

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 Idrogeologica

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

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

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
E00	Revisione generale	Bollettinari <i>R. Botta</i>	27/07/2015	ROCKSOIL <i>Q. Pannam</i>	27/07/2015	A. Mancarella <i>A. Mancarella</i>	28/07/2015	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R
C00	Revisione a seguito istruttoria IG5102E07ISGN14H0001A	Bollettinari <i>R. Botta</i>	06/08/2014	Bollettinari <i>R. Botta</i>	06/08/2014	A. Palomba <i>A. Palomba</i>	07/08/2014	
D00	Revisione per Modifica Tecnica MT000114/2	Bollettinari <i>R. Botta</i>	24/11/2014	Bollettinari <i>R. Botta</i>	24/11/2014	A. Palomba <i>A. Palomba</i>	25/11/2014	

n. Elab.:	File: IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX
-----------	--

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica</p> <p style="text-align: right;">Foglio Pag. 2 a 104</p>

Indice

1.	PREMESSA	5
1.1.	Gruppo di lavoro	7
2.	METODOLOGIA DI INDAGINE	7
2.1.	Obiettivi e finalita' del monitoraggio e dell'analisi chimica delle acque	10
3.	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	10
4.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	14
4.1.	Assetto geologico-strutturale locale.....	16
5.	ASSETTO GEOLOGICO LUNGO L'OPERA IN PROGETTO.....	17
5.1.	Descrizione del tracciato.....	17
5.2.	Indagini integrative effettuate nell'area della Finestra Cravasco.....	17
5.3.	Tratta pk 0.00 – 330.00 ca.....	21
5.4.	Tratta pk 330.00 – 400.00 ca.....	21
5.5.	Tratta pk 400.00 – 880.00 ca.....	22
5.6.	Tratta pk 880.00 – 1321.00 ca.....	23
5.7.	Camerone di innesto della Finestra Cravasco alla Galleria di Linea.....	24
6.	INDAGINI GEOMORFOLOGICHE DI DETTAGLIO	25
6.1.	Forme e depositi dovuti all'azione della gravità.....	25
6.2.	Forme e depositi dovuti allo scorrimento delle acque superficiali	27
6.3.	Altre morfologie legate all'attività estrattiva in sotterraneo	29
6.4.	Morfologia carsica.....	30
6.4.1.	Complesso carsico di Isoverde.....	31
7.	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DELL'AREA.....	55
8.	CARATTERISTICHE DI PERMEABILITÀ DEGLI ACQUIFERI.....	56
8.1.	Prove di permeabilità eseguite in foro di sondaggio.....	56
8.2.	Caratteristiche dei punti d'acqua dell'area.....	59
8.3.	Caratteristiche del reticolo idrografico	67
8.3.1.	Il monitoraggio dei corsi d'acqua	68
8.4.	Ricostruzione del profilo piezometrico.....	72
8.5.	Valutazione delle portate drenate in galleria nella fase di cantiere	72
9.	LA CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA.....	75
9.1.	Prove di tracciamento	75
10.	CHIMICA DELLE ACQUE	82
10.1.	Premessa Metodologica	82
10.2.	Caratterizzazione chimica delle acque	84

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica</p> <p style="text-align: right;">Foglio Pag. 3 a 104</p>

10.3.	Caratterizzazione isotopica delle acque	93
11.	POSSIBILE IMPATTO SULLE RISORSE IDRICHE	96
12.	CONFRONTO TRA I DUE DIFFERENTI TRACCIATI (DI P.E. E P.E.- MODIFICATO - NOVEMBRE 2014)	98
13.	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	100
14.	BIBLIOGRAFIA	103

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX
Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica

Foglio
Pag. 4 a
104

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 313"> <tr> <td>Foglio Pag. 5 a 104</td> </tr> </table>	Foglio Pag. 5 a 104
Foglio Pag. 5 a 104		

1. PREMESSA

La presente relazione viene emessa per ottemperare alle prescrizioni CIPE 80/2006 che nell'ambito dell'approvazione del Progetto Definitivo del Terzo valico ferroviario del 2005 evidenziavano, per l'area di Cravasco e Isoverde interessata dalla realizzazione della finestra Cravasco, la necessità di avviare, studi ed indagini mirate alla definizione del sistema di circolazione idrica sotterranea dell'area e ad indagini di tipo geomorfologico, con particolare riferimento al riconoscimento di morfologie carsiche di superficie e in sottterraneo.

Più in particolare, nell'Allegato 1, Prescrizioni alla Delibera CIPE, al punto 6 Integrazioni progettuali pag. 13, si enuncia che nell'ambito della progettazione esecutiva sono da attuare approfondite indagini idrogeologiche per *“definire con certezza il grado di relazione esistente tra le acque sotterranee in sponda sinistra del T. Verde e il sistema carsico di Isoverde”*.

Già nella stesura del Progetto Definitivo del 2005 COCIV aveva dato evidenza di alcune delle problematiche indicate poi nella delibera CIPE. Al riguardo va comunque ricordato che nell'ambito dello stesso P.D. il tracciato della finestra Cravasco aveva subito, rispetto al Progetto Preliminare una sostanziale modifica proprio per le problematiche connesse con la presenza di rocce carbonatiche localmente carsificate e per una importante circolazione idrica sotterranea, avente come recapito la sorgente de I Buggi, in destra idrografica del T. Verde, a 220 m s.l.m., al contatto tra Calcari dolomitici di M. Gazzo (dG) e Calcari di Gallaneto (cG): nel Progetto preliminare, infatti, il tracciato attraversava con andamento rettilineo il massiccio calcareo-dolomitico del Monte Carlo da SW a NE per l'intero sviluppo della finestra,

Nel Progetto definitivo veniva proposto, per la Finestra Cravasco, un tracciato curvilineo con scavalco della galleria di linea e innesto sulla canna di binario dispari.

Lo scopo era duplice:

- ridurre il tratto scavato nei calcari dolomitici, da 1300 m ca. del P.P., ai 700 m del P.D.;
- posizionare l'innesto sul lato binario dispari per allontanarlo il più possibile dalle formazioni carbonatiche immergenti verso il binario pari.

Le indagini e gli approfondimenti di tipo geologico, idrologico, idrogeologico, geochimico e geomorfologico hanno avuto inizio a Marzo 2013 e si sono conclusi ad Aprile 2014, con attività di monitoraggio e misure in sito che sono tuttora in corso nell'ambito del Piano di monitoraggio Ambientale (Fase ante operam).

I sondaggi meccanici mirati ad individuare, a quota cavo, il limite tra le unità carbonatiche (Calcari dolomitici di M. Gazzo e Calcari di Gallaneto) e Argillosisti (Mn e f) si sono conclusi ad Agosto 2014.

Nel dettaglio le attività di maggior rilievo hanno riguardato.

- Lo studio geomorfologico dell'area di bacino del T. Verde a monte di Isoverde
- Il censimento delle cavità carsiche presenti nell'area dello stesso bacino idrografico
- Il censimento di tutte le sorgenti ricadenti nell'alto bacino idrografico del T. Verde
- La scelta delle sorgenti su cui effettuare misure e campionamenti
- La scelta delle sezioni d'alveo su cui effettuare misure e campionamenti
- Il monitoraggio di sorgenti e corsi d'acqua

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 313"> <tr> <td>Foglio Pag. 6 a 104</td> </tr> </table>	Foglio Pag. 6 a 104
Foglio Pag. 6 a 104		

- Il prelievo di campioni su sorgenti e corsi d'acqua
- Le analisi chimiche ed isotopiche sulle acque di sorgenti e corsi d'acqua
- L'acquisizione dei dati litostratigrafici e idrogeologici derivanti dai sondaggi meccanici a carotaggio continuo
- L'acquisizione dei livelli di falda su piezometri posizionati in vicinanza del tracciato della finestra Cravasco.
- Prove di tracciamento con immissione del tracciante in alveo e all'interno di cavità carsiche accessibili e conosciute dagli speleologi locali.

Le finalità dello studio sono di definire le modalità di circolazione idrica sotterranea dell'area anche con l'elaborazione di un modello concettuale idrogeologico, indicando le possibili modificazioni indotte dallo scavo della galleria, sulla base di una stima delle portate drenate e le possibili ripercussioni sulle risorse idriche dell'area, con particolare riferimento a quelle riconducibili al sistema carsico di Isoverde.

Come illustrato in seguito i risultati ottenuti dal presente studio ci consentono di escludere per la Finestra Cravasco interferenze sul sistema di circolazione idrica profonda ascrivibile al sistema carsico principale che ha come recapito la sorgente I Buggi, SCM368, le cui acque affiorano in destra T. Verde a 220 m s.l.m., al contatto tra la formazione dei Calcari dolomitici di M. Gazzo e i Calcari di Gallaneto.

Alla luce di quanto emerso dalle prime indagini è stato elaborato, per la Finestra Cravasco, un primo tracciato di Progetto esecutivo (Agosto 2014) che riduceva ulteriormente, rispetto al definitivo, il tratto scavato nelle formazioni carbonatiche (acquifero).

A seguito degli ultimi sondaggi realizzati nell'area (L2-CR4 e L2-CR5), il nuovo e definitivo tracciato della finestra Cravasco viene modificato, rispetto al precedente a partire da pk 0+400 circa e fino all'innesto alla galleria di valico che in questa soluzione si pone sul lato binario dispari.

La scelta di posizionare il camerone di innesto sul lato binario dispari, rispetto al progetto precedente (Agosto 2014) che lo vedeva sul binario pari, è stata fatta a seguito del completamento dei due sondaggi sopra menzionati (L2-CR4, in particolare) che hanno evidenziato la presenza, nei pressi dell'innesto, a quota camerone, dei Calcari di Gallaneto.

Il nuovo tracciato, fino a pk 0+400 (quello più critico per gli aspetti idrogeologici), ove è posto il passaggio tra calcari e argiloscisti, non si discosta sostanzialmente dal precedente. Questo, come il precedente, ponendosi in posizione più parietale rispetto al tracciato di P.D., e ad una quota lievemente più elevata, attraversa quasi ortogonalmente le unità carbonatiche, andando ad interessare una porzione di acquifero saturo più contenuta; la modifica planimetrica che lo pone più a sud rispetto a quello di P.D., riduce anche il rischio di impatto sulle sorgenti dell'alta valle del T. Rizzolo che garantiscono deflussi idrici in alveo, ancorché modesti (4-5 l/s) nel periodo estivo.

Il nuovo tracciato, nel tratto oltre lo scavalco delle gallerie di valico, il cui innesto è posto sul lato binario dispari elimina ogni possibilità di interferenza sulle sorgenti dell'alta valle del Rizzolo poste al contatto tra Calcari dolomitici e Calcari di Gallaneto e tra calcari di Gallaneto e Argiloscisti.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 313"> <tr> <td>Foglio Pag. 7 a 104</td> </tr> </table>	Foglio Pag. 7 a 104
Foglio Pag. 7 a 104		

1.1. Gruppo di lavoro

Lo studio idrogeologico e geomorfologico è stato realizzato dal Dott. Geol. Guido Bollettinari.

I rilievi geologici di superficie sono stati realizzati da G.D.P. Consultants (Dott. Geol. Paolo Perello e Dott. Geol. Antonio Damiano)

Le analisi chimiche e isotopiche sono state effettuate nel Laboratorio di studi interdisciplinari sulle risorse idriche del Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università degli studi di Parma.

Le prove di tracciamento sono state eseguite con il supporto degli speleologi:

- Alessandro Vernassa (Speleo Club Ribaldone, Genova)
- Luigi Perasso (ASG San Giorgio, Genova)
- Roberto Chiesa (Gruppo Speleologico Cycnus, Toirano - SV)
- Serena Fassone (Speleo Club Ribaldone, Genova)
- Andrea Vigo (ASG San Giorgio, Genova).

2. METODOLOGIA DI INDAGINE

Gli studi e gli approfondimenti sono stati eseguiti per rispondere alle richieste fatte in sede di Conferenza dei servizi dalla Regione Liguria e riportate nella Delibera del CIPE n. 80/2006. Approfondimenti che sono sostanzialmente gli stessi contenuti della proposta metodologica di approfondimento di P.D. di COCIV (Doc. A30100DCVEXOV4100001).

PRESCRIZIONE CIPE 80/2006			DESCRIZIONE ESTESA DELLA PRESCRIZIONE
All.1 4	6u7)	Approfondimento sistema carsico di Isoverde	Programmazione, ai fini della successiva realizzazione, di approfondite indagini idrogeologiche per definire con certezza il grado di relazione esistente tra le acque sotterranee in sponda sinistra del T. Verde e il sistema carsico di Isoverde;
All.1 4	6u8)	Approfondimento aree carsiche (censimento grotte)	Approfondimento geomorfologico, idrogeologico e naturalistico per tutte le aree carsiche interessate dalle opere e della messa in atto di misure per ovviare all'alterazione delle grotte e degli ecosistemi presenti in esse;

Come già evidenziato, le indagini effettuate sul sistema carsico di Cravasco Isoverde, nell'ambito del Progetto Definitivo, portarono ad una prima variante di tracciato della Finestra Cravasco.

Variante proposta per evitare il rischio di un drenaggio dell'acquifero carsico costituito dalle dolomie di M. Gazzo, affioranti in corrispondenza dei rilievi montuosi del M. Carlo e del M. Carmelo, la cui massima espressione in superficie è costituita dalla sorgente I Buggi (o Isoverde) SCM368, in alveo, in

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 8 a 104

destra T. Verde, a 220.00 m s.l.m, un tempo utilizzata dal Cartonificio di Isoverde e attualmente oggetto di una richiesta di concessione per l'utilizzo idroelettrico.

Il tracciato della finestra definito nell'ambito del P.D. garantiva un franco di 30 m tra la quota sorgente di 220 m s.l.m. e la quota scavo, al passaggio tra Dolomie del M. Gazzo e Calcari di Gallaneto (quota galleria a 250 m s.l.m., al passaggio Dolomie-Calcari che nel progetto di P.D. era previsto a ca. 600 m dall'imbocco).

