

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI
PROGETTO ESECUTIVO**

GALLERIA NATURALE - FINESTRA CRAVASCO - RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA

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

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

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	GDP 	15/07/2013	Rocksoil 	15/07/2013	A. Palomba 	19/07/2013	
B00	Modifica tracciato e carpenteria nicchie: MT000114/2	GDP 	17/11/2014	Rocksoil 	19/11/2014	A. Palomba 	21/11/2014	
C00	Revisione generale	GDP 	27/07/2015	Rocksoil 	27/07/2015	A. Mancarella 	28/07/2015	

n. Elab.:	File: IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00
-----------	---------------------------------------

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00</p>	<p>Foglio 3 di 68</p>

INDICE

INDICE.....		3
1	PREMESSA	6
2	NORMATIVA E STRUMENTI TERRITORIALI DI RIFERIMENTO	6
3	ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO	6
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	7
4.1	Unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde	10
4.1.1	Dolomie del Monte Gazzo.....	10
4.1.2	Gessi del Rio Riasso (“Gessi, anidriti e carniole” nella cartografia PE).....	11
4.1.3	Serie di Gallaneto-Lencisa	13
4.1.4	Meta-argilliti di Bessega (“Argilloscisti neri” nella cartografia PE).....	13
4.2	Unità tettonometamorfica Cravasco-Voltaggio	13
4.2.1	Scisti filladici del Monte Larvego (“Argilloscisti filladici” nella cartografia PE).....	14
4.2.2	Calcarei di Voltaggio	14
4.2.3	Metasedimenti silicei dell’Osteria dello zucchero.....	14
4.2.4	Metabasalti di Cravasco.....	15
4.2.5	Serpentiniti di Case Bardane (“Serpentiniti e serpentinoscisti e oficalci” nella cartografia PE)	15
4.3	Unità tettonometamorfica Figogna.....	16
4.3.1	Serpentiniti del Bric dei Corvi (“Serpentiniti, serpentinoscisti e oficalci” nella cartografia PE).....	16
4.3.2	Metabasalti del Monte Figogna (“Metabasalti” nella cartografia PE)	17
4.3.3	Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia	17
4.3.4	Metacalcarei di Erzelli	17
4.3.5	Metaoficalciti di Pietralavezzara.....	18
4.3.6	Argilloscisti di Costagiutta	18
4.3.7	Argilloscisti di Murta	18
4.4	Depositi pliocenico-quadernari.....	19
4.4.1	Coltri superficiali di versante	19
4.4.2	Accumuli di frana	20
4.4.3	Depositi alluvionali	20
4.5	Corrispondenza tra le unità descritte nel PD e le unità CARG	20
4.6	Descrizione dell’assetto geologico-strutturale regionale.....	22
4.6.1	Gli eventi deformativi D1 e D2	22
4.6.2	L’evento deformativo D3	23
4.6.3	L’evento deformativo D4	23
5	ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE LOCALE	25

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00</p> <p>Foglio 4 di 68</p>

5.1	Assetto strutturale	26
5.1.1	Strutture duttili sin-metamorfiche	26
5.1.2	Strutture fragili post-metamorfiche.....	27
5.1.3	Assetto strutturale a grande scala	29
5.2	Caratteri litologici delle facies milonitiche della zona di Isoverde	33
5.3	Carsismo.....	35
5.3.1	Complesso carsico del Monte Gazzo	35
5.3.2	Complesso carsico dell'alta Val Chiaravagna.....	36
5.3.3	Complesso carsico di Isoverde.....	36
6	INDAGINI GEOGNOSTICHE	42
6.1	Sondaggi del Progetto Preliminare (anno 2001).....	43
6.1.1	AA301G059	43
6.2	Sondaggi del Progetto Definitivo (anno 2004)	44
6.2.1	SF12	44
6.3	Sondaggi del Progetto Esecutivo (anno 2014)	45
6.3.1	L2-CR1.....	45
6.3.2	L2-CR1bis	46
6.3.3	L2-CR2.....	46
6.3.4	L2-CR3.....	47
6.3.5	L2-CR4.....	48
6.3.6	L2-CR5.....	49
7	CONSIDERAZIONI SUL TRACCIATO DELLA FINESTRA CRAVASCO	51
7.1	Soluzione 1: Progetto Preliminare	52
7.2	Soluzione 2: Progetto Definitivo.....	54
7.3	Soluzione 3: Progetto Esecutivo senza sovrappasso delle gallerie di linea (Aprile 2013)	56
7.4	Soluzione 4: Progetto Esecutivo con sovrappasso delle gallerie di linea (Novembre 2014)	58
8	ASSETTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO LUNGO L'OPERA IN PROGETTO (SOLUZIONE 4).....	60
8.1	Tratta pm 0.00 – 330.00 ca.....	60
8.2	Tratta pm 330.00 – 415.00 ca.....	61
8.3	Tratta pm 415.00 – 880.00 ca.....	62
8.4	Tratta pk 880.00 – 1145 ca.....	63
8.5	Tratta pm 1145 – 1280 ca.....	65
9	COMPARAZIONE TRA L'ASSETTO GEOLOGICO LUNGO IL TRACCIATO DELLE DUE SOLUZIONI 3 E 4 (PE) E IL TRACCIATO DI PROGETTO DEFINITIVO (SOLUZIONE 2)	66
10	BIBLIOGRAFIA	68

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00

Foglio
5 di 68

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 6 di 68</p>

1 PREMESSA

Il presente rapporto riguarda la realizzazione della Finestra Cravasco (WBS GN14H), che costituisce una galleria di accesso alla linea principale per scopi costruttivi. Nel corso del Progetto Esecutivo il tracciato di quest'opera è stato modificato e rivisto rispetto a quello di progetto definitivo per intersecare a quote più elevate i complessi acquiferi presenti nell'area, minimizzando il rischio di interferenza con le risorse idriche sfruttate.

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".

3 ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO

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

- l'esecuzione di una ricerca bibliografica;
- il rilevamento di terreno e l'acquisizione dei dati geologici, geomorfologici ed idrogeologici relativi alle aree di intervento;
- l'analisi ed interpretazione delle immagini aeree disponibili;
- la revisione critica dei dati della campagna geognostica del Progetto Definitivo approvato nel 2005, nonché delle relazioni geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del medesimo Progetto Definitivo (PD);
- l'interpretazione dei dati raccolti sul terreno alla luce dell'insieme delle informazioni disponibili;
- L'analisi dei dati derivanti dalla campagna geognostica del Progetto Esecutivo
- la redazione degli elaborati geologici del Progetto Esecutivo (PE).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 7 di 68

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.

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 di terreno e delle indagini geognostiche, stesura degli elaborati grafici;
- Dott. Geol. Dario Varrone: assistenza alla redazione elaborati, elaborazioni in ambiente GIS;
- Dott.ssa 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):

1. le **unità tettonometamorfiche¹ 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).

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

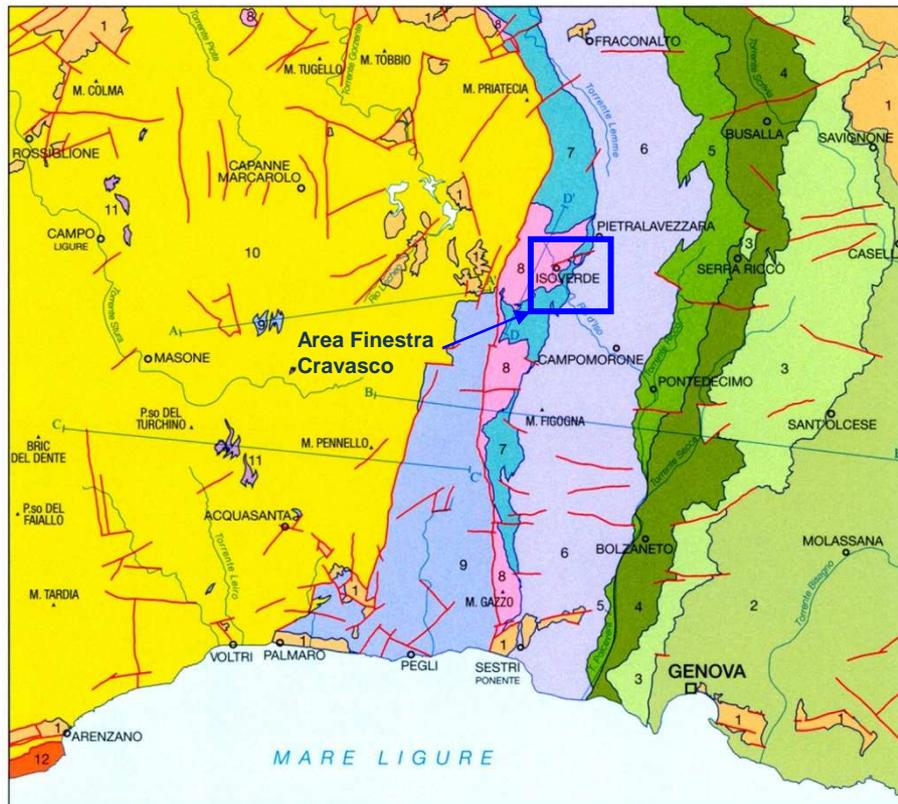
<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 8 di 68</p>

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 unità fino ad arrivare a condizioni di diagenesi per l'Unità Antola.

SCHEMA TETTONICO



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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 10 di 68

(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); verranno quindi di seguito brevemente descritti i litotipi delle tre unità tettonometamorfiche che la compongono e cioè Cravasco-Voltaggio, Figogna e Gazzo-Isoverde.

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

4.1 Unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde

L'Unità Gazzo-Isoverde è costituita da un nucleo di dolomie di età norica (Dolomie del M.Gazzo), equivalenti alla Dolomia Principale del sudalpino, con al tetto lembi preservati di unità bacinali a sedimentazione mista carbonatica/silicoclastica (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)

Dolomie e calcari dolomitici, di colore da grigio chiaro a nerastro, ricristallizzati, spesso saccaroidi. Tessitura grossolanamente stratificata, con spessore degli strati variabile in media tra 0.5 e 2 m, ma con banchi potenti fino a 10 m ca., costituiti da strati decimetrici rinsaldati. 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 nerastrati. Raramente sono conservate strutture sedimentarie (tappeti algali, oospariti, intramicrospariti e fossili). La porzione superiore della serie è costituita da dolomicriti nerastre e facies di breccia.

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 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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 11 di 68

attive. Sono inoltre presenti diverse cavità carsiche oggetto di esplorazione, segnalate nel database “Gestionale Speleologico Ligure” (<http://www.catastogrotte.net>).

4.1.2 Gessi del Rio Riasso (“Gessi, anidriti e carniole” nella cartografia PE)

GSR, Norico (gc nella cartografia di PE)

Si tratta di gessi saccaroidi associati a calcari vacuolari, brecce dolomitiche e anidriti, osservabili solo in alcuni limitatissimi affioramenti lungo il Rio Riasso e tra Cravasco e Isoverde.

Le note illustrative del foglio Genova riportano non meglio precisate “fonti storiche” da cui risulta che i gessi siano stati oggetto di coltivazione in sottosuolo nell’area tra Cravasco e il Passo della Bocchetta; nella zona di Isoverde sono riportati problemi di instabilità, a causa sia di fenomeni di dissoluzione, sia del probabile collasso di gallerie realizzate all’epoca della coltivazione.

Da una ricerca più approfondita sono emerse ulteriori informazioni di interesse, di cui si darà una descrizione più precisa nel successivo par. 4.1.2a.

Non sono noti in superficie affioramenti di anidriti, la cui presenza in profondità è però attestata da alcuni carotaggi profondi realizzati nell’area. È probabile che le anidriti esposte in superficie si siano idratate in gesso, mentre in profondità esse si siano mantenute inalterate.

L’associazione di questi litotipi suggerisce un ambiente costiero di transizione, con locali emersioni. La posizione stratigrafica di questa formazione è ambigua: per alcuni autori alla base della successione stratigrafica triassico-liassica, per altri al *top* delle dolomie e calcari dolomitici e al *bottom* dei Calcari di Gallaneto. Al *top* delle dolomie e dei calcari dolomitici sarebbe stato riconosciuto, nell’evoluzione del bacino deposizionale, un progressivo avvicinamento a condizioni evaporitiche. Le note illustrative del CARG propendono per questa seconda interpretazione.

4.1.2a Cenni sui fenomeni di instabilità legati alla presenza di gessi nell’area di Isoverde

L’area circostante l’abitato di Isoverde (Comune di Campomorone, GE) è stata interessata, in passato, da un’attività estrattiva relativamente diffusa in relazione alla presenza di lenti di gessi, riferibili alla formazione dei Gessi del Rio Riasso (cfr. § 4.1.2).

Le notizie bibliografiche più antiche risalgono alla prima metà dell’800 (Fusinieri, 1831; Barelli, 1835), da cui risulta che i gessi coltivati venivano già allora ampiamente impiegati nella produzione di calce; i gessi lavorati nelle fabbriche di Isoverde, di ottima qualità (almeno per l’epoca) provvedevano “... non solamente alla consumazione di Genova e suo circondario, ma ben anche ad altri paesi” (Barelli, 1835).

Di parte di queste coltivazioni, alcune delle quali anche effettuate in sotterraneo tramite la realizzazione di cunicoli di accesso, si è persa traccia nel tempo, cosicché lo sviluppo urbanistico del centro abitato ha portato a locali interferenze con le cavità sotterranee, il cui cedimento ha talora dato origine a fenomeni di dissesto a carico di edifici e infrastrutture (Vezzolla, 2006)

Secondo una relazione edita dalla società S.G.G. di Savona per la sistemazione del versante in prossimità della chiesa di Isoverde, in relazione alla presenza sprofondamenti superficiali legati al

collasso di cavità nei gessi (Vezzolla, 2006), le coltivazioni a Isoverde avvenivano attraverso pozzi e gallerie suborizzontali, spinte fin sotto all'alveo del torrente e furono in gran parte abbandonate a causa di difficoltà nel contenimento delle piene, di fenomeni di dissoluzione di tipo carsico e dell'eccessiva vicinanza ad alcune case già costruite. Le ricerche storiche condotte dall'autore citano tra l'altro un verbale di sopralluogo dell'aprile 1908 in cui "... si fa riferimento ad alcune cave nella zona dei Piani di Iso ove esistevano cinque aree estrattive", e poco oltre: "... già nel 1873 il Prefetto di Genova emetteva ordinanze di sospensione di alcune attività per gli effetti destabilizzanti indotti alla superficie".

Sempre secondo Vezzolla (2006) "... le cave aperte in zona dovrebbero essere almeno sei, di cui cinque nell'area del cimitero-campo sportivo e la sesta corrispondente all'alveo del Torrente Verde". I vecchi pozzi ad oggi non risultano più localizzabili direttamente né ispezionabili.

Diversi fornelli verificatisi nel tempo a Isoverde sono stati colmati periodicamente con inerte; tali vuoti interesserebbero principalmente il settore a monte del cimitero, il piazzale a valle della chiesa, il campo sportivo e la zona d'imbocco della prima tombinatura del rio Rizzolo.

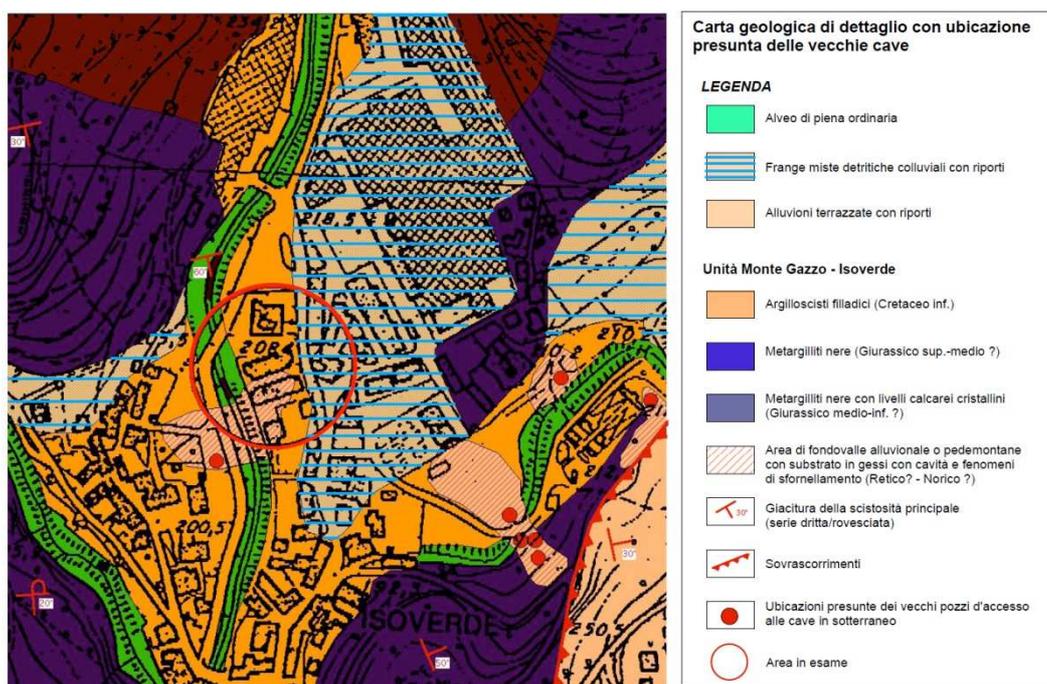


Figura 2 – Localizzazione dei principali pozzi (punti rossi) di accesso alle coltivazioni sotterranee nell'area urbanizzata di Isoverde (da Briano et al., 2009?).

Altri lavori di consolidamento, sempre a Isoverde, hanno riguardato il consolidamento del substrato di fondazione di alcuni edifici localizzati in Via Rebora, interessati da lesioni per progressiva accentuazione dei vuoti da dissoluzione nei gessi, legati principalmente a carsismo (Briano et al., 2011). Come riportato nel sito della società S.G.G. che è stata incaricata dell'intervento (<http://www.sggconsult.it>), "... il consolidamento è consistito nella creazione di un setto a bassa permeabilità in sponda sinistra del T. Verde, spinto fino alla profondità di circa 16 m al di sotto dell'alveo, e delle cavità individuate in fase d'indagine", nella realizzazione di alcuni setti secondari e nella ricostruzione del muro d'argine.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 13 di 68

In una seconda fase sono state realizzate iniezioni di intasamento dei vuoti presenti intorno agli edifici e opere di impermeabilizzazione e risistemazione dell'alveo del torrente, finalizzate a “... ridurre gli afflussi nelle vecchie gallerie estrattive e, pertanto, a rallentare i processi di dissoluzione accelerata della formazione gessosa ...”.

4.1.3 Serie di Gallaneto-Lencisa

Le Formazioni dei Calcari di Lencisa e dei Calcari di Gallaneto sono difficilmente distinguibili sul terreno, se non in base all'analisi del contenuto paleontologico. Affiorano sul fianco nord-orientale e sul fianco meridionale dell'unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde.

4.1.3a Calcari di Lencisa

LEN, Sinemuriano-Pliensbachiano (eN nella cartografia di PE)

Metacalcari grigi, grigio-neri e nocciola, con intercalazioni di livelli metapelitici, liste e noduli di selce. La stratificazione è solitamente riconoscibile, anche se appare trasposta, mentre a seconda dei litotipi considerati può essere presente anche un clivaggio più o meno evidente. Lo spessore degli strati varia da centimetrico a decimetrico.

4.1.3b Calcari di Gallaneto

GLL, Norico-Hettangiano (cG nella cartografia di PE)

Metacalcari grigi più o meno micacei, alternati a scisti pelitici e marnosi; verso l'alto stratigrafico si rinvencono calcari cristallini puri. La stratificazione è generalmente ben riconoscibile, mentre lo sviluppo del clivaggio è poco pervasivo. Lo spessore degli strati varia da decimetrico a metrico.

4.1.4 Meta-argilliti di Bessega (“Argilloscisti neri” nella cartografia PE)

MBG, Lias Sup.-Dogger (Mn nella cartografia di PE)

Meta-argilliti scistose grigio-scure e nere, più o meno siltose, organizzate in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, con intercalazioni di calcari cristallini in strati da millimetrici a centimetrici. A tale unità sono state attribuite anche facies chiaramente scistose, a basso tenore in carbonati, organizzate in strati centimetrici talora filladici di colore bruno-grigiastro, che affiorano in modo discontinuo in sinistra idrografica della Val Bianchetta.

Le meta-argilliti di Bessega sono interpretate come depositi bacinali distali, disposti al tetto della successione Norica.

4.2 Unità tettonometamorfica Cravasco-Voltaggio

L'unità tettonometamorfica Cravasco-Voltaggio affiora con maggiore continuità a nord di Pietralavezzara, mentre verso sud essa si chiude lateralmente, restando compresa tra le unità

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 14 di 68

tettonometamorfiche Figogna e Gazzo-Isoverde. Le linee strutturali che delimitano l'unità a tetto e a letto immergono verso ENE con una giacitura che delinea una struttura regionale "a fiore", tipica di zone di taglio transpressive; in posizione intermedia tra le due unità si rileva un piano di possibile sovrascorrimento che porta a contatto gli scisti filladici di Larvego con le serpentiniti di Case Bardane.

