

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**

**CUNICOLO CASTAGNOLA – FABBRICATO SSE**

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA**

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

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

Progettazione :								
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	GDP 	10/08/2016	Rocksoil 	10/08/2016	A. Palomba 	10/08/2016	
A01	Modifica cartiglio	GDP 	10/08/2016	Rocksoil 	10/08/2016	A. Mancarella 	10/08/2016	

n. Elab.:	File: IG51-04-E-CV-RO-GA1T-00-001-A01
-----------	---------------------------------------



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-04-E-CV-RO-GAIT-00-001-A01	Foglio 3 di 29

## INDICE

INDICE.....		3
1	PREMESSA .....	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
3	ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO .....	5
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	6
4.1	Unità metamorfiche della “zona Sestri-Voltaggio” /s. ....	8
4.1.1	Evoluzione strutturale .....	10
	Gli eventi deformativi D1 e D2 .....	10
	L’evento deformativo D3 .....	11
	L’evento deformativo D4 .....	11
	Deformazione fragile .....	12
4.1.2	Unità Figogna .....	12
	Argille a Palombini del Passo della Bocchetta, aP (Cretaceo inf.) .....	13
	Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia (dM) .....	15
	Metabasalti (B’), (cf. Metabasalti del M. Figogna).....	15
5	INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	16
5.1	Sondaggio SI46 .....	16
5.2	Sondaggio L3-S49 .....	16
6	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....	16
6.1	Complessi idrogeologici.....	16
6.1.1	Considerazioni generali .....	16
6.1.2	Complesso 3 (c, d, aF) .....	19
6.1.3	Complesso 12 (FMc) .....	19
6.1.4	Complesso 15 (aP, dM, d”, f, Mn, Se”) .....	20
6.1.5	Complesso 17 (B’, B”) .....	22
6.2	Sorgenti e sistemi di flusso .....	23
6.2.1	Considerazioni generali .....	23
6.2.2	Discussione dei dati disponibili.....	24
7	ASPETTI CORRELATI ALLA GEOMORFOLOGIA E ALLA GEOLOGIA DEL QUATERNARIO.....	24
8	PROBLEMATICHE GEOLOGICHE IN RELAZIONE ALLO SCAVO IN GALLERIA	25
	25	
8.1	Condizioni geologiche attese in corrispondenza dell’opera .....	25
8.1.1	Presenza di faglie .....	25

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-GAIT-00-001-A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 4 di 29</p>

8.1.2	Grado di fratturazione medio al di fuori delle zone di faglia .....	26
8.2	Interferenze con le risorse di superficie.....	26
9	BIBLIOGRAFIA .....	27

<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-GA1T-00-001-A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 5 di 29</p>

## 1 PREMESSA

Il presente rapporto riguarda la realizzazione dell'opera identificata dal codice WBS GA1T, e riferita al Cunicolo Castagnola, Fabbricato SSE, alla pK 14+821,00. L'intervento si inserisce nel quadro delle opere di linea previste dal Progetto Esecutivo del nuovo collegamento AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi".

La presente nota costituisce una revisione e un aggiornamento degli studi geologici eseguiti in fase di Progetto Definitivo, rispetto alla quale sono stati eseguiti ex novo alcuni rilievi geologici integrativi di superficie.

Questo rapporto descrive quanto rappresentato negli elaborati grafici allegati:

- profilo geologico e sezioni geologico-stratigrafiche;
- carta geologica, geomorfologica e idrogeologica;

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente rapporto fa riferimento alla seguente documentazione:

- D.M. 11.03.1988 e s.m.i. "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e le scarpate, i criteri generali, e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"
- Circ. LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483 Legge 02/02/74, n.64 art.1. D.M. 11/03/1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione".

E' importante ricordare che per il Progetto Esecutivo dell' AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi" la normativa cogente è quella relativa a tutto il 2005, anno di approvazione del Progetto Definitivo.

Una trattazione generale relativa alla caratterizzazione sismica dei terreni è stata presentata in fase di Progetto Esecutivo nella Relazione Sismica (elaborato 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;

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-GAIT-00-001-A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 6 di 29</p>

- 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).