Sulla base delle indicazioni del CIPE le nuove indagini, sono state indirizzate a definire nel modo più esaustivo possibile la struttura del sistema carsico dell'area di Cravasco-Isoverde in modo da evidenziare:

- se vi è presenza di circuiti carsici superiori, in quota, o comunque diversi rispetto a quelli che alimentano la sorgente dei Buggi di quota 220 m s.l.m.;
- se vi è continuità idraulica tra Dolomie di M. Gazzo e Calcari di Gallaneto;
- se i limiti litostratigrafici/tettonici posti lungo il tracciato, in sotterraneo, tra Dolomie di M. Gazzo, Calcari di Gallaneto e Metargilliti sono quelli riportati nel profilo geologico longitudinale di P.D. o se devono essere corretti;
- se vi sono cavità carsiche ed ecosistemi ipogei sul versante sinistro del T. Verde, nell'area circostante il tracciato in progetto.

Per dare risposta ai quesiti posti le indagini sono state estese all'intero bacino idrografico del T. Verde, a monte di Isoverde in quanto già nel corso delle indagini a supporto del P.D. erano emerse alcune "anomalie" che citiamo brevemente.

- una riduzione di portata idrica nell'area della Cava di Cravasco-Castellaro e nel tratto di valle sino alla confluenza con il T. Cravasco;
- una riduzione di portata idrica, con totale scomparsa del deflusso in alveo (nel periodo estivo), a monte della sorgente dei Buggi, nel tratto compreso tra la confluenza Rio dei Campi – T. Verde (cava di Calcestruzzi s.p.a.) e la briglia a 225 m s.l.m., posta a protezione del metanodotto;
- una riduzione della portata in alveo nel tratto compreso tra le due briglie di Isoverde (area con fenomeni di subsidenza interessata, nell'estate del 2004, da lavori di regimazione idraulica e di consolidamento);
- una completa infiltrazione, in periodo di magra, delle acque del T. Rizzolo nel tratto posto a valle del cimitero di Isoverde;
- una imprecisa rappresentazione e attribuzione genetica dei depositi continentali quaternari nell'area di Cravasco (riportata dalla cartografia CARG, Foglio Genova) rispetto a quanto osservato dallo scrivente.

<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-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica</p> <p>Foglio Pag. 9 a 104</p>

L'area oggetto di indagine è stata estesa all'intero bacino idrografico del T. Verde, a monte di Isoverde, con particolare dettaglio per l'areale del M. Carlo, tra i sottobacini idrografici del Rio Valletta a ovest e del Rio Rizzolo a est.

Sono state effettuate anche indagini nel bacino idrografico del rio Corneo (Gallaneto) sottobacino del Rio Ciappuen (Neppiane) che delimita a sud il rilievo carbonatico del M. Carmelo; anche qui è stata riscontrata, per lungo tratto, assenza di deflusso in alveo per lunghi periodi dell'anno.

Gli approfondimenti per quanto attiene gli aspetti geomorfologici, con particolare riferimento alla morfologia carsica sono stati effettuati preliminarmente con uno studio foto interpretativo di foto aeree b/n volo IGM del 1951 a scala 1:18.000 circa e con controlli mirati sul terreno; questa levata aerofotografica è stata preferita alle altre, più recenti, in quanto in quel periodo il territorio era del tutto privo (salvo aree limitatissime) di copertura arborea.

Le aree di cava (Calcestruzzi s.p.a e Cava Grandi) non rappresentate sulla copertura aerofotografica del 1951 sono state oggetto di rilievi puntuali.

Sono stati poi effettuati rilievi mirati al completamento del censimento dei punti d'acqua (sorgenti).

Allo stesso modo per quanto attiene il monitoraggio degli alvei, a cui afferiscono gran parte delle sorgenti oggetto di monitoraggio, sono state effettuate verifiche speditive di portata idrica in modo da posizionare le sezioni idrauliche di misura a monte e a valle dei tratti interessati da perdite di portata per infiltrazione e regolarizzate, con piccole briglie, alcune delle sezioni idrauliche scelte per il monitoraggio. Le misure di portata in alveo sono state in gran parte effettuate con il correntometro (mod. Flow probe della Global Water) e in qualche caso, su corsi d'acqua minori, con contenitore graduato.

A completamento del censimento dei punti d'acqua sono stati scelti i punti su cui effettuare il monitoraggio delle portate, i prelievi e le analisi chimiche. Le sezioni di misura in alveo, raffigurate nella cartografia, sono state in totale 9. Le sorgenti oggetto di monitoraggio sono state in totale 19. Sono due poi i campionatori di acque di pioggia installati, uno a Isoverde a 230 m s.l.m. e uno a Lavaggi di Cravasco a 620 m sl.m.

Il monitoraggio dei punti d'acqua, effettuato con cadenza mensile, ha avuto inizio a Marzo 2013 e si è concluso ad Aprile 2014, con una breve interruzione a Dicembre 2013 e a Gennaio 2014.

Le misure di portata delle sorgenti sono state effettuate con contenitore graduato ad esclusione della sorgente dei Buggi SCM368 le cui misure sono state effettuate con il correntometro Flow probe della Global Water.

Una volta completati i prelievi i campioni d'acqua di sorgenti e alvei sono stati indirizzati al Laboratorio del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Parma.

Per gli approfondimenti riguardanti le modalità di circolazione idrica sotterranea nel tratto di T. Verde interessato da perdite di portata sono state effettuate alcune prove di tracciamento con Fluoresceina sodica e soluzione acquosa di cloruro di sodio.

<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-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica</p> <p>Foglio Pag. 10 a 104</p>

Per gli approfondimenti litologico-stratigrafici e idrogeologici sono stati realizzati sei sondaggi L2-CR1, L2-CR1bis, L2-CR2, L2-CR3, L2-CR4 e L2-CR5, la cui ubicazione è riportata nella cartografia allegata.

Attività propedeutiche di cantiere:

Per l'effettuazione delle misure in alveo e sulle sorgenti si è provveduto alla realizzazione delle seguenti opere (Opere su alvei e sorgenti doc. IG5101ECVRHOV4100001):

- adeguamento di traverse o briglie esistenti, o la realizzazione di nuove briglie sul T. di Campi, sul T. Verde, sul T. Cravasco e sul T. Rizzolo, per l'effettuazione di misure di portata;
- realizzazione di opere di raccolta delle acque su sorgenti non captate.

2.1. Obiettivi e finalita' del monitoraggio e dell'analisi chimica delle acque

Il monitoraggio delle portate e la caratterizzazione geochimica e isotopica delle acque di sorgenti e corsi d'acqua del bacino idrografico del T. Verde, sono stati eseguiti con lo scopo di ricavare elementi utili:

- alla definizione dei circuiti idrogeologici;
- alla definizione delle dinamiche idrogeologiche;
- alla definizione dell'età delle acque;
- alla definizione di un bilancio idrologico;
- alla stima delle possibili interferenze sui punti d'acqua di superficie;
- alla progettazione di eventuali opere di mitigazione.

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il bacino idrografico del T. Verde è delimitato da rilievi collinari e montuosi che si estendono altimetricamente tra il crinale del Monte Carlo a est, il M. Leco a nord e il crinale M. Taccone Bric di Guana a ovest. Tali rilievi si elevano da un minimo di 550 m del M. Carlo fino ad un massimo di 1110 m di M. Taccone.

Esso risente delle condizioni geologiche molto eterogenee che si evidenziano morfologicamente dando luogo a versanti e crinali variamente orientati e articolati. La presenza di una struttura tettonica ad andamento meridiano e a sviluppo regionale quale la linea Sestri Voltaggio ha condizionato per un certo tratto la disposizione della rete idrografica ed ha favorito l'istaurarsi di processi di degradazione e di erosione anche su rocce originariamente massive e scarsamente erodibili come le unità ofiolitifere.

La morfologia del versante destro del bacino ove affiorano appunto tali unità è comunque caratterizzato da rilievi aspri e valli profondamente incise con estesi fenomeni ascrivibili ad erosione accelerata.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica Foglio Pag. 11 a 104

L'elevato grado di fessurazione osservabile negli ammassi rocciosi posti in corrispondenza della linea Sestri Voltaggio, indipendentemente dalla loro genesi e natura, ha favorito l'instaurarsi di intensi fenomeni di degradazione con l'accumulo di ingenti quantitativi di detrito alla base dei versanti. L'evoluzione successiva di questi depositi ad opera delle acque meteoriche, i cui apporti sul territorio ligure sono sempre notevoli, si è manifestata con fenomeni di trasporto in massa di notevole intensità ed entità.

L'intero fondovalle posto a monte degli affioramenti calcareo-dolomitici di M. Carmelo e M. Carlo, ove sorge l'abitato di Cravasco, è colmato da potenti depositi di frana del tipo debris flow-debris avalanche. Anche recentemente nell'alto bacino del Rio dei Campi (affluente di monte del T. Verde) si sono manifestate colate detritiche che hanno determinato un vistoso approfondimento dell'alveo. Fenomeni di instabilità evidenziati da trincee e fessurazioni si osservano sui corpi franosi che possiamo definire quiescenti posti alle quote più elevate del bacino.

Per gli aspetti idrografici sono sostanzialmente tre i bacini idrografici maggiori la cui confluenza è situata nei pressi di Isoverde: il T. Corneo o Gallaneto a ovest, il Rio Rizzolo a est e il T. Verde che con andamento meridiano e deflussi verso sud occupa il settore centrale dell'intero bacino idrografico.

Le forme ed i processi erosivi legati alla dinamica torrentizia risentono anch'essi delle caratteristiche litologiche dei terreni affioranti all'interno del bacino idrografico. Mentre a monte dell'area di affioramento dei calcari dolomitici gli alvei insistono su corpi di frana costituiti da materiali eterogenei con clasti di varie dimensioni, dalle ghiaie ai blocchi, immersi in una matrice limoso-sabbiosa, nell'area di attraversamento dei calcari l'alveo si restringe progressivamente fino ad assumere, nei pressi di Isoverde, le caratteristiche di una vera e propria forra.

La morfologia carsica di cui si illustreranno più dettagliatamente le caratteristiche nei paragrafi successivi assume un ruolo importante soprattutto nell'area del M. Carmelo e in prossimità dell'alveo del T. Verde. In superficie si osservano forme prevalentemente embrionali: piccoli solchi e *Karren* non uniformemente distribuiti osservabili alla sommità del M. Carmelo e sui versanti nordorientali del M. Carlo ove è assente la copertura detritica. Tra le forme riprodotte in superficie, in presenza di coltri detritiche, sono individuabili alcune piccole conche allungate nella direzione della stratificazione

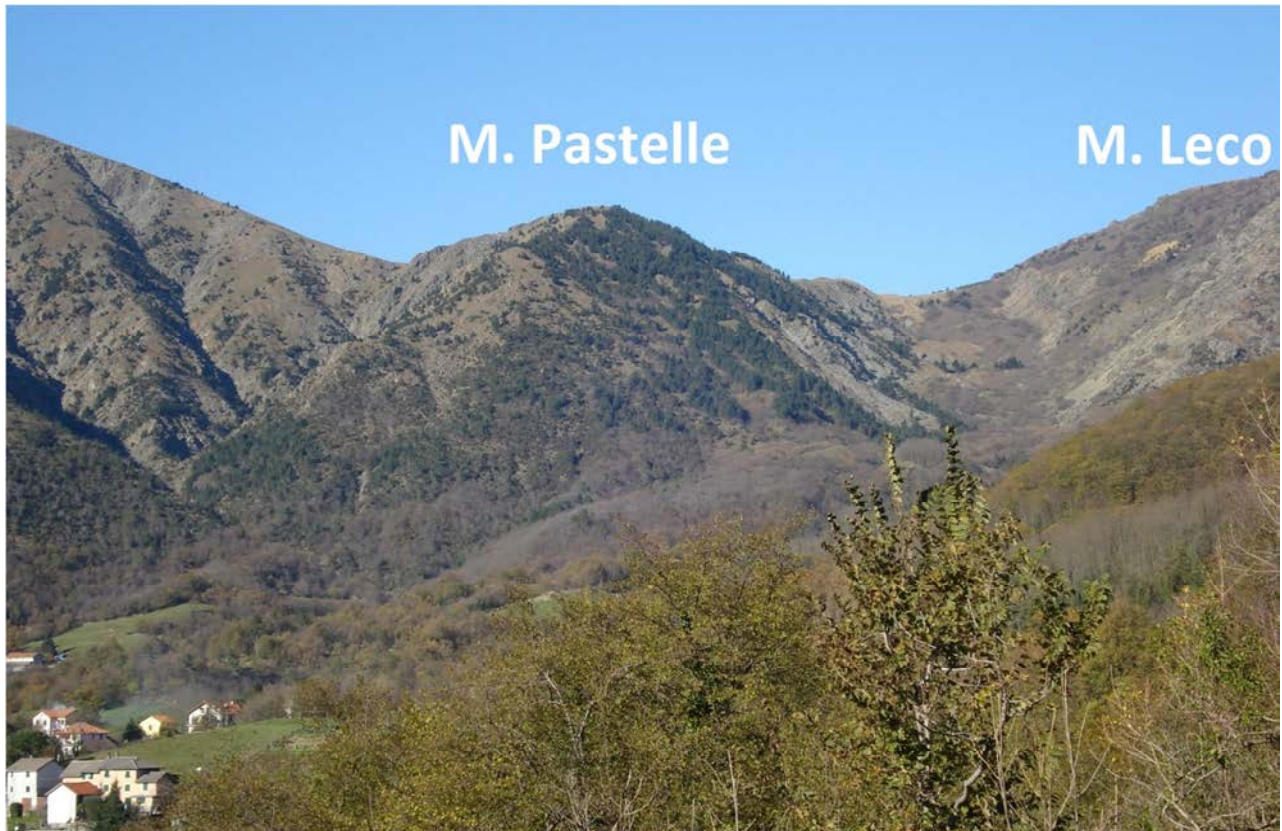
Le forme ipogee che si dipartono dalla superficie sono prevalentemente ascrivibili a pozzi che si aprono in superficie in totale assenza o quasi di forme associate (doline o inghiottitoi).

