

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 DI SFOLLAMENTO E CUNICOLI DI COLLEGAMENTO BD - (FERMATA VALLEMME) - CUNICOLI DI COLLEGAMENTO BD**

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

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 4	E	C V	R O	G N 9 2 B 0	0 0 1	A

Progettazione :								
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	GDP 	25/06/2014	Rocksoil 	27/06/2014	A. Palomba 	30/06/2014	
A02	Revisione generale	GDP 	04/05/2015	Rocksoil 	06/05/2015	A. Palomba 	08/05/2015	
A03	Modifica lotto costruttivo a seguito 2°A.M.	GDP 	12/12/2016	Rocksoil 	12/12/2016	A. Mancarella 	12/12/2016	

n. Elab.:	File: IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03
-----------	---------------------------------------

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA  
(CON ALLEGATI)**

# INDICE

INDICE.....	3
1     PREMESSA.....	5
2     NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
3     ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO.....	6
4     INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	7
4.1    Unità metamorfiche della “zona Sestri-Voltaggio” <i>l.s.</i> .....	9
4.1.1   Evoluzione strutturale.....	11
Gli eventi deformativi D1 e D2.....	11
L’evento deformativo D3 .....	12
L’evento deformativo D4 .....	12
Deformazione fragile .....	13
4.1.2   Unità Figogna.....	13
Argille a Palombini del Passo della Bocchetta, aP (Cretaceo inf.) .....	15
Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia (dM).....	16
Metabasalti (B’), (cf. Metabasalti del M. Figogna) .....	17
5     INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	17
6     INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....	17
6.1    Complessi idrogeologici.....	17
6.1.1   Considerazioni generali.....	17
6.1.2   Complesso 4 (c, d, aF) .....	17
6.1.3   Complesso 15 (aP, f, Mn, ro_mo, my, dM, d”).....	18
6.1.4   Complesso 17 (B’, B”) .....	20
7     ASPETTI CORRELATI ALLA GEOMORFOLOGIA E ALLA GEOLOGIA DEL QUATERNARIO .....	21
8     PROBLEMATICHE GEOLOGICHE IN RELAZIONE ALLO SCAVO IN GALLERIA 21	
8.1    Condizioni geologiche attese in corrispondenza dei by-pass .....	21
8.1.1   Presenza di faglie .....	22
8.1.2   Piani di taglio a basso angolo .....	23
8.1.3   Grado di fratturazione medio al di fuori delle zone di faglia .....	23
8.2    Afflussi in galleria .....	23
8.2.1   By-pass dal N.2 -D al N.09 .....	25
8.2.2   By-pass N.01-D e da N.10-D a N.15-D.....	25

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03</p>	<p>Foglio 4 di 29</p>

8.3	Interferenze con le risorse di superficie .....	25
9	BIBLIOGRAFIA .....	28

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03 <span style="float: right;">Foglio 5 di 29</span>

## 1 PREMESSA

Il presente rapporto riguarda la realizzazione delle opere identificate dal codice WBS GN91B, e riferite alla realizzazione nell'area di sicurezza Val Lemme dei by-pass di collegamento con il cunicolo di sfollamento lungo il binario di linea pari. L'intervento si inserisce nel quadro delle opere di linea previste dal Progetto Esecutivo del nuovo collegamento AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi".

Di seguito sono elencati i codici identificativi e la tipologia dei 15 by-pass:

By-pass di collegamento - Binario Dispari					
sigla			descrizione		
N.	01	- D	By-pass carrabile	Accesso riservato soccorritori	
N.	02	- D	By-pass pedonale	Accesso riservato soccorritori	
N.	03	- D	By-pass pedonale/fumi	-	
N.	04	- D	By-pass pedonale	-	
N.	05	- D	By-pass pedonale/fumi	-	
N.	06	- D	By-pass pedonale/fumi	-	
N.	07	- D	By-pass pedonale/fumi	-	
N.	08	- D	By-pass pedonale	-	
N.	09	- D	By-pass pedonale/fumi	-	
N.	10	- D	By-pass pedonale	-	
N.	11	- D	By-pass pedonale/fumi	-	
N.	12	- D	By-pass pedonale	Accesso riservato soccorritori	
N.	13	- D	By-pass pedonale	-	
N.	14	- D	By-pass pedonale	-	
N.	15	- D	By-pass pedonale	-	

La presente nota costituisce una revisione e un aggiornamento degli studi geologici eseguiti in fase di Progetto Definitivo, rispetto alla quale sono stati eseguiti ex novo alcuni rilievi geologici integrativi di superficie, nonché l'esame dei dati dei sondaggi realizzati in fase di Progettazione Esecutiva.