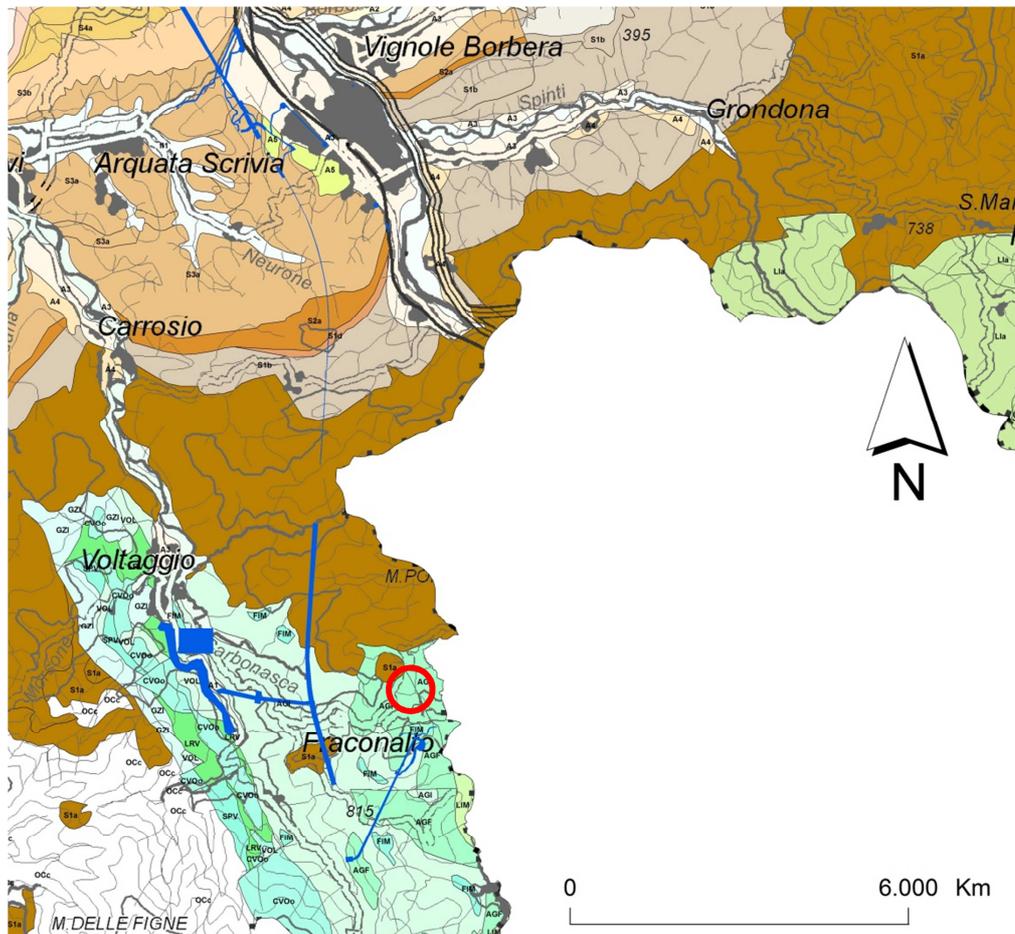
L'elaborazione dei dati è stata eseguita in ottemperanza alle specifiche tecniche di progettazione e alle richieste di approfondimento riportate nella delibera CIPE n. 80/2006, relative alle opere in oggetto.

Il gruppo di lavoro è così costituito:

- coordinamento generale: Dott. Geol. Luca Delle Piane (responsabile di progetto);
- 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 e Dott.sa Geol. Alessandra Giorza;
- elaborazioni GIS e CAD: Dott.sa Geol. A. Musso, Dott.sa Geol. A. Giorza.

#### 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'opere in progetto ricade nell'unità metamorfica del "Gruppo di Voltri" *auct.* (Unità tettonometamorfica Figogna, cfr. Foglio 213-230 "Genova" della Carta Geologica d'Italia). (Figura 1).

**LEGENDA****Depositi alluvionali**

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

**Bacino Terziario Piemontese**

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

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

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

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

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

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

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

<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-GAIT-00-001-A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 8 di 29</p>

#### 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).



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GAIT-00-001-A01 <span style="float: right;">Foglio 10 di 29</span>

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*

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).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GAIT-00-001-A01 <span style="float: right;">Foglio 11 di 29</span>

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-Votaggio.

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 cristallini più superficiali (Capponi & Crispini, 2002).

Le pieghe D3 sono strutture aperte da decimetriche a plurimetriche, 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 cinematiso inverso; queste zone sono subparallele ai piani assiali 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.

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GAIT-00-001-A01 <span style="float: right;">Foglio 12 di 29</span>

strutture sono caratterizzate da fronti con persistenza chilometrica e sono associate a mineralizzazioni a zeolite, clorite e carbonati, indicative di livelli cristallini 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 "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;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GAIT-00-001-A01 <span style="float: right;">Foglio 13 di 29</span>

- 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-metasalti. 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).

#### 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 argilloscisti di Costagiutta in posizione inferiore, gli argilloscisti 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.

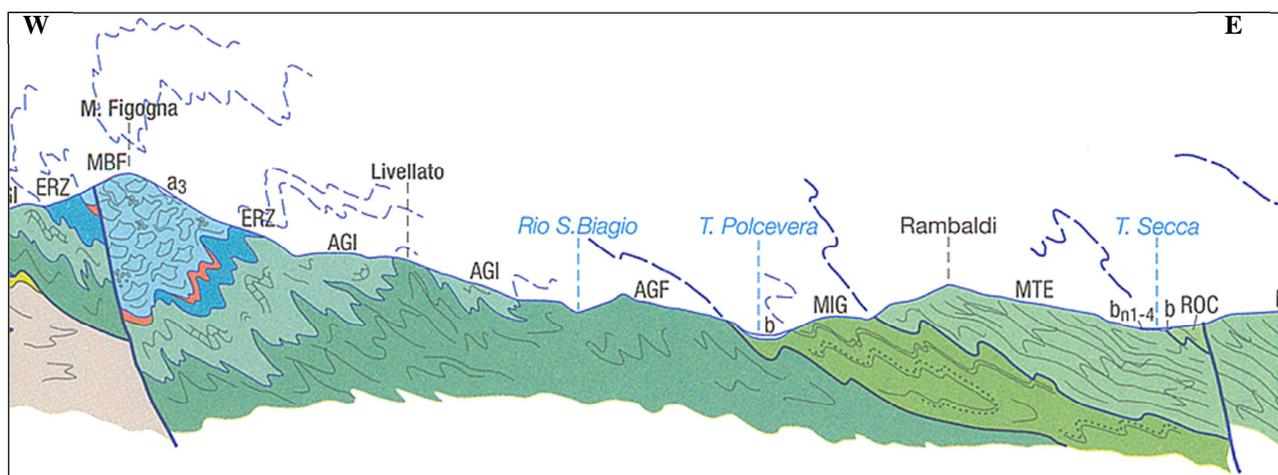


Figura 3. Profilo geologico E-W attraverso la Val Polcevera e la dorsale del M. Figogna (da Capponi et al., 2009).