Sono documentate dalla ricerca speleologica cavità anche molto articolate ma di dimensioni contenute nell'area di M. Carmelo (Grotta n. 12 Agnoletto, Grotta del Buran, Pozzo Giovanni, Grotta Olimpo, ecc.) che, per quanto ad oggi documentato, si sviluppano in profondità fino ad attestarsi qualche metro sopra il livello di base dell'erosione.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica	Foglio Pag. 12 a 104

Anche i processi antropici hanno avuto ed hanno un ruolo importante nel modellamento dei versanti soprattutto nell'area di Isoverde. L'attività estrattiva esercitata sui versanti del M. Carmelo e del M. Carlo ne ha modificato in maniera importante l'assetto geomorfologico.

Nei pressi di Isoverde e all'interno dello stesso Abitato l'attività estrattiva esercitata in passato, in sotterraneo, sulle lenti di gesso intercluse all'interno degli argilloscisti ha determinato fenomeni di subsidenza e la formazione di inghiottitoi. Fenomeni questi che hanno interessato anche alcuni manufatti stradali ed edifici privati.



L'alto bacino idrografico del T. Verde (Rio dei Campi). Sulla destra la sella tra M. Leco e M. Pastelle e il solco vallivo impostati su una linea di faglia che mette a contatto i meta gabbri del M. Leco sulla destra con i serpentinoscisti di Bric del Monte in sinistra.

Si possono osservare le estese coperture detritiche sui versanti in destra idrografica, i profondi solchi dovuti all'erosione accelerata nei serpentinoscisti intensamente fratturati e i coni da debris flow. Lungo le profonde incisioni sono stati convogliati verso valle ingenti quantitativi di materiale detritico. I prati in basso e l'abitato di Cravasco sono impostati su queste estese e potenti coperture detritiche.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 14 a 104

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di studio si colloca nella zona di giustapposizione tra i domini orogenici alpino e appenninico, 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:

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 riequilibrio metamorfica delle rocce dell'Unità Palmaro-Caffarella è limitata alla facies scisti-blu (Federico et al. 2004). La distinzione sicura tra i litotipi delle due unità è in genere possibile solo a scala microscopica, in base ai caratteri mineralogico-petrografici.

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

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

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-piroseno, lawsonite, pumpellyite, epidoto), con retrocessione moderata
 - 8** UNITÀ TETTONOMETAMORFICA GAZZO - ISOVERDE
Unità di margine continentale, a sovrainpronta metamorfica di alta pressione
 - 9** UNITÀ TETTONOMETAMORFICA PALMARO - CAFFARELLA
Unità di crosta oceanica, a metamorfismo in facies Scisti Blu (glaucite, 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 ANGIASSINO - TERMA
Unità di margine continentale, a sovrainpronta metamorfica di alta pressione
 - 12** UNITÀ TETTONOMETAMORFICA ARENZANO
Costituita da un Complesso di margine continentale, monometamorfico, a sovrainpronta metamorfica alpina da alta pressione a Scisti Verdi e da un Complesso di margine continentale, polimetamorfico, a metamorfismo pre-alpino in facies Anfibolitica e sovrainpronta metamorfica alpina da alta pressione a Scisti Verdi
- Limite stratigrafico
 Contatto tettonico
 Faglia
 Traccia di sezione geologica

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica Foglio Pag. 16 a 104

4.1. 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 costituita prevalentemente da meta-argilliti (*"Unità Timone - Bric Teiolo"* auct.) e l'unità Gazzo-Isoverde, costituita in prevalenza da rocce carbonatiche, che ospita alcuni sistemi carsici di notevole interesse.

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, 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-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 17 a 104

5. ASSETTO GEOLOGICO LUNGO L'OPERA IN PROGETTO

Nell'ambito del presente paragrafo si descrivono gli elementi geologici e geomorfologici con preciso riferimento all' opera in progetto.

5.1. Descrizione del tracciato

Finestra Cravasco

La galleria che ha una lunghezza di 1321 m imbocca sul fronte di una cava impostata sui Calcari dolomitici di M. Gazzo (dG) a 295.0 m di quota e raggiunge quota 145.1 in corrispondenza dell'innesto con la galleria di linea, lato binario dispari.

La galleria di servizio sotto attraversa il Rio Rizzolo a pk 0+680 con 12 m di copertura, scavalca la canna pari della galleria di linea a pk 1+015.2, con 21m di copertura e la canna dispari a pk 1+089 con 11,3 m di copertura.

La finestra dopo un primo tratto rettilineo di circa 400 m, parallelo al versante sinistro del T. Verde, descrive un'ampia curva fino a disporsi intorno da pk 1+100 parallelamente alla canna dispari della galleria di linea, fino al camerone d'innesto di pk 1+321.

La ricostruzione geologica, è stata recentemente rivista a seguito di sondaggi che hanno comunque sostanzialmente confermato quanto ipotizzato sulla base dei soli dati di superficie.

5.2. Indagini integrative effettuate nell'area della Finestra Cravasco

Nell'ambito degli approfondimenti e delle indagini integrative previste per la redazione del Progetto Esecutivo della Finestra Cravasco sono stati effettuati, oltre ai rilievi geologico-strutturali e geomorfologici, nelle aree di affioramento dei Calcari dolomitici di M. Gazzo e dei Calcari di Gallaneto, anche quattro sondaggi meccanici a carotaggio continuo.

I sondaggi sono stati realizzati lungo il tracciato della Finestra, in posizione per lo più disassata rispetto al tracciato per la difficoltà di accesso, alle seguenti progressive: (L2-CR1 sub-orizzontale a pk 0+140, L2-CR1bis, a pk 0+400, L2-CR2 a pk 0+660, L2-CR3 a pk 1+100 ca., L2-CR4 a pk 10+100 lato binario pari e L2-CR5 a pk 10+300 ca., lato binario dispari).

Questi sondaggi hanno consentito di ricostruire in maniera sufficientemente precisa l'estensione in profondità delle unità litostratigrafiche osservabili in superficie e di caratterizzare dal punto di vista geologico, geomeccanico e idrogeologico gli ammassi rocciosi posti a breve distanza dalla galleria.

Sondaggio L2-CR1

Il sondaggio è stato realizzato a partire dalla ex Cava Calcestruzzi, situata poco a valle della parete di imbocco della Finestra a 262.67 m s.l.m. Si tratta di un sondaggio sub-orizzontale con azimuth N 95° e inclinazione di 1,5° verso il basso, orientazione questa dettata dalla necessità di poter raggiungere, dopo circa 250 m di perforazione, il tracciato della finestra, a pk 0+420, ove sulla base dei rilievi di superficie, è stato ipotizzato il passaggio tra i Calcari di Gallaneto cG e gli Argilloscisti Mn.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 18 a 104

I sondaggi L2-CR1bis L2-CR2, L2-CR3, L2-CR4 e L2-CR5 sono stati eseguiti verticalmente o con debole inclinazione e a carotaggio continuo. Le stratigrafie sono di seguito riportate.

Sondaggio L2-CR1 (sub-orizzontale con azimut 95°)	
Da m 0.00 a m 4.20	Calcari dolomitici alterati e molto fratturati con piani di frattura ossidati di colore rossastro
Da m 4.20 a m 20.00	Calcari dolomitici con rare e sottili intercalazioni di argilloscisti nerastri. fogliettati e molto fratturati
Da m 20.00 a m 30.00	Calcari dolomitici grigio chiari molto fratturati con piani di frattura ossidati e frequenti riempimenti di materiale detritico in parte dilavato. Piani di frattura paralleli all'asse del sondaggio
Da m 30.00 a m 33.00	Calcari dolomitici con rari e sottili livelli di argilloscisti nerastri
Da m 33.00 a m 40.00	Calcari dolomitici fratturati con riempimento detritico di colore giallo ocraceo. A 40 m venuta d'acqua per ca. 0,33 l/s
Da m 40.00 a m 100.00	Calcari dolomitici molto fratturati con tratti ossidati e riempimento detritico. A 60 m venuta d'acqua di ca. 2,3 l/s in rapida riduzione e stabilizzazione a 1,2 l/s
Da m 100.00 a m 120.00	Calcari dolomitici molto fratturati e ossidati con riempimento in parte dilavato dalle acque di falda
Da m 120.00 a m 140.00	Calcari dolomitici grigi fratturati debolmente alterati a tratti molto fratturati
Da m 140.00 a m 180.00	Calcari dolomitici fratturati con riempimento detritico. A ca. 180 m venute d'acqua di 10 l/s
Da m 180 a m 201.30	Calcari dolomitici grigi fratturati debolmente alterati a tratti molto fratturati
Da m 201.30 a m 201.70	Argilloscisti nerastri
Da m 201.70 a m 220.00	Calcari dolomitici fratturati con fratture parallele all'asse del sondaggio e con presenza di zone cataclastiche. Aumento progressivo della portata idrica fino a ca. 20 l/s
Da m 220.00 a m 244.50	Calcari dolomitici fratturati e deb. alterati, a tratti molto fratturati, con riempimento detritico
Da m 244.50 a m 245.00	Tratto dilavato con materiale detritico fine (probabile cavità parzialmente riempita di detrito fine)
A m 246	Fine sondaggio

Il sondaggio, nel corso del quale era previsto di intercettare acqua, è stato attrezzato con piezometro a tubo aperto finestrato da m 170 a fondo foro e completamente cementato da bocca foro a 170m. A bocca foro è stata posizionata una flangia di chiusura, provvista di manometro per la misura dei battenti idrici e di un rubinetto per il campionamento dell' acqua. Nel corso del sondaggio sono state poi effettuate in maniera sistematica misure di portata idrica a bocca foro.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 19 a 104

Sondaggio L2-CR1bis (inclinato di 10° rispetto alla verticale, con azimuth 310°)	
Da m 0.00 a m 2.20	Terreno agrario e sabbia limosa con ghiaia
Da m 2.20 a m 82.90	Calcari da fratturati a molto fratturati con sottili intercalazioni di argilliti nere.
Da m 82.90 a 90 m (f.f.)	Argillocisti con vene e noduli di calcite

Sondaggio L2-CR2	
Da m 0.00 a m 3.20	Materiali di riporto e sabbia limosa con ghiaia
Da m 3.20 a m 36.70	Argillocisti con vene e noduli di calcite
Da m 36.70 a m 37.00	Argillocisti cataclastici alterati
Da m 37.00 a m 38.00	Argillocisti con vene e noduli di calcite
Da m 38.00 a m 38.30	Argillocisti cataclastici alterati
Da m 38.30 a m 53.90	Argillocisti con vene e noduli di calcite
Da m 53.90 a m 54.00	Argillocisti cataclastici fortemente alterati
Da m 54.00 a m 62.00	Argillocisti con vene e noduli di calcite
Da m 62.00 a m 65.00	Metabasalti compatti con tessitura scistosa

Sondaggio L2-CR3	
Da m 0.00 a m 2.20	Materiali di riporto e colluviali
Da m 2.20 a m 3.00	Substrato argillitico alterato
Da m 3.00 a m 25.10	Argillocisti grigi con vene e noduli di calcite. Da m 9.30 a m 9.80 roccia fortemente alterata
Da m 25.10 a m 26.80	Argillocisti cataclasati
Da m 26.80 a m 94.00	Argillocisti con vene e noduli di calcite
Da m 94.00 a m 96.00	Argillocisti cataclasati e alterati
Da m 96 a m 142.20	Argillocisti con vene e noduli di calcite
Da m 142.20 a m 143.80	Argillocisti cataclasati e fortemente alterati
Da m 143.80 a m 151.90	Argillocisti con vene e noduli di calcite
Da m 151.90 a m 152.40	Argillocisti cataclastici fortemente alterati
Da m 152.40 a m 173.60	Argillocisti con vene e noduli di calcite
Da m 173.60 a m 173.80	Argillocisti cataclastici
Da m 173,80 a m 175.00	Argillocisti con vene e noduli di calcite
Da m 175.00 a m 175.50	Argillocisti cataclastici
Da m 175.50 a m 180.00	Argillocisti con vene e noduli di calcite

Sondaggio L2-CR4

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica</p> <p style="text-align: right;">Foglio Pag. 20 a 104</p>

