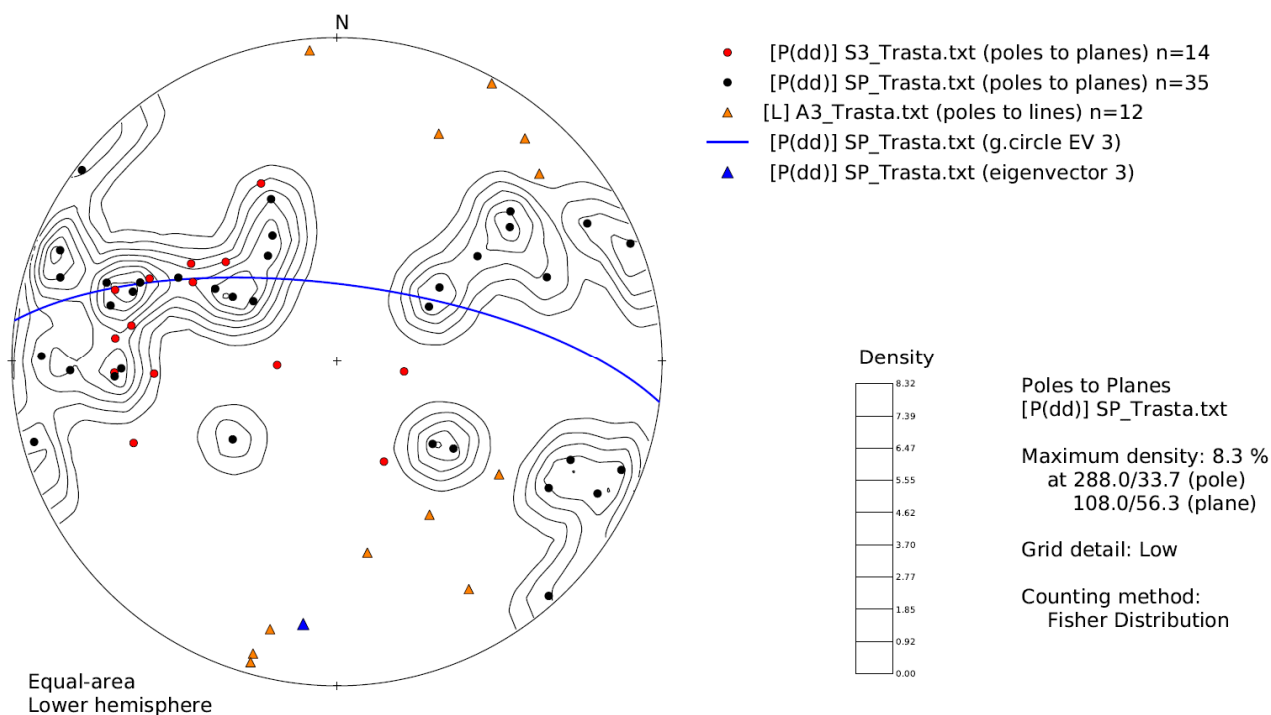


Figura 7 - Area delle intersezioni tra le gallerie di linea e i rii Trasta e Ciliegia. Proiezione stereografica di Schmidt delle principali superfici strutturali misurate negli argilloscisti.

Per contro, parallelamente al fondovalle, la cartografia CARG riporta una faglia di estensione pluriettometrica. È escluso che tale faglia possa passare lungo l'alveo o lungo il versante destro orografico, poiché non vi sono tracce in affioramento di strutture fragili importanti.

Non si può peraltro escludere che questa ipotetica faglia possa passare sul versante sinistro, dove la copertura quaternaria (depositi fluviali terrazzati e coltre detritica di versante) è più potente e la percentuale di affioramento del substrato è molto ridotta.

AmMESSO che questa struttura presunta sia effettivamente presente, essa intercetterà quindi l'asse del tunnel più a nord dell'intersezione con il punto a minore copertura (alveo), quindi in una situazione più favorevole dal punto di vista della topografia. Ferme restando le eventuali problematiche correlate al peggioramento dei parametri geomeccanici dell'ammasso in corrispondenza della zona di faglia (*damage zone* e *core zone*), la probabilità che si verifichino interferenze con la superficie appare bassa anche in questo caso.