Questo rapporto descrive quanto rappresentato negli elaborati grafici allegati:

- profili geologici allegati al presente rapporto;
- carta geologica, geomorfologica e idrogeologica.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03
	Foglio 6 di 29

## 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”.

Per quanto riguarda gli aspetti inerenti la sismicità del settore interessato dal progetto, si rimanda alla relazione di inquadramento sismico dell’intera opera (documento 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);
- 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. Luca Delle Piane (responsabile di progetto);

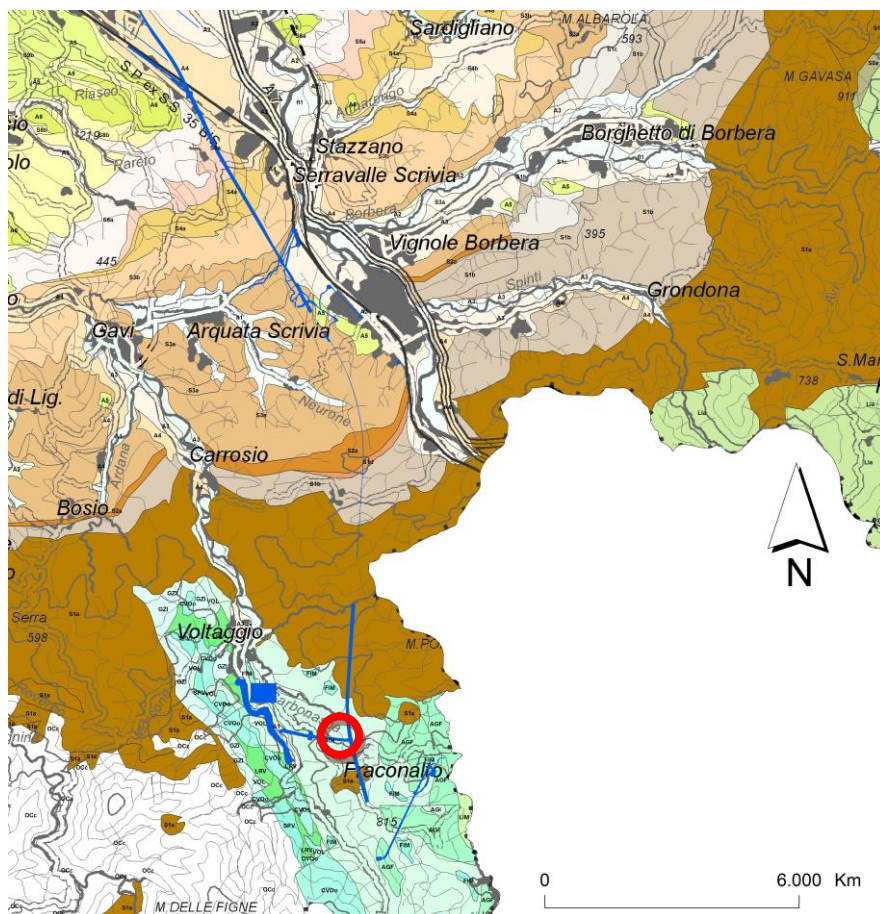
GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03 <div style="float: right;">Foglio 7 di 29</div>

- supervisione e controllo elaborati: Dott. Geol. L. Delle Piane, Dott. Geol. Paolo Perello;
- rilevamento geologico-strutturale, sedimentologico-stratigrafico e geomorfologico: Dott. Geol. L. Delle Piane, Dott. Geol. P. Perello, Dott. Geol. Antonio Damiano, Dott.sa Geol. Alessandra Giorza, Dott.sa Geol. Alessia Musso, Dott. Geol. Dario Varrone;
- idrogeologia, modellazione idrogeologica numerica, idrogeochimica: Dott. Geol. Alessandro Baietto, Dott.sa Geol. A. Giorza, Dott. Geol. Paolo Perello;
- elaborazioni GIS e CAD: Dott.sa Geol. A. Musso, Dott.sa Geol. A. Giorza.

