

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**

**PIAZZOLA FINESTRA CRAVASCO – TRATTO 0**

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA**

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	I N 1 A 0 0	0 0 1	A

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima Emissione	GDP 	25/07/2014	Rocksoil 	28/07/2014	A. Palomba 	30/07/2014	
A01	Revisione generale	GDP 	24/04/2015	Rocksoil 	27/04/2015	A. Palomba 	30/04/2015	
A02	Aggiornamento cartiglio	GDP 	12/12/2016	Rocksoil 	12/12/2016	A. Mancarella 	12/12/2016	

n. Elab.:	File: IG51-04-E-CV-RO-IN1A-00-001-A02
-----------	---------------------------------------



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-04-E-CV-RO-IN1A-00-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 20</p>

## INDICE

INDICE.....		3
1	PREMESSA.....	4
2	NORMATIVA E STRUMENTI TERRITORIALI DI RIFERIMENTO .....	4
3	ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO.....	4
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE.....	5
4.1	Unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde .....	8
4.1.1	Dolomie del Monte Gazzo.....	8
4.2	Depositi pliocenico-quadernari.....	9
4.2.1	Depositi detritico-colluviali.....	9
4.2.2	Accumuli di frana .....	9
4.2.3	Depositi alluvionali .....	9
4.3	Descrizione dell'assetto geologico-strutturale regionale.....	10
4.3.1	Gli eventi deformativi D1 e D2 .....	10
4.3.2	L'evento deformativo D3 .....	11
4.3.3	L'evento deformativo D4 .....	11
5	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	13
6	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....	13
6.1	Considerazioni generali.....	13
6.2	Complessi idrogeologici.....	16
6.2.1	Complesso 19 (dG).....	16
7	ASPETTI CORRELATI ALLA GEOMORFOLOGIA E ALLA GEOLOGIA DEL QUATERNARIO .....	17
8	PROBLEMATICHE CONNESSE ALLA REALIZZAZIONE DELL'OPERA .....	18
9	BIBLIOGRAFIA.....	20

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-IN1A-00-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 4 di 20</span>

## 1 PREMESSA

Il presente rapporto riguarda la realizzazione dell'opera identificata dal codice WBS IN1A, e riferita alla Piazzola Finestra Cravasco, che verrà realizzata nel piazzale di in una ex area di cava, lungo il versante idrografico sinistro del t. Verde, a monte dell'abitato di Isoverde.

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 e geomorfologica;
- carta idrogeologica e dei punti d'acqua.

## 2 NORMATIVA E STRUMENTI TERRITORIALI DI RIFERIMENTO

Il presente rapporto fa riferimento alla seguente normativa:

- 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

Le attività inerenti lo studio geologico-geomorfologico e idrogeologico del sito di intervento hanno previsto:

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-IN1A-00-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 5 di 20</p>

- 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'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. 80/60, relative alle opere in oggetto.

Al momento della redazione del presente rapporto non erano disponibili nuovi sondaggi realizzati per il Progetto Esecutivo, ed erano pertanto disponibili solo i sondaggi relativi al Progetto Definitivo e al Progetto Preliminare.

Il gruppo di lavoro è così costituito:

- Dott. Geol. Luca Delle Piane (responsabile di progetto): coordinamento generale; controllo elaborati
- Dott. Geol. Paolo Perello: supervisione delle attività di rilevamento e di interpretazione dati, rilevamento geologico strutturale, stesura del rapporto, controllo elaborati;
- Dott. Geol. Antonio Damiano: rilevamento geologico e geomorfologico, interpretazione dei dati, stesura degli elaborati grafici;
- Dott. Geol. Dario Varrone: assistenza alla redazione elaborati, elaborazioni in ambiente GIS;
- Dott.sa Geol. Alessia Musso: assistenza alla redazione elaborati, elaborazioni in ambiente GIS e CAD;

#### **4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE**

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

Nell'area del Foglio Genova è possibile distinguere, da ovest verso est, tre settori caratterizzati dall'associazione di unità di crosta oceanica e di mantello, unità di margine continentale e unità costituite da flysch (Figura 1):

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-04-E-CV-RO-IN1A-00-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 6 di 20</p>

1. 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.