Tenendo presente quanto sopra esposto e in particolare la bassa probabilità che lo scavo determini interferenze con la superficie e con i corsi d'acqua, è comunque opportuno prevedere, sia per il Rio Trasta sia per il Rio Ciliegia, l'adozione di misure cautelative e comunque di un monitoraggio topografico della superficie, finalizzato all'individuazione di eventuali subsidenze. Tale monitoraggio dovrà essere avviato all'approssimarsi del fronte di scavo alle pk 1+500 (Rio Trasta) e 2+150 (Rio Ciliegia) e protratto fino al completo superamento della sezione più critica, per lo meno fino al raggiungimento di una copertura topografica superiore a 30 m.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN22-D0-001-A03 Foglio 25 di 33

7.2 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 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.

L’ammasso roccioso costituito dai metabasalti del Monte Figogna presenta invece un grado di permeabilità per fratturazione maggiore rispetto agli Argilloscisti. E’ poi ipotizzabile la presenza, all’interno del massiccio basaltico che forma la dorsale del Bric dei Corvi – Monte Figogna, di sistemi di flusso talora anche in equilibrio idrodinamico, tamponati lateralmente verso Est dal contatto con gli argilloscisti attraverso la fascia di calcari di Erzelli con associati metasedimenti silicei.

Nella tratta di scavo nei metabasalti sono quindi prevedibili manifestazioni idriche di maggiore entità rispetto a quelle descritte in precedenza per la tratta negli argilloscisti. Anche nei calcari di Erzelli, stante la possibilità che siano interessati da locali brevi circuiti carsici, si potranno verificare venute

d'acqua di entità intermedia tra quelle previste nei basalti e quelle degli argilloscisti. La trattazione in dettaglio del tema della quantificazione delle manifestazioni idriche in galleria sarà eseguita nel successivo paragrafo.

7.2.1 Carico idraulico e classe di comportamento idrogeologico

Si può stimare che il carico idraulico in galleria, in assenza di drenaggio del cavo (ovvero il carico che si riscontrerebbe nell'ammasso in condizioni imperturbate dagli scavi), riferito alla quota calotta sia inferiore a 50 m solo in corrispondenza delle tratte a minore copertura coincidenti con gli assi delle due valli del Rio Trasta (pk 1+490/1+590 ca.) e del Rio Ciliegia (pk 2+100/2+230 ca.).

Al di fuori di queste due zone il carico idraulico potenziale in condizioni non drenanti delle gallerie 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. I maggiori afflussi sono comunque previsti all'interno dei metabasalti, quindi da inizio WBS fin verso la pk 0+900 ca.

Per quanto riguarda le classi di comportamento idrogeologico che correlano permeabilità generale dell'ammasso e carico idraulico, 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	0+910	metabasalti	D
0+910	0+945	metacalcari	D
0+945	0+990	argilloscisti	C
0+990	1+030	zona di faglia (<i>core + damage zone</i>)	D
1+030	1+490	argilloscisti	C
1+490	1+590	argilloscisti	A
1+590	2+100	argilloscisti	C
2+100	2+230	argilloscisti	A
2+230	fine	argilloscisti	C

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

7.2.2 Afflussi in galleria

E' stata valutata la portata in regime transitorio a 1 giorno dallo scavo, 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, nei Calcari di Erzelli (possibile passaggio alla classe 2) e nei metasedimenti silicei;

- 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;
- Classe 3 (tra 0,4 e 2 l/s per 10 m di galleria) nei metabasalti e nella faglia intorno alla pk 1+005 / 1+010 all'interno degli argilloscisti.

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 Trasta, 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.