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

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

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

Le giaciture misurate sono frequentemente la media di una foliazione disturbata da serie di pieghe più o meno frammentate; la scistosità descrive frequentemente pieghe a ginocchio con cerniere più

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-GAIT-00-001-A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 15 di 29</p>

o meno acute e pieghe serrate, a scala da centimetrica a pluridecamentrica. 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.

#### 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GA1T-00-001-A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 16 di 29</p>

## 5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le indagini geognostiche al momento disponibili nel settore della WBS GA1T sono rappresentati dai sondaggi SI46 e L3-S49 realizzati in fase di Progetto Esecutivo.

### 5.1 Sondaggio SI46

Il sondaggio SI46 è localizzato in destra idrografica del rio Traversa, 80 m ca. a WSW della località Casazze Superiore. La stratigrafia sintetica del sondaggio è la seguente:

- da 0 a 2,7 m: copertura detritico-colluviale di versante;
- da 2,7 a 25 m (fondo foro): metabasiti massicce (metabasalti) a scistosità mal definita o assente, con vene e noduli di albite (impropriamente definita "quarzo" nella stratigrafia di sondaggio; il quarzo è in realtà del tutto subordinato o assente) o di albite + calcite; roccia dura, compatta, da poco fratturata a intensamente fratturata (RQD variabile da 30-40 a 80-90); la tratta fratturata e brecciata più lunga si localizza tra 3,80 e 4,30 m, le altre tratte hanno lunghezza massima di una ventina di centimetri.

Le metabasiti fanno parte dell'unità dei Metabasalti del Monte Figogna (sigla CARG: MBF; sigla B' nel Progetto Definitivo ed Esecutivo). L'aspetto osservato in sondaggio è analogo a quello visibile in affioramento nelle immediate vicinanze.

### 5.2 Sondaggio L3-S49

Il sondaggio orizzontale L3-S49 è localizzato in destra idrografica del rio Traversa, 80 m ca. a WSW della località Casazze Superiore. La stratigrafia sintetica del sondaggio è la seguente:

- da 0 a 35 m (fondo foro): metabasiti massicce (metabasalti) a scistosità mal definita o assente, con vene e noduli di albite; roccia dura, compatta, da poco fratturata a intensamente fratturata. Localmente sono presenti livelli violaceo-rossastri dovuti probabilmente alla presenza di manganese.

## 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.

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

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

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

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

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

**Tabella 2 – Descrizione delle classi di conducibilità idraulica utilizzate (N.B.: la classificazione non è valida per le rocce carsiche, per le quali è necessaria una valutazione specifica).**

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GAIT-00-001-A01 <span style="float: right;">Foglio 18 di 29</span>

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

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

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

Il contesto di tipo 2 è subordinato e correlato alla presenza di zone di faglia cataclastiche principali di spessore pluri-metrico 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 altresì specificato che i valori di conducibilità idraulica forniti si riferiscono ad una scala decametrica o pluri-decametrica, significativa per la dimensione delle opere in progetto. A piccola scala (metrica o pluri-metrica), come già ricordato in precedenza, potrebbero essere incontrati valori anche più elevati di quelli indicati nel presente rapporto e negli elaborati correlati, dal momento che a tale scala la permeabilità potrebbe essere governata dalle caratteristiche idrauliche di singole fratture. Questi elementi tuttavia spesso risultano poco interconnessi a scala maggiore, risultando ininfluenti per considerazioni idrogeologiche a scala medio-grande quale quella di interesse per il presente lavoro.

Durante la fase di perforazione dei sondaggi geognostici del PD sono state eseguite prove di tipo Lefranc e Lugeon (campagne geognostiche 1992-1993, 1996, 2001-2002 e 2004). I valori di

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-GAIT-00-001-A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 19 di 29</p>

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.

### 6.1.2 *Complesso 3 (c, d, aF)*

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

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

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

Non sono disponibili prove di tipo idraulico per i depositi quaternari ma sembra comunque ragionevole presupporre una conducibilità stimata compresa tra  $1 \times 10^{-6}$  e  $1 \times 10^{-8}$  m/s; localmente si potrebbero riscontrare conducibilità maggiori (fino a  $1 \times 10^{-5}$  m/s).

### 6.1.3 *Complesso 12 (FMc)*

Dai dati di terreno emerge che questa facies della Formazione di Molare presenta generalmente un grado di cementazione piuttosto elevato anche in superficie. Si ritiene, perciò che la componente della permeabilità data dalla porosità primaria sia da considerare nulla, facendo della permeabilità per fratturazione la componente dominante.

Non sono disponibili test idraulici eseguiti direttamente su questo complesso idrogeologico, ciononostante la conducibilità idraulica può essere assimilata per affinità tessiturali a quella delle altre facies della Formazione di Molare (cfr. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Tali facies presentano per l'ammasso roccioso al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra  $1 \times 10^{-7}$  e  $1 \times 10^{-8}$  m/s, come evidenziato dal diagramma di **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**; localmente si potrebbero riscontrare conducibilità maggiori (fino a  $1 \times 10^{-6}$  m/s) o minori (fino a  $1 \times 10^{-9}$  m/s).