#### 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'opera ricade nelle unità metamorfiche del "Gruppo di Voltri" *auct.* (Unità tettonometamorfica Figogna, cfr. Foglio 213-230 "Genova" della Carta Geologica d'Italia) e all'interno delle unità sedimentarie del Bacino Terziario Piemontese (Brecce della Costa di Cravara, cR e Formazione di Molare, FMp). (Figura 1).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03
	Foglio 8 di 29



## LEGENDA

### Depositi alluvionali

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

### Bacino Terziario Piemontese

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

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

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

### Zona a scaglie tettoniche – Zona Sestri-Voltaaggio

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

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

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



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03 <div style="float: right;">Foglio 9 di 29</div>

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

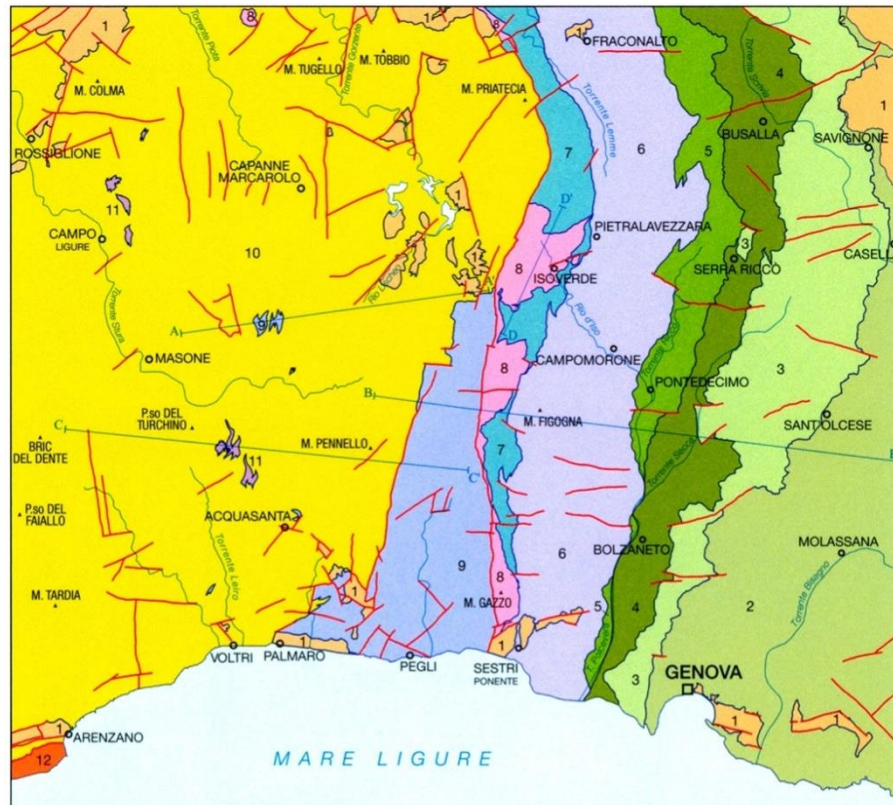
L’area di studio si colloca nella zona di giustapposizione tra i domini orogenici alpino e appenninico (Figura 1), nota in letteratura come “nodo collisionale ligure” (Laubscher at. al., 1992); questo settore ad elevata complessità strutturale è stato recentemente oggetto di una revisione cartografica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

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

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

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

## SCHEMA TETTONICO



- 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 (giadete, 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      A—A' Traccia di sezione geologica

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

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

Le sigle delle unità descritte fanno riferimento alla legenda adottata nel Progetto Definitivo e successive modifiche in fase di Progetto Esecutivo, della linea Milano-Genova (2004); viene inoltre riportato (Tabella 1) il corrispondente nome e codice adottato nella Cartografia Geologica Nazionale- CARG (Capponi et al. 2009).

<i>definizione PD (2004) e PE (2013)</i>		<i>definizione CARG (2009)</i>	
argille a Palombini del Passo della Bocchetta	aP	argiloscisti di Costagiutta	AGI
		argiloscisti di Murta	AGF
metacalcari di Erzelli	cE	metacalcari di Erzelli	ERZ
metasedimenti silicei della Madonna della Guardia	dM	Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia	MHF
metabasalti	B'	metabasalti del Monte Figogna	MBF
Serpentiniti e serpentinoscisti	Se'	serpentiniti di Bric dei Corvi	SPF
metaoficalciti di Pietralavezzara	of'	metaoficalciti di Pietralavezzara	PLV