2. la **Zona Sestri-Voltaggio** *auct.* (nel seguito ZSV): è costituita da tre unità tettonometamorfiche, di cui due ofiolitiche (Cravasco-Voltaggio e Figogna) e una di margine continentale (Gazzo-Isoverde).

Il livello del metamorfismo è progressivamente decrescente passando dalle unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde (facies scisti blu) all'Unità Figogna (facies pumpellyite-actinolite).

3. Il **dominio dei Flysch Appenninici**: è rappresentato dalle quattro unità tettoniche Mignanego, Montanesi, Ronco e Antola, sovrapposte con vergenza europea.

Procedendo verso est, il grado metamorfico decresce da basso a bassissimo nelle prime tre à fino ad arrivare a condizioni di diagenesi per l'Unità Antola.

## SCHEMA TETTONICO



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

Figura 1 - Schema tettonico dell'area interessata dal progetto (tratto dal foglio CARG "Genova"). In nero è indicata l'area d'interesse.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-IN1A-00-001-A02 <div style="float: right;">Foglio 8 di 20</div>

La ZSV è in contatto a W 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 discordanti: faglia trasforme (Elter & Pertusati, 1973), sovrascorrimento (Cortesogno & Haccard, 1984) o faglia estensionale (Hoogerduijn Strating, 1994).

Questa zona di deformazione regionale è attualmente ritenuta un canale di concentrazione preferenziale della deformazione 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).

Ad E, la Zona Sestri-Voltaggio è in contatto con le unità tettoniche di basso grado che compongono il dominio dei Flysch Appenninici.

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 collocano il sito di intervento e le zone limitrofe, è ubicato nell'areale di affioramento della (ZSV). L'opera in progetto ricade interamente all'interno delle Dolomie del Monte Gazzo riferite all'unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde che verranno quindi di seguito descritte.

Le sigle e le età geologiche riportate a fianco dei nomi delle formazioni descritte fanno riferimento alla legenda CARG (Foglio Genova).

#### 4.1 Unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde

L'Unità Gazzo-Isoverde è costituita da un nucleo di dolomie di età norica, le Dolomie del M.Gazzo, con al tetto lembi preservati di unità bacinali a sedimentazione mista silicoclastico/carbonatica: Serie di Gallaneto-Lencisa e meta-argilliti di Bessega.

##### 4.1.1 Dolomie del Monte Gazzo

*MDG, Carnico sup.–Norico (dG nella cartografia di PE)*

Le Dolomie del M. Gazzo sono costituite da dolomie e calcari dolomitici, di colore da grigio chiaro a nerastro, ricristallizzati, spesso saccaroidi. Stratificazione massiva con spessore degli strati variabile in media tra 0.5 e 2 m, ma con banchi potenti fino a 10 m circa. Sono frequenti le intercalazioni di metapeliti e di calcari marnosi giallastri. La stratificazione non è sempre facilmente riconoscibile anche a causa della deformazione tettonica. Verso l'alto stratigrafico sono presenti filoni sedimentari e brecce intraformazionali ad intraclasti dolomitici scuri fino a nerastri. Raramente sono conservate strutture sedimentarie (tappeti algali, oospariti, intramicrospariti e fossili). La porzione superiore della successione è costituita da dolomicriti nerastre.

I sistemi di fratture presenti sono sede di frequenti fenomeni carsici, associati a condotti di dimensioni metriche, impostati lungo le discontinuità e particolarmente sviluppati nel settore centro-meridionale dell'unità. Il sistema carsico della Dolomia del Gazzo costituiva un acquifero



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-IN1A-00-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 9 di 20</span>

significativo, che presumibilmente è stato modificato dalla perforazione del tunnel ferroviario di Borzoli, diretto al porto di Voltri. Tuttavia sul versante della Val Chiaravagna vi sono sorgenti ancora attive. Sono inoltre presenti diverse cavità carsiche oggetto di esplorazione, segnalate nel database “Gestionale Speleologico Ligure” (<http://www.catastogrotte.net>).

## 4.2 Depositi pliocenico-quadernari

Nell’area di studio i meccanismi evolutivi predominanti sono guidati dalla gravità e dalle acque superficiali.