Da m 0.00 a m 4.45	Riporti antropici e copertura eluviale
Da m 4.45 a m 17.20	Argiloscisti grigio chiari moderatamente fratturati con locali livelli alterati e degradati. Locale presenza di fratture ondulate inclinate 45°/60° localmente ossidate
Da m 17.20 a m 28.30	Argiloscisti da poco fratturati a compatti
Da m 28.30 a m 49.00	Argiloscisti grigio scuri fratturati localmente alterati e degradati
Da m 49.00 a m 55.70	Argiloscisti grigi da moderatamente fratturati a compatti, piani di discontinuità 55°- 60°
Da m 55.70 a m 93.80	Argiloscisti grigi da poco fratturati a compatti. Piani di discontinuità inclinati 45°-50
Da m 93.80 a m 106.60	Argiloscisti grigio scuri da poco fratturati a compatti lievem. alterati
Da m 106.60 a m 118.30	Argiloscisti grigio scuri molto fratturati alterati e degradati con scaglie litoidi in limo argilloso
Da m 118.30 a m 124.00	Argiloscisti grigio scuri da moderatamente fratturati a compatti
Da m 124.00 a m 127.40	Argiloscisti grigi fratturati, degradati in sabbia limosa con scaglie litoidi
Da m 127.40 a m 147.40	Argiloscisti grigio scuri molto fratturati, localmente alterati laminazioni 45°60°
Da m 147.40 a m 149.70	Scisti ofiolitici grigio rossastri poco fratturati
Da m 149.70 a m 150.60	Breccia ofiolitica verdastra fratturata
Da m 150.60 a m 160.40	Argiloscisti grigi fratturati lungo piani incl. 45° - 50°.
Da m 160.40 a m 167.90	Argiloscisti moderatamente fratturati
Da m 167.90 a m 179.00	Argiloscisti da fratturati a localmente molto fratturati localmente alterati e degradati in scaglie in matrice sabbioso limosa
Da m 179.00 a m 190.00	Argiloscisti grigio scuri moderatamente fratturati e debolmente alterati
Da m 190.00 a m 194.20	Argiloscisti grigio scuri fratturati localmente alterati e degradati
Da m 194.20 a m 195.20	Ofioliti verdastre brecciate fratturate debolmente alterate
Da m 195.20 a m 206.00	Argiloscisti grigio scuri fratturati localmente deb. alterati
Da m 206.00 a m 215.80	Argiloscisti grigio chiari moderatamente fratturati localmente poco fratturati
Da m 215.80 a m 217.70	Ofioliti verdastre brecciate moderatamente fratturate localmente alterate e degradate
Da m 217.70 a m 225.30	Argiloscisti grigio scuri fratturati, localmente molto fratturati, deb. alterati e degradati
Da m 225.30 a m 239.00	Argiloscisti grigio scuri moderatamente fratturati, localmente poco fratturati
Da m 239.00 a m 252.00	Argiloscisti grigi brecciati da poco fratturati a compatti
Da m 252.00 a m 281.00	Argiloscisti grigi da compatti a localmente poco fratturati
Da m 281.00 a m 321.00	Argiloscisti grigio scuri moderatamente fratturati lungo piani sub verticali. Da 290 m presenza di gas

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 21 a 104

Da m 321 a m 328.30	Calcare grigio chiaro poco fratturato, localmente compatto con abbondanti vene di calcite
Da m 328.30 a m 340.50	Argilloscisti grigi da poco fratturati a compatti
Da m 340.50 a m 345.70	Calcare grigio chiaro poco fratturato
Da m 345.70 a m 355.30	Calcare grigio chiaro fratturato

5.3. Tratta pk 0.00 – 330.00 ca.

Litotipi attraversati

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

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, con presenza di brecce 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.

Presenza di acqua

In questa tratta è possibile una percolazione di acqua nel non saturo per i primi 140-160 m di scavo e una circolazione idrica nel saturo tra 0+160 e 0+400 circa, attraverso sistemi di frattura, localmente carsificati e/o zone di dissoluzione.

Anche l'orientazione della stratificazione è favorevole alle ingressioni di acqua in quanto le linee di flusso sono prevalentemente orientate lungo strato, con la stessa stratificazione che è sub-verticale e con direzione perpendicolare all'asse della galleria.

5.4. Tratta pk 330.00 – 400.00 ca.

Litotipi attraversati

La tratta si sviluppa interamente all'interno dei calcari di Gallaneto (cG), rappresentati da meta-calcari grigi e scisti carbonatici grigio-argentei, passanti localmente a bancate con prevalenti calcari cristallini biancastri 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 22 a 104

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.

Presenza di acqua

Lo scavo procederà in un ammasso caratterizzato da un'anisotropia relativamente elevata, poiché i calcari di Gallaneto sono costituiti da interstrati scistosi e carbonatici non scistosi con differente comportamento reologico. L'orientazione delle scistosità e dei contatti litologici tra le bancate è prevalentemente ad alto angolo con una direzione quasi perpendicolare al tracciato. Non sono comunque da escludersi anche locali giaciture a basso angolo legate a zone di cerniera di pieghe.

In questo caso la circolazione idrica a quota galleria avviene tutta nel saturo con direttrici di flusso disposte prevalentemente lungo la scistosità/ stratificazione.

Anche in questa tratta, sebbene con minor probabilità rispetto alla precedente, non sono da escludersi fenomeni carsici, con presenza di 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 di tali fenomeni.

5.5. Tratta pk 400.00 – 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. E' possibile intercettare anche serpentiniti in corpi lentiformi nel tratto tra pk 0+780 e pk 0+800.

Presenza di faglie e stato di fratturazione

E' prevista l'intersezione con zone di faglia maggiori a pk 0+790; è comunque possibile la presenza di faglie minori, con persistenza metrico-decаметrica, 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 interstratali, prevenendo lo sviluppo di nuove superfici di discontinuità.

Presenza di acqua

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 23 a 104

L'orientazione delle scistosità e dei contatti litologici tra le bancate è quasi ortogonale al tracciato nel tratto compreso tra la pk 445.00 e la pk 580.00, mentre l'incidenza si riduce man mano che si procede verso la pk 755.00, poiché il tracciato curva e va a disporsi quasi parallelamente alla scistosità. La circolazione idrica è estremamente limitata e confinata a quelle porzioni di ammasso più carbonatiche che costituiscono acquiferi confinati all'interno degli argilloscisti. Venute idriche fino a qualche litro/secondo, in rapido esaurimento sono possibili all'interno di questi corpi idrici. Solo nei tratti caratterizzati da basse coperture quali ad esempio nel tratto di sottoattraversamento del Rizzolo, in presenza di una continuità tra superficie e cavo, si potranno avere modeste venute e stillicidi diffusi e persistenti.

5.6. Tratta pk 880.00 – 1321.00 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-calcarei 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. Tra pk 1+160 e 1+280 è prevalente la presenza di Argilloscisti carbonatici neri fortemente foliati o in facies milonitica Mn.

Presenza di faglie e stato di fratturazione

E' possibile l'intersezione con una zona di faglia nell'intorno della pk 1+160.00. Si tratta comunque di un elemento strutturale con fascia di deformazione piuttosto circoscritta, dell'ordine di 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 piuttosto favorevole, poiché essa taglia la galleria con direzione sub-perpendicolare o comunque con alto angolo di incidenza. L'inclinazione della faglia è ad alto angolo.

Presenza di acqua

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

Il tracciato ha un'orientazione conforme alla scistosità e ai contatti litologici tra le bancate. 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. Alla luce di questi aspetti si ritiene molto modesta la possibilità di intercettare acqua. Possibili venute modeste e stillicidi in presenza di bancate maggiormente carbonatiche in esaurimento più o meno rapido.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica Foglio Pag. 24 a 104

5.7. Camerone di innesto della Finestra Cravasco alla Galleria di Linea

Il tracciato del camerone di innesto della Finestra Cravasco alla Galleria di linea ha una disposizione ortogonale a finestra e galleria di linea. I litotipi attraversati sono prevalentemente riferibili agli Argilloscisti filladici (f) in facies milonitica. All'interno di questa fascia di deformazione duttile sarà possibile intercettare anche livelli milonitici derivanti da argilloscisti neri costituiti da scisti carbonatici fortemente laminati. Non è possibile escludere la presenza, all'interno della fascia milonitica, di scaglie di potenza metrica e/o decametrica a composizione basaltica, serpentinitica, calcarea ed evaporitica con tessitura più o meno laminata anche se il sondaggio L2-CR4 sembra escluderlo.

Presenza di acqua

Lo scavo si pone trasversalmente alla direzione della scistosità che è prevalentemente ad alto angolo anche se non si possono escludere sporadici rovesciamenti o giaciture a basso angolo.

Anche i contatti litologici, in accordo con la scistosità hanno analoga orientazione e pertanto lo scavo potrà intercettare tali inclusi trasversalmente.

Alla luce di questi aspetti si ritiene che lo scavo avverrà in assenza di acqua anche se stillicidi e modeste venute, in rapido esaurimento, potranno manifestarsi, in corrispondenza di possibili inclusi calcarei, basaltici e serpentinitici.

Per una stima delle portate in fase di scavo si può fare riferimento ai dati espressi per l'ultimo tratto della finestra in considerazione di battenti idraulici dell'ordine dei 190 m e di coefficienti di permeabilità dell'ordine di $3,4E-8$ m/s ma anche inferiori.

Con una portata q di 0,016 l/s/m la portata cumulata a scavo completato sarà dell'ordine dei 2 l/s.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 25 a 104

6. INDAGINI GEOMORFOLOGICHE DI DETTAGLIO

6.1. Forme e depositi dovuti all'azione della gravità

L'alto bacino idrografico del T. Verde, solcato dai tributari Rio dei Campi, Rio Gambette e Rio Cravasco, è estesamente ricoperto da detriti di falda e di frana derivanti dal disfacimento delle formazioni ascrivibili all'Unità tettonometamorfica Cravasco Voltaggio (prevalentemente serpentinoscisti e meta gabbri). I processi di degradazione sono stati favoriti dall'elevata tettonizzazione e fratturazione degli ammassi rocciosi e alle condizioni climatiche che in passato dovevano essere più gravose rispetto all'attuale. Alcuni Autori ritengono che la frammentazione e il disfacimento di ammassi rocciosi comunque notevolmente fratturati si siano sviluppati con clima rigido in un ambiente di tipo periglaciale.

Anche attualmente alle alte quote i versanti risultano fasciati alla base da spesse coltri detritiche in evoluzione per continua alimentazione di clasti dall'alto. L'evoluzione successiva dei fenomeni è da attribuire all'azione concomitante delle acque superficiali e della gravità.

Forme legate all'erosione incanalata sono ovunque presenti soprattutto nell'area di affioramento delle serpentiniti con incisioni particolarmente profonde e con un pattern del reticolo idrografico di tipo sub dendritico.

Gli approfondimenti effettuati nell'ambito di questo studio hanno consentito, contrariamente a quanto indicato nella recente cartografia CARG Sezione a scala 1:25.000 Campomorone, ove sono indicati depositi alluvionali terrazzati, di individuare estesi depositi di frana nell'area posta a monte delle aree di affioramenti dei Calcari dolomitici e in tutta l'area di Cravasco tra i 330 m e i 950 m della sella interposta tra le cime di M. Leco e M. Pastelle. Si tratta di accumuli caotici, antichi e recenti, costituiti da materiali eterogenei con netta prevalenza di quelli provenienti dal versante destro della valle (serpentinoscisti) in blocchi anche plurimetrici con tessitura fino alle ghiaie e in subordine alle sabbie e ai limi sabbiosi. Si tratta di accumuli per trasporto in massa del tipo debris avalanche e debris flow. Tra le principali forme d'accumulo si osservano spesso dorsali e arginature disposte secondo le direttrici di flusso dei materiali, talora addossate alla base delle pareti rocciose.



Periferia nord di Cravasco. Una delle dorsali corrispondenti ad un accumulo di frana costituito da materiale eterogeneo con clasti in matrice sabbioso-limoso disposti in maniera caotica.

La gran quantità di I materiali disponibili al trasporto provenienti dal substrato intensamente fratturato si accumulavano e si accumulano tuttora alla base delle pareti (detriti di falda e coni da debris flow) pronti per essere ripresi in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi. Tra le forme erosive che alimentavano questi depositi vi sono le profonde incisioni nel substrato per gran parte non più attive o quiescenti, soprattutto nel medio bacino del Verde, mentre appaiono ancora attive sui versanti più prossimi allo spartiacque orografico.

Anche recentemente l'area posta a monte della sorgente SCM64 è stata interessata da trasporto la massa di detriti e da una successiva erosione degli stessi che ha danneggiato l'acquedotto che collega la sorgente SCM110 alla sorgente deposito SCM64.

La potente coltre detritica di frana di Cravasco ha una certa rilevanza per gli aspetti idrogeologici in quanto sede di una falda idrica importante che alimenta numerose sorgenti caratterizzate da portate discrete e garantisce il deflusso idrico anche nei periodi più siccitosi dei rii Campi, Gambette e Cravasco.

Nelle aree di bacino poste a valle delle unità carbonatiche si hanno accumuli di frana di modesta estensione; essi interessano i versanti della Val Rizzolo, sul fondovalle in destra idrografica tra i 320 m

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 27 a 104

di quota e l'alveo, in vicinanza di un antico agglomerato rurale abbandonato. L'accumulo che ha coinvolto parte dei Calcari di Gallaneto e parte degli Argilloscisti neri è stato rimodellato con ampi terrazzamenti delimitati da muri a secco.

La seconda, più modesta, ma più recente, in destra Rizzolo, innescata dall'erosione al piede dello stesso torrente, ha interessato gli Argilloscisti filladici.

La prima ha rilevanza per gli aspetti idrogeologici in quanto è alla base di questa, in prossimità del torrente, che si rinviene la sorgente SCM370.

Un altro accumulo è situato sul versante settentrionale del M. Carlo nella valle del Rio Barbun. Parte del coronamento di questa appare coincidente con la linea di faglia che solca il rilievo montuoso poco a sud della cima.

6.2. Forme e depositi dovuti allo scorrimento delle acque superficiali

Nel bacino idrografico del T. Verde le forme associate allo scorrimento delle acque sono in gran parte legate all'erosione che si manifesta sia sui terreni sciolti sia sugli ammassi rocciosi fratturati.