4.2.1 *Scisti filladici del Monte Larvego ("Argilloscisti filladici" nella cartografia PE)*

LRV, Cretaceo inf. (f nella cartografia di PE)

Scisti filladici grigio-verdastri, fittamente laminati, con scistosità a spaziatura da millimetrica a centimetrica e superfici untuose al tatto e di aspetto sericeo, che in alterazione prendono un colore nocciola. Locali livelli di metasiltiti e metaareniti bruno scuro di spessore centimetrico e lenti di silice microcristallina biancastra, di spessore centimetrico. La scistosità principale descrive localmente pieghe da aperte a serrate.

Le filladi sono caratterizzate da diverse generazioni di scistosità, con fasce tettonizzate piuttosto ampie; gli affioramenti, a causa dell'alterazione, risultano di estensione ridotta, mascherati da una coltre detritica di alterazione piuttosto continua.

4.2.2 *Calcarei di Voltaggio*

VOL, Malm? – Cretaceo Inf.? (cV nella cartografia di PE)

La formazione dei calcari di Voltaggio, nota anche con il termine di "calcaires pointillés" (Cortesogno & Haccard, 1979), affiora in forma di sottili scaglie essenzialmente a N di Cravasco; è costituita da calcari cristallini grigi, spesso a grana grossa, con livelli sottili ricchi in fillosilicati, che presentano almeno due scistosità sovrapposte (Marini, 1998). Generalmente questi litotipi presentano un'abbondante frazione quarzosa e micacea, indicante un'origine detritica.

Verso la parte basale della sequenza, al contatto con un orizzonte di diaspri, si possono incontrare alcuni metri di calcari cristallini bianchi, ricchi in quarzo microcristallino. Il limite stratigrafico inferiore è determinato dai diaspri o, in loro assenza, direttamente dall'unità basaltica di Cravasco; il limite stratigrafico superiore è rappresentato dal passaggio graduale agli scisti filladici.

L'ambiente di deposizione delle originarie sequenze calcareo-silicee e calcareo-marnose era presumibilmente di tipo pelagico. I calcari di Voltaggio presentano inoltre una spiccata analogia di facies con i calcari a Calpionella dell'Appennino settentrionale (Cortesogno & Haccard, 1984).

4.2.3 *Metasedimenti silicei dell'Osteria dello zucchero*

MHC, Malm? (d" nella cartografia di PE)

Si tratta di scisti silicei fortemente ricristallizzati di colore generalmente rossiccio, con contenuto variabile di fillosilicati e carbonati, nonché di metasedimenti silicei ematitici più o meno pelitici (ftaniti) a colorazione rosso-bruna, talora con livelli verdastri o grigi. Sono localmente presenti relitti

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 15 di 68

di radiolari non determinabili. Alla base sono caratterizzati da livelli verdi, spesso a componente detritica, passanti a più rare metareniti ofiolitiche; seguono in successione livelli prevalentemente rossi o neri, raramente verdi. Sono caratterizzate da diverse superfici di foliazione e nei livelli metarenitici sono presenti degli anfiboli sodici. Gli spessori sono sempre ridotti e vanno da pochi metri e pochi centimetri, sia per una loro modesta potenza originaria, sia per fenomeni di elisione tettonica.

4.2.4 *Metabasalti di Cravasco*

CVS, Malm? (B" nella cartografia di PE)

I metabasalti di Cravasco sono litotipi spesso foliati, con metamorfismo in facies scisti blu. Il protolite era rappresentato da basalti oceanici, anche a grana grossa, sia massicci che con tessitura a pillow, brecciate o a pillow-breccia. Affiorano essenzialmente in corrispondenza dell'area di Cravasco, nel settore di Fraconalto e in alcuni lembi più sottili sul versante W del M. Figogna.

4.2.5 *Serpentiniti di Case Bardane ("Serpentiniti e serpentinoscisti e oficalci" nella cartografia PE)*

SPV, Dogger – Malm (Se" nella cartografia di PE)

Si tratta di serpentiniti a crisotilo e antigorite con frequenti relitti mineralogici e tessiture di lherzolite.

Le serpentiniti, di colore da verdastro a grigio-verde chiaro, hanno tessitura da scistosa e intensamente laminata, con sviluppo di piani di clivaggio pervasivi, a spaziatura submillimetrica, con superficie liscia o untuosa al tatto; la tessitura può localmente divenire cataclastica, fino a ultracataclastica, in particolare in corrispondenza della zona di deformazione tettonica di Timone, un importante piano di taglio duttile-fragile che fa parte del più esteso sistema di deformazione della linea Sestri-Voltaggio.

All'interno delle serpentiniti si riconoscono pieghe disarmoniche a scala da centimetrica a plurimetrica, riferibili a pieghe di trascinamento di una foliazione preesistente, sviluppatasi nell'ambito di zone di taglio. Le facies deformate (brecce, cataclasiti, ultracataclasiti e gouge) possono avvolgere litoni di forma amigdalare, meno deformati ma comunque intensamente fratturati e brecciati, da centimetrici a metrici. Localmente si osservano fasce brecciate con litoni allungati metrici o plurimetrici, circondati da zone di taglio cataclastico da decimetriche a metriche, percentualmente subordinate, che definiscono un pattern anastomosato.

Sono spesso presenti minerali asbestiformi visibili ad occhio nudo, concentrati lungo piani di frattura o in vene estensionali.

Le serpentiniti affiorano in lembi isolati tra gli scisti di Larvego (§ 4.2.1) e le argilliti di Bessega (§ 4.1.4), a sud e a est di Isoverde e Paravanico e non interessano il sito di intervento.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 16 di 68

4.3 Unità tettonometamorfica Figogna

Include le formazioni degli argilloscisti di Murta, degli argilloscisti di Costagiutta, dei metacalcari di Erzelli, dei metasedimenti silicei della Madonna della Guardia, dei metabasalti del M. Figogna e delle serpentiniti del Bric dei Corvi (zona di deformazione di Scarpino). Di queste, solo le prime due interessano direttamente il settore in cui si situa l'intervento in progetto.

I metabasalti, relativamente indisturbati da Borzoli al M. Figogna, sono interessati, nel settore occidentale, da numerose faglie transpressive dirette N-S e a vergenza W, che delincono dei *duplex* della sequenza serpentiniti-metabasalti.

Queste strutture sono associate a tessiture cataclastiche, soprattutto nelle serpentiniti, che nella sequenza serpentinite/basalto sembrano agire da orizzonte plastico, assorbendo la maggior parte della deformazione. A ridosso del limite occidentale dell'unità si osservano nuovamente scaglie dei termini bacinali sedimentari, pinzate tra le metabasiti e le unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo.

Nel Foglio Genova del progetto CARG l'unità Figogna è interpretata come una serie ofiolitifera rovescia (fianco rovescio 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, costituendo superfici di scollamento principali lungo cui si determina un *thrusting* vero e proprio interno all'unità.

Secondo un'ipotesi alternativa, più coerente con 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 Gazzo, ed è caratterizzata da due piani di deformazione cataclastica di estensione regionale, riferibili a un regime deformativo di tipo transpressivo (*zona di deformazione di Timone*, coincidente con le serpentiniti di Case Bardane e *zona di deformazione di Scarpino*, coincidente con le serpentiniti del Bric dei Corvi).

Sulla base della ricostruzione dell'andamento regionale di queste zone di taglio, appare verosimile che la presunta struttura a piega rovesciata sia in realtà una zona a scaglie dove la sequenza dei litotipi è ripetuta per sovrascorrimento in un contesto regionale transpressivo, come del resto già messo in evidenza dalle note illustrative del CARG.

4.3.1 *Serpentiniti del Bric dei Corvi ("Serpentiniti, serpentinoscisti e oficalci" nella cartografia PE)*

SPF, Dogger-Malm (Se' nella cartografia di PE)

Serpentiniti a crisotilo, antigorite e lizardite, a tessitura cataclastica con fenomeni di deformazione duttile legati a pieghe di trascinamento disarmoniche e a strutture di flusso cataclastico sviluppate attorno a litoni di relitti lherzolitici, serpentinitici o di oficalci. Sono localmente presenti filoni di metabasalti rodingitizzati.

Sono distribuite sul fianco occidentale del M. Figogna e allungate in direzione N-S a definire una fascia di taglio cataclastico di potenza pluriettometrica, immergente verso E con inclinazioni medie comprese tra 45° e 65°.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 17 di 68

4.3.2 *Metabasalti del Monte Figogna ("Metabasalti" nella cartografia PE)*

MBF, Malm (B' nella cartografia di PE)

Metabasalti massivi e a pillow, con orizzonti di brecce basaltiche a tessitura fluidale, più raramente in filoni massicci a tessitura doleritica. Localmente sono presenti metadioriti in filoni di spessore da decimetrico a metrico, a tessitura granulare, con fenomeni di autoclastesi ai bordi. I metabasalti si presentano poco deformati; un accenno di scistosità è più evidente dove si osserva lo stiramento dei pillow, che raramente è accentuato.

Nelle parti centrali della formazione si osservano brecce basaltiche non deformate, con matrice a tessitura fluidale evidenziata da tessiture vacuolari primarie preservate. Presso la cresta spartiacque del M. Figogna sono osservabili facies ialoclastitiche vere e proprie. Più a S, nella cava di Borzoli, ubicata nella parte bassa in asse alla struttura, sono presenti orizzonti di oficalci, interessati da campi di fratture tensionali suturate da calcite.

A N della dorsale del M. Figogna, i metabasalti affiorano in lembi allungati e discontinui, all'interno della formazione degli argilloscisti di Costagiutta (4.3.6), dove sono frequentemente associati a lembi di metasedimenti silicei (4.3.3), metacalcari (4.3.4) e metaoficalciti (4.3.5).

4.3.3 *Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia*

MHF, Malm? (dM nella cartografia di PE)

Formano lembi sottilissimi e discontinui, sempre in associazione con i basalti nella caratteristica posizione stratigrafica che questi depositi conservano nelle successioni ofiolitifere. Possono essere rappresentati da scisti silicei, rossi o più raramente verdi e da ftaniti zonate con sporadici livelli radiolaritici, oppure da scisti quarzosi rosso-rosati, fittamente foliati e con giunti e vene. Il loro spessore medio non supera di solito i pochi metri (Marini, 1998). Localmente sono intercalati a peliti grigie e possono presentare livelli inquinati da prodotti vulcanoclastici (zona ad ovest del M. Figogna; Cortesogno & Haccard, 1984). Differiscono dai diaspri appartenenti alle serie Liguridi, in quanto queste ultime mostrano caratteri marcatamente propri di radiolariti e selci.

4.3.4 *Metacalcari di Erzelli*

ERZ, Malm? – Cretacico Inf.? (cE nella cartografia di PE)

Calcari microcristallini finemente arenacei di spessore fino a pluridecimetrico, talora foliati, con giunti pelitici; in alcuni strati sono osservabili tracce di gradazione torbiditica (Marini, 1998). Questa formazione è stata definita anche come "calcareniti" (Cortesogno & Haccard, 1984), e "calcaires en bancs" (Haccard, 1976).

La formazione è costituita da una sequenza serrata di strati deformati di calcari grigi a patina d'alterazione bianco-cinerina; sono riferibili a calcari micritici, spesso impuri per una più o meno abbondante frazione terrigena silicoclastica (soprattutto argilla e quarzo detritico) e con giunti di emipelagiti argillose nere; nelle zone ove questi sono più importanti, gli strati calcarei si presentano

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 <table border="1" style="float: right; margin-left: 20px;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Foglio 18 di 68</td> </tr> </table>	Foglio 18 di 68
Foglio 18 di 68		

spesso boudinati. Accentuati processi di ricristallizzazione sono evidenziati dalla presenza di strati foliati con livelli di fillosilicati concentrati nell'intervallo pelitico maggiormente marnoso.

Gli strati calcarei maggiormente arenacei conservano alla base evidenti laminazioni sedimentarie e mostrano le caratteristiche di originarie torbiditi; la non trascurabile componente terrigena torbiditica farebbe presumere ambienti di deposizione pericontinentali (Marini, 1998).

La potenza è stimata in poche decine di metri, non superando i 50-60 metri nelle zone di migliore affioramento (Est di Erselli; M. Figogna).

4.3.5 *Metaoficalciti di Pietralavezzara*

PLV, Dogger? – Malm? (of' nella cartografia di PE)

Brecce tettoniche di fondo oceanico, talvolta rimaneggiate, a clasti prevalentemente serpentinitici e a cemento carbonatico, in corpi di dimensioni da decametriche a chilometriche affioranti principalmente tra Pietralavezzara e il Passo della Bocchetta.

4.3.6 *Argiloscisti di Costagiutta*

AGI, Cretacico inf. (AGI quando distinti nella cartografia di PE, aP quando indifferenziati)

Alternanze di argiloscisti e di calcari cristallini, metapeliti scistose grigio-nerastre, più o meno siltose, metasiltiti e metaareniti in strati centimetrici, con intercalazioni di metacalcilutiti siltose più o meno marnose, di colore grigio o grigio-bruno in strati e banchi, più frequenti alla base della sequenza.

Lo spessore degli strati è generalmente centimetrico, ma nella parte alta della sequenza si osserva stratificazione più irregolare con stati decimetrici ed interstrati pelitici foliati. Sono frequenti noduli allungati e liste di quarzo microcristallino biancastro. Le giaciture individuate sono frequentemente la media di una stratificazione disturbata da serie di pieghe più o meno frammentate; la scistosità descrive pieghe ad "S" decimetriche e pieghe strizzate centimetriche. Nel settore verso la Val Polcevera, la formazione mantiene una vergenza analoga alle altre unità riconosciute nella valle. L'unità affiora diffusamente ad E della dorsale del M. Figogna e in misura minore sul suo lato occidentale, dove il limite tettonico inferiore è il contatto con le unità Gazzo e Cravasco-Voltaggio. Nel settore meridionale affiora soprattutto lungo il T. Chiaravagna ed è segnalata in scavi di fondazione e sondaggi. Nel settore settentrionale si estende diffusamente fin oltre il confine regionale, da Pietralavezzara fin oltre Fraconalto.

4.3.7 *Argiloscisti di Murta*

AGF, Cretacico inf. (AGF quando distinti nella cartografia di PE, aP quando indifferenziati)

Alternanza di argiloscisti filladici grigio scuro e grigio argenteo, a patina sericitica, con intercalazioni di sottili straterelli calcarei di spessore centimetrico (1-2 cm), di metasiltiti e metaareniti fini di colore grigio chiaro, nocciola in alterazione, con laminazioni piano-parallele localmente convolute. Gli strati

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 19 di 68

hanno generalmente spessore da centimetrico a decimetrico; sono presenti orizzonti con strati fino a 30 centimetri di argilliti e metasiltiti.

Il rapporto stratimetrico metaareniti/metapeliti è di 1:2. Le superfici di strato su roccia fresca sono normalmente lucide, con veli di sericite talcosa al tatto; presentano talvolta tracce di scivolamento ed aspetto vetrificato (fenomeni di dinamometamorfismo).

Possono essere presenti noduli allungati e liste di quarzo microcristallino biancastro. I limiti con le Unità sopra e sottostanti sono di tipo tettonico.

Al suo interno l'unità presenta giaciture vergenti ad E, presso il limite con il Flysch di Mignanego; spostandosi verso W le giaciture seguono l'andamento delle pieghe alla macroscale, ma sono raramente significative, poiché la stratificazione è disturbata da fitte sequenze di pieghe strizzate a piccolo raggio con assi orientati circa NNE-SSW.

L'unità mostra intensi fenomeni di alterazione, infatti l'orizzonte pedogenizzato può superare i 4 m di spessore, senza contare l'accumulo di detrito di versante. I processi pedogenetici conferiscono alle superfici sericitiche un tipico aspetto di color nocciola grigiastro chiaro.

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).

4.4 Depositi pliocenico-quadernari

L'area di studio presenta caratteristiche differenti a seconda dei litotipi che costituiscono il substrato. Non essendo mai stata soggetta a glaciazioni, i meccanismi evolutivi predominanti sono guidati dalla pedogenesi, dalla gravità e dalle acque superficiali.

4.4.1 Coltri superficiali di versante

Hanno caratteri differenti a seconda della litologia del substrato:

- in generale metabasalti, lherzoliti e serpentiniti sono caratterizzati da coltri di detrito di versante di spessore esiguo, a granulometria grossolana, con affioramenti frequenti e di buon rilievo morfologico;
- serpentiniti tettonizzate, calcescisti e metagabbri sono invece marcatamente soggetti ai fenomeni pedogenetici; spesso in affioramento si osserva l'orizzonte C del suolo - denudato dall'erosione - in cui si riconoscono ancora i principali caratteri tessiturali (foliazione, pieghe) e il litotipo originario si presenta argillificato. In queste condizioni sulle parti basse dei versanti si accumulano depositi medio-fini con spessori anche superiori ai 3-4 m.
- I litotipi argillitici e flyschoidi della Val Polcevera sono molto sensibili alla pedogenesi; e in tutta l'area l'orizzonte di decarbonatazione si spinge nel substrato fino a 3-4 m di profondità ad eccezione delle aree di cresta, maggiormente soggette all'erosione, dove è possibile individuare affioramenti più estesi; la parte bassa dei versanti presenta coperture di detrito di

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 20 di 68

versante (tipicamente un diamicton a supporto di matrice limoso-sabbioso-argillosa) che superano generalmente i 3 m di spessore.

4.4.2 *Accumuli di frana*

Nell'area di studio è presente un numero relativamente esiguo di depositi di frana. Sulle successioni flyschoidi della Val Polcevera i depositi di frana sono generalmente poco potenti, impostati nei depositi di versante a granulometria fine e costituiti da una frazione limoso-argillosa non trascurabile, quindi almeno parzialmente coesivi; si attivano per lo più come colate, ma perdono rapidamente evidenza morfologica a causa della densa vegetazione.

Modesti corpi franosi interessano i versanti impostati nelle metabasiti e metaultrabasiti, dove sono solitamente costituiti da accumuli caotici di ciottoli e blocchi in matrice ghiaioso-sabbiosa localmente scarsa o assente.

Locali depositi di frana di crollo sono presenti alla base delle pareti rocciose e sono costituiti da blocchi di pezzatura da decimetrica a plurimetrica in scarsa o assente matrice ghiaioso-sabbiosa, non coesiva.

4.4.3 *Depositi alluvionali*

Sono costituiti principalmente da ghiaie medie e grossolane a matrice sabbiosa e da ghiaie e sabbie limose.

I torrenti minori dell'area, tributari del Polcevera (che è il principale corso d'acqua dell'area e quello in cui i depositi alluvionali sono più sviluppati), presentano sempre materassi alluvionali costituiti da ghiaie sabbiose di spessore per lo più inferiore a 1-2 m lungo i tratti d'asta montani, che aumenta rapidamente allo sbocco sulla stretta fascia costiera.

La Val Polcevera è occupata in buona parte da depositi alluvionali grossolani, con spessori che variano da pochi metri fino a decine di metri di profondità. Dati di sondaggi mettono in evidenza anche settori con matrice a forte componente limosa e subordinatamente argillosa. Verso lo sbocco a mare tali livelli raggiungono un notevole spessore (pluridecamentrico). Lo spessore dei depositi alluvionali (Pliocene inferiore) è per lo più irregolare poiché essi colmano una superficie erosionale che, verso il settore a mare, può raggiungere i - 30/- 35 m rispetto all'attuale livello marino.

4.5 **Corrispondenza tra le unità descritte nel PD e le unità CARG**

All'interno delle tre unità del basamento pre-quadernario descritte nei paragrafi precedenti, i limiti stratigrafici originari sono sovente trasposti ma localmente possono ancora essere considerati come contatti stratigrafici; all'interno delle zone di taglio milonitiche, tutti i contatti litologici sono di natura tettonica e sono definiti da un'intensa deformazione di tipo milonitico.

La descrizione litostratigrafica delle varie unità è già stata affrontata, secondo le interpretazioni più aggiornate contenute nelle note illustrative del Foglio CARG "Genova" (Capponi et al., 2009). Di seguito viene riportata una tabella comparativa in cui sono indicate le corrispondenze tra la nuova

terminologia CARG e la terminologia adottata in base agli studi pre-2009 e utilizzata nell'ambito del Progetto Esecutivo (2004).