**Tabella 1 - Corrispondenza tra la terminologia geologica adottata per l'unità Figogna, nel Foglio 213 Genova (Capponi et al., 2009), e la terminologia adottata nell'ambito del Progetto Definitivo e Progetto Esecutivo (2004).**

#### 4.1.1 Evoluzione strutturale

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

*Gli eventi deformativi D1 e D2*

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03	Foglio 12 di 29

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

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

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

### *L'evento deformativo D3*

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

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

Alle pieghe di piegamento D3 si associano, soprattutto in zona di cerniera e lungo i fianchi rovesciati, zone di taglio duttile-fragile, a basso angolo e con cinematismo inverso; queste zone sono subparallele ai piani assiali 3 con direzione WNW-ESE e hanno caratteri che testimoniano un'intensa attività di fluidi carbonatici tipica di sistemi idrotermali a controllo tettonico. L'azione metasomatica è stata tale da idratare e carbonatare le rocce trasformandole; le serpentiniti, ad esempio, sono state trasformate in scisti a clorite, tremolite e actinolite, oppure in serpentiniti carbonatate.

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

### *L'evento deformativo D4*

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03 <span style="float: right;">Foglio 13 di 29</span>

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

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

### *Deformazione fragile*

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

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

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

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

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

#### *4.1.2 Unità Figogna*

L'unità tettonometamorfica Figogna è costituita da un basamento metaofiolitico e dalla relativa copertura metasedimentaria. L'unità Figogna corrisponde all'unità denominata



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03	Foglio 14 di 29

“Timone - Bric Teiolo” *auct.*, denominazione adottata anche nel Progetto Definitivo (2004) ed include le seguenti formazioni:

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

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

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

Secondo un'ipotesi coerente con alcune osservazioni inedite di terreno (dati non pubblicati), la parte occidentale dell'unità Figogna ricade all'interno di una potente fascia di deformazione tettonica, che arriva a comprendere le dolomie del M. Gazzo, ed è caratterizzata da due piani di deformazione cataclastica di estensione regionale, riferibili a un regime deformativo di tipo transpressivo: la *zona di deformazione di Timone*, coincidente con le “serpentiniti di Case Bardane” della cartografia CARG e la *zona di deformazione di Scarpino*, coincidente con le “serpentiniti del Bric dei Corvi” della cartografia CARG).

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03 <span style="float: right;">Foglio 15 di 29</span>

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

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

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

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

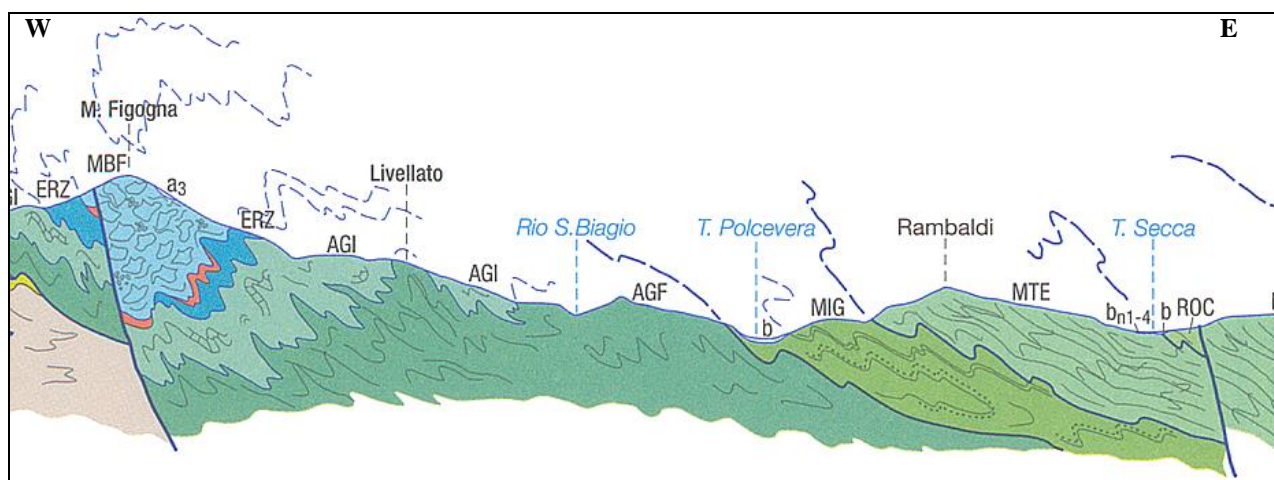


Figura 3. Profilo geologico E-W attraverso la Val Polcevera e la dorsale del M. Figogna (da Capponi et al., 2009).