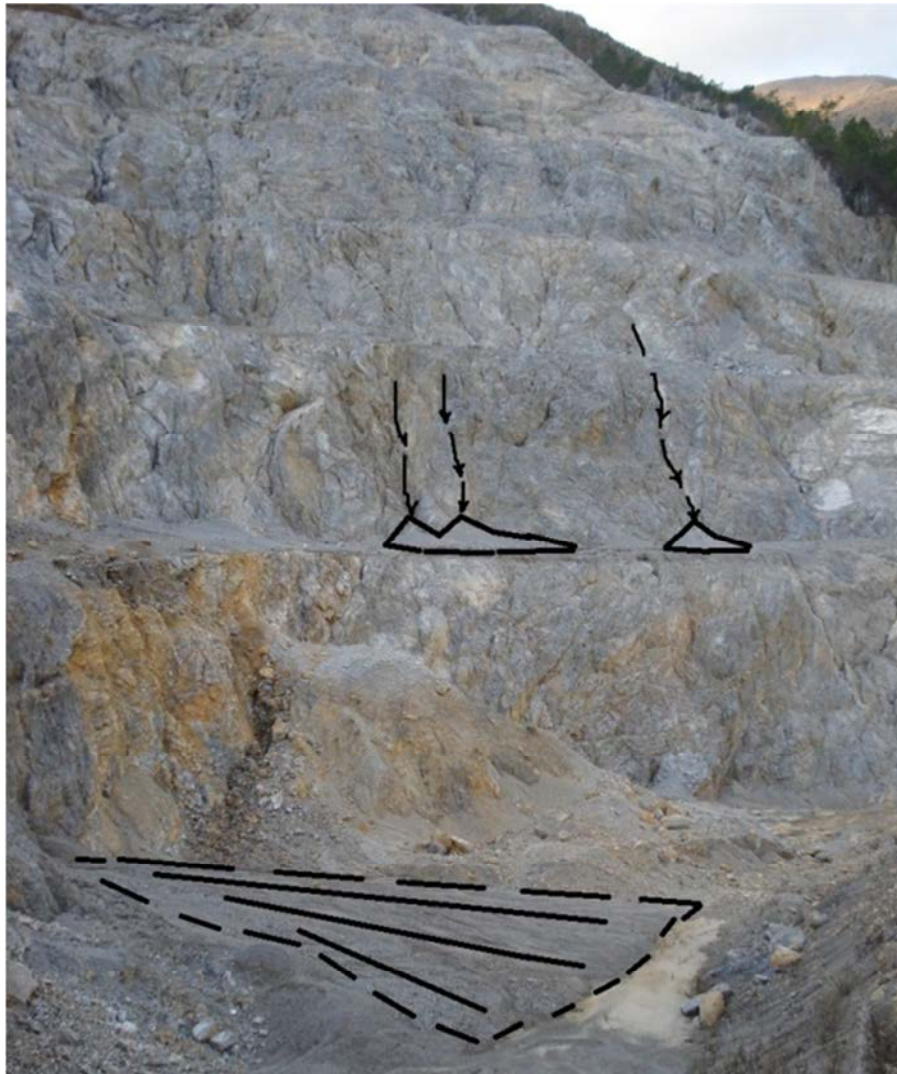
Nell'area posta a monte di Cravasco nell'ambito dei sottobacini del Rio dei Campi e del Rio Gambette in particolare si è sviluppato un importante reticolo idrografico all'interno dei depositi di frana che sono stati incisi anche per alcune decine di metri. Questa profonda erosione ha reso instabili le sponde e dato luogo ad estesi rifluimenti di materiali in alveo.

- Nelle aree di cava si hanno processi di erosione per dilavamento diffuso e di erosione concentrata che determinano l'asportazione dei detriti dalle fratture con riempimento cataclastico e accumulo di materiali al piede delle banche. Particolarmente accentuati i processi erosivi sulle banche sottostanti il piccolo bacino imbrifero che solca il M. Carmelo i cui prodotti dell'erosione si accumulano all'interno del cratere di cava illustrato in foto.



Valle del Rio dei Campi in destra idrografica, a 380 m di quota, nei pressi della confluenza

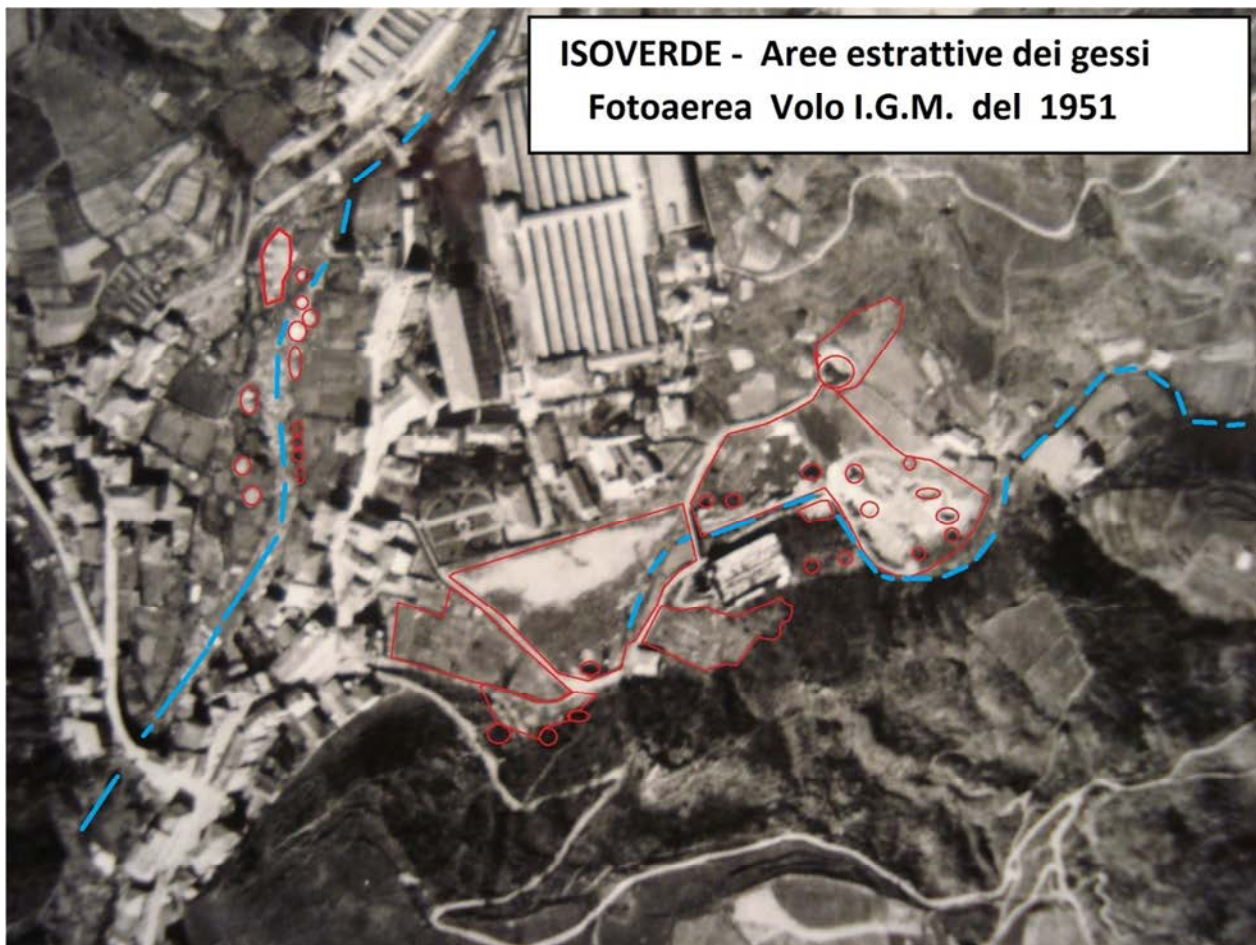
con i rii Gambette e Cravasco. Depositi alluvionali recenti interposti tra l'accumulo di frana di Cravasco e i calcari dolomitici, esposti sulle pareti di cava di M. Carmelo.



Pareti di cava di M. Carmelo, settore settentrionale, ove la tettonizzazione ha completamente obliterato l'originario assetto strutturale della formazione calcareo-dolomitica. Le acque di ruscellamento asportano i detriti dalle fasce cataclastiche accumulandoli alla base delle banche o all'interno del principale cratere di cava ove poi l'acqua si infiltra raggiungendo la falda basale in rete cha ha come recapito finale la sorgente dei Buggi SCM368.

6.3. Altre morfologie legate all'attività estrattiva in sotterraneo

Nell'area di Isoverde sono ben evidenti le aree oggetto di coltivazione dei gessi attualmente del tutto oblitrate da riporti e rimodellamenti effettuati dopo il 1951. La presenza di queste cavità si ripercuote però su opere idrauliche, strade ed edifici alcune delle quali fondate proprio sulle aree di antica coltivazione.



Abitato di Isoverde ripreso dal volo IGM del 1951 (Volo in asse al tracciato AC/AV di Progetto preliminare) – Sono evidenziate in rosso le aree estrattive dei gessi situate sui fondovalle dei torrenti Rizzolo, a destra e Verde a sinistra.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica Foglio Pag. 30 a 104

6.4. Morfologia carsica

L'area in esame è stata analizzata sotto il profilo geomorfologico, al fine di discriminare e riconoscere l'insieme delle forme, soprattutto di origine carsica, che possono determinare qualora intercettate dagli scavi, un significativo incremento delle portate idriche in galleria. Il riconoscimento di cavità in superficie ed ipogee nell'area interessata dallo scavo della Finestra Cravasco viene fatta anche con l'obiettivo di salvaguardare gli ecosistemi ipogei.

Lo studio è stato condotto preliminarmente tramite l'analisi di fotografie aeree, a cui è seguita un'indagine bibliografica e, ove possibile, un puntuale rilievo di campagna. Sono state altresì ricercate, nell'intorno dell'abitato di Isoverde, su base foto interpretativa, tutte le evidenze morfologiche legate alle passate attività estrattive nei gessi che appaiono evidenti almeno fino al 1951, data del volo IGM a scala 1:16.000 circa. Si tratta di cavità di accesso alle gallerie di coltivazione, di varia forma e dimensione che, vista la localizzazione, non rivestono alcuna importanza per gli aspetti progettuali. Hanno invece implicazioni per quanto attiene la stabilità di alcuni manufatti (edifici e strade) e per gli aspetti idrologici e idrogeologici, anch'essi non trascurabili, perché in grado di modificare localmente la circolazione idrica superficiale e sotterranea (ad es. il tratto del Rio Rizzolo compreso tra il cimitero di Isoverde e la confluenza con il T. Verde).

Gli elementi geomorfologici individuati sono evidenziati su alcuni stralci delle foto aeree utilizzate per lo studio geomorfologico.

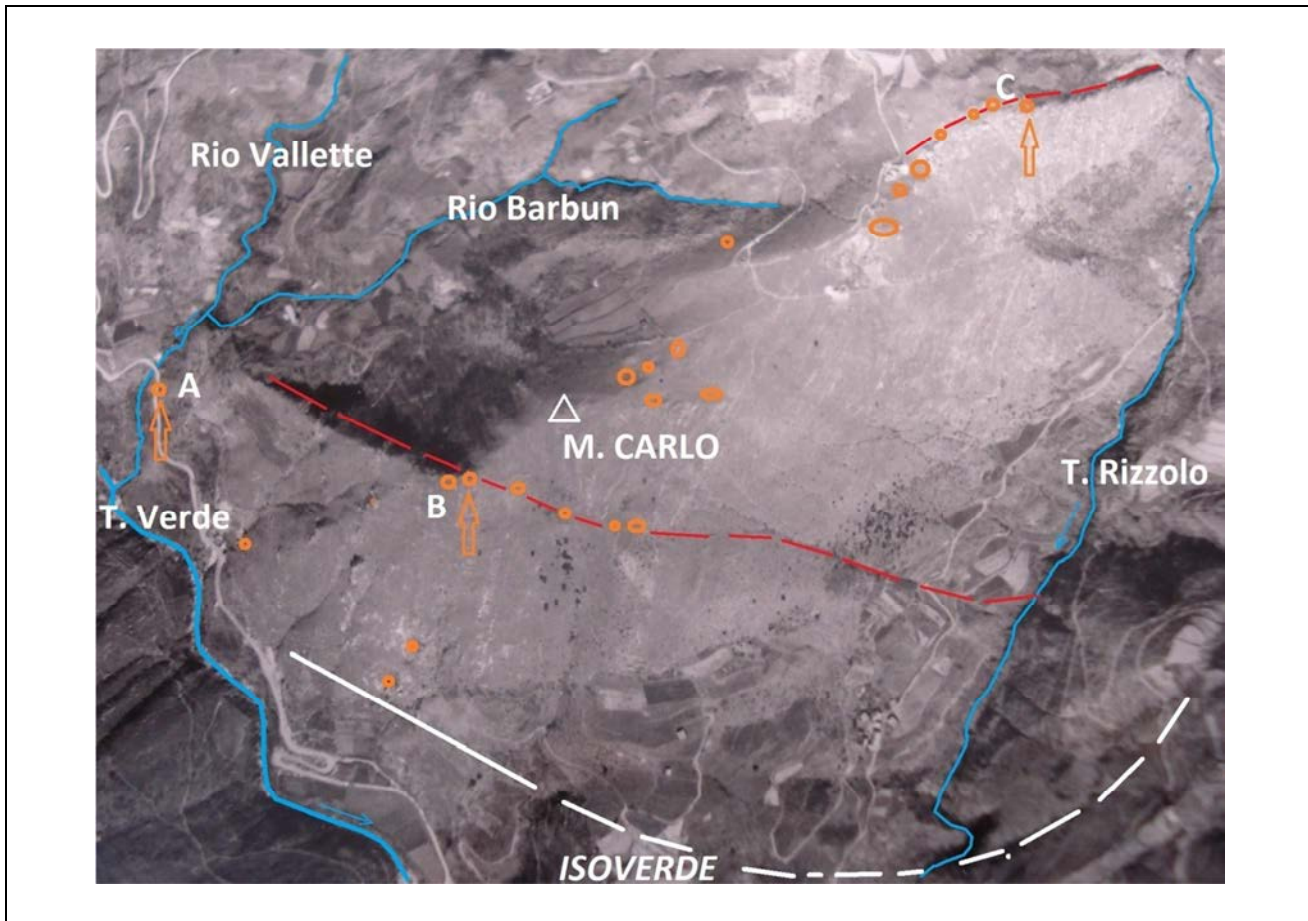
Il territorio presenta estesi affioramenti del substrato roccioso alle alte quote e in corrispondenza dei solchi vallivi mentre è caratterizzato da coperture detritiche più o meno ampie e spesse sui medi versanti. Particolarmente estese in destra Rizzolo, nei dintorni degli edifici rurali di quota 290 (ora dei ruderi), ove sono presenti anche ampie superfici terrazzate. Su questo stesso versante è riconoscibile un antico accumulo di frana che da quota 330 si estende fino all'alveo del Rio Rizzolo.