Foglio 213-230 Genova Cartografia Geologica d'Italia Scala 1:50.000			Tratta AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi" Progetto Definitivo			Tratta AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi" Progetto Esecutivo		
		ANT		Calcari dell'Antola	An		-	
Unità Figogna	Argilloscisti di Murta	AGF	Unità Timone – Bric Teiolo	Argilliti a Palombini del passo della Bocchetta	aP	Unità Figogna	Argille a Palombini del passo della Bocchetta, dove possibile distinte in AGF e AGI	aP
	Argilloscisti di Costagiutta	AGI		Metargilliti con abbondanti essudati di quarzo	ma		Metacalcari di Erzelli	cE
	-	-		Calcari di Erselli	cE		Metasedimenti silicei della madonna della Guardia	dM
	Metacalcari di Erzelli	ERZ		Scisti silicei	d'		Metabasalti	B'
	Metasedimenti silicei della madonna della Guardia	MHF		Metabasalti	B'		Serpentiniti , serpentinoscisti	Se'
	Metabasalti del Monte Figogna	MBF		Serpentiniti , serpentinoscisti e oficalci	Se'		Metaoficalciti di Pietralavezzara	of'
	Serpentiniti del Bric dei Corvi	SPF		-	-		Argilloscisti filladici	f
	Metaoficalciti di Pietralavezzara	PLV		-	-		Calcari di Voltaggio	cV
Unità Cravasco-Voltaggio	Scisti filladici del monte Larvego	LRV	Unità Cravasco-Voltaggio	Metargilliti filladiche	f	Unità Cravasco-Voltaggio	Metasedimenti silicei dell'Osteria dello zucchero	d''
	Calcari di Voltaggio	VOL		Calcari di Voltaggio	cV		Metabasalti di Cravasco	B''
	Metasedimenti silicei dell'Osteria dello zucchero	MHC		-	-		Metagabbri	mG
	Metabasalti di Cravasco	CVS		Metabasalti	B''		Serpentiniti e serpentinoscisti	Se'
	Metagabbri del Monte Lecco	MGC		Metagabbri	mG		Metaoficalciti	of''
	Serpentiniti di Case Bardane	SPV		Serpentiniti e serpentinoscisti	Se''		-	-
	-	-		-	-		-	-
Unità Gazzo-Isoverde	Meta-argilliti di Bessega	MBG	Unità Monte Gazzo-Isoverde	Metargilliti nere	Mn	Unità Gazzo -Isoverde	Argilloscisti neri	Mn
	Calcari di Lencisa	LEN		Calcari di Gallaneto	cG		Calcari di Lencisa	eN
	Calcari di Gallaneto	GLL		Gessi, anidriti e carniole	gc		Calcari di Gallaneto	cG
	Gessi del Rio Riasso	GSR		Calcari dolomiti del Monte Gazzo	dG		Gessi, anidriti e carniole	gc
	Dolomie del Monte Gazzo	MDG		-	-		Dolomie del Monte Gazzo	dG

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 22 di 68</p>

4.6 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 flyschoidi; Capponi & Crispini, 1997).

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

4.6.1 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  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00
	Foglio 23 di 68

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.

4.6.2 *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.

4.6.3 *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 	
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 <table border="1" style="float: right; margin-left: 20px;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Foglio 24 di 68</td> </tr> </table>	Foglio 24 di 68
Foglio 24 di 68		

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 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 <table border="1" style="float: right;"> <tr> <td>Foglio 25 di 68</td> </tr> </table>	Foglio 25 di 68
Foglio 25 di 68		

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

5 ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE LOCALE

Alla scala locale, l'area di intervento si colloca in una stretta fascia di contatto tra le unità Figogna a ESE, Cravasco-Voltaggio nel settore centrale e Gazzo-Isoverde a WNW.

Il settore compreso tra Isoverde e il Passo della Bocchetta costituisce una zona particolarmente importante a causa della sua complessità geologica. In questo settore affiora il contatto tra l'unità Figogna (*"Unità Timone - Bric Teiolo"* auct.), costituita prevalentemente da meta-argilliti e l'unità Gazzo-Isoverde, costituita in prevalenza da rocce carbonatiche, che ospita alcuni sistemi carsici di notevole interesse (cfr. § 5.3).

Verso nord, è presente anche il contatto tra l'unità Gazzo-Isoverde e l'unità Cravasco-Voltaggio, composta da rocce basiche e meta-argilliti.

La natura tettonica dei contatti tra le tre unità affioranti nell'area è chiara, in base ai numerosi lavori svolti nell'area, parte dei quali è citata in bibliografia. Da questi lavori, e dai rilievi geologici eseguiti nello specifico per il progetto AV/AC Milano-Genova, emerge chiaramente come i diversi contatti non possano essere definiti come superfici individuali, ma piuttosto come volumi rocciosi, o fasce, di potenza decametrico–ettometrica, che rappresentano zone di taglio duttile con struttura a scaglie tettoniche; queste zone di taglio inglobano litotipi provenienti dalle unità limitrofe e presentano quindi una notevole eterogeneità litologica.

Più in particolare l'unità Gazzo–Isoverde è separata verso S e SE dall'unità Figogna, attraverso una zona di taglio duttile o zona a scaglie a direzione circa WSW-ENE, con immersione verso SE nel settore di Isoverde, che ruota progressivamente fino ad orientarsi con direzione SSW-NNE e immersione verso ESE nel settore di Pietralavezzara.

Verso N la medesima unità Gazzo-Isoverde, è separata dall'unità Cravasco-Voltaggio da una zona di taglio duttile a scaglie del tutto analoga alla precedente, di cui rappresenta un ramo con diversa orientazione, che ha direzione media WSW-ENE e immersione verso SE.

Le due zone di taglio convergono fino a congiungersi nel settore a nord di Pietralavezzara, elidendo l'Unità Triassico–Liassica verso est.

Come detto in precedenza queste zone di taglio sono elementi deformativi di tipo duttile con riattivazioni o evoluzione in regime duttile-fragile e sono costituite da *miloniti* derivate dai litotipi originariamente appartenenti alle unità messe a contatto dalle zone di taglio stesse e da scaglie dei medesimi litotipi con minor grado di deformazione interna e parziale o totale preservazione delle strutture pre-milonitiche.

Vi prevalgono quindi meta-argilliti fortemente laminate, di aspetto filladico, derivate sia dalle meta-argilliti dell'unità Figogna, sia dalle meta-argilliti liassiche dell'unità Gazzo-Isoverde. Le scaglie (litoni), di dimensioni da decametriche a ettometriche, sono costituite da serpentinoscisti, gessi e carnioli, calcari e metabasalti laminati.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00	Foglio 26 di 68

Nel presente rapporto, per quanto riguarda le caratteristiche litologiche dei litotipi affioranti nell'area di intervento, si può fare riferimento alle descrizioni riportate nella parte generale (Capitolo 4), dal momento che i nuovi rilevamenti di dettaglio eseguiti nell'ambito del Progetto Esecutivo non hanno determinato particolari revisioni di tale aspetto. Per le tematiche geologico-strutturali si può invece fare riferimento ai paragrafi che seguono, dal momento che per questi aspetti i nuovi rilevamenti eseguiti hanno apportato nuove informazioni rilevanti ai fini della definizione geometrica tridimensionale dei diversi corpi geologici.

5.1 Assetto strutturale

5.1.1 Strutture duttili sin-metamorfiche

Nell'area compresa tra Cravasco e Isoverde, i litotipi delle diverse unità presentano una scistosità "S1" o un layering metamorfico associato a pieghe isoclinali sradicate o serrate (Figura 3 sinistra), che possono essere riferiti a una o più fasi deformative, verosimilmente coincidenti con la "fase D1" (Crispini & Capponi, 2001; Capponi et al., 2009; cfr. § 4.6.1). Talora, soprattutto nelle Dolomie del Monte Gazzo, sono tutt'ora preservate delle superfici litologiche primarie, evidenziate da strati con diversa colorazione, che nel presente rapporto sono stati indicati come S0. Una successiva fase deformativa ha prodotto il piegamento con stile da serrato a chiuso di questa scistosità principale (es.: Figura 3 destra). Alle pieghe serrate di questa fase è talora associato, nei litotipi più scistosi, lo sviluppo di una nuova foliazione di piano assiale (S2). Per contro nei litotipi maggiormente carbonatici o comunque non particolarmente scistosi non si sviluppa una nuova scistosità ma un clivaggio di piano assiale con spaziatura variabile (nel seguito sempre riferito come S2). Questo evento deformativo è verosimilmente riferibile alla fase deformativa D2 (Crispini & Capponi, 2001; cfr. § 4.6.1). A causa dello stile spesso da isoclinale a serrato delle pieghe D1 e D2, le superfici S1 e S2 formano sovente angoli di incidenza molto ridotti.



Figura 3 – Foto sinistra – Pieghe serrate a fianchi dritti (tipo 3 di Ramsay, 1967), riferibili alla fase deformativa D1 nei calcari di Voltaggio. Foto destra - Figure di interferenza tra pieghe isoclinali di fase D1 e pieghe chiuse di fase D2 nei calcari di Gallaneto dell'unità Cravasco-Isoverde.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 27 di 68

Le pieghe della fase deformativa D2 divengono più serrate e progressivamente più traspositive, fino a isoclinali e totalmente traspositive man mano che ci si avvicina alle fasce milonitiche (Figura 4). Questo fenomeno è particolarmente evidente per la fascia milonitica che separa l'Unità Monte Gazzo – Isoverde dall'Unità Timone – Bric Teiolo e sembrerebbe quindi indicare una co-geneticità delle pieghe D2 e delle miloniti. La scistosità all'interno delle fasce milonitiche dovrebbe quindi essere rappresentata da una $S2_{myl}$ ($S2$ milonitica), ad eccezione delle lenti o lioni meno deformati dove può essere preservata una scistosità $S1$ pervasivamente deformata da pieghe serrate relative alla fase deformativa D2.

In sintesi quindi lo sviluppo delle miloniti che separano l'unità Gazzo-Isoverde dall'unità Figogna può essere attribuito alla fase deformativa D2; è comunque certo che lo sviluppo di questi contatti sia precedente alla fase D3, poiché questa deforma le scistosità milonitiche.

Per le miloniti che separano l'unità Cravasco-Voltaggio dall'unità Gazzo-Isoverde, i rapporti con gli altri elementi deformativi sono meno chiari, tuttavia anche queste miloniti sono sicuramente precedenti rispetto alla fase D3, che le deforma visibilmente.



Figura 4 Foto sinistra – Pieghe da serrate a chiuse di fase D2 negli Argilloscisti neri dell'unità Cravasco Isoverde.
 Foto destra – Pieghe isoclinali traspositive di fase D2 negli Argilloscisti neri di una fascia milonitica duttile nella valle del Rio Gallaneto.

Sia la scistosità $S1$ preservata all'interno delle unità meno deformate, sia la scistosità $S2$ pervasiva all'interno delle fasce di miloniti, sono piegate da una successiva fase deformativa D3 a pieghe aperte, mediamente vergenti verso SW e con assi ad orientazione media SW-NE (cfr. Figura 11).

5.1.2 Strutture fragili post-metamorfiche

La fase deformativa D3, nell'area esaminata, è seguita dallo sviluppo di faglie, coerentemente con la transizione di questo settore di catena verso livelli crostali più superficiali.

Il sistema principale osservato in un intorno vasto dell'area di studio è costituito da strutture subverticali transpressive sinistre, con direzione da $N10^{\circ}E$ a $N30^{\circ}E$ (Figura 5); vi si associano fasce decametriche di breccie tettoniche e *gouge* all'interno dei litotipi più rigidi, quali serpentiniti (Figura 6), metabasalti e calcari dolomitici. Va comunque rilevato che nessuna struttura importante di questo tipo ricade direttamente nei dintorni del tracciato della Finestra Cravasco.

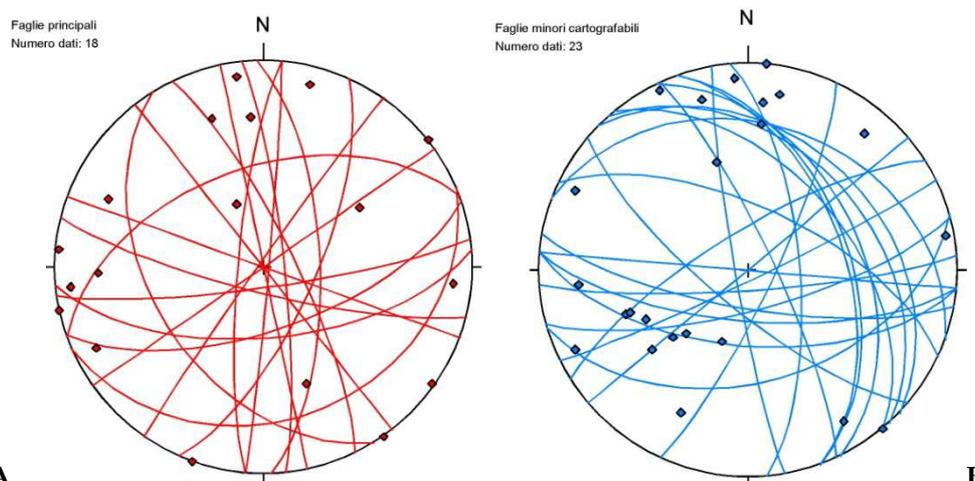


Figura 5 – Set di faglie cartografabili osservate nella zona di Cravasco-Isoverde. A: faglie principali (con potenza delle rocce di faglia superiore a 100 cm); B: faglie minori (con rocce di faglia di spessore centimetrico-decimetrico).

Proiezione equiareale di Schmidt, emisfero inferiore.



Figura 6 - Zona di deformazione cataclastica associata a una faglia di direzione circa N-S, cava di Pietra Cucco a N di Pietralavezzara.

All'interno degli argilloscisti e delle facies milonitiche la deformazione cataclastica sembra più circoscritta, probabilmente perché parte della deformazione fragile si scarica nell'ammasso attraverso la riattivazione delle superfici di scistosità. È probabile che in tali litofacies la

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00	Foglio 29 di 68

deformazione si esprima attraverso uno sciame di superfici discrete minori, con rocce di faglia di spessore al massimo decimetrico (Figura 7).



Figura 7 - Faglia all'interno degli argilloscisti nei dintorni di Case Noage (progressiva della Galleria di Valico 9+700 ca.). Si notino le superfici di movimento caratterizzate da gouge non coesivo.

Una fascia di deformazione cataclastica particolarmente importante, relativa a questo sistema N-S, ma la cui continuazione verso S non è definita, è localizzata nella zona immediatamente a E del Passo della Bocchetta e di Pietralavezzara.

Altri due sistemi di faglie circa E-W (direzioni N80°E e N110-120°E) sono presenti nella zona di studio (Figura 5). Essi sembrano post-datate il sistema N10-N30°E. Come quest'ultimo, sono all'origine di fasce di deformazione cataclastica di potenza metrico-decamentrica.

Al sistema di faglie E-W è riferibile un'importante struttura affiorante in superficie alla testata del bacino del Rio Rizzolo, presso il contatto tra le dolomie del M. Gazzo e i Calcari di Gallaneto, dove presenta una fascia di breccie tettoniche carbonatiche poco coesive di potenza decamentrica (Figura 8).

5.1.3 *Assetto strutturale a grande scala*

Alla grande scala le geometrie dei corpi geologici sono determinate principalmente dai fenomeni di piegamento sovrapposti e dai fenomeni di scollamento lungo le fasce di deformazione milonitica. Le deformazioni fragili sono poco rilevanti e in genere non dislocano in modo evidente i limiti litologici, se non in rari casi.

Al fine di comprendere lo sviluppo geometrico dei limiti geologici nell'area sarà opportuno iniziare a trattare gli effetti dei fenomeni di piegamento più recenti D3, procedendo poi verso quelli più antichi.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00	Foglio 30 di 68

Le pieghe D3 in genere deformano la scistosità con stile aperto ed hanno lunghezza d'onda di ordine pluri-decamentrico. I loro assi hanno generalmente direzione NE-SW, con immersione talora verso ovest, talora verso est a basso angolo; raramente si osservano anche assi a direzione circa E-W fino a ESE-WNW (Figura 9). I piani assiali immergono a basso medio angolo sia verso NW che verso nord, più raramente verso NNE. Si tratta quindi di pieghe con vergenza verso SE, S o SSW.

Alle pieghe della fase deformativa D3 sono associate spesso zone di taglio inverso a medio angolo con carattere fragile-duttile (cfr. § 4.6.2), le cui evidenze sono state osservate alla mesoscala in numerosi affioramenti, mentre in genere non affiorano strutture cartografabili a scala regionale. Queste zone di taglio sin-D3 potrebbero accomodare componenti di movimento transpressivo, con senso di accavallamento verso SW.



Figura 8 – Fascia di breccie tettoniche associate alla faglia E-W localizzata alla testata del Rio Rizzolo.

Le scistosità e piani assiali S2 hanno immersione variabile tra N90°E e N200°E (Figura 10 destra) con inclinazione variabile da basso ad alto angolo. La variazione di direzione di immersione è principalmente dovuta ad una progressiva rotazione della scistosità attorno al corpo rigido delle dolomie del Monte Gazzo; essa passa da immersione prevalente verso sud nel settore meridionale a immersione prevalente verso sud-est e est nel settore settentrionale. La variabilità dell'inclinazione è invece determinata principalmente dai piegamenti relativi alla fase deformativa D3.

Gli assi delle pieghe di fase D2 sono fortemente dispersi, principalmente a causa del loro carattere non cilindrico. La curvatura degli assi per effetto dello scarso cilindrisimo si coglie anche alla scala dell'affioramento, ove talora gli assi ruotano fino 70-80° pur rimanendo invariata la giacitura della foliazione di piano assiale S2. Si possono comunque individuare alcune direzioni di immersione preferenziali (Figura 11). In particolare le due direzioni prevalenti degli assi di piega D2 sono NE-SW ad angolo d'inclinazione da basso a medio sia verso NE che verso SW, e NW-SE ad angolo d'inclinazione da basso a medio verso SE.

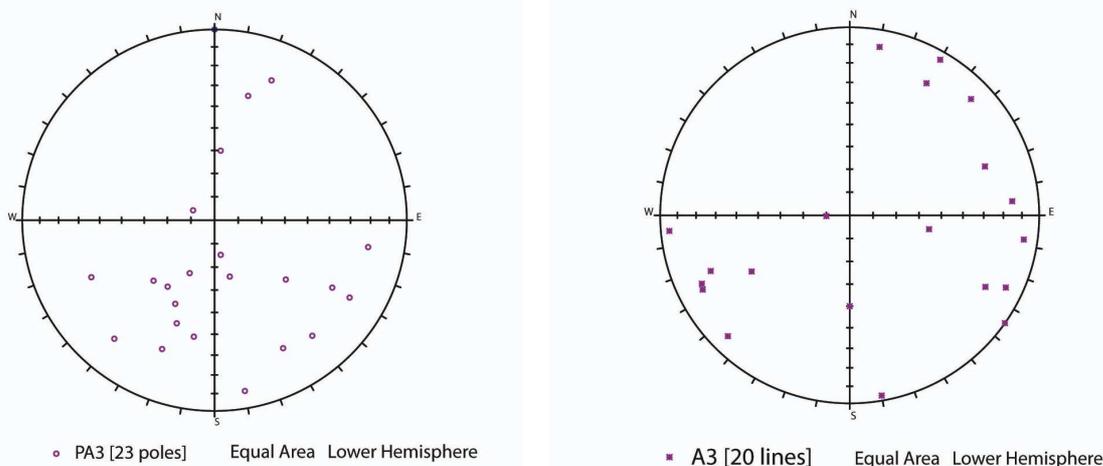


Figura 9 - Proiezione stereografica dei poli di piani assiali (PA3) e degli assi (A3) delle pieghe di fase D3 nell'area di Cravasco-Isoverde (reticolo di Schmidt, emisfero inferiore).

Le scistosità S1 presentano una forte dispersione (Figura 10 sinistra) sia nel quadrante NW che nel quadrante SE; ciò ovviamente è dovuto alla sovrapposizione delle due fasi di piegamento prima descritte. Anche in questo caso tuttavia, come per la S2, si osserva una variazione dell'immersione tra N90°E e N200°E, dovuta alla rotazione degli elementi strutturali attorno al corpo rigido costituito dalle dolomie del Gazzo. Nel caso della S1 sono però anche più frequenti i rovesciamenti verso N270°E e N360°E, principalmente determinati dalle pieghe di fase D2 e talora anche D3.

A grande scala la sovrapposizione delle varie fasi di deformazione determina geometrie complesse che comunque presentano alcuni tratti generali chiaramente riconoscibili. L'unità Gazzo-Isoverde immerge mediamente verso NE o ENE a medio-alto angolo al di sotto dell'Unità Figogna nel settore settentrionale dell'area studiata. Andando verso sud (Isoverde), come già precedentemente evidenziato, le superfici strutturali ruotano fino ad immergere verso S, probabilmente per assecondare la presenza del corpo rigido costituito dalle dolomie del Gazzo.

Le due unità sono separate da una fascia milonitica con struttura a scaglie, già citata in precedenza. La distribuzione dei fenomeni milonitici in questa fascia è molto eterogenea. Grossi spessori di miloniti si sviluppano soprattutto a carico degli Scisti filladici del Monte Larvego, nel settore più orientale dell'area studiata, in prossimità del contatto con l'unità Figogna. Questi scisti sono praticamente sempre dei litotipi milonitizzati, con intensità della deformazione comunque molto variabile; le miloniti derivate dagli scisti filladici in alcuni settori possono raggiungere potenze dell'ordine dei 200m senza che al loro interno compaiano evidenti scaglie non milonitiche.