### 4.2.1 Depositi detritico-colluviali

La coltre detritica ha, nell’area considerata, caratteri litologici fortemente condizionati dalla litologia del substrato. Le Dolomie del M. Gazzo (dG) si presentano da poco a moderatamente fratturate dando luogo a modesti accumuli di detrito di versante, infatti trattandosi di un litotipo a dominante calcarea, su di esso prevalgono i fenomeni di dissoluzione.

Il detrito di versante è costituito da elementi rudistici da medi a grossolani cementati, con matrice fine da scarsa ad assente; sulla base delle osservazioni effettuate in sito lo spessore medio di questi depositi può essere cautelativamente valutato in circa 1-3 m.

### 4.2.2 Accumuli di frana

Nell’area rilevata per lo studio della WBS in oggetto non sono stati osservati fenomeni franosi, né ve ne sono segnalate/riportate nella cartografia ufficiale consultata (IFFI); tuttavia, poichè questi dissesti perdono rapidamente l’evidenza morfologica soprattutto a causa del progressivo rimodellamento delle nicchie di distacco e dei corpi di accumulo, non si può escluderne la locale presenza.

Inoltre, dato l’elevato stato di fratturazione superficiale dell’ammasso roccioso, non si esclude che in prossimità dell’ex fronte di cava, e dei tratti di versante maggiormente acclivi si possano verificare localizzati fenomeni di crollo.

### 4.2.3 Depositi alluvionali

I depositi alluvionali nel settore relativo alla WBS in progetto sono riferibili ai bacini tributari e sono costituiti da una percentuale variabile di silt, silt sabbiosi e sabbie siltose debolmente addensati e scarsamente alterati, localmente possono contenere livellighiaioso-sabbiosi.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IN1A-00-001-A02
	Foglio 10 di 20

### 4.3 Descrizione dell'assetto geologico-strutturale regionale

Le diverse unità tettonometamorfiche presenti nell'area sono caratterizzate da un'evoluzione polifasica definita da almeno quattro eventi deformativi principali, le cui tracce sono sia osservabili direttamente in affioramento (pieghe e associazioni strutturali correlate), sia deducibili indirettamente in base a considerazioni cartografico-strutturali (eventi deformativi D3 e D4 nelle unità torbiditiche; Capponi & Crispini, 1997).

Le associazioni strutturali legate ai diversi eventi deformativi sono chiaramente riferibili a traiettorie seguite dai volumi rocciosi attraverso livelli crostali progressivamente più superficiali.

#### 4.3.1 Gli eventi deformativi D1 e D2

I primi due eventi (D1 e D2) hanno caratteri geometrici simili e sono rappresentati prevalentemente da sistemi di pieghe isoclinali-traspositive espresse a tutte le scale. Il piegamento D1/D2 è responsabile della parallelizzazione delle superfici preesistenti alle nuove foliazioni di piano assiale, con la conseguente formazione di una superficie composita, pervasiva a scala regionale, nel seguito definita Scistosità Principale (SP). Questa foliazione è generalmente quella più penetrativa alla scala dell'affioramento.

La SP origina quindi da pieghe di fase D1/D2 secondo assi orientati in varie direzioni, ma in media con direzione prevalente tra NW-SE a E-W, con immersione sia verso i quadranti orientali che verso quelli occidentali. I piani assiali immergono in varie direzioni, sebbene l'immersione più frequente sia quella a medio-alto angolo 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 con sicurezza solo quando sono sovrapposte geometricamente, generalmente secondo figure di interferenza di tipo 3 (Ramsay, 1967); nelle unità tettonometamorfiche, a causa dell'elevata componente di deformazione non coassiale che ha caratterizzato i primi due eventi deformativi, queste strutture possono assumere morfologie variabili tra le pieghe cilindriche e le pieghe a guaina (Capponi & Crispini, 2002).

Nelle unità Palmaro-Caffarella, Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde, le strutture D1/D2 sono coeve con la facies metamorfica scisti blu. Nell'unità Figogna, le paragenesi sin-D1/D2 sono quelle tipiche della facies a pumpellyite-actinolite (Crispini & Capponi, 2001).

L'eterogeneità della propagazione e della distribuzione della deformazione sin-D2, tra l'unità Voltri e le unità della Zona Sestri-Voltaggio, potrebbe rappresentare un effetto dell'attività della Linea Sestri-Voltaggio già a partire dagli stadi finali dell'evento D2 sin-scisti verdi (Crispini & Capponi, 2001). In particolare, l'anisotropia reologica rappresentata dal contatto tra le rocce dell'unità Voltri e i litotipi carbonatici dell'unità Gazzo-Isoverde avrebbe rappresentato un importante fattore di controllo per la localizzazione della Linea Sestri-Voltaggio (Capponi & Crispini, 2002).