Nell'ambito delle aree di affioramento delle formazioni carbonatiche sono state individuate lineazioni riconducibili ad elementi tettonico-strutturali e della macrofratturazione. Di queste si ha particolare evidenza della stratificazione disposta secondo piani ad orientazione NE-SW particolarmente evidenti sul versante orientale del M. Carlo. Evidenti anche le discontinuità ad orientazione trasversale alla stratificazione (WNW-ESE) la cui direttrice principale attraversa la sommità del M. Carlo a 530 m di quota. Ben riconoscibili infine alcuni lineamenti che solcano lo stesso versante con orientazione NW-SE poco a nord dei ruderi di Case Rizzolo.

Lo studio di foto aeree a grande scala derivanti dal volo IGM 1951 ha consentito di rilevare oltre alle forme strutturali, gli elementi tettonici principali (faglie, macrofratture), alcune forme concave

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 31 a 104

verosimilmente legate ai processi di dissoluzione carsica (inghiottitoi e piccole doline) visibili nelle parti più elevate del M. Carlo, lungo i principali contatti stratigrafici e tettonici.



Il rilievo montuoso del M. Carlo ripreso dal volo IGM del 1951 (Volo in asse al tracciato AC/AV di Progetto preliminare) – Sono evidenziate le forme di probabile origine carsica (circoletti arancione). Si tratta di depressioni e conche sub circolari a ciotola di dimensioni metriche e decametriche. Sono indicate, con freccia, alcune cavità a pozzo individuate durante i sopralluoghi. Abisso Lindenbrook, B) Cavità a pozzo di quota 527.7 – Tana del Bric Carlo, C) Le cavità di quota 565.9, al margine NE del rilievo montuoso del M. Carlo – Tana da Vixella. Gran parte di queste forme sono disposte lungo le principali direttrici tettoniche (faglie indicate con linea rossa). In bianco, a tratti, il tracciato della Finestra Cravasco.

Non tutte le forme indicate sulla foto sono state verificate sul terreno a causa della difficoltà a raggiungere tali punti.

6.4.1. *Complesso carsico di Isoverde*

Nell'area di Cravasco Isoverde e Gallaneto ove affiorano formazioni appartenenti all'Unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde, è documentata la presenza di cavità carsiche di un certo rilievo,

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica</p> <p>Foglio Pag. 32 a 104</p>

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, i cui limiti del bacino idrogeologico complessivo sono ad oggi ancora poco conosciuti.

Allo stato attuale delle conoscenze 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 (conosciuta anche come grotta n. 12 Agnoletto), 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 Lindenbrook, 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 e dalle due prove di tracciamento effettuate, nell'ambito degli approfondimenti di P.E. previsti per l'area di Cravasco e Isoverde, il 3 Maggio 2014 e il 14 Giugno 2014.

Il sistema carsico di Isoverde possiede una sola risorgenza conosciuta, quella detta dei Buggi (i Buxi), (censita con la sigla SCM368 da COCIV), situata lungo il corso del Rio di Iso (T. Verde), in destra idrografica alla quota di 220 m.s.l.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 40m.

Di seguito sono riportate le principali caratteristiche geometriche delle cavità carsiche censite negli immediati dintorni dell'abitato di Isoverde, estratte dal database speleologico ligure e di alcune cavità individuate nel corso degli approfondimenti effettuati lungo la valle del T. Verde e sul rilievo montuoso del M.Carlo.

GENERAL CONTRACTOR



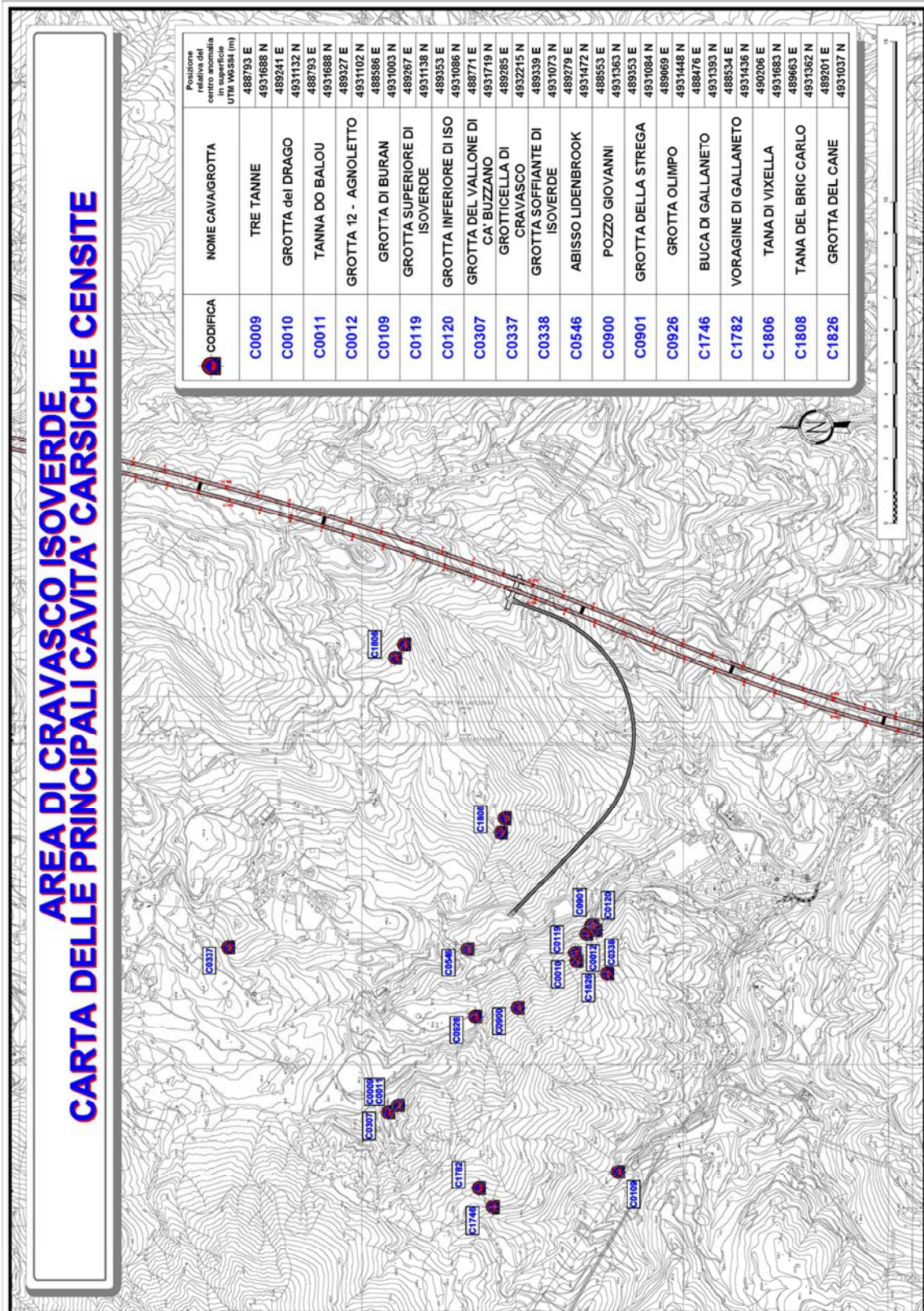
Consorzio Collegamenti Integrati Veloci

ALTA SORVEGLIANZA



IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX
Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica

Foglio
Pag. 33 a
104



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX
Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica

Foglio
Pag. 35 a
104

Sono nel seguito suddivise per aree le cavità conosciute e di nuovo censimento dell'area del M. Carlo interessata dallo scavo della Finestra Cravasco e di coltivazione da parte della ditta Grandi e del M. Carmelo sul lato opposto della valle del T. Verde, oggetto di coltivazione da parte di Calcestruzzi s.p.a.

Grotte e cavità ubicate nel massiccio carbonatico di M. Carmelo (destra idrografica T. Verde)

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



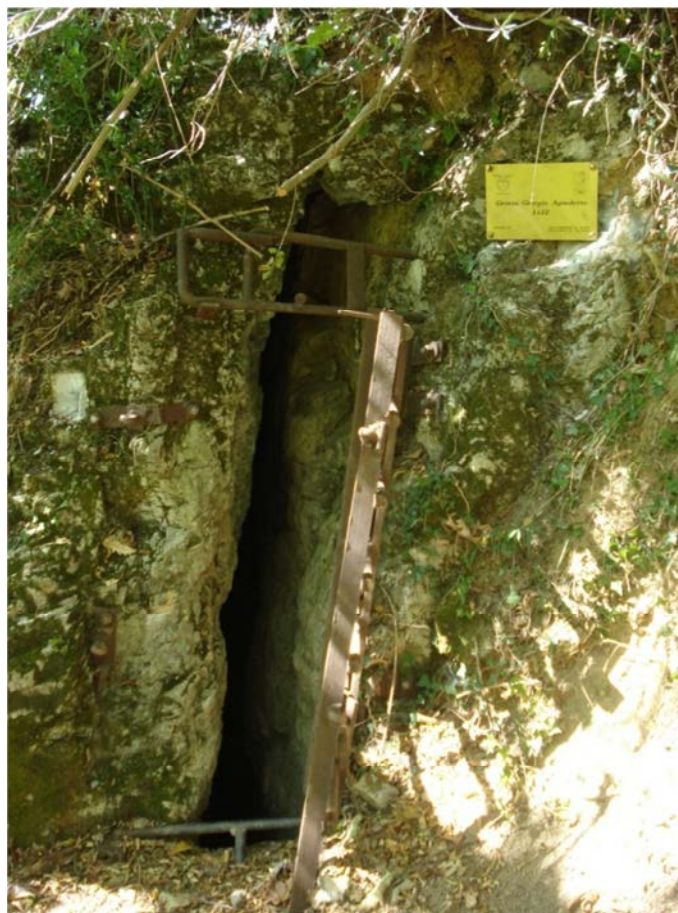
Grotta soffiante di Isoverde, in destra idrografica T. Verde a 226.9 m s.l.m., nei pressi dell'alveo, tra la briglia posta a protezione del metanodotto e la sorgente SCM368 I Buggi.

Grotta Buca di Gallaneto (1746 del catasto grotte Liguria – www.catastogrotte.net)

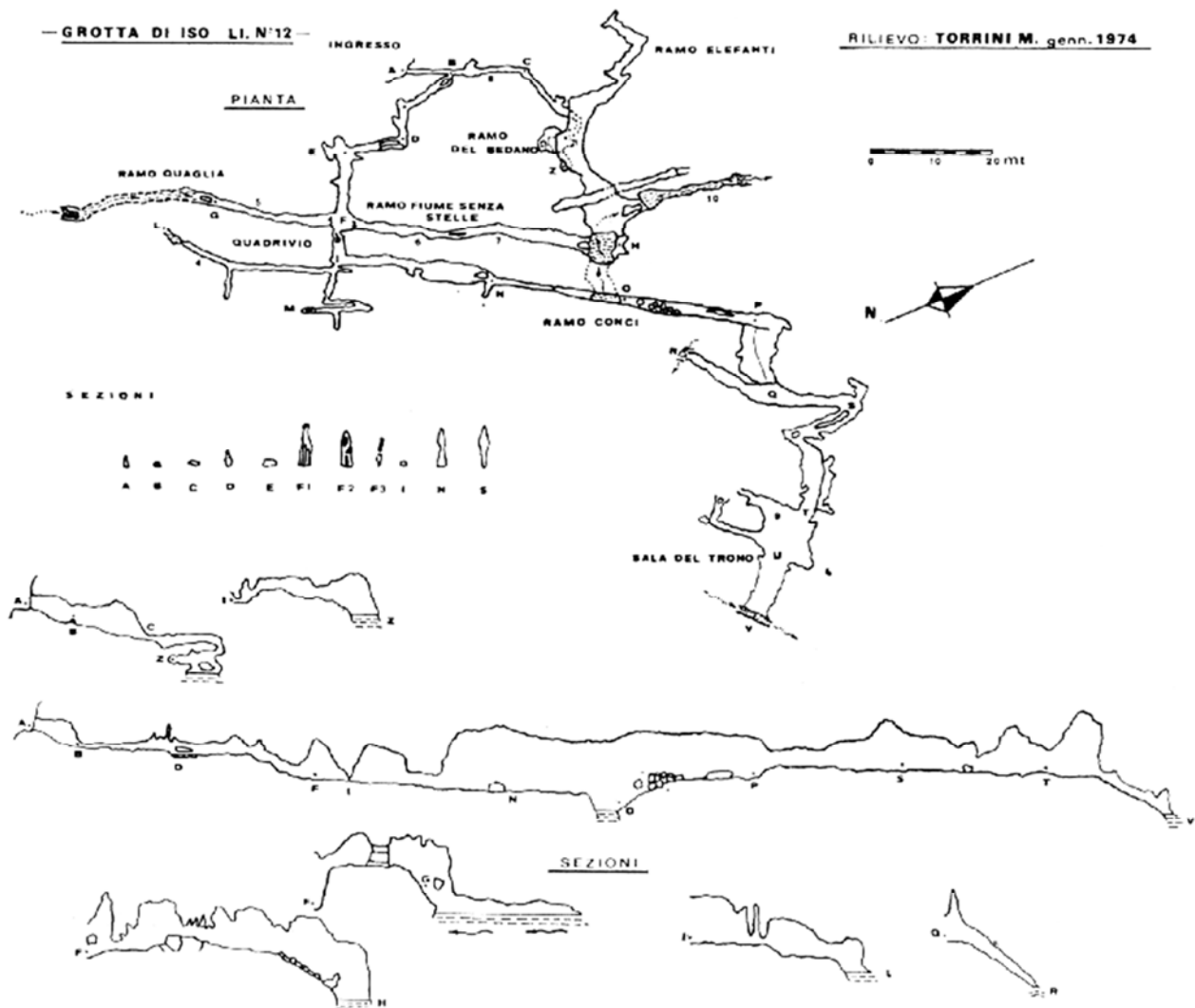


Buca di Gallaneto, versante sud occidentale di M. Carmelo, bacino idrografico del T. Ciappuen (Neppiane) a 425 m di quota. Sul sentiero a mezza costa che dalla Cascina di quota 419,8 si dirige verso SE.

nome:			
GROTTA DI ISO (GROTTA AGNOLETTO)		n° catasto:	12
Coordinate Gauss	4931120N - 1489354E		Quota altimetrica: 239.3
Boaga:			
Sviluppo reale:	580.9 5	Sviluppo planimetrico:	525
Estensione:			
Dislivello positivo:	9.63	Dislivello negativo:	-12
Dislivello totale:	21.63		



Ingresso della Grotta di Iso n. 12 (Agnoletto), in destra idrografica T. Verde, a 239.3 m s.l.m.. L'imboccatura è disposta lungo strato.