Sul bordo ovest della fascia di deformazione duttile le miloniti si sviluppano invece principalmente a carico delle Meta-argilliti di Bessega; anche in questo caso le rocce milonitizzate possono presentare spessori piuttosto consistenti, dell'ordine dei 50-100m senza che siano presenti evidenti intercalazioni di scaglie non milonitiche.

Longitudinalmente, lungo il loro sviluppo in pianta le fasce milonitiche, soprattutto quelle sviluppate a carico delle Meta-argilliti di Bessega, presentano forti variazioni di spessore e talora si riducono a

semplici piani di scorrimento di spessore metrico o pluri-metrico che separano scaglie meno deformate di spessore pluri-decametrico.

Il contatto milonitico tra le due unità, sviluppatosi in fase deformativa D2, è quasi ovunque più o meno intensamente deformato dalla pieghe relative alla fase D3 che ne determinano verticalizzazioni e localmente anche rovesciamenti. Come è stato illustrato all'inizio del presente paragrafo gli elementi strutturali riferibili alla fase D3 presentano una dispersione delle orientazioni piuttosto elevata, pur trattandosi di elementi relativi all'ultima fase deformativa chiaramente osservabile nell'area. Ciò è verosimilmente dovuto al fatto che quest'area compresa estesa nell'intorno del corpo rigido delle Dolomie del monte Gazzo, che all'epoca di sviluppo della fase deformativa D3 disponeva già di una sua strutturazione pregressa derivante dalle fasi di piegamento e taglio duttile precedenti. La progressiva rotazione della direzione delle scistosità attorno al corpo di dolomie, da circa E-W a circa N-S procedendo da Isoverde verso il Passo della Bocchetta è ereditata dalle fasi deformative antecedenti la fase D3 (verosimilmente di fase D2). Su questa strutturazione geometrica le pieghe aperte D3 si sono sviluppate con orientazione variabile, e in modo più armonico nel settore nord (alto bacino del Rio Gallaneto) ove hanno assi ad orientazione preferenzialmente NE-SW e in modo più disarmonico e discontinuo nel settore sud, dove prevalgono gli assi con direzioni circa E-W.

Le strutture plicative a stile da aperto a chiuso visibili sul profilo geologico longitudinale della Finestra Cravasco a nord-est del Rio Gallaneto sono delle pieghe di fase D3. Il loro stile apparentemente varia procedendo da sud-ovest a nord-est, ma ciò è determinato esclusivamente dalla variazione di orientazione del tracciato della finestra (curva). Nel medesimo profilo, il settore a limiti litologici chiusi posto all'incirca sotto il corso del Rio Gallaneto è sempre legato a pieghe di fase D3 intersecate in curva, per cui i loro assi vengono tagliati due volte dal profilo.

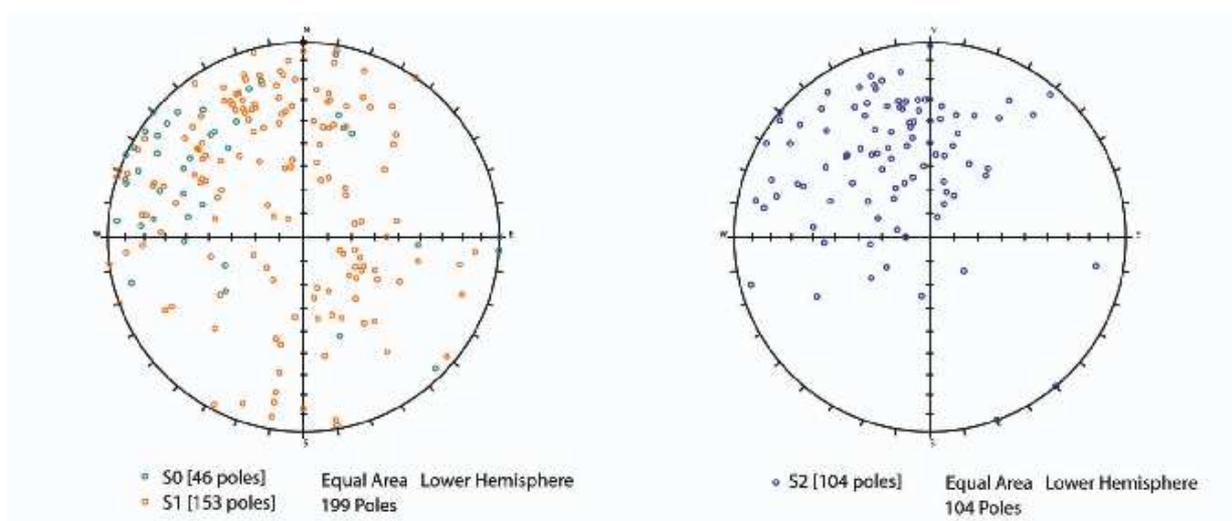


Figura 10 - Proiezione stereografica dei poli delle scistosità S1 e S2 nell'area di Cravasco-Isoverde (reticolo di Schmidt, emisfero inferiore); nel diagramma di sinistra sono state incluse anche le scistosità S0 misurate nelle Dolomie del Monte Gazzo.

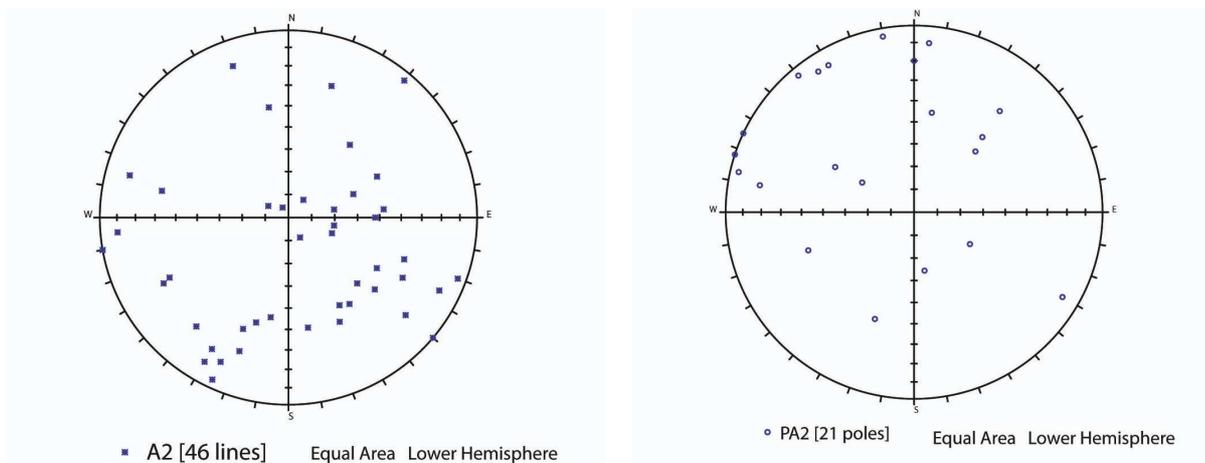


Figura 11 - Proiezione stereografica degli assi di piega (A2) e dei poli di piani assiali (PA2) relativi alla fase D2 nell'area di Cravasco–Isoverde (reticolo di Schmidt, emisfero inferiore).

Il profilo geologico previsionale della finestra evidenzia anche la presenza di una struttura plicativa importante in sponda destra orografica del Rio Gallaneto, costituita da una coppia sinforme-antiforme a scala pluri-decаметrica. Questa struttura plicativa, con nucleo nei calcari di Gallaneto è sostanzialmente l'unica struttura plicativa rilevante a grande scala osservabile nell'area di interesse ed è un elemento strutturale relativo alla fase deformativa D2. Come visibile nel profilo essa deforma, con una serie di pieghe parassite il limite tra i calcari di Gallaneto e le dolomie del Monte Gazzo lungo il suo fianco occidentale. Peraltro alcune di queste pieghe parassite sono chiaramente osservabili in affioramento (es. cava inferiore nei calcari dolomitici di Isoverde in sponda destra del Rio Verde).

5.2 Caratteri litologici delle facies milonitiche della zona di Isoverde

Dal punto di vista litologico, le **fasce milonitiche** che costituiscono le zone di taglio duttile relative alla fase deformativa D2 sono molto eterogenee; quantitativamente, sono in gran parte costituite da meta-argilliti (Scisti filladici del Monte Larvego) milonitizzate, che rispetto alle meta-argilliti non milonitiche presentano strutture di piegamento fortemente trasposte, talora completamente elise, cui si associa una nuova foliazione che spesso oblitera completamente il fabric pre-milonitico.

L'effetto della deformazione milonitica non induce un evidente cambiamento nell'aspetto generale delle meta-argilliti, che già originariamente sono litotipi con scistosità molto pervasiva. All'interno delle fasce milonitiche sono però più frequenti facies di aspetto tegulare (filloniti), con scistosità definita da un layering metamorfico sub-millimetrico all'interno del quale sono visibili rarissime pieghe intrafoliali alla mesoscala (Figura 12 sinistra). Il carattere maggiormente distintivo è rappresentato dalla sporadica presenza di livelletti o lenti centimetrico-decimetriche di serpentinoscisti o di metabasiti scistose.

All'interno delle miloniti sono molto frequenti lenti (litoni) decametriche di litotipi più competenti delle meta-argilliti, la cui distribuzione è del tutto casuale; si riconoscono litotipi carbonatici (riferibili sia ai Calcari di Gallaneto sia ai Calcari di Voltaggio), evaporitici (anidriti, gessi e carniolate della formazione

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00	Foglio 34 di 68

del Rio Riasso) o basici-ultrabasici (metabasalti, serpentiniti, ecc.), come testimoniato sia da osservazioni di superficie che dai sondaggi eseguiti all'interno della zona milonitica. Di questi litoni decametrico-ettometrici fanno parte le numerose lenti di gesso che sono state in passato oggetto di coltivazione nella zona di Isoverde (cfr. § 4.1.2a).



Figura 12 – Foto sinistra – facies milonitica (filloniti) degli Scisti filladici del Monte Larvego; si noti la pervasività della foliazione che presenta una partizione planare millimetrico-sub-millimetrica. Foto destra – facies milonitica delle Meta-argilliti di Bessega; anche in questo caso si nota una scistosità estremamente pervasiva.

All'interno delle fasce milonitiche sono stati distinti cartograficamente i litoni di maggiori dimensioni tra cui lenti ettometriche di meta-argilliti nere milonitizzate di pertinenza dell'unità Gazzo-Isoverde e di metabasalti milonitici di provenienza incerta (Cravasco-Voltaggio o Figogna).

Le meta-argilliti nere (meta-argilliti di Bessega) milonitizzate sono simili ai litotipi indeformati seppur presentino una scistosità più pervasiva (Figura 12 destra) e una sostanziale assenza di pieghe relative alla fase D2. Al loro interno sono piuttosto frequenti livelli di serpentinoscisti, che ne attestano il carattere milonitico, trattandosi di elementi alloctoni in questo tipo di rocce. Non è escluso dunque che all'interno di queste meta-argilliti nere milonitiche si trovino lenti di meta-argilliti provenienti dalle altre unità.

Anche le serpentiniti sono sovente coinvolte nella deformazione milonitica ed assumono un aspetto estremamente scistoso con tipica struttura a clivaggi anastomosati (Figura 13).

I metabasalti milonitici presentano un layering millimetrico-centimetrico dato da livelli più o meno feldspatici, con tipica struttura flaser. Inoltre sono estremamente frequenti livelli carbonatici o carbonatico-anfibolici. Rispetto alle facies di metabasiti non milonitiche, queste rocce mostrano una lineazione di stiramento più marcata e abbondanti livelli scistosi anfibolico-micacei.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 35 di 68



Figura 13 – Foto sinistra – facies milonitica sviluppata in litotipi serpentinitici, con presenza di clivaggi anastomosati. Foto destra – facies milonitica sviluppata a carico di litotipi serpentinitici caratterizzata da foliazione fortemente pervasiva.

5.3 Carsismo

Nell'areale interessato dal tracciato della linea AC/AV Milano-Genova e principalmente all'interno dell'unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde sono presenti formazioni di rocce carbonatiche nelle quali si sono sviluppati fenomeni carsici di un certo rilievo. Questa unità, pur mantenendo una continuità spaziale tra Sestri Ponente e Isoverde, è strutturata, a scala regionale, in tre corpi principali affioranti nella zona del M. Gazzo, nella zona del M. Torbi e nella zona di Isoverde.

All'interno di questi corpi carbonatici principali è presente un carsismo piuttosto consistente, tale da permettere di individuare tre sistemi carsici indipendenti, definiti dal Catasto delle grotte e delle aree carsiche della Regione Liguria (<http://www.catastogrotte.net>):

- GE33 - Monte Gazzo,
- GE34 - Alta Val Chiaravagna,
- GE35 – Isoverde

5.3.1 *Complesso carsico del Monte Gazzo*

Le evidenze di carsismo note nel settore del M. Gazzo, in molti casi venute alla luce in seguito ai lavori di coltivazione delle cave e allo scavo del collegamento ferroviario tra il porto di Voltri e la linea del III Valico, presentano un andamento prevalentemente verticale, essendo impostate su strutture tettoniche subverticali. All'interno di questo corpo carbonatico non sono conosciuti sistemi freatici né corsi d'acqua importanti. Il carsismo sotterraneo, spesso senile o fossile, è caratterizzato da cavità sovente riempite da depositi chimici secondari in svariate forme. Le acque drenate dal sistema fuoriescono probabilmente lungo l'alveo del rio Bianchetta.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 286"> <tr> <td>Foglio 36 di 68</td> </tr> </table>	Foglio 36 di 68
Foglio 36 di 68		

5.3.2 *Complesso carsico dell'alta Val Chiaravagna*

Spostandosi verso nord, il sistema carsico dell'alta Val Chiaravagna si sviluppa lungo uno stretto affioramento di dolomie cristalline, fortemente allungato in direzione N-S e confinato ai lati da metaofioliti. Le cavità sono generalmente verticali, impostate su strutture tettoniche, mentre non sono conosciute grotte al livello di base. In questo sistema, nei pressi del paese di San Pietro ai Prati, si apre la grotta più profonda della provincia di Genova, il Buranco de Strie, che si sviluppa verticalmente per 130 metri nei pressi del contatto tra i calcari e le serpentiniti dell'unità tettonometamorfica Palmaro-Caffarella. Il fondo della grotta è costituito da una frattura verticale caratterizzata dalla presenza depositi fangosi.

5.3.3 *Complesso carsico di Isoverde*

L'unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde è caratterizzata dalla presenza di formazioni di rocce carbonatiche con evidenze di fenomeni carsici di un certo rilievo, che costituiscono il principale sistema carsico tra quelli censiti nel catasto grotte della Regione Liguria (www.catastogrotte.net).

Il complesso carsico più importante della zona si sviluppa all'interno del Monte Carmelo, dove sono presenti diverse grotte, cavità e corsi d'acqua sotterranei che si sviluppano all'interno di condotte e cunicoli, tuttavia i limiti del bacino idrogeologico complessivo sono ad oggi ancora poco conosciuti.

Allo stato attuale sul M. Carmelo sono note dodici grotte, per uno sviluppo totale di circa 1000 m; altre cinque cavità erano situate all'interno dell'area di coltivazione della cava di Cravasco e sono state distrutte dai lavori.

La cavità principale, la Grotta di Isoverde, è la più estesa della Provincia di Genova, con uno sviluppo di 700 m ca.; al suo interno sono presenti due corsi d'acqua indipendenti, impostati su una serie di fratture parallele, con direzione circa SW-NE, collegate da corti cunicoli di origine freatica; questi due corsi d'acqua hanno origine e portate diverse e sono facilmente caratterizzabili dal punto di vista idrochimico.

Un terzo corso d'acqua è presente all'interno della Voragine del Buran, cavità che si apre con un pozzo a cielo aperto nei pressi del Rio Gallaneto e che si sviluppa al contatto tra i Calcari di Gallaneto e le meta-argilliti, al di sotto del rio stesso.

I tre corsi d'acqua citati hanno relazioni reciproche soltanto ipotizzate, ma non accertate.

Anche la principale grotta conosciuta alle pendici del M. Carlo, l'Abisso Lidenbrok, è attraversata da un corso d'acqua che finisce probabilmente nella Grotta di Isoverde (ramo Quaglia), come attestato da una prova di tracciamento effettuata dagli speleologi nel 1975.

Il sistema carsico di Isoverde possiede una sola risorgenza conosciuta, quella detta dei Buggi (i Buxi), situata lungo il corso del Rio di Iso alla quota di 220 m.

Le cavità presenti alla sommità del massiccio del M. Carmelo sono invece di origine tettonica, impostate su superfici di faglia; la principale di queste, denominata Pozzo Giovanni, è percorribile per un dislivello di oltre 40 m.

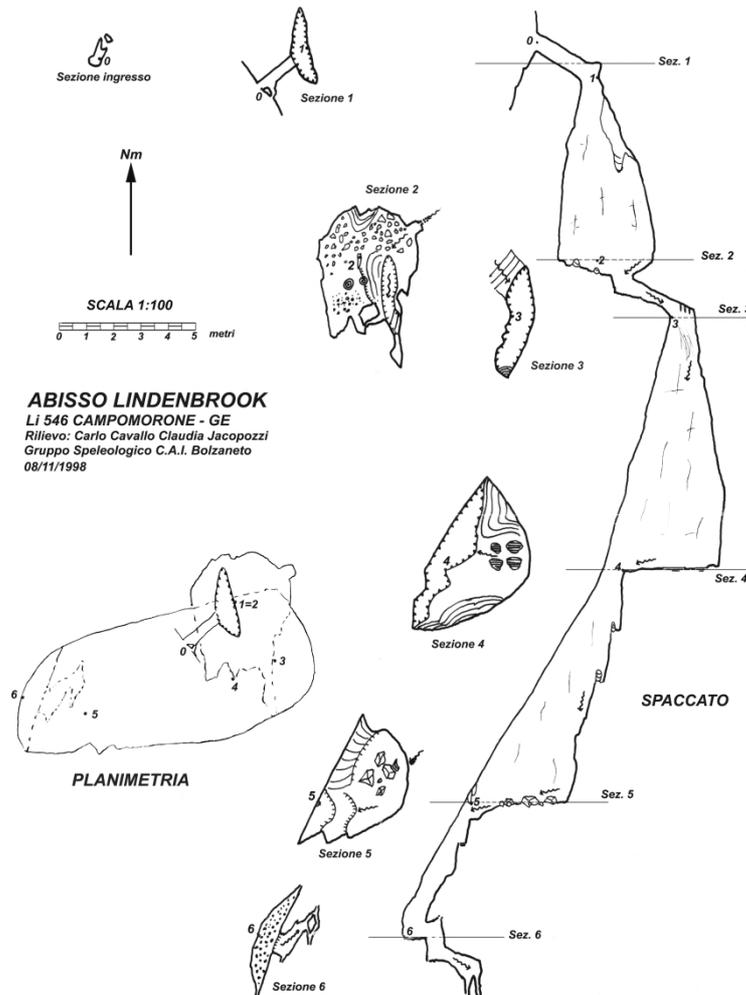
GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 37 di 68

Di seguito sono riportate le principali caratteristiche geometriche delle cavità carsiche censite negli immediati dintorni dell'abitato di Isoverde, estratte dal database speleologico ligure. Ove disponibili, sono riportati anche i rilievi topografici eseguiti.

nome:		
GROTTA INFERIORE DI ISOVERDE, GROTTA NUOVA DI ISO		n° catasto: 120
Coordinate Gauss Boaga:	4931094N – 1489460E	Quota altimetrica: 250
Sviluppo reale: -	Sviluppo planimetrico: -	Estensione: -
Dislivello positivo: -	Dislivello negativo: -	Dislivello totale: -
Note: scomparsa		

nome:		
GROTTA SOFFIANTE DI ISOVERDE		n° catasto: 338
Coordinate Gauss Boaga:	4931091N – 1489366E	Quota altimetrica: 226.9
Sviluppo reale: 5.1	Sviluppo planimetrico: 4.6	Estensione: 4.8
Dislivello positivo: 1.8	Dislivello negativo: 0	Dislivello totale: 1.8

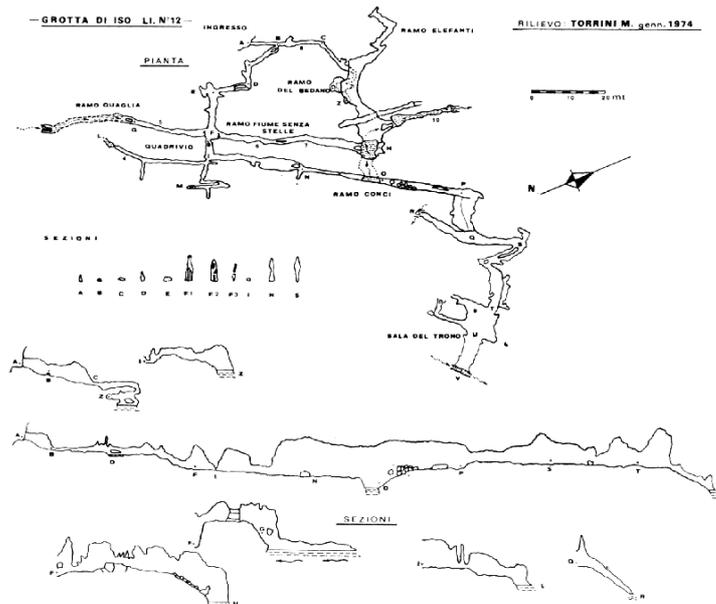
nome:					
ABISSO LINDENBROOK		n° catasto:	546		
Coordinate Gauss Boaga:		4931490N – 1489306E	Quota altimetrica:	305	
Sviluppo reale:	38.5	Sviluppo planimetrico:	14.6	Estensione:	12
Dislivello positivo:	0	Dislivello negativo:	-34	Dislivello totale:	34



fonte: <http://www.catastogrotte.net>

Figura 14 – Sistema carsico di Isoverde, Abisso Lindenbrook. Planimetria e sezioni.