Il ruolo della Linea Sestri-Voltaggio e, più in generale, l'architettura della zona di contatto tra le Alpi occidentali e l'Appennino settentrionale in Liguria centrale, vanno infatti inquadrati nell'evoluzione geodinamica tardo-eocenica/miocenica del cosiddetto "Nodo Ligure" (Laubscher et al., 1992), caratterizzata dalla convergenza obliqua tra la placca Adria e quella europea, a causa del

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-IN1A-00-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 11 di 20</span>

movimento verso NW della placca Adria, che avrebbe indotto la contemporanea rotazione antioraria della microplacca corso-sarda.

Gli effetti dei conseguenti retroscorrimenti delle Alpi liguri sulle unità appenniniche e dell'indentazione complessa della crosta europea e adriatica si sarebbero prevalentemente manifestati con eventi deformativi caratterizzati dalla coesistenza di strutture fragili-duttile e fragili legate a identiche condizioni termobariche.

Nelle unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde le deformazioni D1/D2 per piega sono seguite da una fase di sovrascorrimento (Sth2) che si è sviluppata al limite tra le facies metamorfiche scisti verdi e pumpellyite-actinolite. La vergenza principale di questa fase di sovrascorrimento sembra essere verso S e SW, anche se esse sono deformate dalla successiva fase di piegamento D3 che ne causa frequenti variazioni di immersione.

#### 4.3.2 *L'evento deformativo D3*

In accordo con quanto sopra detto, il successivo evento deformativo D3, coevo con facies metamorfiche comprese tra scisti verdi e scisti verdi inferiore, risulta caratterizzato dalla coesistenza di sistemi di pieghe e zone di taglio le cui caratteristiche testimoniano un'evoluzione progressiva della deformazione verso livelli strutturali più superficiali (Capponi & Crispini, 2002).

Le pieghe D3 sono strutture da decimetriche a decametriche con profili aperti, assi debolmente inclinati sia verso NE che verso SW e piani assiali sub-orizzontali o a basso angolo di immersione verso SE, frequentemente riattivati come zone di taglio fragili-duttile a basso angolo. Questo evento plicativo, scarsamente scistogeno, piega ad alto angolo la foliazione composita regionale e i fianchi delle strutture D1/D2 ed è espresso in modo omogeneo nel settore oggetto di studio.

Al piegamento sin-D3 sono associati sistemi di zone di taglio inverse da duttili a fragili-duttile, poco inclinate, con caratteri tipici di processi deformativi assistiti da intense attività di fluidi carbonatici, come nei sistemi idrotermali a controllo tettonico. L'azione metasomatica è stata tale da idratare e carbonatare le rocce incassanti, trasformandole; ad esempio, le serpentiniti sono state trasformate in scisti a clorite, tremolite e actinolite, oppure in serpentiniti carbonatate.

Queste zone di taglio rappresentano probabilmente strutture sviluppatesi progressivamente in un ampio intervallo di tempo, in quanto esse possono sia tagliare le pieghe D3, sia essere piegate da queste, secondo assi sub-orizzontali NE-SW. Le analisi cinematiche condotte dagli autori citati suggeriscono per l'evento D3 una direzione regionale di raccorciamento finito diretta NW-SE.

#### 4.3.3 *L'evento deformativo D4*

L'evento deformativo D4 è espresso in modo omogeneo da un'associazione strutturale costituita da pieghe, sovrascorrimenti e sistemi di faglie.

Le pieghe D4 hanno profili aperti, lunghezza d'onda plurichilometrica e assi sub-orizzontali diretti tra N-S e NW-SE. I piani assiali sono caratterizzati da direzioni N-S e NW-SE, inclinazione a basso

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-IN1A-00-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 12 di 20</span>

angolo verso W e sono talora associati a minerali della facies a zeolite. Si tratta di strutture fortemente asimmetriche, con una marcata vergenza verso E-NE.

In diversi settori dell'unità Voltri 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 quindi possibile delimitare l'evento D4 alle fasi iniziali del Miocene inferiore.