Analogamente (cfr. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), anche per le zone di faglia la conducibilità idraulica è stata stimata, nell'ordine dei  $1 \times 10^{-6}/1 \times 10^{-8}$  m/s. Le osservazioni di terreno hanno infatti permesso di verificare che nelle zone di faglia che attraversano i litotipi di questo complesso sono presenti fenomeni di ricementazione che non consentono lo sviluppo di

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-GAIT-00-001-A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 20 di 29</p>

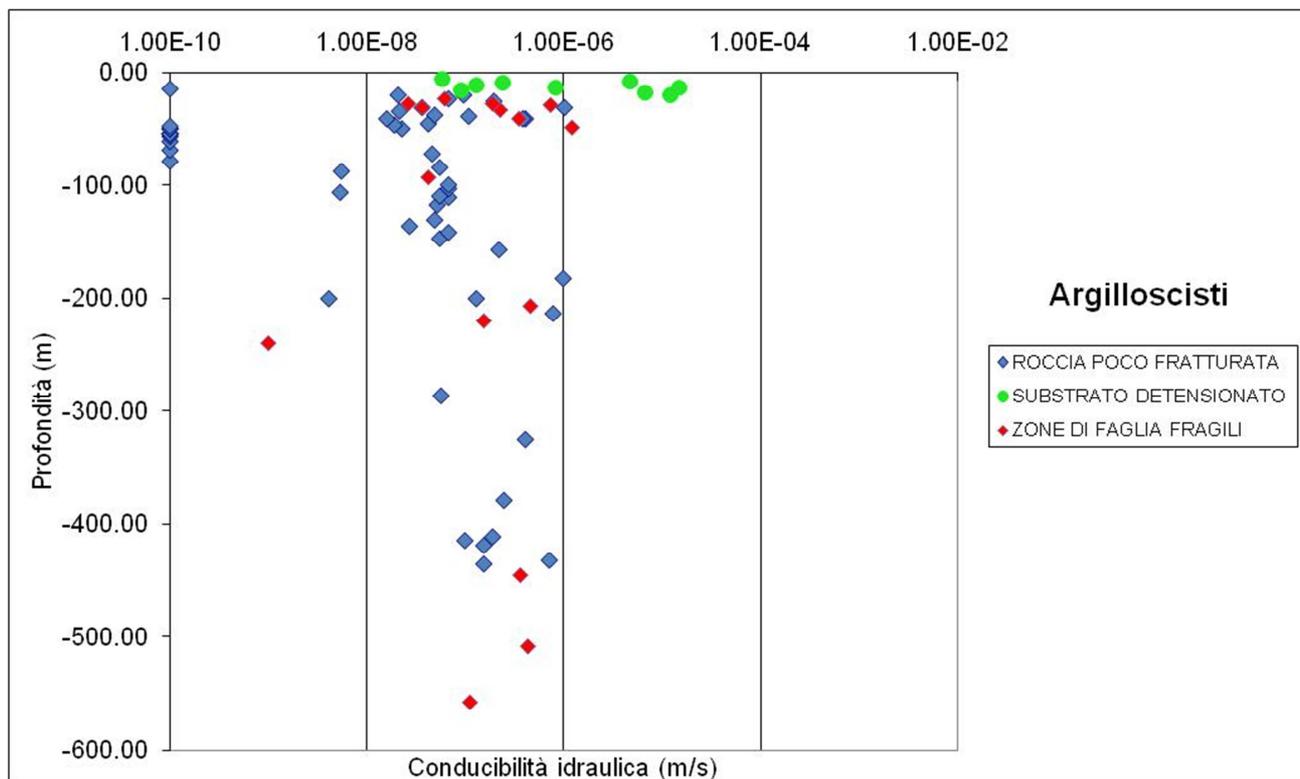
permeabilità particolarmente elevate. Si può ipotizzare che lungo le faglie del complesso le permeabilità maggiori siano relative sia alla zona di danneggiamento che alla zona di nucleo, essendo poco probabile l'effetto di compartimentazione, data la presenza di scarsa matrice fine.

Contrariamente alle facies incluse nel Complesso 13, la facies che costituisce questo complesso è composta da prevalenti clasti carbonatici (cfr. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), ciò la rende suscettibile a fenomeni di dissoluzione chimica del carbonato che potrebbero portare localmente l'ammasso roccioso a conducibilità da alte a molto alte, a causa dello sviluppo di microcarsismo lungo le faglie e fratture. Inoltre, come è stato notato dai rilievi di terreno, in questa formazione possono essere sporadicamente presenti dei veri e propri fenomeni carsici, con la formazione di cavità allungate di dimensioni metriche, raramente interconnesse. Sembra tuttavia probabile che sia i fenomeni di dissoluzione sia i rari fenomeni carsici si verifichino prevalentemente a livelli pellicolari dell'ammasso roccioso, indicativamente per profondità inferiori ai 100m. Non si può tuttavia escludere che sporadicamente i fenomeni di dissoluzione, con conseguenti associati incrementi di conducibilità idraulica, si spingano anche a profondità maggiori.

#### 6.1.4 *Complesso 15 (aP, dM, d", f, Mn, Se")*

I litotipi di questo complesso idrogeologico fanno parte di unità metamorfiche ove la permeabilità è sostanzialmente legata al grado di fratturazione dell'ammasso roccioso, a sua volta dipendente dalla reologia del tipo di roccia considerato.