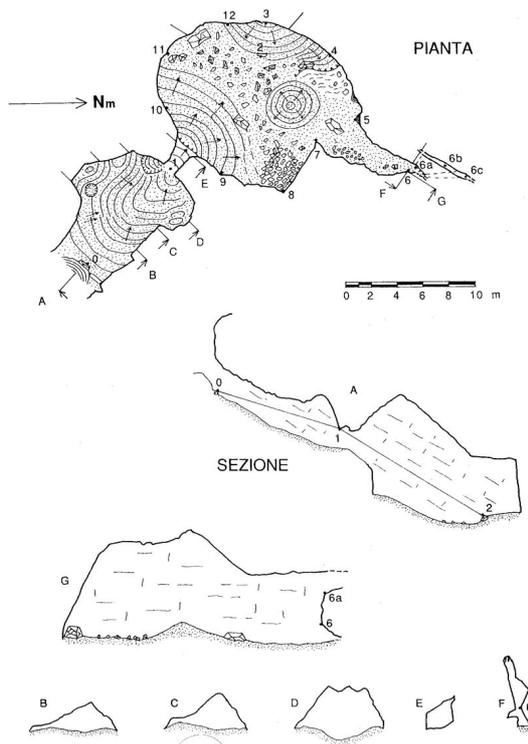
nome:		
GROTTA DI ISO (GROTTA AGNOLETTO)		n° catasto:
Coordinate Gauss Boaga:	4931120N - 1489354E	Quota altimetrica: 239.3
Sviluppo reale: 580.95	Sviluppo planimetrico: 525	Estensione:
Dislivello positivo: 9.63	Dislivello negativo: -12	Dislivello totale: 21.63



fonte: <http://www.catastogrotte.net>

Figura 15 – Sistema carsico di Isoverde, Grotta di Iso. Planimetria e sezioni.

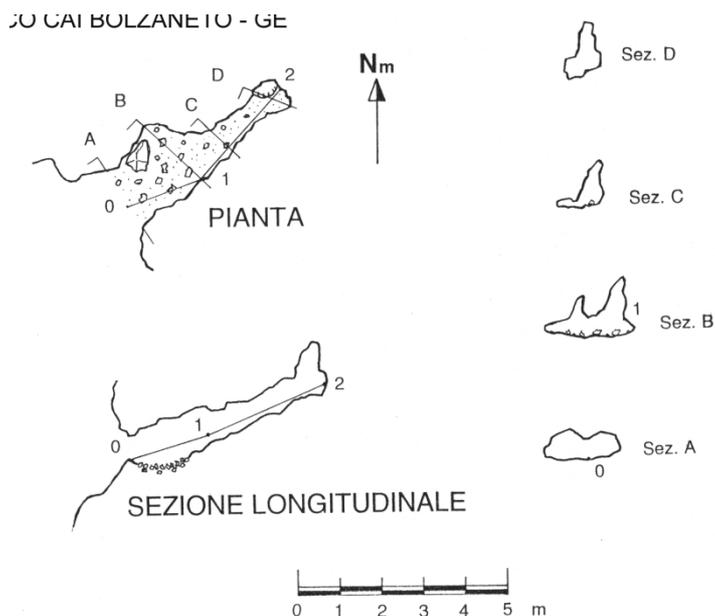
nome:		
GROTTA DEL DRAGO, TANNA DO DRAGO		n° catasto: 10
Coordinate Gauss Boaga: 4931153N – 1489270E		Quota altimetrica: 305
Sviluppo reale: 44.2	Sviluppo planimetrico: 39.5	Estensione: 32
Dislivello positivo: 0	Dislivello negativo: -12	Dislivello totale: 12



fonte: <http://www.catastogrotte.net>

Figura 16 – Sistema carsico di Isoverde, Grotta del Drago. Planimetria e sezioni.

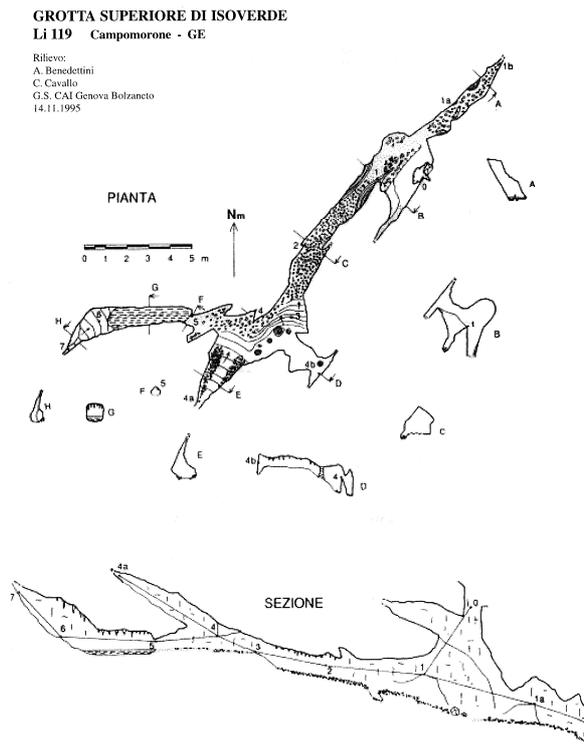
nome:		
GROTTA DELLA STREGA		n° catasto: 901
Coordinate Gauss Boaga: 4931105N – 1489382E		Quota altimetrica: 230.9
Sviluppo reale: 5.1	Sviluppo planimetrico: 4.6	Estensione: 4.8
Dislivello positivo: 1.8	Dislivello negativo: 0	Dislivello totale: 1.8



fonte: <http://www.catastogrotte.net>

Figura 17 – Sistema carsico di Isoverde, Grotta della Strega. Planimetria e sezioni.

nome:		
GROTTA SUPERIORE DI ISOVERDE		n° catasto: 119
Coordinate Gauss Boaga: 4931158N – 1489296E		Quota altimetrica: 239.3
Sviluppo reale: 41.5	Sviluppo planimetrico: 37.6	Estensione: 24.7
Dislivello positivo: 1.7	Dislivello negativo: -6.2	Dislivello totale: 7.9



fonte: <http://www.catastogrotte.net>

Figura 18 – Sistema carsico di Isoverde, Grotta superiore di Isoverde. Planimetria e sezioni.

6 INDAGINI GEOGNOSTICHE

I sondaggi realizzati nelle varie fasi progettuali nell'ambito dell'opera in esame, compresi quelli realizzati nella zona delle gallerie di linea nei pressi del camerone di innesto della finestra, nelle sue diverse posizioni ipotizzate nelle fasi di sviluppo del progetto, sono i seguenti:

- AA301G059 (PP)
- SF12 (PD)
- L2-CR1 (PE)
- L2-CR1bis (PE)
- L2-CR2 (PE)
- L2-CR3 (PE)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 43 di 68</p>

- L2-CR4 (PE)
- L2-CR5 (PE)

Le stratigrafie dei sondaggi disponibili sono state analizzate in dettaglio allo scopo di ricostruire l'assetto geologico del settore interessato dalla WBS in esame; i risultati di questa analisi sono sintetizzati nei profili di progetto allegati al presente rapporto.

Per i dettagli inerenti le singole stratigrafie, si rimanda ai documenti disponibili, prodotti dalle ditte incaricate dell'esecuzione delle indagini.

Nel seguito si riporta una sintesi dei dati principali di ciascun sondaggio utilizzati per l'elaborazione del modello geologico – idrogeologico della WBS in oggetto

6.1 Sondaggi del Progetto Preliminare (anno 2001)

6.1.1 AA301G059

- Località Isoverde (Comune di Campomorone), all'interno del piazzale della prima cava abbandonata presente lungo la strada che da Isoverde porta a Cravasco, quota 270 m circa.
- Date esecuzione: dal 13/11/2001 al 21/11/2001.
- Sondaggio verticale completamente carotato, profondità 50 m.
- Unità attraversata: Dolomie del Monte Gazzo (dG). Non è disponibile la documentazione fotografica. I dati disponibili sono costituiti dal file .st6 della stratigrafia del sondaggio che riporta la seguente descrizione: da bocca foro verso il basso:
 - Da 0 a 2,0 m: sabbia medio-grossa grigia con frammenti di materiale di riporto e roccia frantumata.
 - Da 2,0 a 5,0 m: detrito di cava, frammenti angolosi di calcare metamorfico grigio con sabbia medio-fine grigia.
 - Da 5,0 a 15,0 m: Calcare metamorfico dolomitico grigio chiaro, struttura compatta. Presenti ossidazioni e patine marrone chiaro. Dove la roccia è più fratturata e alterata c'è presenza di limo-argilloso marrone nocciola. Presenti concrezioni calcaree con spessore max. di 3-4 mm.
 - Da 15,0 a 25,0 m: Calcare metamorfico dolomitico , grigio chiaro. Da 17,30-20,00 è molto fratturato con presenza di limo arancione tra le fratture.
 - Da 25,0 m a 30,0 m: Calcare metamorfico dolomitico grigio chiaro molto fratturato (frantumato).
 - Da 30,0 a 45,0 m: Calcare metamorfico dolomitico debolmente alterato e fratturato alternato a livelli da 31,0-32,5 , da 36,50-37,0 e 42,0-43,0 di breccia dolomitica vacuolare con cristalli da bianchi a gialli e rosati mediamente alterata a cementazione

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00</p> <p>Foglio 44 di 68</p>

carbonatica. Presenza di limo argilloso marrone nocciola tra le fratture e di concrezioni calcaree da riempimento fratture a tratti alterate di colore giallo.

- Da 45,0 a 50,0 m: Calcare metamorfico dolomitico poco fratturato e compatto. Presenti venature di calcite, spessore max 1-2 mm con andamento irregolare e deboli patine di ossidazione marroni.
- Nel sondaggio sono state realizzate n° 4 prove di permeabilità tipo Lugeon a diversi intervalli di profondità:
 - Prova nr 1. da 12,5 a 14,0 m.
 - Prova nr 2. da 17,5 a 19,0 m.
 - Prova nr 3. da 21,0 a 24,0 m
 - Prova nr 4. da 31,5 a 33,0 m.
- Nel sondaggio sono state inoltre eseguite n° 3 prove dilatometriche, alle seguenti profondità:
 - Prova nr 1: 31,5 m.
 - Prova nr 2: 23,5 m.
 - Prova nr 3: 20,5 m
- Il sondaggio è stato attrezzato con due piezometri tipo Casagrande alle profondità di 25,0 m e 30,0 m.

6.2 Sondaggi del Progetto Definitivo (anno 2004)

6.2.1 SF12

- Località Isoverde (Comune di Campomorone), all'interno del piazzale di cava abbandonata presente lungo la strada che da Isoverde porta a Cravasco, circa 80 m a Ovest del previsto imbocco della Finestra Cravasco, quota 292,7 m.
- Date esecuzione: dal 14/05/2004 al 21/05/2004.
- Sondaggio verticale completamente a distruzione di nucleo, profondità 85 m.
- Il sondaggio è stato attrezzato con un piezometro a tubo aperto da 3" a fondo foro.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00</p> <p>Foglio 45 di 68</p>

6.3 Sondaggi del Progetto Esecutivo (anno 2014)

6.3.1 L2-CR1

- Località Isoverde (Comune di Campomorone), all'interno del piazzale della prima cava abbandonata presente lungo la strada che da Isoverde porta a Cravasco, quota 265 m circa.
- Date esecuzione: dal 13/5/2014 al 17/7/2014.
- Completamente carotato.
- Il sondaggio è stato realizzato con geometria suborizzontale nell'intento di raggiungere il tracciato della Finestra Cravasco all'altezza della progressiva 300 m circa. Al termine della perforazione è stata eseguita la misura della geometria del foro con i seguenti risultati:
 - Lunghezza 246 m;
 - Azimut a bocca foro: N98°E;
 - Azimut medio rilevato N78°E (valutabile solo oltre i 77 m di lunghezza per la presenza, nella tratta precedente, del rivestimento metallico);
 - Inclinazione media 86°,6 dalla verticale a partire dal basso (-3°,4 rispetto all'orizzontale).
- Con questa geometria, considerando la deviazione di 20° dall'azimut iniziale a quello misurato oltre i 77 m di lunghezza, il sondaggio avrebbe intersecato l'asse di progetto della Finestra Cravasco a circa 180 m di lunghezza ed in corrispondenza della progressiva 240 m circa della Finestra, sottopassando la quota dell'arco rovescio con un dislivello di circa 10 m.
- Unità attraversata: da 0 a 246 m Dolomie del Monte Gazzo (dG). La roccia, di colore grigio, si presenta da fratturata a molto fratturata, localmente alterata o con presenza di materiale giallastro di ossidazione, più probabilmente, di residuo da dissoluzione (tratta 33 – 50 m e 57 – 70 m). Le fratture presentano in genere segni di carsificazione con apertura e rivestimento di minute ricristallizzazioni carbonatiche. Presenza di zone cataclastiche con breccie a matrice fine dilavate dal carotaggio (da 212 a 215, da 244,5 a 246) e locali livelli pelitici nerastrati di spessore decimetrico (201,30 – 201,70). La foliazione, ove riconoscibile (a 17 m, 29 m, 32-33 m, 61.62 m), è subparallela all'asse del sondaggio.
- Durante la perforazione si sono verificate significative venute d'acqua in corrispondenza delle seguenti profondità:
 - da 60 m con portata di circa 140 l/min;
 - a circa 176 m con portata di 600-800 l/min;
- Il sondaggio è stato attrezzato con piezometro a tubo aperto in acciaio zincato da 1"1/4, fessurato tra 167 e 200 m, con dispositivo di chiusura a bocca foro dotato di manometro e rubinetto.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 46 di 68</p>

6.3.2 L2-CR1bis

- Località Isoverde (Comune di Campomorone), quota 336 m circa, in asse al tracciato della Finestra Cravasco (soluzione 4), all'altezza della progressiva 0+400.
- Date esecuzione: dal 02/10/2014 al 05/11/2014.
- Sondaggio inclinato di circa 10° rispetto alla verticale, profondità 90 m, a distruzione di nucleo da 0 a 25 m di profondità, carotato da 25 m a 90 m.
- Unità attraversate: Argiloscisti Neri (Mn) e Calcari di Gallaneto (cG) dell'unità Gazzo-Isoverde, .
 - Da 0 a 25,0 m: tratto a distruzione di nucleo;
 - Da 25,0 a 40,0 m: Calcari di Gallaneto (cG) con diffuse tracce di alterazione dei livelli scistosi e carsificazione dei livelli più carbonatici, localmente molto fratturati.
 - Da 40,0 a 50,0 m: argiloscisti con numerosi livelli carbonatici di spessore da pluricentimetrico a pluridecimetrico (Mn), diffusamente alterati e fratturati.
 - Da 50,0 a 90,0 m: Calcari di Gallaneto da moderatamente a poco fratturati, con locali livelli prevalentemente scistosi, in particolare nelle tratte 50-56, 66,5-67 e 82,9-90. Tracce di alterazione dei livelli scistosi più superficiali, tra 50,0 e 56,0 m e tra 66,5 e 67,0 m.

6.3.3 L2-CR2

- Località Isoverde (Comune di Campomorone), Via Caduti di Isoverde, quota 284 m circa, 188 m a Sud del tracciato della Finestra Cravasco (soluzione 4), all'altezza della progressiva 0+715. Rispetto al tracciato della galleria di linea III° Valico (binario Pari) si trova ad una distanza di 195 m verso Ovest-NordOvest all'altezza della progressiva 9+400 circa.
- Date esecuzione: dal 19/03/2014 al 24/03/2014.
- Sondaggio verticale, profondità 65 m, completamente carotato.
- Attrezzato con piezometro a tubo aperto in PVC da 2", fessurato tra 55 e 65 m da b.f.
- Unità attraversata: Argiloscisti Neri (Mn) dell'unità Gazzo-Isoverde, Argiloscisti filladici (f) e Serpentinoscisti (Se") dell'unità Cravasco Voltaggio.
 - Da 0 a 3,2 m: Depositi colluviali sabbioso-limosi (c);
 - Da 3,2 a 62,0 m: argiloscisti con vene e noduli di calcite, con numerosi livelli carbonatici di spessore da pluricentimetrico a pluridecimetrico (Mn e f)
 - Da 62,0 a 65,0: metabasiti compatte con tessitura scistosa (Se").
- Presenza di fasce cataclastiche con gouge a matrice argillosa, di spessore decimetrico, alle profondità 36,7-37,0 m; 38,0-38,3 m; 53,9-54,0 m

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 47 di 68</p>

- Nel sondaggio sono state realizzate n° 3 prove di permeabilità tipo Lugeon a diversi intervalli di profondità:
 - Prova nr 1. da 44,6 a 47,6 m.
 - Prova nr 2. da 50,6 a 53,7 m.
 - Prova nr 3. da 60,6 a 65 m.

6.3.4 L2-CR3

- Località Isoverde (Comune di Campomorone), Via Caduti di Isoverde, quota 348 m circa. Rispetto al tracciato della galleria di linea III° Valico (binario Pari) si trova ad una distanza di 11 m verso Est-SudEst all'altezza della progressiva 9+875 circa. Rispetto al tracciato della Finestra Cravasco, soluzione 4, si trova all'altezza della pk 1+220 circa (proiettato parallelamente alla direzione della faglia posta poco a nord della sua posizione), ad una distanza di circa 75 m.
- Date esecuzione: dal 04/02/2104 al 17/03/2014.
- Sondaggio verticale, profondità 180 m, completamente carotato.
- Unità attraversate: Argillocisti filladici (f) dell'unità Cravasco Voltaggio e Argillocisti Neri (Mn) dell'unità Gazzo-Isoverde
 - Da 0 a 2,2 m: Terreno di riporto e depositi colluviali ghiaiosi in matrice sabbioso-limosa (c);
 - Da 2,2 a 3,0 m: argillocisti alterati
 - Da 3,0 a 125 m circa: Argillocisti con vene e noduli di calcite (f),
 - Da 125 a 180 m, Argillocisti e argillocisti carbonatici con vene e noduli di calcite con livelli carbonatici di spessore da pluricentimetrico a pluridecimetrico (Mn)
- Presenza di roccia fortemente alterata e fasce cataclastiche con roccia molto fratturata e gouge a matrice argillosa di spessore decimetrico, alle profondità 9,35 a 9,80 m; 16,0-16,6 m; 24,5-27,0 m; 48,8-49,0 m; 92,0-97,2 m; 109,5-110,0 m; 142,2-143,8 m; 151,5-154,5 m; 173,6-173,8 m; 175,0-175,5 m. La tratta compresa tra 92 e 97 m circa è stata interpretata come una struttura di faglia principale.
- Nel sondaggio sono state realizzate n° 4 prove di permeabilità tipo Lugeon a diversi intervalli di profondità:
 - Prova nr 1. da 102,5 a 105,00 m.
 - Prova nr 2. da 133,0 a 136,0 m.
 - Prova nr 3. da 151,5 a 154,5 m.
 - Prova nr 4. da 166,5 a 170,0 m.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 48 di 68

- Nel sondaggio sono state inoltre eseguite n° 2 prove di fratturazione idraulica:
 - HF 1 a 147 m di profondità, giacitura frattura circa 166/72,
 - HF2 a 131,5 m di profondità, giacitura frattura circa 152/63

La giacitura delle fratture individuata dalle prove ha una buona corrispondenza con le misure medie della foliazione degli argilloscisti rilevate nell'area del sondaggio. L'orientazione delle componenti principali dello stress determinate dalle prove è per S1 N325°E (+/- 20° circa) e per S2 N54E (+/-20°circa). Entrambe le componenti S1 ed S2 sono orizzontali. La componente verticale S3 è la minore. Il valore del rapporto K_0 è variabile a seconda della direzione orizzontale considerata da un minimo di circa 1,1 ad un massimo di 2,3.