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

A questo evento deformativo vengono inoltre riferiti sistemi di faglie particolarmente ben espressi nel settore orientale dell'Unità Voltri in prossimità del contatto con la Zona Sestri-Voltaggio. Sulla base dell'orientazione e dei caratteri cinematici delle strutture più frequenti e persistenti è possibile definire due diversi domini strutturali (Capponi et al., 2009), uno a Nord e l'altro a Sud del settore di contatto; 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.

Le faglie di tutti e due i domini sono subverticali, associate a livelli di rocce di faglia di potenza da decimetrica a metrica e caratterizzate da strie da sub-orizzontali a moderatamente inclinate, con sensi di movimento prevalentemente destri, molte volte di tipo inverso. Nelle zone di faglia N-S e NW-SE sono inoltre comuni strutture a fiore positivo. 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.

Le faglie del sistema NE-SW, sempre subverticali, sono solitamente più corte delle precedenti e possono tagliare i sistemi di faglie longitudinali N-S e quelli NW-SE. Queste strutture sono localmente molto frequenti, definendo zone di concentrazione della deformazione, oppure possono assolvere al ruolo di svincoli meccanici (*tear faults*) dei sistemi di sovrascorrimenti D4 sopra descritti.

Altri sistemi di faglie minori sono costituiti da faglie normali dirette NNE-SSW e WSW-ENE e da sistemi tardivi diretti E-W, anche di lunghezza chilometrica, i quali possono tagliare tutte le strutture descritte.

In tutti i diversi sistemi di faglie sono comuni fenomeni di riattivazione tardiva con movimenti di tipo normale.

Le associazioni strutturali D4 sono geometricamente e cinematicamente congruenti con un raccorciamento regionale NE-SW, responsabile 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 dalla 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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IN1A-00-001-A02
	Foglio 13 di 20

minore, necessario ad accomodare la trascorrenza regionale sinistra del bordo meridionale della placca Adria (Capponi et al. 2009).

## 5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

L'unico sondaggio significativo realizzato per l'opera in progetto è quello con sigla SF12, realizzato in fase di Progetto Definitivo, che conferma la presenza dell'unità delle Dolomie del M. Gazzo (dG).

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

## 6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

### 6.1 Considerazioni generali

La zona interessata dallo sviluppo della linea MI-GE è stata suddivisa su base litologica in diversi *complessi idrogeologici* (cfr. § 6.2) a permeabilità differente. I sistemi di flusso idrico sotterraneo possono svilupparsi all'interno di un solo complesso idrogeologico, quando questo è limitato lateralmente da complessi meno permeabili, oppure possono attraversare più complessi permeabili adiacenti.

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

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

- alla scala dei tunnel e ancor di più alla scala del massiccio, le permeabilità delle singole fratture, o dei singoli sistemi di fratture, non sono particolarmente significative, poiché la circolazione sotterranea avviene sempre lungo percorsi misti, che sfruttano più sistemi di fratture variamente interconnessi.
- Per definire il grado di permeabilità dei singoli sistemi di fratture sarebbero necessari studi di estremo dettaglio sullo stato di fratturazione, che varia da zona a zona, studi evidentemente non realizzabili nell'ambito di opere lineari di lunghezza di diverse decine di chilometri.

- Le prove idrauliche in foro, strumento principale attraverso cui viene definito il grado di permeabilità, restituiscono valori medi calcolati in una camera di prova che comprende generalmente più fratture.

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

Nel presente capitolo ai fini descrittivi si farà riferimento alle classi di permeabilità indicate nella successiva Tabella 1.

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 1 – 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).**

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-IN1A-00-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 15 di 20</span>

aperte o faglie discrete, ma a scala decametrico-ettometrica la permeabilità media risulta per lo più bassa, poiché le fratture hanno un grado d'interconnessione reciproca non molto elevato.

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

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

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

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

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

Per quanto riguarda più strettamente l'opera in progetto, questa è interamente realizzata all'interno del substrato prequaternario, che rappresenta un acquifero dalla produttività e dalla connettività idraulica limitate.

<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-IN1A-00-001-A02</p> <p>Foglio 16 di 20</p>

L'acquifero residente nei depositi quaternari superficiali è confinato, alla base, all'orizzonte superiore del substrato prequaternario più alterato e detensionato, che ha una permeabilità più elevata del substrato indisturbato.