Si tenga comunque conto del fatto che le precedenti stime di portata sono state eseguite considerando che la galleria in oggetto sia la prima galleria ad essere scavata e quindi ad apportare una perturbazione del regime di flusso sotterraneo. Nel settore di innesto sulla linea storica si verificherà probabilmente una condizione più favorevole (minori venute transitorie), poiché qui sono, o saranno già presenti al momento dello scavo, altre infrastrutture sotterranee, presumibilmente drenanti, che avranno già causato un abbattimento del carico idraulico imperturbato, vedasi ad esempio il camerone d'innesto della Bretella di Voltri, nonché forse la bretella medesima. Lo stesso dicasi per il settore d'innesto sulle nuove gallerie di 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,

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-GN22-D0-001-A03</p> <p style="text-align: right;">Foglio 28 di 33</p>

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 discontinuità (faglie) principali.

I sistemi del tipo (1) hanno un carattere discontinuo e seguono perlopiù il regime delle precipitazioni, trattandosi di flussi molto superficiali; 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 perlopiù indipendente dall'acquifero in roccia su cui scorre (ove presente) o al più cede già parte del suo flusso i sistemi più profondi dell'acquifero in roccia attraverso una zona insatura. Ciò determina un rischio di interferenza per gran parte delle sorgenti presenti nell'area pressoché nullo.

I sistemi del tipo (2) possono avere un'alimentazione non direttamente dipendente dalle variazioni stagionali del ciclo climatico, poiché sono relativamente più profondi e quindi dispongono di una maggior riserva idrica. Va specificato che nella zona in esame anche i sistemi di flusso in roccia sono comunque da considerarsi come sistemi poco profondi, benché si sviluppino nel substrato e a profondità superiori rispetto ai sistemi di tipo (1). Essi non raggiungono mai profondità rilevanti (maggiori di poche centinaia di metri) e presentano comunque tempi d'interazione acqua-roccia piuttosto brevi.

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, SGE278, SGE31 e SGE32, con grado di pericolosità di isterilimento alto.
- SGE 280 e SGE 281, con grado di pericolosità di isterilimento basso;

Nel caso delle sorgenti SGE277 e SGE278 la pericolosità è determinata dal fatto che esse emergono in corrispondenza di faglie presunte (possibili sorgenti di tipo 2) che verranno intercettate anche dalla galleria.

Le sorgenti SGE31 e SGE32 sono anch'esse localizzate lungo una zona di faglia (possibili sorgenti di tipo 2) che si prevede venga intercettata dalla galleria.

Le sorgenti SGE280 e SGE281 sono molto prossime alla verticale del tracciato e pertanto, pur trattandosi di sorgenti legate a sistemi superficiali (sorgenti di tipo 1), rientrano in un settore ove nel substrato non possono essere escluse con certezza perturbazioni locali consistenti della regime idrico sotterraneo, con sporadiche ripercussioni puntuali anche sulle circolazioni più pellicolari.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN22-D0-001-A03 <div style="float: right;">Foglio 29 di 33</div>

Va infine rimarcato che nel settore d'innesto sulla linea storica e della Bretella di Voltri, nell'ambito del progetto per quest'ultima opera RFI ha censito una serie di sorgenti che non risultano censite nell'ambito del progetto "Terzo Valico". Si tratta di una serie di sorgenti indicate negli elaborati progettuali della bretella come GE163, GE168, GE169, GE171, GE172, GE173, SG3, SG4, per le quali non si dispone di dati. Tuttavia, sulla base della sola posizione in carta di questi punti d'acqua e in base al fatto che si collocano al di sopra di un substrato roccioso permeabile quali i basalti fratturati, deve essere tenuto in conto che esiste una possibilità non trascurabile che lo scavo della galleria in oggetto determini una perturbazione.

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.

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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN22-D0-001-A03 Foglio 30 di 33

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. *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>IG51-04-E-CV-RO-GN22-D0-001-A03</p> <p style="text-align: right;">Foglio 31 di 33</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>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN22-D0-001-A03</p> <p style="text-align: right;">Foglio 32 di 33</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'accreszione. *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>IG51-04-E-CV-RO-GN22-D0-001-A03</p> <p style="text-align: right;">Foglio 33 di 33</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.