I test idraulici disponibili sull'intera area di progetto indicano per l'ammasso roccioso al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra  $1 \times 10^{-7}$  e  $1 \times 10^{-8}$  m/s, meno frequentemente tendenti  $1 \times 10^{-6}$  m/s, come evidenziato dal diagramma di Figura 4.



**Figura 4. Grafico delle conducibilità idrauliche per gli argilloscisti da prove in foro di sondaggi del progetto preliminare e definitivo. Sono state distinte prove eseguite in roccia poco fratturata, substrato detensionato e zone di faglia.**

Il grafico evidenzia, altresì, valori per la conducibilità fino a  $1 \times 10^{-10}$  m/s che possono essere riconducibili a situazioni locali in cui la frazione fillosilicatica, essendo predominante, abbassa ulteriormente i valori di conducibilità dell'ammasso roccioso.

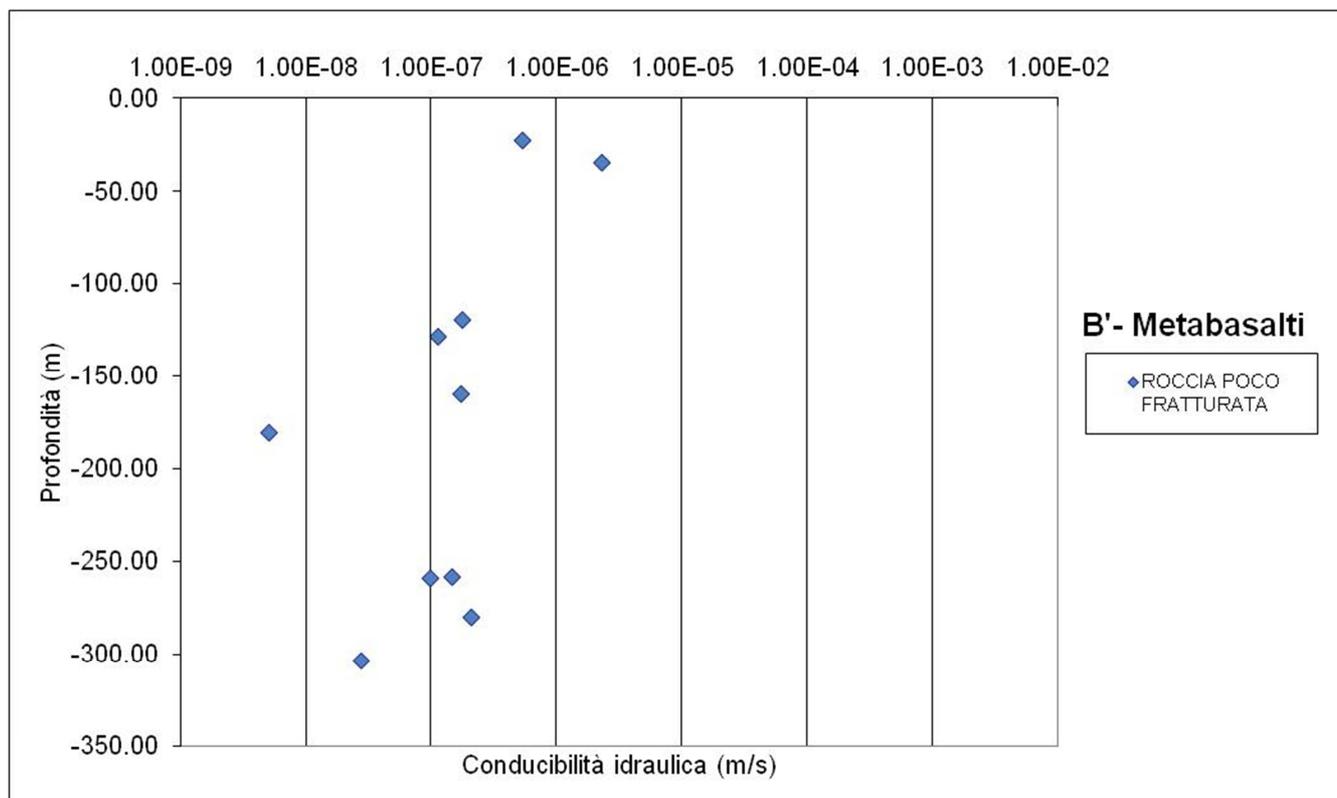
Dall'osservazione dei sondaggi è stato possibile inserire nel diagramma di Figura 4 una serie di dati che rappresentano la permeabilità dell'ammasso roccioso detensionato nei primi metri al di sotto della superficie (indicativamente da 5 fino a 20 m); tali dati mostrano conducibilità molto più elevate, comprese tra  $1 \times 10^{-5}$  e  $1 \times 10^{-7}$  m/s.

Dall'analisi dei sondaggi e dal confronto con i dati di terreno sono state individuate delle zone di faglia ove sono state eseguite delle prove di tipo idraulico. Il grafico (Figura 4) mostra una certa dispersione dei valori, anche se si può osservare che la conducibilità nelle faglie è distribuita in un intervallo tra  $10^{-6}$  e  $10^{-7}$  m/s nelle prove eseguite a profondità più basse (fino a 100 m), mentre l'intervallo si sposta tra  $10^{-7}$  e  $10^{-9}$  m/s man mano che la profondità aumenta. Dalle osservazioni di terreno si può ipotizzare che lungo le faglie di questo complesso le permeabilità maggiori siano relative alle zone di danneggiamento, mentre le zone di nucleo possono presentare un effetto di compartimentazione per lo sviluppo di rocce di faglia a granulometria fine e con componente argillosa generalmente impermeabile.