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03</p> <p style="text-align: right;">Foglio 16 di 29</p>

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

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

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

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

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

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

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

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

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



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03 <span style="float: right;">Foglio 17 di 29</span>

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

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

## 5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le indagini geognostiche disponibili nel settore della WBS GN91A sono rappresentati dai sondaggi:

codice	Fase progettuale	Caratteristiche/unità
L2-S30	PE	Argille a Palombini del Passo della Bocchetta
L2-AS4	PE	Argille a Palombini del Passo della Bocchetta + Metabasalti + Faglia Sondaggio interrotto alla profondità di 150m per la presenza di gas.
L2-AS4 bis	PE	Argille a Palombini del Passo della Bocchetta + Metabasalti + Faglia

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

## 6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

### 6.1 Complessi idrogeologici

#### 6.1.1 Considerazioni generali

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03 <span style="float: right;">Foglio 18 di 29</span>

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

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

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

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

### 6.1.3 *Complesso 15 (aP, f, Mn, ro\_mo, my, dM, d")*

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  $1 \text{E}-07$  e  $1 \text{E}-08$  m/s, meno frequentemente tendenti a  $1 \text{E}-06$  m/s, come evidenziato dal diagramma di Figura 4. Esistono numerose incertezze circa la rappresentatività dei valori maggiori. Essi derivano in gran parte da test Lugeon eseguiti nei sondaggi di PD, che presentano diagrammi con curve pressione/portata alquanto anomale. Volendo ritenere rappresentativi tali valori elevati, essi potrebbero corrispondere a bancate carbonatiche di maggior spessore, a comportamento più rigido e quindi maggiormente fratturate; dal momento che queste bancate non hanno mai un'estensione laterale particolarmente elevata (al più pluridecametrica) tali valori hanno una rappresentatività locale, mentre l'ammasso a grande scala dovrebbe sempre presentare una permeabilità meno elevata.

Dall'analisi dei sondaggi e dal confronto con i dati di terreno sono state individuate delle zone di faglia ove sono state eseguite delle prove di tipo idraulico. Il grafico (Figura 4) 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  $1 \text{E}-06$  e  $1 \text{E}-07$  m/s, con sporadici valori di conducibilità anche di poco maggiori di  $1 \text{E}-06$ . Dalle osservazioni di terreno si può ipotizzare che lungo le faglie di questo complesso le permeabilità maggiori siano relative alle zone di danneggiamento, mentre le zone di nucleo possono presentare un effetto di compartimentazione per lo sviluppo di rocce di faglia a granulometria fine e con componente argillosa generalmente

impermeabile. Anche nel caso delle zone di faglia esistono comunque delle perplessità in merito alla rappresentatività dei test idraulici disponibili.