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

Figura 1 – 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

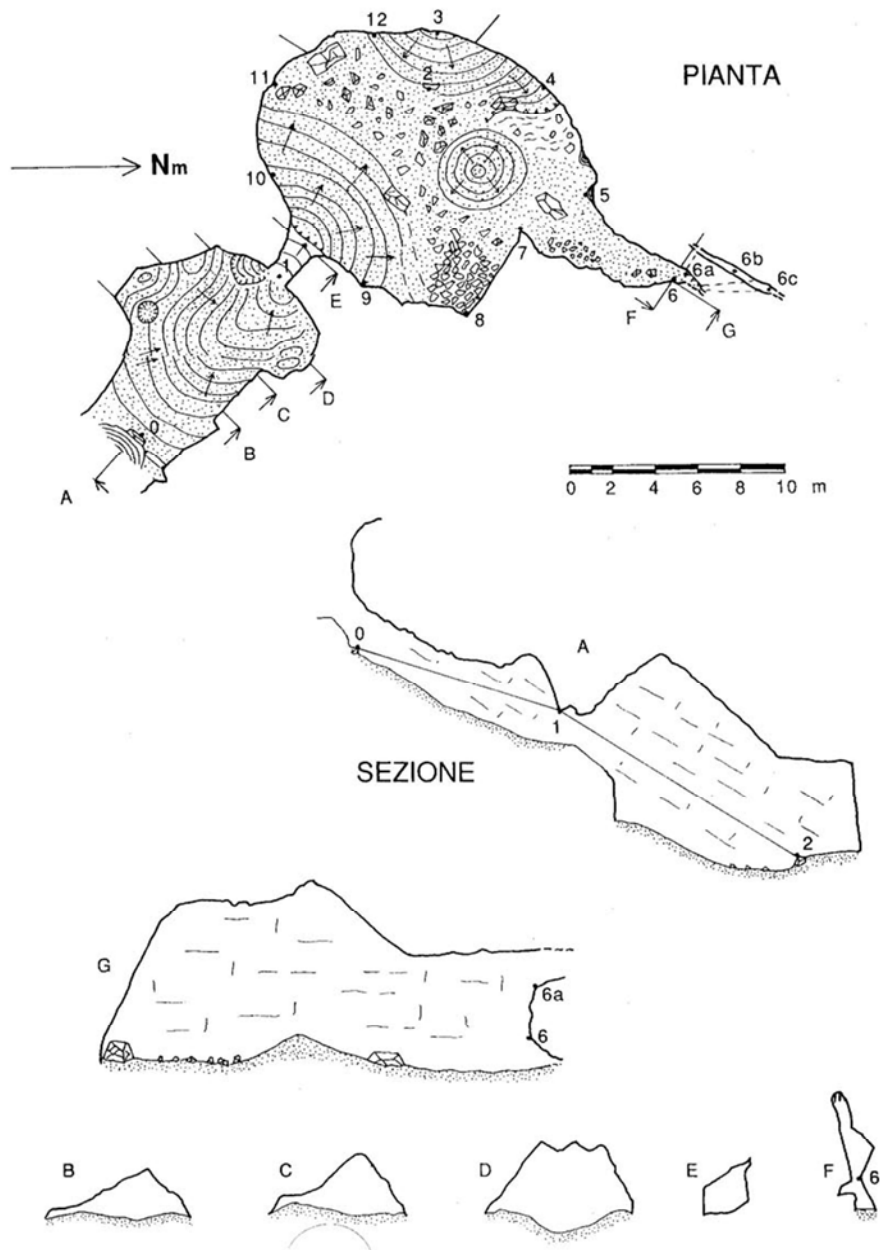
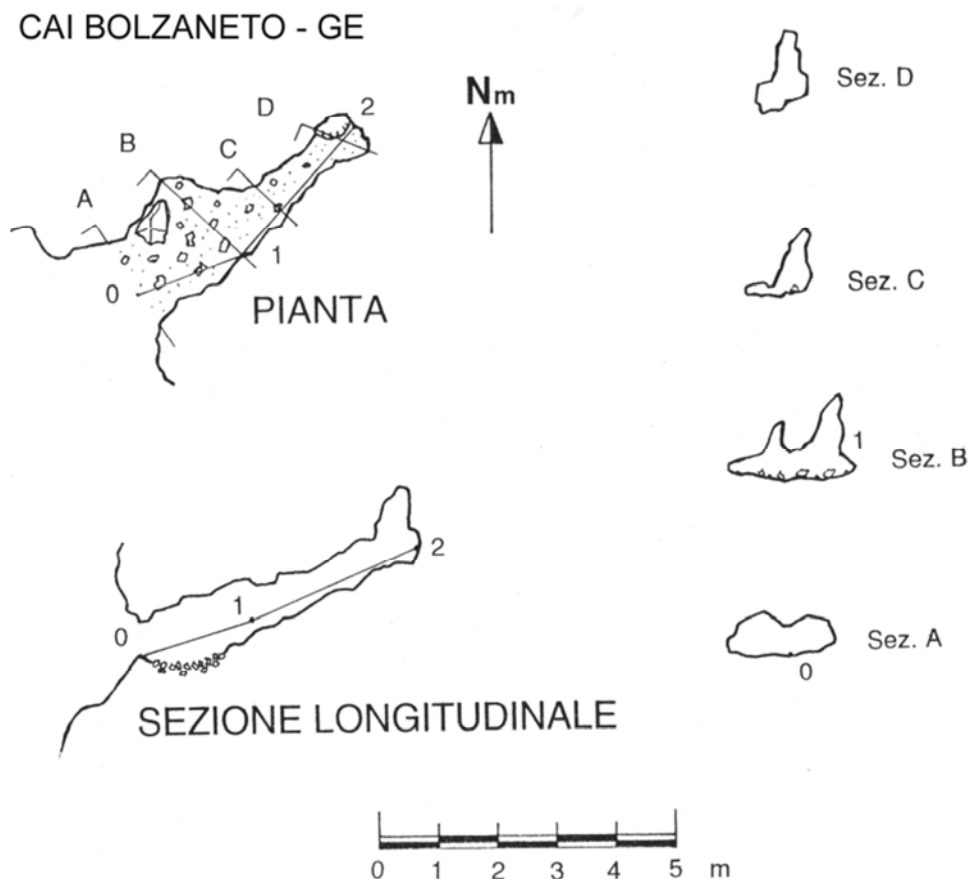

 fonte: <http://www.catastogrotte.net>

Figura 2 – 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 3 – Sistema carsico di Isoverde, Grotta della Strega. Planimetria e sezioni.

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

GROTTA SUPERIORE DI ISOVERDE
Li 119 Campomorone - GE

Rilievo:

A. Benedettini

C. Cavallo

G.S. CAI Genova Bolzaneto

14.11.1995

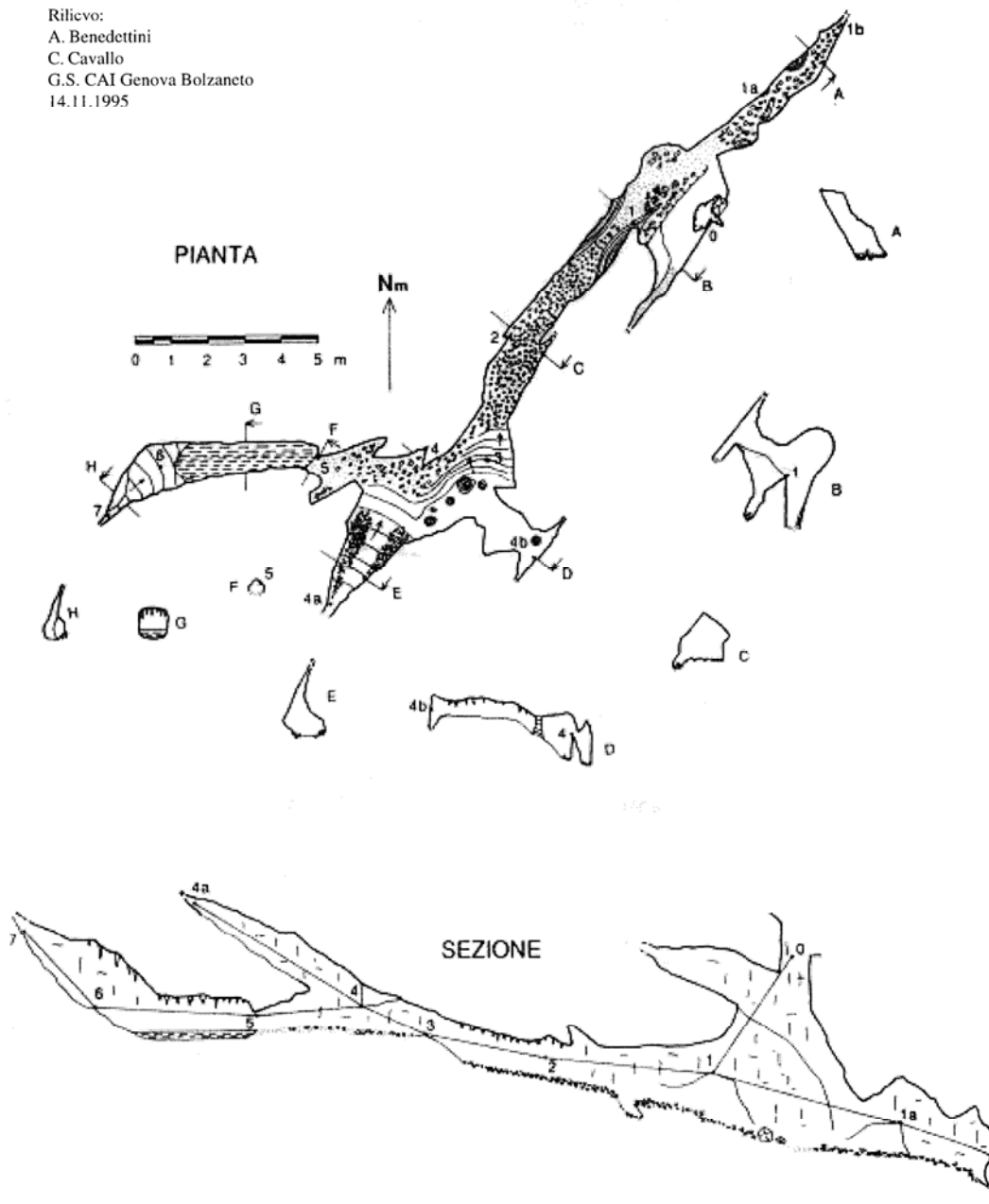

 fonte: <http://www.catastogrotte.net>

Figura 4 – Sistema carsico di Isoverde, Grotta superiore di Isoverde. Planimetria e sezioni.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 43 a 104

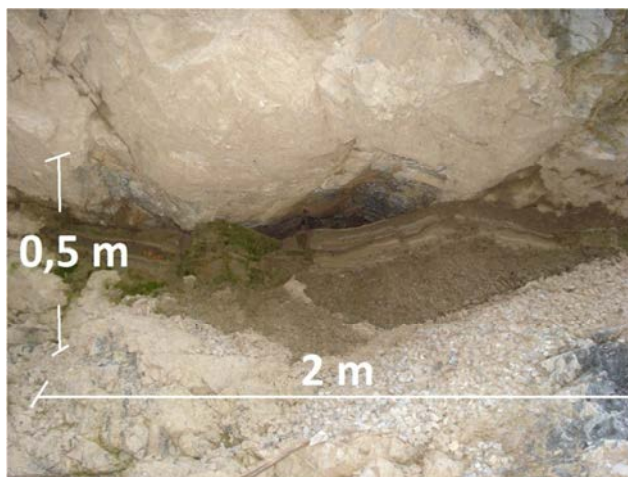


La Grotta Olimpo, al margine meridionale della cava di M. Carmelo, scoperta durante l'escavazione e attualmente non visibile in quanto l'ingresso è stato appositamente ostruito.. Si noti l'assetto strutturale a frana poggio dei Calcari dolomitici di M. Gazzo. E' generalmente in questo contesto che si sono sviluppati i principali condotti carsici dell'area. Nella porzione settentrionale della cava, ove la struttura originaria è stata intensamente obliterata dalla tettonica e l'ammasso roccioso appare come una breccia, localmente come una cataclasite, non vi è documentazione della presenza di cavità (Foto successive).