6.3.5 L2-CR4

- Località Pietralavezzara (Comune di Campomorone), quota 425 m circa. Rispetto al tracciato della galleria di linea III° Valico (binario Pari) si trova ad una distanza di 53 m verso Ovest-NordOvest all'altezza della progressiva 10+090 circa.
- Date esecuzione: dal 01/04/2014 al 10/06/2014.
- Il sondaggio, profondo 355,3 m, era previsto verticale. E' stato eseguito un rilievo di verticalità, evidenziando una deviazione progressiva con la profondità fino ad una inclinazione finale di 8,9° (dalla verticale), corrispondente ad uno scostamento del fondo foro di 26,5 m dalla verticale della bocca foro. Non è indicata la direzione di spostamento in quanto la sonda utilizzata, all'interno di tratti del foro con presenza di rivestimento metallico, è in grado di rilevare solamente l'inclinazione del sondaggio. Al momento del rilievo il foro si presentava completamente rivestito con rivestimento metallico.
- Unità attraversate: Argilloscisti filladici (f), serpentiniti e oficalciti (Se") dell'unità Cravasco Voltaggio; Argilloscisti Neri (Mn), Calcari di Gallaneto (cG) e Dolomie del Monte Gazzo (dG) dell'unità Gazzo-Isoverde.
 - Da 0 a 4,5 m: Depositi colluviali ghiaiosi con rari ciottoli in matrice sabbiosa debolmente limosa (c);
 - Da 4,5 a 242,2 m circa: Argilloscisti e argilloscisti carbonatici con vene e noduli di calcite con livelli carbonatici di spessore da pluricentrico a pluridecetrico (f ed Mn), presenza di livelli di ofioliti e oficalciti (Se") negli intervalli di profondità: 118,0-119,5 m; 147,4-150,6 m; 194,2-195,2 m; 215,8-217,6 m.
 - Da 242,2 m circa a 340,5 m: Calcari scistosi e calcari stratificati, localmente in facies più massicce, con diffuse intercalazioni di livelli di argilloscisti carbonatici (Calcari di Gallaneto - cG). Presenza di livelli con tracce e resti di macrofossili (possibili bivalvi o alghe calcaree) negli intervalli di profondità 263,0-264,0 m e 269,0 – 274,0 m. Possibili tracce di fossili anche in un livello scistoso scuro tra 339 e 340 m.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 49 di 68</p>

- Da 340,5 a 355,3 m: Calcari dolomitici grigi con segni di carsificazione delle fratture. (Dolomie del M. Gazzo – dG)
- Presenza fasce cataclastiche con roccia molto fratturata e gouge a matrice argillosa di spessore decimetrico, alle profondità 46,0-48,5 m; 90,9-92,6 m; 106,6-111,0 m; 190,0-191,3 m. E' inoltre presente una fascia di fratturazione intensa nelle Dolomie del M.Gazzo all'intervallo di profondità 345,8-348 m.
- Nel sondaggio sono state realizzate n° 3 prove di permeabilità tipo Lugeon a diversi intervalli di profondità:
 - Prova nr 1. da 207,4 a 212,4 m.
 - Prova nr 2. da 245,0 a 250,0 m.
 - Prova nr 3. da 256,4 a 261,4 m.
- Nel sondaggio sono state inoltre eseguite n° 2 prove dilatometriche, agli intervalli di profondità di 253,0-255,0 m e 264,0-266,0 m.

6.3.6 L2-CR5

- Località Pietralavezzara (Comune di Campomorone), quota 465 m circa. Rispetto al tracciato della galleria di linea III° Valico (binario Dispari) si trova ad una distanza di 7 m verso Ovest-NordOvest all'altezza della progressiva 10+250 circa.
- Date esecuzione: dal 03/07/2014 al 20/09/2014.
- Il sondaggio, profondo 345,2 m, era inclinato di 20° (rispetto alla verticale) verso Ovest. A fine perforazione è stato eseguito un rilievo parziale della geometria del foro, che ha in sostanza confermato l'inclinazione e l'azimut di progetto. Il rilievo è stato eseguito nell'intervallo di profondità 158,3 – 278,5 m. L'azimut medio del foro in questa tratta è N285E, mentre l'inclinazione media è di 21,6°.
- Unità attraversate: Argilloscisti filladici (f), serpentiniti e oficalciti (Se") dell'unità Cravasco Voltaggio; Argilloscisti Neri (Mn) e Calcari di Gallaneto (cG) dell'unità Gazzo-Isoverde.
 - Da 0 a 2,0 m: Depositi colluviali sabbiosi e localmente debolmente limosi, con elementi scagliosi argillitici (c);
 - Da 2,0 a 190,0 m circa: Argilloscisti e con vene e noduli di calcite (f) e argilloscisti carbonatici con livelli carbonatici di spessore da pluricentimetrico a pluridecimetrico (Mn), presenza di livelli di ofioliti e oficalciti (Se") e possibili metasedimenti silicei (d") nei seguenti intervalli di profondità: 97,6-98,5 m; 100,2-102,5 m; 123,0-124,0 m; 125,0-126,0 m; 134,3-134,6 m; 170,0-170,3 m; 172,6-174,1 m; 175,0-175,4 m; 178,7-179,7 m; 185,6-186,0 m.
 - Da 190,0 m a 277,0 m: Calcari scistosi e calcari stratificati, localmente in facies più massicce, con diffuse intercalazioni di livelli di argilloscisti carbonatici (Calcari di

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00</p> <p>Foglio 50 di 68</p>

Gallaneto - cG). Presenza di un livello con possibili tracce e resti di macrofossili (bivalvi o lamellibranchi) nell'intervallo di profondità 264,0-265,0 m. Tra 217,7 e 218,3 presenza di breccia ofiolitica verdastra probabilmente in corrispondenza di una zona di taglio duttile milonitica.

- Da 277,0 a 338,0 m: zona di faglia principale costituita da gouge in matrice argillosa con interposti litoni di roccia milonitica sviluppata a spese sia dei calcari di Gallaneto che degli argilloscisti con livelli e lenti ofiolitiche, da mediamente a molto fratturati. Il litone principale si sviluppa tra le profondità 304,0 e 326,0.
 - Da 338,0 a 345,2: scisti carbonatici scuri con foliazione all'incirca parallela all'asse del foro (probabile facies scistosa del Calcari di Gallaneto – cG). In questa tratta si osservano ancora evidenze di superfici di taglio connesse con la zona di faglia principale sopra descritta.
- Presenza fasce cataclastiche minori con roccia molto fratturata e gouge a matrice argillosa di spessore decimetrico, nei seguenti intervalli di profondità: 7,0-9,0 m; 16,6-18,0 m; 24,0-29,4 m; 36,4-41,0 m; 69,0-74,0 m; 80,0-87,0 m; 102,5-107,5 m; 153,6-157,5 m.
 - E' stato eseguito un rilievo televisivo BHTV nella tratta compresa tra le profondità 158,3 e 278,5. Il rilievo ha permesso di valutare le giaciture medie delle discontinuità principali presenti, distinte in foliazione e giunti. La giacitura media della foliazione in questa tratta corrisponde a 151/75, mentre per i giunti si valuta una giacitura di 154/64. Il rilievo BHTV non raggiunge l'inizio della struttura di faglia principale descritto al punto precedente.
 - Nel sondaggio sono state realizzate n° 4 prove di permeabilità tipo Lugeon a diversi intervalli di profondità:
 - Prova nr 1, da 309,2 a 314,2 m.
 - Prova nr 2, da 318,0 a 322,6 m.
 - Prova nr 3, da 329,2 a 334,2 m.
 - Prova nr 4, da 341,0 a 345,2 m.
 - Nel sondaggio sono state inoltre eseguite n° 4 prove di fratturazione idraulica:
 - HF 1 a 246,0 m di profondità, giacitura frattura circa 185/78.
 - HF2 a 241,3 m di profondità, giacitura frattura circa 328/80.
 - HF3 a 252,7 m di profondità, giacitura frattura circa 356/82.
 - HF4 a 247,9 m di profondità, giacitura frattura circa 2/87

L'orientazione delle componenti principali dello stress determinate dalle prove è per S1 N56°E (+/- 15° circa) e per S3 N146E (+/-15°circa). Entrambe le componenti S1(maggiore) ed S3 (minore) sono orizzontali. La componente verticale S2 è quella con tensione intermedia. Il valore del rapporto K_0 varia a seconda della direzione orizzontale considerata da un minimo di circa 0,93 ad un massimo di circa 1,22.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00</p> <p>Foglio 51 di 68</p>

7 CONSIDERAZIONI SUL TRACCIATO DELLA FINESTRA CRAVASCO

Nelle differenti fasi progettuali, a partire dalla soluzione originale del Progetto Preliminare fino all'attuale Progetto Esecutivo in corso di finalizzazione, sono state proposte per la finestra Cravasco diverse modifiche tecniche al tracciato plano-altimetrico. Tutte le modifiche sono state finalizzate alla riduzione del rischio di impatto sulla risorsa idrica sotterranea e di isterilimento delle sorgenti, anche in ottemperanza alle prescrizioni CIPE.

Di seguito sono illustrate le caratteristiche geologiche delle varie soluzioni sviluppate, che possono sinteticamente essere elencate come segue:

- Soluzione 1: Progetto Preliminare
- Soluzione 2: Progetto Definitivo
- Soluzione 3 : Progetto Esecutivo - senza sovrappasso delle gallerie di linea
- Soluzione 4 : Progetto Esecutivo – con sovrappasso delle gallerie di linea

7.1 Soluzione 1: Progetto Preliminare

Nel Progetto Preliminare la finestra d'accesso Cravasco prevedeva un tracciato rettilineo, con direzione circa N60°E, di lunghezza pari a 1266,10 metri. L'imbocco della galleria era previsto ubicato nell'area di ex-cava prospiciente la strada provinciale di Isoverde, vicino al torrente Verde a quota 265 m s.l.m. e l'innesto sulle gallerie di linea in corrispondenza della PK 10+526 del binario pari della linea A.C. Genova – Novi Ligure ad una quota del p.f. pari a 142.43 m s.l.m. La livelletta di progetto della galleria presentava una pendenza del 11,5 %.

Dal punto di vista geologico la finestra si sviluppava interamente all'interno della Formazione delle Dolomie del Monte Gazzo (dG).

Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici, la finestra d'accesso raggiungeva il livello di base locale dell'acquifero carsico posto a quota 210 m s.l.m. intorno alla progressiva metrica 575, proseguendo poi fino alla progressiva 1266 totalmente all'interno dell'acquifero carsico a quote via via inferiori, con il conseguente rischio di incontrare consistenti venute d'acqua e di innescare fenomeni di drenaggio dal rio Verde verso la galleria.

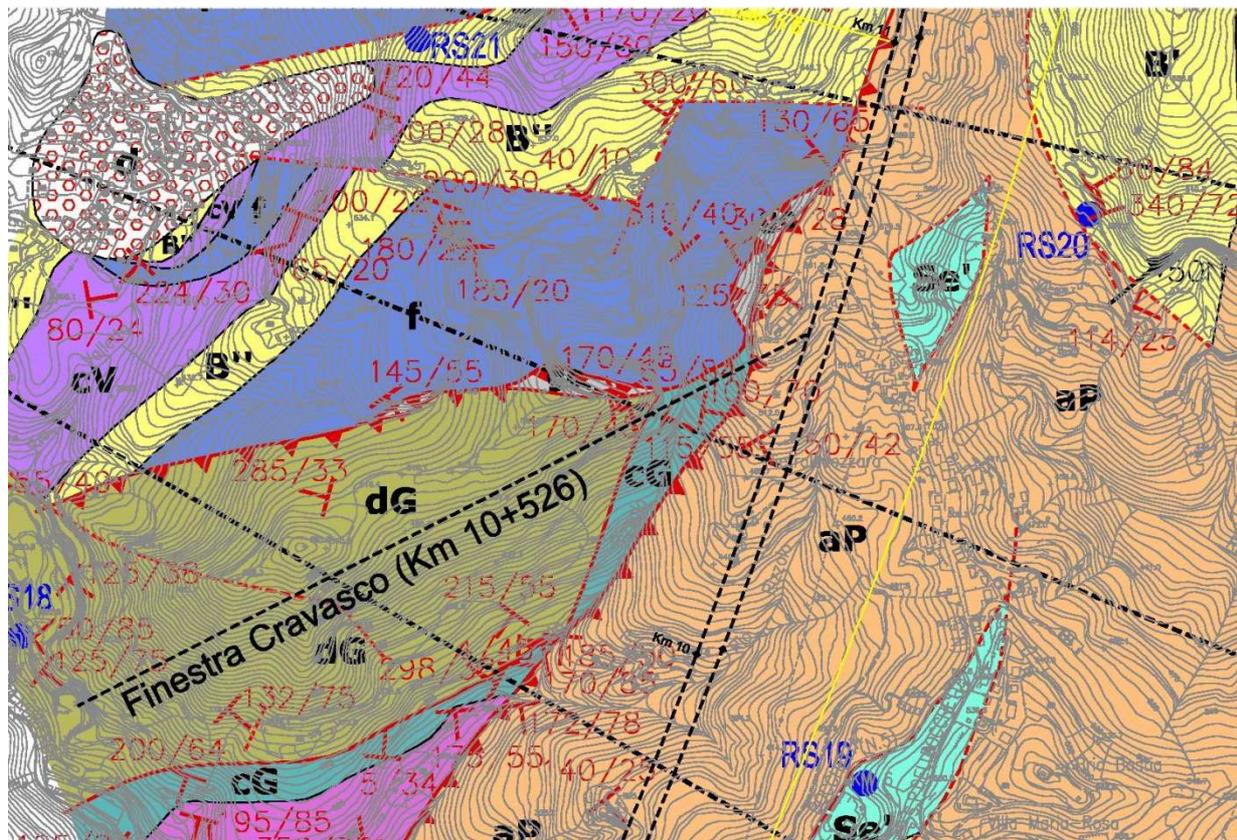


Figura 19 – Ubicazione sulla cartografia geologica del tracciato di Progetto Preliminare della Finestra Cravasco.

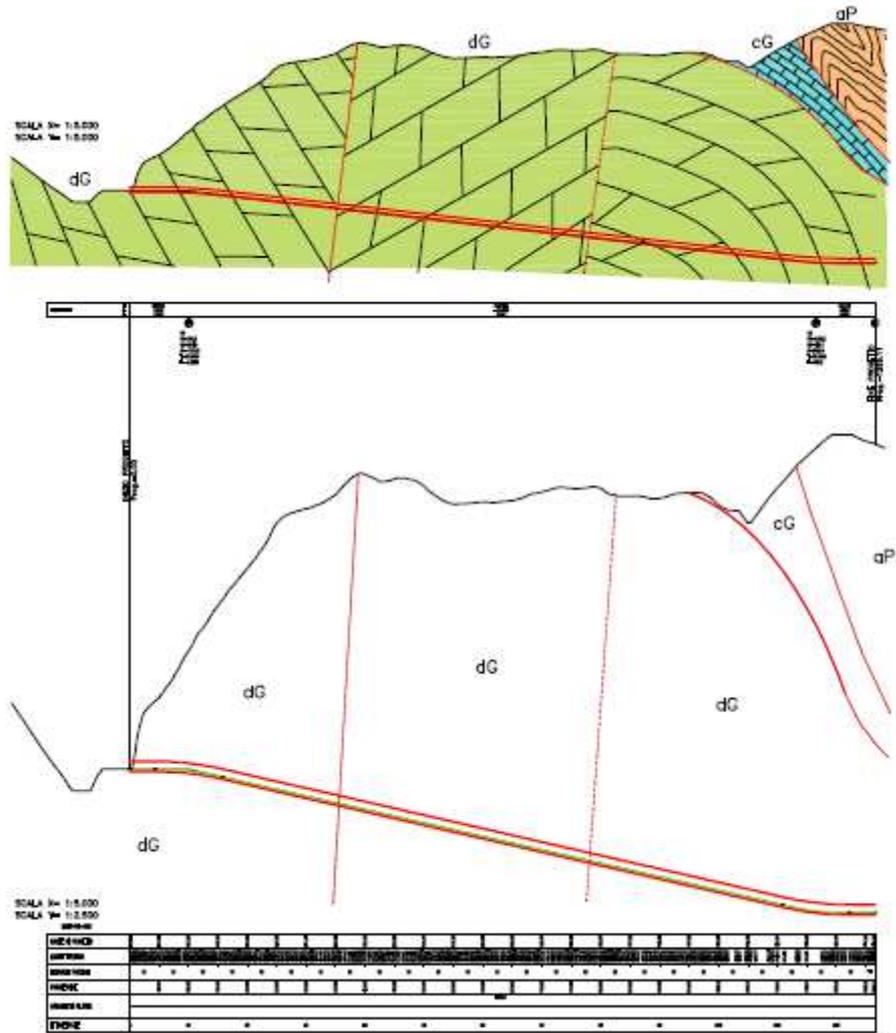


Figura 20 – Profili longitudinali geologico ed altimetrico di Progetto Preliminare della Finestra Cravasco.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00</p>	<p>Foglio 54 di 68</p>

7.2 Soluzione 2: Progetto Definitivo

Nel progetto definitivo veniva adottata una soluzione geometrica del tracciato sensibilmente diversa dalla Soluzione 1 (PP). L'imbocco veniva spostato sul piazzale di cava successivo a quello del PP lungo la strada provinciale di Cravasco (a quota 293 m circa). La direzione iniziale del tracciato era verso N110°E circa, per poi compiere un'ampia curva verso Nord, sovrappassare le due gallerie di linea ed innestarsi, dopo una stretta curva a 90° verso NW, sul binario Dispari della linea A.C. Genova – Novi Ligure, in corrispondenza della Pk 10+290, ad una quota di circa 139 m.

Il tracciato di Progetto Definitivo presentava una lunghezza di 1534.76 m ed una pendenza pari all'10.5%.

Dal punto di vista geologico la finestra si sviluppa per un primo tratto di poco meno di 500 m di lunghezza all'interno della Formazione delle Dolomie del Monte Gazzo, quindi attraversa la formazione dei Calcari di Gallaneto ed infine gli argilloscisti appartenenti alla fascia milonitica di Isoverde fino all'innesto sulle gallerie di linea.

La nuova soluzione del Progetto Definitivo minimizza i rischi idrogeologici della finestra poiché, sulla base delle previsioni geologiche realizzate, il tracciato della discenderia dovrebbe uscire dall'acquifero proprio tra le progressive metriche 560 e 580, proseguendo a quote inferiori ai 210m all'interno di litotipi meno permeabili e non facenti parte del sistema carsico. Di conseguenza, pur non essendo possibile escludere totalmente il rischio di venute intorno alla progressiva 575, la tratta interessata dovrebbe essere piuttosto limitata e ridotta a poche decine di metri.

I Calcari di Gallaneto che sono previsti lungo il tracciato della finestra d'accesso intorno alla progressiva metrica 800 costituiscono un corpo isolato all'interno di una zona milonitica composta in prevalenza da litotipi scistosi poco permeabili. Di conseguenza essi non dovrebbero costituire parte del sistema carsico. Venute minori possono comunque essere incontrate al loro interno.

Per quanto riguarda le possibili interazioni tra le opere di captazione presenti nel Comune di Campomorone nei pressi dell'abitato di Isoverde e il tracciato della finestra Cravasco, sono state individuate tre sorgenti con grado di pericolosità d'isterilimento da basso a elevato; queste sono alimentate dagli acquiferi carsici dei Calcari di Gallaneto e delle Dolomie del Monte Gazzo che è previsto di attraversare durante lo scavo della finestra Cravasco. Queste sorgenti risultano o non captate o utilizzate da privati.