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

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

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

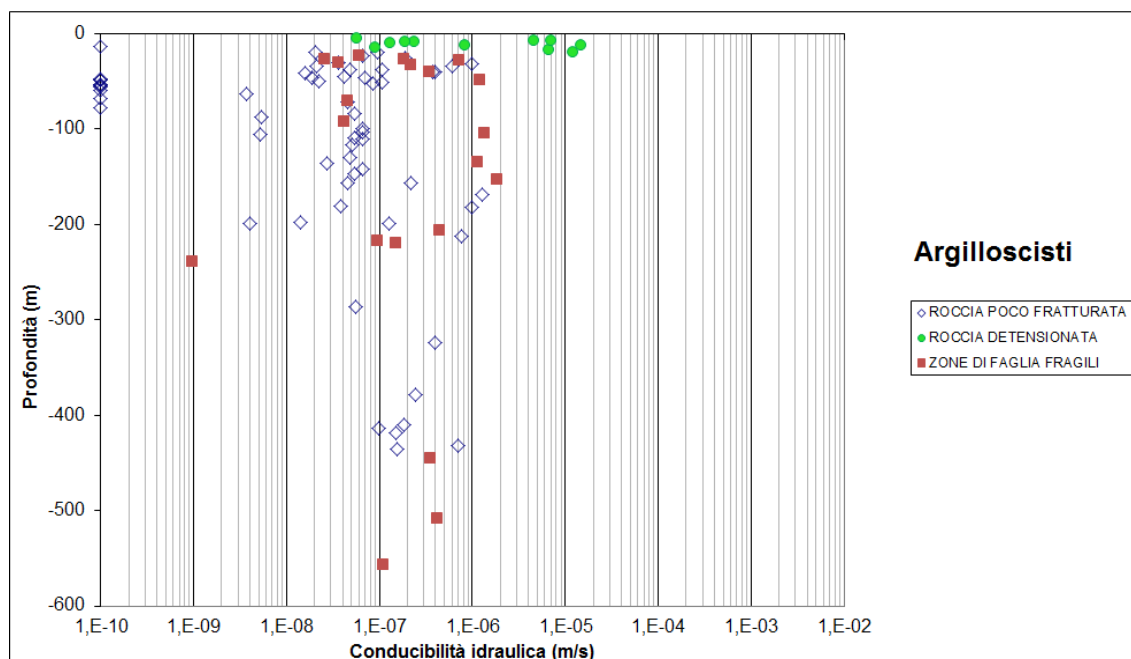


Figura 4. Grafico delle conducibilità idrauliche per gli argilloscisti (Argille a Palombini e argilliti in genere).

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

Tutti questi dati mostrano come nei circa 5 km di gallerie ad oggi scavati negli argilloscisti, le portate stabilizzate o pseudo-stabilizzate risultino sempre molto basse. Portate di questo tipo, se analizzate in back-analysis mediante le funzioni analitiche utilizzate nel paragrafo 5.2 della relazione

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03
	Foglio 20 di 29

idrogeologica generale, implicano l'assunzione di conducibilità idrauliche dell'ordine di  $1E-08$  m/s per l'ammasso roccioso in normale stato di fratturazione e di  $5E-08$  m/s per le zone di faglia.

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

Per quanto attiene invece allo stato di permeabilità di questi litotipi a basse profondità, dall'osservazione dei sondaggi è stato possibile inserire nel diagramma di Figura 4 una serie di dati che rappresentano la permeabilità dell'ammasso roccioso detensionato nei primi metri al di sotto della superficie (indicativamente da 5 fino a 20 m); tali dati mostrano conducibilità più elevate, comprese tra  $1E-05$  e  $1E-07$  m/s. Peraltro i dati di scavo sembrano confermare che l'ammasso in argilloscisti sotto coperture anche fino a 100m, sembra risentire di fenomeni di alterazione e dissoluzione del carbonato.

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

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

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

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 5.

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 di ampie zone 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.

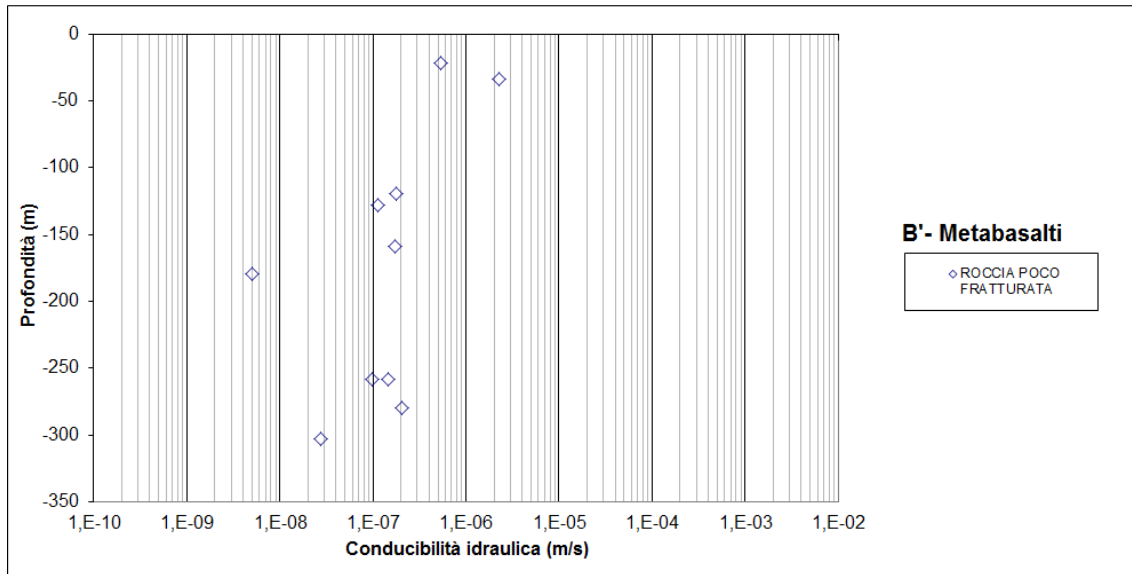


Figura 5. Grafico delle conducibilità idrauliche per i metabasalti.