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

I litotipi di questo complesso idrogeologico presentano un comportamento reologico generalmente più fragile rispetto a quello dei litotipi della maggior parte degli altri complessi. Ciò determina una maggior persistenza e spesso anche pervasività delle fratture; pertanto il grado di permeabilità, anche in condizioni di normale stato di fratturazione (ovverosia fuori dalle zone di faglia), risulta maggiore che negli altri complessi.

I test idraulici disponibili sull'intera area di progetto indicano per l'ammasso roccioso al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra  $1 \times 10^{-6}$  e  $1 \times 10^{-7}$  m/s come evidenziato dal diagramma di Figura 5.



**Figura 5. Grafico delle conducibilità idrauliche per i metabasalti da prove in foro di sondaggi del progetto preliminare e definitivo.**

Localmente si sono riscontrate anche conducibilità minori (fino a  $1 \times 10^{-9}$  m/s), valori che possono essere correlati a un basso stato di fratturazione o a una scarsa apertura delle fratture legata alla elevata copertura topografica.

Nelle zone di faglia non sono stati eseguiti test idraulici. Per questi elementi tettonici sono comunque state stimate delle conducibilità idrauliche dell'ordine dei  $1 \times 10^{-4}$ / $1 \times 10^{-7}$  m/s. Infatti le osservazioni di terreno hanno messo in luce la presenza di faglie mediamente caratterizzate da

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-04-E-CV-RO-GAIT-00-001-A01	Foglio 23 di 29

un'ampia zona di danneggiamento in cui il grado di fratturazione e quindi la permeabilità sono più elevate. La zona di nucleo generalmente non è caratterizzata dalla presenza di rocce di faglia ma da un piano di frattura principale con permeabilità analoghe a quelle della zona di danneggiamento. Pertanto fenomeni di compartimentazione lungo la faglia, pur non potendo essere esclusi, sono ritenuti poco probabili.

## 6.2 Sorgenti e sistemi di flusso

### 6.2.1 Considerazioni generali

A titolo di premessa generale si precisa che nel presente capitolo verranno trattate le caratteristiche delle sorgenti presenti nella tratta di interesse e avanzate alcune ipotesi sui sistemi di flusso che le alimentano o più in generale sui sistemi di flusso che si suppone esistano nella zona indagata, anche ove questi non siano connessi ad evidenti manifestazioni idriche in superficie. I sistemi di flusso possono infatti scaricare le proprie acque in corsi d'acqua senza che compaiano in superficie delle sorgenti. E' altresì opportuno chiarire che, nella trattazione che segue, per *Sistema di Flusso* si intende l'insieme dei flussi che avvengono all'interno di un medesimo acquifero e che convergono verso una medesima area di recapito. A livello qualitativo si faranno inoltre delle distinzioni tra diversi tipi di sistemi di flusso:

1. Superficiali;
2. Profondi;
3. Misti

Per sistemi superficiali si intenderanno quelli caratterizzati da circolazioni che avvengono nei depositi quaternari, oppure nei primi metri di substrato roccioso detensionato e alterato (indicativamente si tratta sempre di sistemi che non penetrano nel substrato per profondità maggiori di 20-50m).

Con il termine sistemi profondi si indicheranno in modo generico sistemi che: i) circolano prevalentemente nel substrato, ii) si sviluppano a profondità superiori indicativamente ai 50m; iii) presentano percorsi sotterranei di ordine chilometrico o pluri-chilometrico. Naturalmente nell'ambito di questa categoria possono esistere più tipologie di sistemi e si può passare da sistemi che presentano tempi di circolazione dell'ordine dei mesi a quello degli anni, con percorsi che possono raggiungere profondità dell'ordine di 100-200m, oppure profondità dell'ordine del chilometro. Ove i dati disponibili lo permetteranno si tenterà quindi di fornire un'ulteriore caratterizzazione dei diversi sistemi di flusso profondi.

Con il termine sistemi misti verranno indicati sistemi, che originano da un equilibrio idrodinamico tra circolazioni superficiali e circolazioni più profonde. Alcune sorgenti poste in prossimità di fondivalle, o comunque di punti di minimo potenziale idraulico, ricevono alimentazione sia da componenti di flusso profonde, sia da componenti di flusso superficiali. Generalmente queste sorgenti verranno indicate come sorgenti alimentate da sistemi di flusso misti.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GAIT-00-001-A01
	Foglio 24 di 29

### 6.2.2 *Discussione dei dati disponibili*

Nella tratta di interesse, in una fascia di circa 2000 m per ogni lato del tracciato, sono state individuate 7 sorgenti, di cui 3 non captate e 4 captate.

Per alcune delle sorgenti presenti nell'area sono stati misurati i principali parametri fisici quali conducibilità, temperatura, pH e portata. In assenza di dati geochimici e/o di monitoraggio, questi elementi sono gli unici utilizzabili al fine di ricavare delle informazioni sulle caratteristiche idrodinamiche degli acquiferi che ospitano i sistemi di flusso delle varie sorgenti.

Le temperature sono abbastanza omogenee, comprese tra 6 e 10°C. Le conducibilità hanno valori prevalenti compresi nell'intervallo 100-350  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Si può quindi ipotizzare che molte delle sorgenti presenti nella tratta siano legate a sistemi di flusso superficiali che si sviluppano all'interfaccia tra copertura quaternaria e substrato. La copertura quaternaria in questa zona ha una potenza compresa tra 0 e 3 m, deriva sia dall'alterazione che dal detensionamento degli argilloscisti e origina quindi degli acquiferi poco capacitivi e locali.