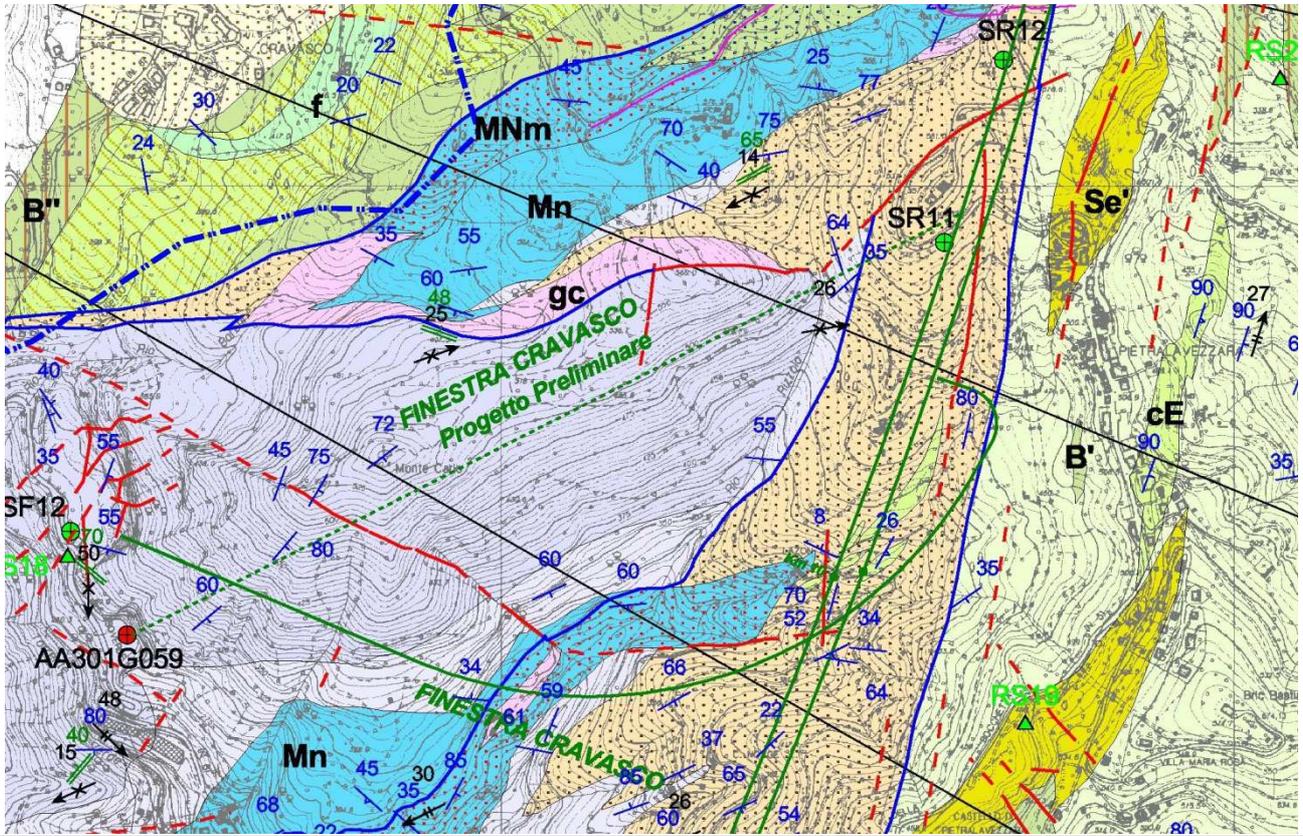


Figura 21 – Ubicazione sulla cartografia geologica del tracciato di Progetto Definitivo della Finestra Cravasco. (in tratteggio il vecchio tracciato del Progetto Preliminare)

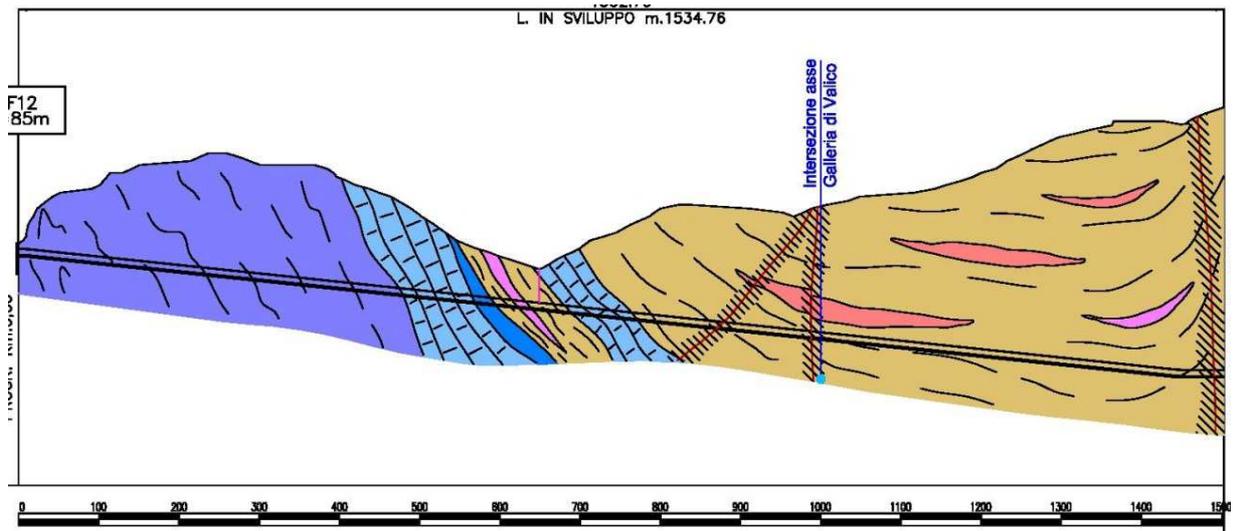


Figura 22 – Profilo geologico Longitudinale di Progetto Definitivo della Finestra Cravasco.

7.3 Soluzione 3: Progetto Esecutivo senza sovrappasso delle gallerie di linea (Aprile 2013)

Nell'aprile 2013 Cociv propone una ulteriore modifica tecnica del tracciato della finestra Cravasco, motivata dall'esigenza di evitare il rischio di isterilimento delle tre sorgenti citate al termine del paragrafo precedente.

Questa soluzione prevede, mantenendo la posizione dell'imbocco prevista nel progetto definitivo una variazione della direzione del primo tratto di galleria fino a circa N135°E, una curva leggermente più stretta verso NordEst, fino a porsi parallelamente alle gallerie di linea circa 30 m a W, evitando quindi il sovrappasso delle stesse ed andando ad innestarsi, con un camerone a "T", a lato del binario Pari della linea A.C. Genova – Novi Ligure, in corrispondenza della Pk 10+070, ad una quota di circa 146 m. Il camerone di innesto a T si prolunga di circa 32 m verso Nord Ovest oltre l'asse della finestra.

Il tracciato della Soluzione 3 prevede una lunghezza di 1291,1 m ed una pendenza del 12,0 %.

Dal punto di vista geologico lo sviluppo della finestra avviene nei primi 330 m all'interno dei Calcari Dolomitici del M. Gazzo (dG), seguiti, fino a pm 445 dai Calcari di Gallaneto (cG). Successivamente la galleria entra negli Argilloscisti Neri (Mn) e nella fascia milonitica di Isoverde, sviluppata a spese degli stessi Argilloscisti Neri (Mn) e degli Argilloscisti Filladici (f), fino all'innesto sulle gallerie di linea. Intorno alla pk 1+100 si prevede l'intersezione con una faglia principale.

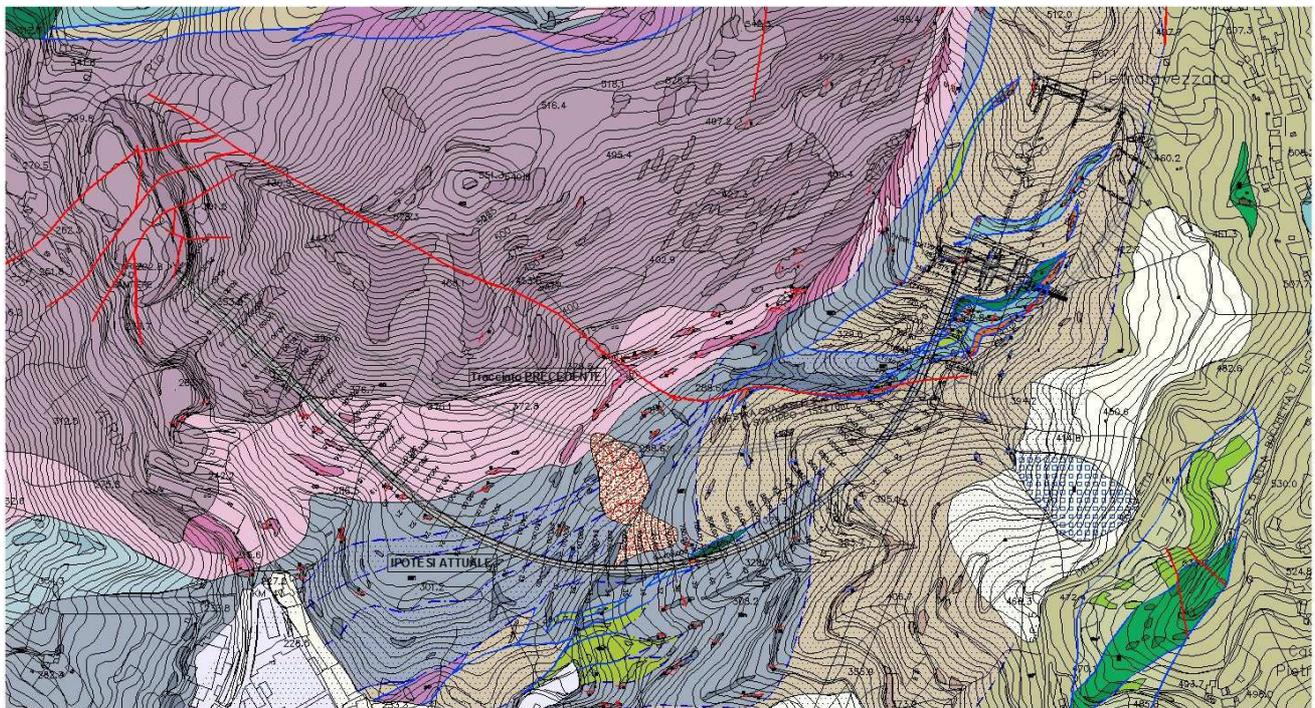


Figura 23 – Ubicazione sulla cartografia geologica del tracciato della soluzione 3 – Progetto Esecutivo, senza sovrappasso delle gallerie di linea, della Finestra Cravasco. (insieme al tracciato del Progetto Definitivo)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00		Foglio 57 di 68

PROFILO FINESTRA Scala 1:2000

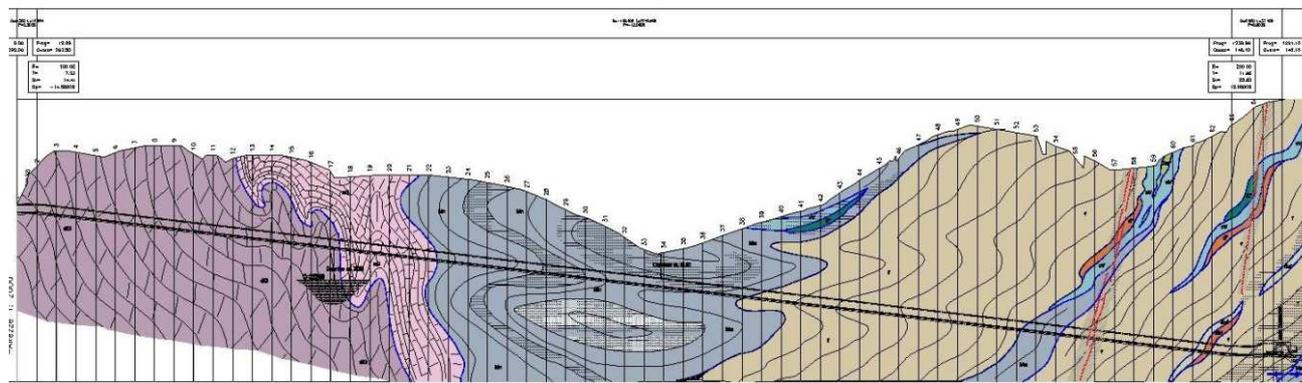


Figura 24 – Profilo geologico longitudinale della soluzione 3 – Progetto Esecutivo, senza sovrappasso delle gallerie di linea, della Finestra Cravasco

Di questo tracciato in variante viene consegnato il progetto nella consegna Italferr ufficiale del Lotto 2 il 22 luglio 2013. La suddetta ricostruzione geologica, per la consegna sopracitata, è stata elaborata principalmente sulla base dei rilievi di terreno ed in assenza dei dati derivanti dalla campagna di indagini svolta successivamente, che ha compreso tutti i sondaggi del Progetto Esecutivo descritti al precedente paragrafo 6.3.

Per questi motivi la ricostruzione geologica era affetta da un certo grado di incertezza, specialmente per quanto riguarda la possibilità di poter intersecare, in particolare con la propaggine Ovest del camerone di innesto sulle gallerie di linea, il contatto tra gli Argilloscisti Neri (Mn) ed i Calcari di Gallaneto (cG), o addirittura di avvicinarsi al contatto tra questi ultimi e le Dolomie del Monte Gazzo (dG). In queste ipotesi lo scavo avrebbe potuto interessare i litotipi calcarei costituenti l'acquifero carsico, per evitare l'interferenza sul quale si era modificato il tracciato in fase di progetto definitivo.

L'esecuzione delle indagini di interesse di questa specifica tratta della finestra Cravasco, completate verso la fine del mese di Settembre 2014 (sondaggi CR3, CR4 e CR5), ha confermato per la tratta terminale della discenderia un assetto geologico simile quello ipotizzato sulla base dei soli dati di superficie, peraltro non permettendo di ridurre completamente il grado di incertezza della ricostruzione a causa dell'indeterminatezza sulla direzione di deviazione del sondaggio CR4 (vedasi paragrafo 6.3.5).

Ipotizzando che il sondaggio abbia deviato dalla verticale lungo una direzione circa perpendicolare a quella delle scistosità medie valutabili sul terreno nell'area del camerone di innesto, sono possibili due alternative, una più ottimistica ed una più conservativa in merito alla possibilità di intersezione del limite tra Mn e cG durante lo scavo della tratta terminale della finestra e del relativo camerone di innesto in progetto:

- a) sondaggio CR4 deviato verso N300°E
- b) sondaggio CR4 deviato verso N120°E

Nella figura seguente sono indicate due possibili ricostruzioni planimetriche (a quota del piano del ferro delle gallerie di linea), elaborate sulla base di ciascuna delle due ipotesi di deviazione del sondaggio CR4 sopra elencate.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 58 di 68

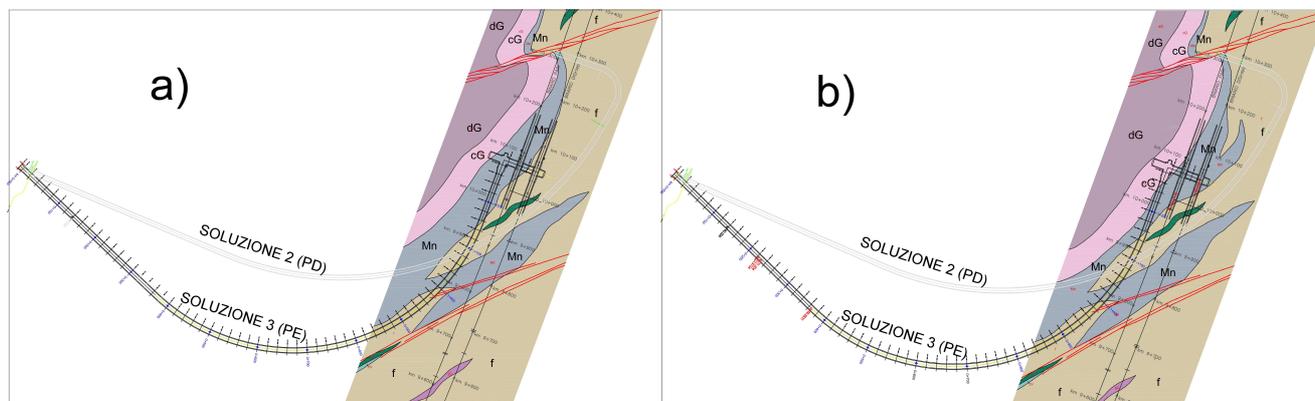


Figura 25 – Planimetria geologico-stratigrafica a quota cavo delle gallerie di linea per la soluzione 3 (tracciato nero) : a) – ricostruzione ottimistica, b) ricostruzione conservativa. E' indicato, in grigio, anche il tracciato della soluzione 2 (progetto definitivo)

7.4 Soluzione 4: Progetto Esecutivo con sovrappasso delle gallerie di linea (Novembre 2014)

Tenendo in considerazione gli elementi di incertezza geologica ancora presenti nelle ricostruzioni dell'assetto lungo il tracciato della Finestra Cravasco in soluzione 3 descritti nel paragrafo precedente, a Novembre 2014 è stata decisa l'adozione di una ulteriore soluzione di modifica tecnica. Tenuta ferma la parte iniziale del tracciato fino all'incirca alla pm 450, l'asse della galleria prosegue in rettilineo verso Sud Est, per poi compiere la stessa curva della soluzione 3 verso Nord, sovrappassando le gallerie di linea e disponendosi parallelamente a queste, ad una distanza di circa 30 m a Sud Est dell'asse del binario dispari, arrivando ad innestarsi sulle gallerie di linea all'altezza della pk 9+975. Il camerone di innesto sulle gallerie di linea ha una configurazione speculare rispetto a quello previsto nella soluzione 3.

La finestra Cravasco nella soluzione 4 ha uno sviluppo longitudinale di circa 1289 m, con pendenze variabili in funzione del sottopasso del Rio Rizzolo e del sovrappasso delle gallerie di linea, con un massimo del 14,5%.

Quest'ultima soluzione di tracciato consente di minimizzare i rischi di interferenza da parte dello scavo sull'acquifero carsico, essendo il camerone di innesto sulle gallerie di linea in una posizione per cui lo scavo non potrà raggiungere, secondo le ricostruzioni geologiche eseguite sulla scorta dei dati disponibili a seguito dei sondaggi CR3, CR4 e CR5, oltre che dei dati geologici superficiali, il limite tra le formazioni poco permeabili (Mn, f) ed i Calcari di Gallaneto (cG) e, tanto meno, i Calcari dolomitici del M. Gazzo (dG).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00	Foglio 60 di 68

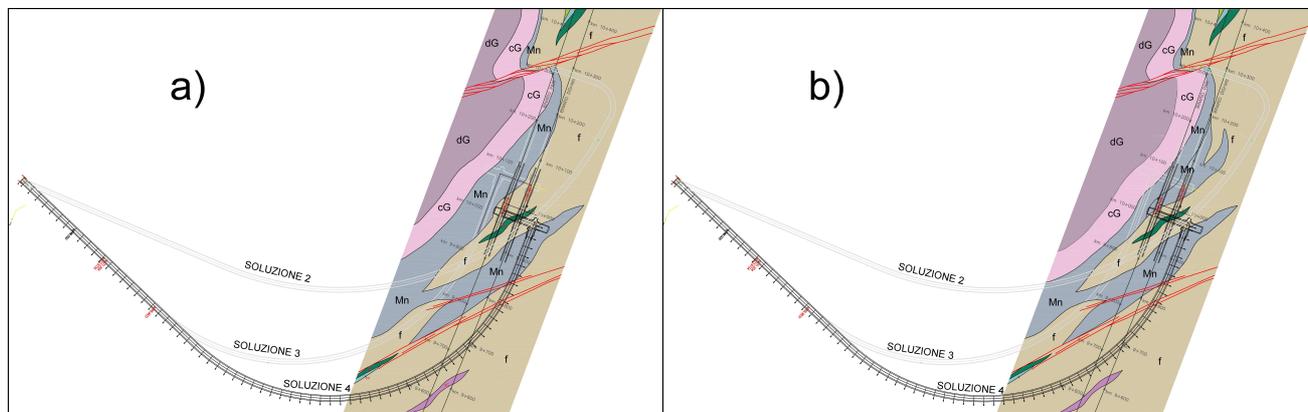


Figura 28 – Planimetria geologico–stratigrafica a quota cavo delle gallerie di linea per la soluzione 4 (tracciato nero): a) – ricostruzione ottimistica, b) ricostruzione conservativa. Sono indicati in grigio anche i tracciati della soluzione 3 e della soluzione 2 (progetto Definitivo).

Rispetto alla soluzione 2 del progetto definitivo, la soluzione 4 presenta un livello basso o trascurabile di pericolosità idrogeologica comparabile, mentre per quanto riguarda le condizioni geomeccaniche, la soluzione 2 del progetto definitivo ha un rischio maggiore, essendo l'estremità di Nord Ovest del camerone d'innesto interessata da una faglia principale di spessore plurimetrico.

8 ASSETTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO LUNGO L'OPERA IN PROGETTO (SOLUZIONE 4)

8.1 Tratta pm 0.00 – 330.00 ca.

Litotipi attraversati

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

Presenza di faglie e stato di fratturazione

Non è prevista l'intersezione con zone di faglia maggiori; è comunque possibile la presenza di faglie minori, con persistenza metrico-decamentrica, caratterizzate da breccie tettoniche.

Lo stato di fratturazione generale dell'ammasso è caratterizzato da una densità delle superfici di discontinuità piuttosto elevata, poiché il corpo dolomitico del Monte Gazzo ha reagito alle deformazioni principalmente sviluppando clivaggi di dissoluzione con orientazione estremamente variabile da una zona all'altra.

Rischi geologici

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 61 di 68

In questa tratta non si ravvisano rischi geologici particolari ad eccezione che per quelli derivanti dalla possibile presenza di condotti carsici e/o zone di dissoluzione.

L'anisotropia dell'ammasso è molto ridotta, essendo costituito da litotipi a composizione piuttosto omogenea e assenza di interstrati scistosi. L'orientazione della stratificazione è favorevole allo scavo, dal momento che essa è da molto a mediamente inclinata, con direzione sub-perpendicolare all'asse della galleria ed immersione verso il senso di avanzamento della galleria.