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

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

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

### 8 PL

### ERIA

#### 8.1

I by-pass  
 frequen  
 scistosa  
 Numero  
 è talora



presentano  
 o, struttura  
 (Figura 6).  
 te a debole



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03 <span style="float: right;">Foglio 22 di 29</span>

**Figura 6. Metabasalti (B') con vene di calcite, Sondaggio SR14 (465,60-470,60 m).**

I by-pass **N.01-D**, **N.13-D**, **N.14-D** e **N.15-D** sono localizzati probabilmente in corrispondenza dell'unità delle Argille a Palombini del passo della Bocchetta – Argilloscisti di costagiutta (aP/AGI), che si presentano (Figura 8) come argilliti di colore grigio scuro con livelli e di metasedimenti calcarei (con spessore massimo di 5-6 cm). Presentano evidenti strutture plicative, alla mesoscala. Localmente sono molto sviluppate vene e noduli di quarzo e calcite con spessore da millimetrico a centimetrico. Sono inoltre presenti livelli di cataclasiti caratterizzate argille di colore grigio scuro con elementi millimetrici di argilliti metamorfiche e subordinatamente clasti di calcite o quarzo angolari alterati (con diametro massimo di 2-4 cm).

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



**Figura 7. Argille a palombini del Passo della Bocchetta (aP), Sondaggio SR15.**

I by-pass **N.10-D**, **N.11-D** e **N.12-D** sono localizzati in prossimità del passaggio tra l'unità delle Argille a Palombini del passo della Bocchetta – Argilloscisti di costagiutta (aP/AGI) e i metabasalti (B') dell'unità Figogna.

### 8.1.1 Presenza di faglie

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03	Foglio 23 di 29

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

I by-pass **N.04-D e N.05-D** intercettano una faglia a medio-alto angolo immergente verso S come evidenziato dal sondaggio L2-S4A bis. La roccia di faglia è costituita da un gouge argilloso ad elementi di argilloscisti e basalti, sono inoltre presenti indizi dello sviluppo di piani a basso angolo.

### 8.1.2 Piani di taglio a basso angolo

In fase di Progetto Definitivo, nel profilo geologico sono state rappresentate alcune strutture tettoniche a basso angolo, con rigetto non valutabile, sia all'interno della formazione di Molare sia nella formazione di Rigoroso. Nel corso delle verifiche di terreno della fase di PE queste strutture a basso angolo sono state osservate e caratterizzate ulteriormente. I piani a basso angolo sono maggiormente sviluppati, e presentano una maggiore persistenza laterale, soprattutto quando sviluppati all'interno della successione sedimentaria del Bacino Terziario Piemontese mentre all'interno delle unità metamorfiche la deformazione indotta da queste strutture è dispersa dalla scistosità principale.

Le zone di taglio osservate hanno andamento subparallelo alla stratificazione ed una potenza minima apparente di 70-80 m. All'interno della zona di taglio le superfici di stratificazione sono completamente obliterate; si osserva una ripetizione di superfici di movimento, principali e associate. Il grado di fratturazione della roccia all'interno della zona di taglio è estremamente elevato e qualora una di tali zone dovesse essere intercettata dallo scavo potrebbe causare un notevole decadimento della qualità geotecnica dell'ammasso roccioso.

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

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

## 8.2 Afflussi in galleria

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03 <span style="float: right;">Foglio 24 di 29</span>

Sui profili allegati, per l'attribuzione degli afflussi in fase di scavo è stata utilizzata la classificazione di Bieniawski (1989), individuando 4 classi che definiscono una portata stimata in l/s normalizzata per 10 m di scavo (Tabella 2). In alcuni casi, nelle fincature dei profili allegati sono stati aggiunti dei simboli “-”, “- -”, “+” e “++” che indicano possibili aumenti locali di una (- e +) o due (-- e ++) classi di portata rispetto alla classe prevalente prevista. La probabilità di occorrenza dei suddetti aumenti/diminuzioni rispetto alla classe principale è stata stimata nell'ordine dello 0-30%.