## 6.2 Complessi idrogeologici

La zona interessata dal progetto della linea del III Valico è stata suddivisa, su base litologica, in diversi *complessi idrogeologici* a permeabilità differente.

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.

I complessi interessati dall'opera in progetto sono descritti di seguito.

### 6.2.1 Complesso 19 (dG)

Le Dolomie del Monte Gazzo costituiscono uno dei complessi idrogeologici più rilevanti dell'area di interesse, poiché al loro interno si presume siano presenti delle circolazioni sotterranee molto attive. L'importanza idrogeologica di questo corpo litologico è dovuta soprattutto alla presenza di importanti cavità carsiche, tra le quali anche alcune grotte, peraltro censite anche nel catasto grotte della regione Liguria.

In ogni caso è bene premettere che, anche se si tralasciano i fenomeni carsici, il corpo di dolomie, per il suo comportamento reologico di tipo fragile, è caratterizzato da una densità di fratturazione media più elevata che nelle adiacenti formazioni, le quali includono sempre discrete quantità di orizzonti fillosilicatici che sono stati in grado in parte di assorbire la deformazione.

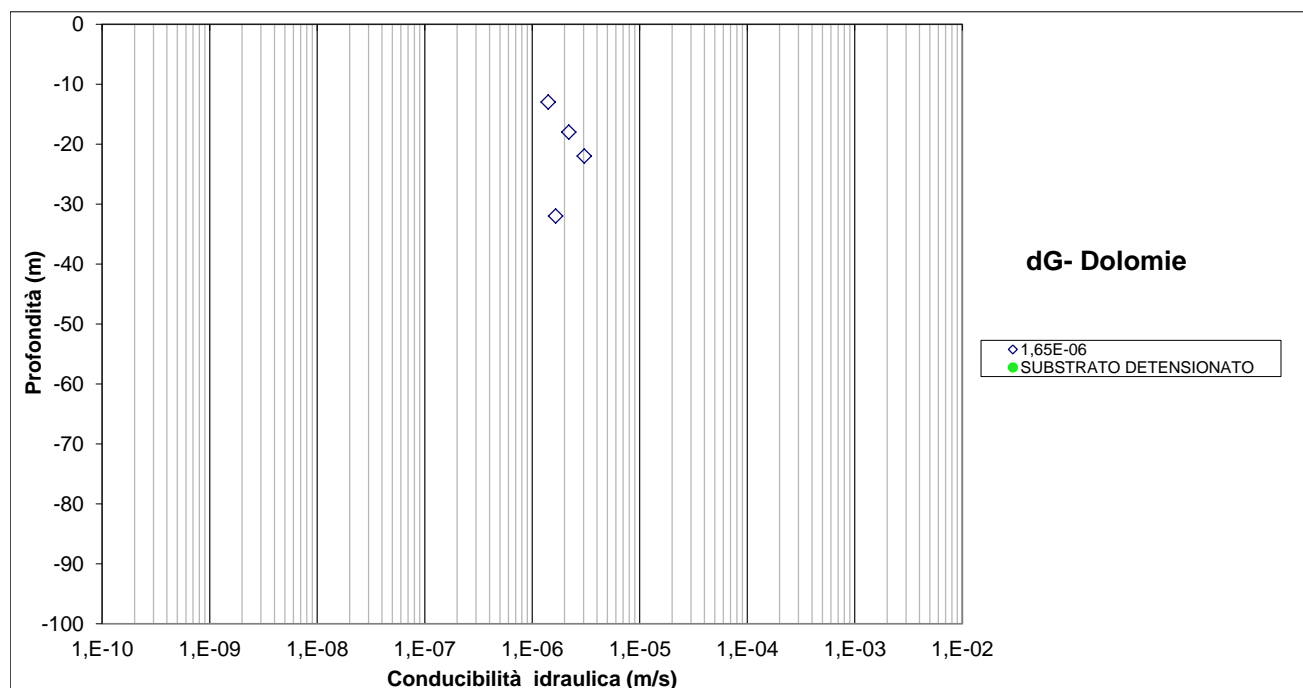
Su questo corpo dolomitico sono state eseguite poche prove idrauliche nel sondaggio SR15 del Progetto Definitivo; tali prove non sono state eseguite in una porzione dell'ammasso interessata da fenomeni carsici e presumibilmente riflettono delle condizioni che sono legate alla sola presenza del reticolo di fratture.