Il rischio di intercettare condotti carsici è da considerarsi elevato, poiché la tratta si sviluppa in posizione piuttosto parietale ove il fenomeno carsico è verosimilmente molto attivo. I condotti, oltre alle problematiche connesse con la presenza di vuoti, possono costituire una problematica anche per l'esistenza di condizioni di elevata densità di fratturazione nel loro intorno, o comunque per la presenza di fratture parzialmente aperte o riempite con materiale di origine residuale (riempimenti a granulometria fine).

Oltre ai fenomeni carsici, la natura carbonatica dei litotipi presenti nella tratta induce una certa propensione allo sviluppo di orizzonti di dissoluzione, non caratterizzati da veri e propri condotti ma piuttosto da livelli di potenza metrica di ammasso roccioso costituito da materiale incoerente (brecce e materiale a granulometria sabbiosa). Va comunque precisato che la probabilità di incontrare tali orizzonti non è molto elevata, poiché essi si sviluppano preferenzialmente in contesti ove esistono nei complessi carbonatici interstrati di natura non carbonatica, in grado di determinare concentrazioni locali dei fenomeni di dissoluzione, che non è il caso dell'ammasso dolomitico, ove tali orizzonti non sono in linea generale presenti. La presenza di tali orizzonti non può comunque essere esclusa.

8.2 Tratta pm 330.00 – 415.00 ca.

Litotipi attraversati

La tratta si sviluppa interamente all'interno dei calcari di Gallaneto (cG), rappresentati da metacalcari grigi e scisti carbonatici grigio-argentei, passanti localmente a bancate con prevalenti calcari cristallini grigio chiari di aspetto tegulare. Localmente, presso il contatto con gli argilloscisti neri (Mn) possono essere presenti anche bancate di calcari scuri, di potenza da pluri-metrica a decametrica, con scistosità meno marcata e quindi più massicci e con elevata densità di vene carbonatiche.

Presenza di faglie e stato di fratturazione

Non è prevista l'intersezione con zone di faglia maggiori; è comunque possibile la presenza di faglie minori, con persistenza metrico-decametrica, caratterizzate da brecce tettoniche.

Lo stato di fratturazione generale dell'ammasso è caratterizzato da una densità delle superfici di discontinuità relativamente modesta; una densità di fratturazione media o medio-alta può essere tuttavia presente nelle bancate più carbonatiche, reologicamente più competenti e rigide.

Rischi geologici

Lo scavo procederà in un ammasso caratterizzato da un'anisotropia meccanica relativamente elevata, poiché i calcari di Gallaneto sono costituiti da interstrati scistosi e carbonatici non scistosi

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 62 di 68

con differente comportamento reologico. L'orientazione delle scistosità e dei contatti litologici tra le bancate è comunque piuttosto favorevole, dal momento che esse presentano un angolo di incidenza in pianta piuttosto elevato rispetto all'asse della galleria e una giacitura perlopiù ad alto angolo. Non sono comunque da escludersi anche locali giaciture a basso angolo legate a zone di cerniera di piega; tali zone potrebbero determinare problematiche di splaccamento in calotta.

Nelle zone di contatto tra i calcari (cG) e le dolomie (dG), nonché tra i calcari e gli argilloscisti neri (Mn) lo scavo potrebbe procedere con fronti misti. In questi settori il possibile contrasto tra litotipi con caratteristiche meccaniche e di rigidità differenti potrebbe aver determinato locali scorrimenti tra gli strati in condizioni cataclastiche. E' quindi possibile che lungo gli strati che definiscono i limiti litologici siano presenti patine di modesto spessore di materiali quali brecce tettoniche e gouge. Sempre nei medesimi settori, e in particolare al contatto tra calcari e dolomie, il passaggio tra litotipi diffusamente solubili (dolomie) e litotipi con interstrati scistosi non solubili (calcari) abbia determinato locali concentrazioni di fenomeni di dissoluzione e quindi la presenza di livelli scarsamente coesivi.

Anche in questa tratta, sebbene con minor probabilità rispetto alla precedente, non sono da escludersi fenomeni carsici, con presenza di condotti e microcarsismo diffuso lungo scistosità e fratture. Si ritiene comunque improbabile la presenza di condotti o cavità di grandi dimensioni, dal momento che i calcari presentano sempre degli interstrati fillosilicatici che limitano la propagazione laterale dei fenomeni carsici.

Limitati fenomeni di dissoluzione localizzata sono altresì possibili, al contatto tra bancate carbonatiche e bancate fillosilicatiche, anche all'interno della formazione medesima dei calcari di Gallaneto e non solo al contatto delle dolomie del Gazzo (come già prima evidenziato).

8.3 Tratta pm 415.00 – 880.00 ca.

Litotipi attraversati

In questo settore saranno attraversati prevalentemente livelli riferibili agli argilloscisti neri (Mn), consistenti in scisti carbonatici neri, calcari impuri grigio-nerastri passanti lateralmente a scisti calcarei fortemente foliati di colore grigio scuro-argenteo. Le bancate maggiormente carbonatiche non superano in genere il metro di spessore e solo localmente esse sono presenti in quantità consistente, mentre più sovente prevalgono gli scisti. All'interno della successione si intersecheranno anche livelli milonitici, con tessitura fortemente foliata e più fissili delle facies non milonitiche. Saranno possibili minori intercalazioni di argilloscisti filladici (f) in giacitura di scaglie tettoniche all'interno della zona milonitica.

Oltre il sottopasso del Rio Rizzolo, nella tratta compresa tra le pm 780 e 800, potranno essere intersecati dallo scavo litotipi metabasaltici (B") e Calcari di Voltaggio (cV) con struttura da massiccia a milonitica / cataclastica, bordati da una zona di taglio fragile di possibile riattivazione di una fascia milonitica. Questi litotipi affiorano in superficie lungo una piccola incisione tributaria di sinistra del Rio Rizzolo.

Presenza di faglie e stato di fratturazione

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 63 di 68

E' prevista l'intersezione con una faglia principale, individuata sulla base della cartografia geologica CARG, all'altezza della tratta compresa tra le pm 770 e 810 circa. Si tratta di una struttura fragile di spessore plurimetrico caratterizzata da brecce tettoniche e cataclasite con settori metrici di gouge a matrice argillosa, con molta probabilità impostata su una più vecchia zona di taglio milonitica lungo la quale vi sono le lenti di metabasalti e calcari di voltaggio descritte in precedenza. Non si può inoltre escludere l'ulteriore presenza di faglie minori, con persistenza metrico-decametrica, caratterizzate da brecce tettoniche.

Lo stato di fratturazione generale dell'ammasso è caratterizzato da una densità delle superfici di discontinuità medio-bassa, poiché la pervasività della foliazione in queste rocce ha consentito di accomodare le deformazioni in regime fragile con scorrimenti interfoliali, prevenendo lo sviluppo di nuove superfici di discontinuità.

Rischi geologici

Lo scavo procederà in un ammasso caratterizzato da un'anisotropia meccanica elevata a causa della foliazione che risulta essere molto pervasiva.

L'orientazione delle scistosità e dei contatti litologici tra le bancate è relativamente favorevole nel tratto compreso tra la pm 415.00 e la pm 700.00, ove la galleria intercetta la scistosità con un angolo di incidenza in pianta relativamente elevato. L'orientazione diviene invece via via meno favorevole man mano che si procede verso la pk 870, poiché il tracciato curva a disporsi su angoli di incidenza rispetto agli strati più bassi rispetto alla tratta precedente. Le superfici di scistosità saranno comunque deformate dalle pieghe aperte D3 che potranno determinare variazioni della loro inclinazione da basso ad alto angolo. Sia sui fronti di scavo che sui paramenti si potranno quindi localmente verificare giaciture della superficie di foliazione a franapoggio che potranno determinare lo sviluppo di superfici di scivolamento preferenziali.

I fenomeni carsici e i fenomeni di dissoluzione in questa tratta sono poco probabili, vista la composizione fillosilicatica oltre che carbonatica dei litotipi. Non si possono comunque escludere locali e limitati settori con microcarsismo nelle bancate maggiormente carbonatiche e presenza di sottili livelletti di dissoluzione con materiale incoerente.

La presenza di materiale amiantifero in questo settore è ritenuta poco probabile, ma non può essere esclusa, poiché all'interno delle fascia milonitica attraversata potrebbero essere incontrate rocce serpentinitiche e oficalci.

8.4 Tratta pk 880.00 – 1145 ca.

Litotipi attraversati

In questo settore saranno attraversati prevalentemente livelli riferibili agli argilloscisti filladici (f), in facies milonitica, consistenti in scisti micacei di colore grigio-argenteo o grigio scuro, con vene trasposte di quarzo e rare intercalazioni di meta-calcari micacei a tessitura fortemente laminata e trasposta a causa di intensi fenomeni milonitici. La presenza di bancate con minor deformazione milonitica è possibile; in questo caso la scistosità, pur risultando meno pervasiva, presenta una partizione meno fitta. All'interno di questa fascia di deformazione duttile sarà possibile intersecare

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00
	Foglio 64 di 68

anche livelli milonitici derivanti da argilloscisti neri (Mn), costituiti da scisti carbonatici neri e calcari impuri grigio-nerastri fortemente laminati.

Non è altresì possibile escludere che all'interno della fascia milonitica intercettata in questa tratta vengano incontrate anche scaglie di potenza metrica o decametrica derivanti da altri litotipi a composizione basaltica, serpentinitica, calcarea o evaporitica, con tessitura più o meno laminata. La presenza e posizione di tali corpi litologici è però indeterminabile sulla base dei dati a disposizione.

Presenza di faglie e stato di fratturazione

E' prevista la possibile intersezione con due zone di faglia, nell'intervallo tra le pm 1070 – 1085 (stessa faglia già intersecata tra le pm 770 ne 810 che qui viene nuovamente attraversata) ed al termine della tratta (pm 1145), dove la faglia rappresenta il limite con i successivi Argilloscisti neri (Mn). Si tratta comunque di elementi strutturali con fascia di deformazione piuttosto circoscritta, dell'ordine di 10-20m di spessore e caratterizzata da rocce di faglia scistose a tessitura caotica. Nella zona di nucleo delle faglie sarà possibile intersecare livelli a granulometria fine (gouge) di spessore modesto (1-2 m al massimo). L'angolo d'intersezione con le discontinuità è favorevole, poiché esse tagliano la galleria con un angolo di incidenza di circa 45°-50°. L'inclinazione delle faglie è ad alto angolo.

Lo stato di fratturazione generale dell'ammasso è caratterizzato da una densità delle superfici di discontinuità bassa, poiché la pervasività della foliazione in queste rocce ha consentito di accomodare le deformazioni in regime fragile con scorrimenti interfoliali, prevenendo lo sviluppo di nuove superfici di discontinuità.

Rischi geologici

Lo scavo procederà in un ammasso caratterizzato da un' anisotropia meccanica elevata a causa della foliazione, che risulta essere molto pervasiva.

L'orientazione delle scistosità e dei contatti litologici tra le bancate è perlopiù sfavorevole poiché il tracciato si sviluppa nella parte iniziale della tratta in direzione con basso angolo di incidenza rispetto alla direzione della scistosità. L'inclinazione degli strati è prevalentemente a medio-alto angolo verso SE, ma sono possibili sporadici rovesciamenti o giaciture a basso angolo in ragione della presenza di pieghe relative alla fase deformativa D3. Alla luce di questi aspetti si dovrà quindi tenere in considerazione la possibilità di fenomeni d'instabilità, localizzati principalmente sui paramenti della galleria e più raramente in calotta.

Oltre la pm 900 circa l'orientazione della scistosità diviene comunque moderatamente favorevole poiché essa intercetta il tracciato con angolo di incidenza maggiore.

I fenomeni carsici e i fenomeni di dissoluzione in questa tratta sono improbabili, vista la composizione prevalentemente fillosilicatica dei litotipi. Non si possono comunque escludere locali e limitati settori con microcarsismo nelle bancate maggiormente carbonatiche e presenza di sottili livelletti di dissoluzione con materiale incoerente.

La presenza di fronti misti, con contatti litologici tra litotipi a differente competenza meccanica è possibile in tutto il settore qui considerato. Ciò dipende principalmente dalla possibile intersezione, all'interno dei litotipi milonitici scistosi, di scaglie di litotipi non milonitici o comunque di litotipi a

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 65 di 68

differente competenza e più compatti, quali calcari, anidriti, basalti, serpentiniti. Non si può inoltre escludere che, qualora intercettati, i contatti tra le miloniti e tali corpi litologici presentino delle riattivazioni cataclastiche di modesta entità (livelli di gouge di spessore centimetrico) che comunque contribuirebbero a determinare un elemento di debolezza meccanica sul fronte. Fronti misti saranno sicuramente da prevedersi in corrispondenza della zona di faglia citata in precedenza.

La presenza di materiale amiantifero in questo settore è ritenuta poco probabile, ma non può essere esclusa, poiché all'interno della fascia milonitica attraversata potrebbero essere incontrate rocce serpentinitiche e oficalci.

Condizioni simili a quelle sopradescritte si potranno trovare anche negli ultimi metri della discenderia (tratta pm 1280 – 1297), dove lungo il profilo geologico è previsto un nuovo passaggio dagli argilloscisti neri (Mn) agli argilloscisti filladici (f).

8.5 Tratta pm 1145 – 1280 ca.

Litotipi attraversati

In questo settore saranno attraversati prevalentemente livelli riferibili agli argilloscisti neri (Mn), consistenti in scisti carbonatici neri, calcari impuri grigio-nerastri passanti lateralmente a scisti calcarei fortemente foliati di colore grigio scuro-argenteo. Le bancate maggiormente carbonatiche non superano in genere il metro di spessore e solo localmente esse sono presenti in quantità consistente, mentre più sovente prevalgono gli scisti. All'interno della successione si intersecheranno anche livelli milonitici, con tessitura fortemente foliata e più fissili delle facies non milonitiche. Saranno possibili minori intercalazioni di argilloscisti filladici (f) in giacitura di scaglie tettoniche all'interno della zona milonitica.

Presenza di faglie e stato di fratturazione

E' prevista l'intersezione con una zona di faglia all'immediato inizio della tratta. La faglia in questione è stata individuata nel sondaggio L2-CR2. Si tratta di un elemento strutturale con fascia di deformazione piuttosto circoscritta, dell'ordine di 10-20m di spessore e caratterizzata da rocce di faglia scistose a tessitura caotica. Nella zona di nucleo della faglia sarà possibile intersecare livelli a granulometria fine (gouge) di spessore modesto (1-2 m al massimo). L'angolo d'intersezione con la discontinuità è favorevole, poiché essa taglia la galleria con un angolo di incidenza di circa 50°. L'inclinazione delle faglia è ad alto angolo.

Non si può inoltre escludere la presenza di faglie minori, con persistenza metrico-decametrica, caratterizzate da brecce tettoniche.

Lo stato di fratturazione generale dell'ammasso è caratterizzato da una densità delle superfici di discontinuità bassa, poiché la pervasività della foliazione in queste rocce ha consentito di accomodare le deformazioni in regime fragile con scorrimenti interfoliali, prevenendo lo sviluppo di nuove superfici di discontinuità.

Lo scavo procederà in un ammasso caratterizzato da un'anisotropia meccanica elevata a causa della foliazione che risulta essere molto pervasiva.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 66 di 68</p>

L'orientazione delle scistosità è relativamente favorevole in quanto la galleria intercetta la scistosità con un angolo di incidenza in pianta di circa 45°-50°. Le superfici di scistosità saranno comunque deformate dalle pieghe aperte D3 che potranno determinare variazioni della loro inclinazione da basso ad alto angolo. Sia sui fronti di scavo che sui paramenti si potranno quindi localmente verificare giaciture della superficie di foliazione a franapoggio che potranno determinare lo sviluppo di superfici di scivolamento preferenziali.

I fenomeni carsici e i fenomeni di dissoluzione in questa tratta sono poco probabili, vista la composizione fillosilicatica oltre che carbonatica dei litotipi. Non si possono comunque escludere locali e limitati settori con microcarsismo nelle bancate maggiormente carbonatiche e presenza di sottili livelletti di dissoluzione con materiale incoerente.

9 COMPARAZIONE TRA L'ASSETTO GEOLOGICO LUNGO IL TRACCIATO DELLE DUE SOLUZIONI 3 E 4 (PE) E IL TRACCIATO DI PROGETTO DEFINITIVO (SOLUZIONE 2)

In conseguenza delle variazioni di tracciato della galleria di Cravasco realizzata nel Progetto Esecutivo è opportuno fornire alcune reciproche valutazioni comparative oltre che rispetto al tracciato di Progetto Definitivo.

L'assetto geologico lungo i tre tracciati risulta essere molto simile. La lunghezza d'intersezione con le Dolomie del Monte Gazzo (dG) e i calcari di Gallaneto (cG) nel tratto iniziale della discenderia è del tutto comparabile nei tre casi. Il tracciato di PD nella tratta intermedia e finale interseca tratte più estese di argilloscisti milonitici f rispetto ai due tracciati del PE, che per contro intersecano per lunghezze maggiori gli argilloscisti Mn o le loro facies milonitiche. Ciò tuttavia ha pochi risvolti pratici sia dal punto di vista geomeccanico che dal punto di vista idrogeologico, dal momento che i due litotipi hanno comportamento comparabile.

Il settore ove i tre tracciati si differenziano maggiormente dal punto di vista geologico – strutturale, con le rispettive conseguenze sui livelli di pericolosità geomeccanica ed idrogeologica è la tratta terminale della discenderia, comprendente il camerone di innesto sulle gallerie di linea.

- Nella soluzione 2 di PD, il camerone di innesto si sviluppa interamente all'interno degli argilloscisti filladici milonitici, con possibile presenza di scaglie tettoniche di natura basaltica, serpentinitica, calcarea o evaporitica. Sulla base dei dati derivanti dal sondaggio L2-CR5, l'estremità Ovest del camerone è interessata da una faglia principale di spessore decametrico, con litoni di roccia fratturata separata da settori metrici di gouge a matrice argillosa (cfr. Figura 25 e Figura 28).
- Nella soluzione 3 (PE) il camerone di innesto è posizionato con la propaggine Occidentale, oltre l'asse della discenderia, in corrispondenza del contatto tra gli Argilloscisti neri (Mn) ed i Calcari di Gallaneto (cG). Tenendo conto dell'incertezza sulla direzione di deviazione del sondaggio L2-CR4 (cfr. par. 6.3.5) e di quanto descritto in maggior dettaglio per questa soluzione di modifica tecnica al paragrafo 7.3, sono possibili due ricostruzioni della geologia lungo l'asse della tratta terminale della finestra e del camerone di innesto:

- a) La ricostruzione più ottimistica (con il sondaggio CR4 deviato verso N300°E) prevede l'intersezione del limite Mn-cG lungo l'asse del camerone a circa 5 m dall'estremità Ovest di quest'ultimo, mentre lungo l'asse della discenderia il limite non verrebbe mai intersecato. (cfr Figura 25 – a).
- b) La ricostruzione più conservativa (con il sondaggio CR4 deviato verso N120°E), prevede l'intersezione del limite Mn-cG lungo l'asse del camerone all'incirca a metà tra l'asse del binario pari della linea e l'asse della discenderia. Lungo la discenderia l'intersezione del suddetto limite avverrebbe, a quota platea, alla pm 1250 ca. In questo caso circa il 40% dello sviluppo del camerone verso Ovest e la parte terminale della discenderia sarebbero da scavare nei Calcari di Gallaneto e l'estremità di Nord Ovest del camerone arriverebbe a lambire il contatto con le sottostanti Dolomie del Monte Gazzo, con un'elevata probabilità di intersecare l'acquifero carsico.
- Nella soluzione 4 (PE), il camerone si sviluppa per la maggior parte all'interno degli argilloscisti filladici milonitici, con possibile presenza di scaglie tettoniche di natura basaltica, serpentinitica, calcarea o evaporitica, passando verso l'estremità Ovest agli Argilloscisti Neri (Mn). Il limite tra questi ultimi ed i Calcari di Gallaneto, seppur nella ipotesi più conservativa tra le due ipotizzabili sulla base della possibile direzione di deviazione del sondaggio CR4, si troverebbe ad oltre 25 m di distanza dall'estremità dello scavo lungo l'asse del camerone stesso.

Nella tabella che segue è riportata una sintesi di confronto dei livelli di pericolosità geologica per le tre soluzioni sopra descritte, con riferimento alle condizioni ipotizzate per la zona di innesto sulle gallerie di linea, integrata con quanto ipotizzabile per la soluzione 1 di progetto preliminare.

		Pericolosità			
		Idrogeologica	Geotecnica	Amianto	Gas
Opzione tracciato	Soluzione 1 - PP	Alta	Bassa	Trascurabile	n.d.
	Soluzione 2 - PD	Bassa	Media	Bassa	n.d.
	Soluzione 3 - PE - Aprile 2013	Alta	Bassa	Bassa	n.d.
	Soluzione 4 - PE - Novembre 2014	Trascurabile	Bassa	Bassa	n.d.

Figura 29 – Tabella di confronto dei livelli di pericolosità geologica per le 4 soluzioni di tracciato della Finestra Cravasco.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-001-C00 Foglio 68 di 68

10 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.