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

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

**Tabella 2 – Descrizione delle classi stimate per gli afflussi in galleria in regime transitorio secondo la classificazione di Bieniawski (1989), espressa in l/s per 10 m di scavo.**

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

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



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03 <span style="float: right;">Foglio 25 di 29</span>

### 8.2.1 By-pass dal N.2 -D al N.09

Permeabilità/connettività: in questi settori non è prevista l'intersezione con discontinuità importanti. Il grado di permeabilità atteso, in corrispondenza dei metabasalti (B') è perciò medio-alto.

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

Portate massime transitorie: le portate massime transitorie stimate sono riferibili alla classe 2+ (0,16-0,4 l/s\*10 m), con locali aumenti alla classe 4- in corrispondenza delle faglie principali.

Per i by-pass N.04-D e N.05-D è prevista l'intersezione con alcune delle numerose zone di faglia presenti all'interno dei basalti. Cautelativamente si può stimare che all'interno delle zone di faglia si possano incontrare sporadiche zone ad elevata permeabilità intervallate da frequenti zone a permeabilità moderata. Sembra ragionevole ipotizzare che il grado di connettività sia abbastanza basso, anche nei settori dove la permeabilità è maggiore, dal momento che i rilievi di terreno mettono in evidenza una scarsa persistenza dei sistemi di frattura correlati alla faglia e la presenza di abbondante matrice fine. Per i due by-pass sono state ipotizzate portate riferibili classe 4- (> 2 l/s\*10 m).

### 8.2.2 By-pass N.01-D e da N.10-D a N.15-D

Permeabilità/connettività: in questi settori non è prevista l'intersezione con discontinuità importanti. Il grado di permeabilità atteso, all'interno delle Argille a Palombini, è da basso a molto basso con corrispondente connettività ridotta, fatta eccezione per la possibile presenza di lenti di basalti di estensione e posizione incerta che potrebbero portare a locali aumenti del grado di permeabilità (medio-alta).

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

Portate massime transitorie: le portate massime transitorie stimate sono riferibili alla classe 1 (0-0.16 l/s\*10 m), con passaggio alla classe 3 (0.4-2 l/s\*10 m) nel caso vengano intersecate delle lenti, o intervalli più continui, di basalto.

## 8.3 Interferenze con le risorse di superficie

Al fine di valutare la possibile interferenza tra l'opera e le risorse idriche di superficie è stato calcolato un indice di pericolosità di isterilimento per le sorgenti (Drowdown Hazard Index DHI, Dematteis et al., 1999). Si tratta di una metodologia di analisi probabilistica applicata allo scavo in sotterraneo, il cui approccio si basa sull'utilizzo di matrici di interazione binaria e globale (Hudson, 1992 e Jiao, 1995). Essa restituisce un valore di pericolosità di isterilimento della risorsa idrica che ricade nelle quattro classi indicate in Tabella 3. Le classi adottate non hanno una suddivisione lineare, ovvero non sono state suddivise in intervalli di uguale ampiezza, allo scopo di fornire una valutazione ampiamente cautelativa.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03
	Foglio 26 di 29

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

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

Il sistema acquifero-galleria è esemplificato da 8 variabili differenti alle quali è stato assegnato un valore numerico per ogni sorgente presa in considerazione, in relazione alle condizioni previste in galleria:

1. frequenza di fratturazione (FF);
2. permeabilità dell'ammasso roccioso (MK);
3. spessore della copertura (OV);
4. ampiezza della zona plastica (PZ);
5. distanza dal tunnel (DT);
6. intersezione con canali di permeabilità preferenziali (PC);
7. tipo di sorgente (TS);
8. effetto topografico (ET).

Le prime quattro variabili si riferiscono alle caratteristiche del sistema acquifero-tunnel e concorrono a determinare il potenziale di drenaggio (PI) che la galleria esercita sulle sorgenti.

Le quattro variabili di sistema restanti (DT, PC, TS e ET) sono specifiche della sorgente e prendono in considerazione tutte quelle condizioni al contorno che possono essere determinanti nella valutazione della probabilità di inaridimento di una sorgente, a prescindere dal contesto idrogeologico medio dell'ammasso roccioso a quota galleria. A differenza delle variabili coinvolte nel calcolo del PI, esse sono indipendenti fra loro.

Tutte le sorgenti per le quali è stata eseguita la valutazione del rischio per questa tratta presentano un rischio d'isterilimento trascurabile.

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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03

Foglio  
27 di 29

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03 <span style="float: right;">Foglio 28 di 29</span>

## 9 BIBLIOGRAFIA

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN92-B0-001-A03</p> <p style="text-align: right;">Foglio 29 di 29</p>

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