Come si può osservare dal diagramma di Figura 2 i test idraulici indicano conducibilità dell'ordine degli  $1 \times 10^{-6}$  m/s, che sono piuttosto elevate rispetto a quelle degli altri complessi idrogeologici dell'area.

Per le zone di faglia non esistono ad oggi test idraulici, ma le osservazioni di superficie testimoniano che nell'intorno delle zone di deformazione fragile le dolomie sono molto fratturate e, verosimilmente, molto permeabili. Sono state pertanto ipotizzate conducibilità dell'ordine di  $1E-04/1E-07$  m/s. Non sono previsti effetti compartimentanti di rilievo.

È in ogni caso evidente che gli elementi idraulici di maggior rilievo, in questo complesso, sono costituiti dai condotti carsici, che possono avere uno sviluppo considerevole e piuttosto casuale. Le aperture dei condotti possono variare da pochi centimetri a decine di metri; l'alimentazione può avvenire anche da una rete secondaria microcarsica, che si sviluppa principalmente lungo il reticolo di fratture con pareti parzialmente beanti o corrose.





**Figura 2. Grafico delle conducibilità idrauliche per le dolomie del Monte Gazzo, derivato dalle prove idrauliche eseguite nel sondaggio SR 15 nell'ambito della progettazione definitiva.**

Per le zone di faglia non esistono ad oggi test idraulici, ma le osservazioni di superficie testimoniano che nell'intorno delle zone di deformazione fragile le dolomie risultano essere molto fratturate e verosimilmente permeabili. Sono state pertanto ipotizzate conducibilità dell'ordine dei  $1 \times 10^{-4} / 1 \times 10^{-7}$  m/s. Non sono previsti effetti compartimentanti di rilievo lungo le faglie.

Resta in ogni caso evidente che, gli elementi idraulici di maggior rilievo in questo complesso sono costituiti dai condotti carsici, che possono avere uno sviluppo considerevole e piuttosto casuale. Le aperture dei condotti possono variare da pochi centimetri ai metri e possono inoltre essere alimentati anche da una rete secondaria microcarsica che si sviluppa principalmente lungo il reticolo di fratture con pareti parzialmente beanti o corrose.

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

L'area della piazzola della Finestra Cravasco è rappresentata da una cava abbandonata. L'elemento geomorfologico principale è costituito dal fronte di cava caratterizzato dalla presenza di affioramenti rocciosi fratturati e da depositi detritici di spessore variabile, legati in parte all'attività estrattiva e in parte a locali distacchi di materiale dagli affioramenti.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IN1A-00-001-A02
	Foglio 18 di 20

Un'indagine più estesa all'intero versante su cui andrà ad insistere l'opera ha messo in evidenza la presenza di locali accumuli di detrito, generalmente di ridotte dimensioni e spesso parzialmente vegetati, legati presumibilmente a fenomeni di crollo dagli affioramenti rocciosi.

In conclusione si può affermare che l'instabilità presente lungo il fronte di cava, legata a locali fenomeni di crollo di materiale roccioso e di detrito, è da mettere in relazione all'attività estrattiva e non risulta connessa a fenomeni di instabilità coinvolgenti tutto il versante.

L'inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI) reperibile sul sito dell'ISPRA (193.206.192.136/cartanetiffi) non segnalano la presenza di fenomeni franosi nell'area interessata dall'opera in progetto.

Nell'area indagata è presente un reticolo idrografico a prevalente direzione nord-sud, costituito da corsi d'acqua maggiormente incisi nella parte bassa del versante, in corrispondenza del fronte di cava.

Dal punto di vista della dinamica fluviale i processi erosivi dovuti alle acque di ruscellamento e alla dinamica dei corsi d'acqua sono piuttosto modesti; si osservano locali fenomeni di ruscellamento diffuso e dilavamento dei versanti con asportazione parziale della coltre di suolo superficiale.

## 8 PROBLEMATICHE CONNESSE ALLA REALIZZAZIONE DELL'OPERA

L'opera in progetto andrà ad insistere in parte su un livello costituito da i) materiale di riporto con spessore variabile metrico plurimetrico a seconda dei settori; ii) Dolomie del M. Gazzo.