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

L'area indagata si localizza in prossimità della la base del versante ed è sopraelevata di 4-5 metri circa rispetto all'alveo del R. Traversa.

Le principali espressioni morfologiche del settore sono correlate all'evoluzione dei versanti per gravità e alla dinamica fluviale.

I corsi d'acqua sono in generale fase di arretramento per erosione regressiva dei settori di testata, il che determina una graduale tendenza all'approfondimento anche lungo la parte intermedia dell'asta. Il marcato ringiovanimento del reticolo è evidenziato da fenomeni accentuati di erosione spondale e di fondo, spesso all'origine di fenomeni di instabilità dei versanti immediatamente affacciati sui corsi d'acqua. Il Rio Traversa non fa eccezione in questo senso.

I versanti dell'area di studio sono relativamente acclivi, con le pendenze più elevate soprattutto nel settore di affioramento dei metabasalti del M. Figogna. Dove affiorano gli Argilloscisti di Murta (AGF) o le Argilliti di Mignanego (MIG) predominano versanti con acclività del 30-50%, con suscettibilità al dissesto potenzialmente più elevata rispetto agli altri settori, date le scadenti caratteristiche geomeccaniche e geotecniche degli ammassi rocciosi (soprattutto per quanto riguarda lo strato di alterazione superficiale, che può raggiungere alcuni metri di spessore) e dei terreni di copertura da essi derivati.

L'inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI) reperibile sul sito dell'ISPRA (193.206.192.136/cartanetiffi) e i dati relativi al PAI non segnalano particolari fenomeni di dissesto o di pericolosità idrogeologica.

Dal punto di vista della dinamica fluviale i processi erosivi dovuti alle acque di ruscellamento e alla dinamica dei corsi d'acqua sono piuttosto intensi; si osservano frequenti fenomeni di ruscellamento

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-04-E-CV-RO-GAIT-00-001-A01	Foglio 25 di 29

diffuso, erosione concentrata di fondo lungo gli impluvi e dilavamento dei versanti con asportazione parziale della coltre di suolo superficiale.

L'erosione di fondo è attiva lungo tutto l'alveo del Rio Traversa, dove si osservano tratti incisi nel substrato prequaternario, alternati a tratti con deposizione del carico solido trasportato dalle piene; il detrito accumulato in alveo proviene dall'erosione attiva lungo i versanti, ad opera delle acque di ruscellamento superficiale; l'alveo è localmente ingombro di vegetazione divelta ed accumulata dalla corrente.

## 8 PROBLEMATICHE GEOLOGICHE IN RELAZIONE ALLO SCAVO IN GALLERIA

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

Nel tratto interessato dall'opera in progetto è previsto l'attraversamento dell'unità dei Metabasalti del Monte Figogna (B') ricoperti da una coltre di depositi detritico colluviali di spessore variabile da pochi decimetri a 2-3 metri circa.

I Metabasalti del M. Figogna (B'), in prossimità dell'imbocco della Finestra Castagnola, affiorano in una scaglia di probabile origine tettonica costituita da metabasalti a tessitura massiccia, con relitti di tessiture a pillow. I metabasalti sono interessati da un fitto reticolato di vene idrotermali, a prevalenti albite, calcite e subordinatamente quarzo. Lo stesso litotipo, con caratteristiche tessiturali e di fratturazione analoghe è stato attraversato dai sondaggi SI46 e L3-S49. I metabasalti formano un litone pluri-tettonico allungato in direzione WNW-ESE, come suggerito dalla foliazione degli argilloscisti incassanti e dall'andamento delle strutture regionali. Nel complesso la parte superficiale degli affioramenti si presenta fratturata e detensionata.

Localmente, al di sopra dei metabasalti si trovano dei depositi detritico-colluviali, con spessore variabile da 2 a 4 m ca. Questi depositi, riferibili all'Olocene e sviluppati in sito a spese del substrato, sono costituiti da limi argillosi localmente sabbiosi, inglobanti elementi litoidi centimetrico-decimetrici, costituiti da frammenti di argilloscisti, quarzo, rocce carbonatiche.

#### 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.

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 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. Dove presente, la roccia di faglia è costituita da un gouge argilloso ad elementi di argilloscisti e basalti (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), sono inoltre presenti indizi dello sviluppo di piani a basso angolo.

### 8.1.2 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. In particolare, la parte più superficiale dell'ammasso roccioso presenta un grado di fratturazione alto, legato a detensionamento superficiale, mentre in profondità lo stato di fratturazione si attenua (medio-alto).

## 8.2 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.

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 solo indipendenti fra loro.

Le sorgenti per le quali è stata eseguita la valutazione della pericolosità di isterilimento per questo settore sono 7 (figura 15): SFR03, SFR04, SFR73, SFR76, SFR77, SFR78, SFR79. La totalità di queste sorgenti mostra una pericolosità trascurabile, essendo sorgenti la cui portata è principalmente garantita da circuiti superficiali che non dovrebbero interferire con l'opera in sotterraneo.