Trattandosi di un settore di ex-cava, è quasi sempre presente un intervallo superficiale di spessore variabile di materiale di riporto frammisto a depositi detritico colluviali e a modesti depositi riferibili a frane di crollo originatesi dal fronte di cava dal momento della sua dismissione.

La tratta si sviluppa interamente all'interno delle Dolomie del Monte Gazzo (dG), costituite da calcari dolomitici e dolomie metamorfici grigi ben stratificati, da microcristallini a saccaroidi, di colore grigio chiaro, con livelli di brecce intraformazionali a clasti di calcari dolomitici.

Dal punto di vista geologico le principali criticità riscontrate sono da mettersi in relazione all'instabilità del fronte di cava. Il fenomeno è da mettere in relazione all'attività estrattiva e non risulta connessa a fenomeni di instabilità che coinvolgono tutto il versante. 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 in corrispondenza dell'opera in progetto.

È inoltre opportuno tenere in considerazione la scarsa qualità geotecnica del materiale di riporto presente nell'area. Soprattutto nei settori in cui questi depositi presentano spessore maggiore ed in cui il versante è maggiormente acclive sarà necessario valutarne la stabilità durante tutte le fasi di cantierizzazione.

Dal punto di vista idrogeologico non sono state riscontrate problematiche particolarmente significative in relazione alla realizzazione dell'opera e ciò tanto per la fase di cantierizzazione e

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-04-E-CV-RO-IN1A-00-001-A02</p>	<p>Foglio 19 di 20</p>

costruzione quanto per la fase di esercizio. Dato il tipo di intervento previsto in quest'area, è comunque possibile escludere ogni forma di interferenza tra l'opera e le sorgenti esistenti, tanto in fase di cantierizzazione quanto in fase di esercizio.

Tuttavia è comunque importante tenere presente il contesto idrogeologico generale in cui sarà realizzata l'opera. Ciò rende la falda particolarmente vulnerabile alla propagazione di inquinanti che si dovessero infiltrare dalla superficie, ad esempio per versamento accidentale di liquidi (carburanti, lubrificanti, ecc.) nell'area di cantiere. Sarà quindi necessario prevedere misure di prevenzione quali ad es. lo stoccaggio di oli e carburanti in aree precedentemente impermeabilizzate, la predisposizione di sistemi di raccolta e decantazione dei reflui superficiali e misure di bonifica di urgenza nel caso che si verifichi un inquinamento imprevisto.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IN1A-00-001-A02
	Foglio 20 di 20

## 9 BIBLIOGRAFIA

- 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., 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*.
- 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.
- Elter, P. & Pertusati, P. (1973) - *Considerazioni sul limite Alpi-Appennino e sulle sue relazioni con l'arco delle Alpi occidentali*. Mem. Soc. Geol. It., 12, 359-375.
- 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.
- 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 Palaeogene of the Alps-Appennine system*. Tectonophysics, 238, 255-273.
- Laubscher, H., Biella, G.C., Cassinis, R., Gelati, R., Lozej, A., Scarascia, S. & Tabacco, I. (1992) - *The collisional Knot in Liguria*. Geologische Rundschau, 81, 275-289.
- Marini, M. (1998) - *Carta geologica della Val Polcevera e zone limitrofe (Appennino Settentrionale) alla scala 1:25.000. Note illustrative*. Atti Ticinensi di Scienze della Terra, 40, 33-64.
- Pagos, A. (2007) - *Notizie sulle cave di gesso di Isoverde*.
- Ramsay, J.G. (1967) - *Folding and fracturing of rocks*. Mc Graw-Hill New York, 568 pp.
- Sanfilippo, N. (1950) - *Le grotte della Provincia di Genova e la loro fauna*. Memoria n. 2 del Comitato Scientifico Centrale del C.A.I.
- Vezzolla, G. (2006) - *Parrocchia di Isoverde. Esecuzione di indagini geognostiche e prospezioni geofisiche per l'individuazione di cavità e la sistemazione del versante in prossimità della chiesa di Isoverde*. SGG s.n.c. di Cairo Montenotte (SV), relazione tecnica, n° rif. 13/05/RL/00.