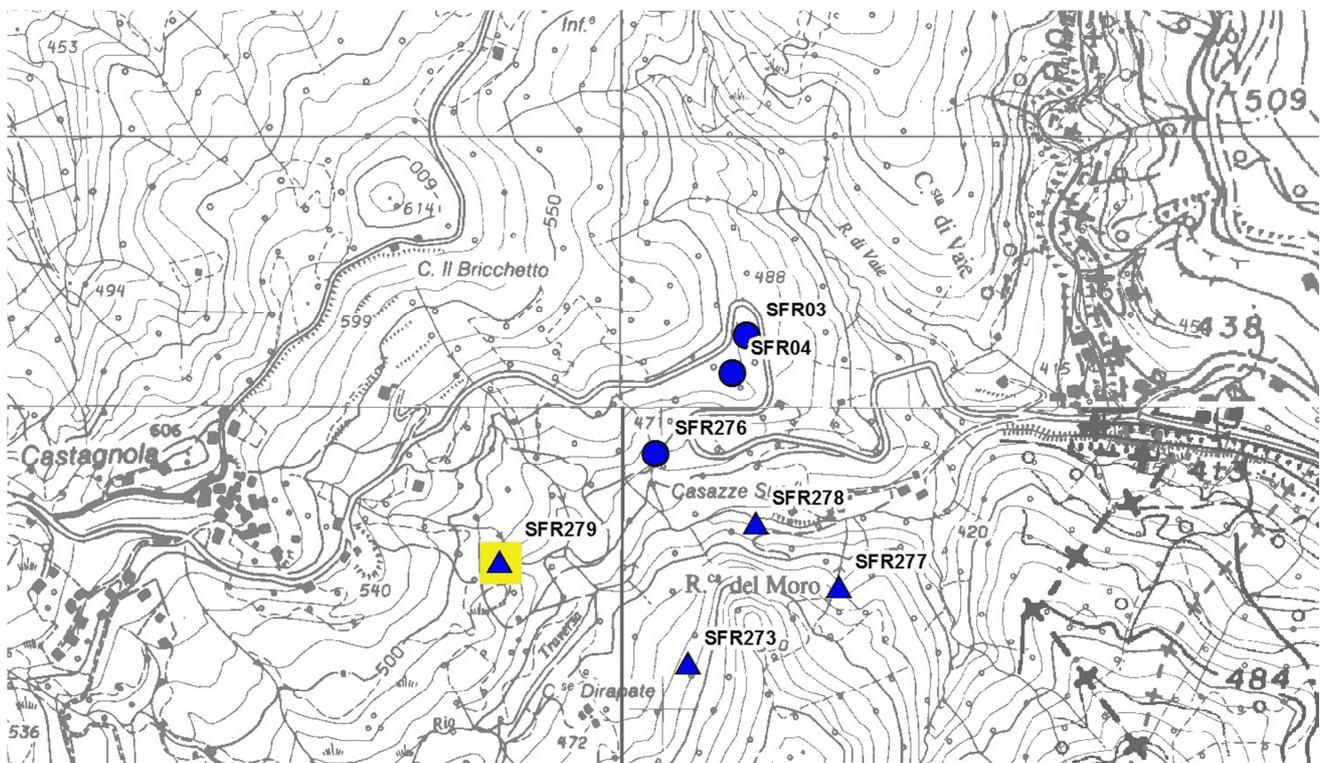


Figura 15. Sorgenti captate (triangoli) e non captate (cerchi) nell'intorno dell'opera in progetto; il contorno giallo indica i punti d'acqua monitorati.

## 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-GAIT-00-001-A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 28 di 29</p>

- 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-Treccate field to South Alpine and Northern Apennines exploration. *EAGE Conf. Florence, Extended Abstracts Book*: 4 pp.
- Federico, L., Capponi, G., Crispini, L., & Scambelluri, M. (2004) - Exhumation of alpine high-pressure rocks: insights from petrology of eclogite clasts in the Tertiary Piedmontese basin (Ligurian Alps, Italy). *Lithos*, 74 , 21-40.
- 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-GAIT-00-001-A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 29 di 29</p>

- Mosca P., Polino R., Rogledi S. & Rossi M. (2009) - New data for the kinematic interpretation of the Alps-Appennines junction (Northwestern Italy). *Int. J. Earth Sc.*, 99, 833-849.
- Mutti E., Papani L., Di Biase D., Davoli G., Mora S., Segadelli S. & Tinterri R. (1995) - Il Bacino Terziario Epimesoalpino e le sue implicazioni sui rapporti tra Alpi ed Appennino. *Mem. Sci. Geol.*, 47: 217-244.
- Piana, F., Falletti, P., Fioraso, G., Irace, A., Mosca, P., et alii (in prep.) – Carta geologica del Piemonte in scala 1:250.000. Consiglio Nazionale delle Ricerche, IGG Torino; Università degli Studi di Torino, DST; Politecnico di Torino, DIATI.
- Piana F. & Polino R. (1995) - Tertiary structural relationships between Alps and Apennines: the critical Torino Hill and Monferrato area, Northwestern Italy. *Terra Nova*, 7: 138-143.
- Pieri M. & Groppi G. (1981) - Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy, *Quad. CNR, Prog. Fin. Geodinamica*, Roma: 1-13.
- Polino, R., Clari, P., Crispini, L., D'Atri, A., Dela Pierre, F., Novaretti, A., Piana, F., Ruffini, R. & Timpanelli, M. (1995) - Rapporti Alpi-Appennino e guide alle escursioni. *Atti del Convegno: "Rapporti tra Alpi e Appennino"*, Accademia Nazionale delle Scienze, 14, 531-593.
- Roure F., Polino R. & Nicolich R.P. (1990) - Early Neogene deformation beneath the Po plain: constraints on the post-collisional Alpine evolution. *Mém. Soc. Géol. France N. S.*, 156: 309-322.
- 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.