La Grotta Olimpo ha un'estensione di 350 m e un dislivello negativo di 25 m (quota ingresso 331 m quota sala inferiore 306 m). Il fondo si pone ad una quota superiore a quella dell'alveo del vicino T. Verde. La grotta non è stata ad oggi completamente esplorata.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica Foglio Pag. 44 a 104

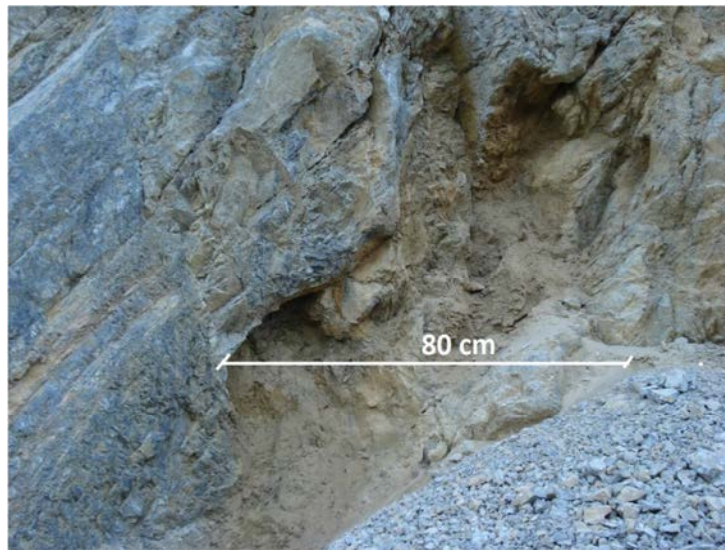
Altre cavità minori censite



Cava di M. Carmelo, settore meridionale, punto di coordinate 489031E 4931477N. Cavità sub orizzontale quasi del tutto riempita di limo color nocciola disposto in straterelli millimetrici.



Cava di M. Carmelo, settore meridionale, alcune cavità in parete che rimarkano le dimensioni tipiche di quelle visibili in superficie.



Cava di M. Carmelo, settore meridionale, quota 306 coord. 489020E 4931497N. Cavità completamente riempite di limo argilloso di colore nocciola chiaro.



Cava di M. Carmelo, settore meridionale. Cavità lungo fratture riempite di argille rosse residuali. Dimensioni delle lenti argillose da centimetriche a decimetriche



Porzione nord occidentale della cava di M. Carmelo. L'intensa tettonizzazione dei calcari dolomitici ha quasi del tutto obliterato l'originaria struttura ed ha probabilmente sfavorito lo sviluppo di una morfologia carsica ipogea. Su queste pareti infatti non vi è traccia di cavità che si riscontrano invece sulle pareti meridionali della cava ove si è mantenuto l'assetto strutturale originario (stratificazione).



Pareti e banche nella porzione meridionale della Cava di M. Carmelo. In quest'area i calcari dolomitici hanno mantenuto l'originaria stratificazione ed è in questo contesto che si evidenziano il maggior numero di cavità e grotte di origine carsica (Grotta Olimpo e poco più a sud la Grotta 12)

Grotte e cavità ubicate nel massiccio carbonatico del M. Carlo (sinistra idrografica T. Verde)



Grotta ubicata al margine settentrionale del crinale del M. Carlo a 550 m di quota

La grotta è tra quelle di nuovo censimento e sono pertanto sconosciute le caratteristiche geometriche



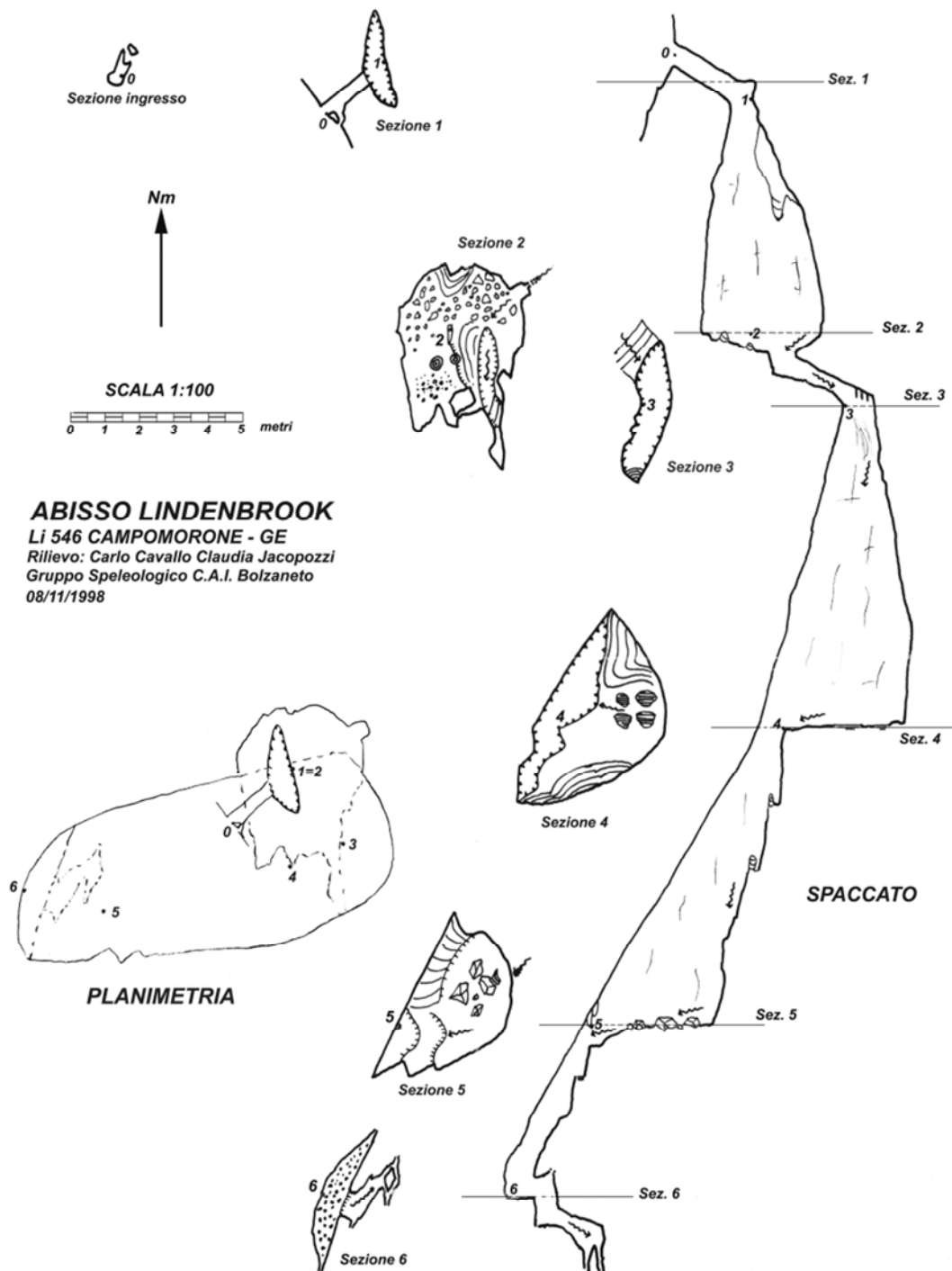
Grotta ubicata al margine settentrionale del crinale del M. Carlo a quota 555.

La grotta a breve distanza dalla precedente è tra quelle di nuovo censimento e sono pertanto sconosciute le caratteristiche geometriche.

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



Imbocco dell' Abisso Lindenbrook, in sinistra idrografica T. Verde, lungo la strada Isoverde Cravasco, a 300 m s.l.m. Con un dislivello di 34 m il fondo è a quota 266 poco sopra la quota del vicino alveo del T. Verde.



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

Figura 5 – Sistema carsico di Isoverde, Abisso Lindenbrook. Planimetria e sezioni.



Versante NE del M. Carlo nei pressi del crinale. L'assetto sub verticale della stratificazione con orientazione circa NE-SW. In questo caso gli effetti del carsismo sul modellamento dei calcari dolomitici sono del tutto trascurabili



Versante NE del M. Carlo lungo il sentiero che porta alla cima del monte. L'assetto sub verticale della stratificazione con orientazione circa NE-SW e superfici di strato con piccoli *Karren* di dissoluzione carsica.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 51 a 104

Nelle aree corrispondenti ai rilievi carbonatici del M. Carmelo e del M. Carlo le informazioni relative a posizione e morfologia delle cavità sotterranee derivano unicamente, come ampiamente documentato, da fonti bibliografiche.

L'indagine mirata all'individuazione di "nuove" cavità visibili in superficie effettuata mediante foto interpretazione e controlli in sito ha dato evidenza della presenza di cavità di modeste dimensioni (di dimensioni da decimetriche a metriche) localizzate prevalentemente in quei settori ove l'ammasso roccioso ha mantenuto un assetto strutturale riconoscibile. Nell'ambito del rilievo montuoso del M. Carmelo, oggetto di coltivazione da parte di Calcestruzzi s.p.a., il settore settentrionale, più prossimo al principale elemento tettonica dell'area e del tutto privo di elementi strutturali originari (stratificazione), con una assetto massivo e brecciato non si evidenziano cavità. Nella stessa cava il settore più prossimo all'alveo del T. Verde e il settore meridionale, ove l'assetto strutturale originario appare ben conservato, sono invece presenti sia cavità di modeste dimensioni, sia cavità importanti quali la grotta n. 12 (Agnoletto) e la grotta Olimpo.

- Nell'ambito del rilievo montuoso del M. Carlo, direttamente interessato dallo scavo della Finestra Cravasco, sono state individuate cavità nel settore nordorientale e sulla sommità del monte, come di seguito documentato .



Grotta a pozzo di nuovo censimento situata sulla cima del M. Carlo sul rilievo di quota 527.7 (Bric Carlo).

Anche di questa non si conoscono le caratteristiche geometriche. Vista l'ubicazione potrebbe essere connessa alla faglia WNW-ESE che interseca il rilievo montuoso in questo punto



Grotta a pozzo di nuovo censimento situata alla sommità del M. Carlo in vicinanza della precedente e della faglia WNW-ESE che intercetta il rilievo montuoso in questo punto.



Una delle conche carsiche allineate secondo la direzione degli strati osservabile sul versante orientale del M. Carlo a 510 m di quota. Sullo sfondo a dx l'abitato di Pietralavezzara.

- Sulle pareti di cava più prossime al tracciato della Finestra Cravasco non sono state osservate cavità di origine carsica. La sola cavità osservata è quella sulla parete sudorientale della cava piccola nella quale è stato eseguito il sondaggio L2-CR1. Si tratta, come negli altri casi documentati di una cavità di modeste dimensioni (0,4mx1,2mx0,6m).



S.P.06 - Parete della Cava "piccola" di Calcestruzzi s.p.a, di quota 262, tra l'imbocco della Finestra Cravasco e Isoverde, ove è stato realizzato il sondaggio L2-CR1. Cavità carsica di modeste dimensioni (0,40m x 1,2m x 0,6m), l'unica visibile sulle pareti della vecchia cava.



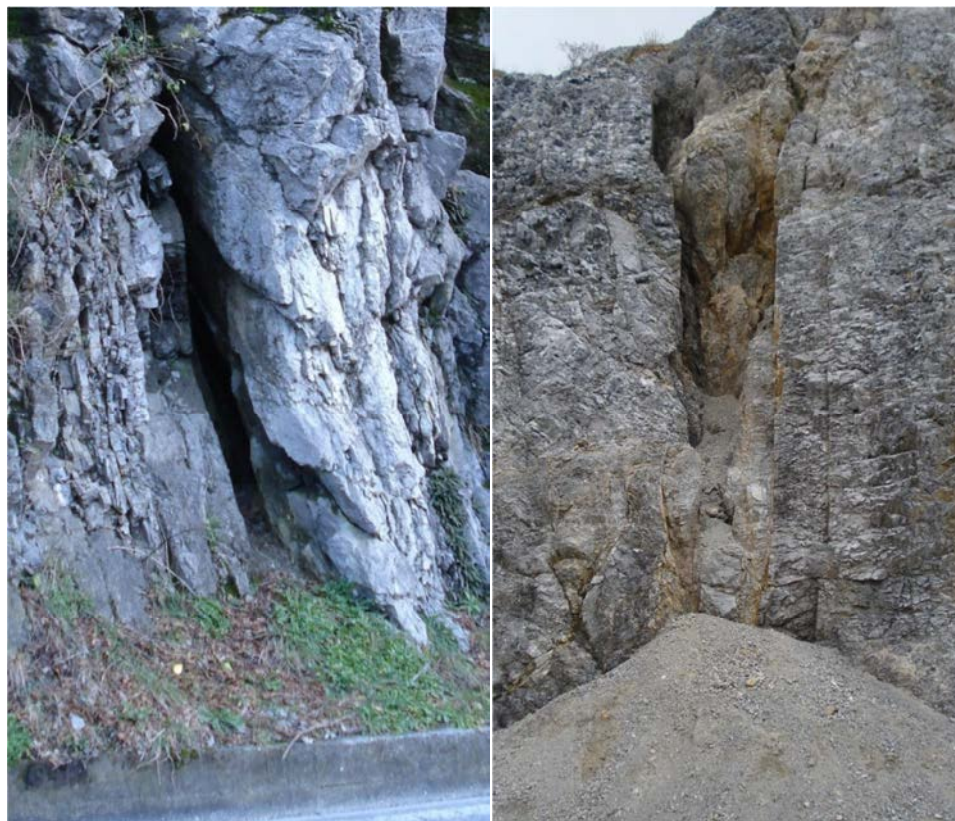
Cava Grandi nei pressi dell'imbocco della Finestra Cravasco. La parete è priva fenomeni di dissoluzione e di cavità di origine carsica.

Alcune della cavità osservate hanno origine diversa e non sono modellate da carsismo. Si tratta di cavità lineari subverticali, disposte lungo piani più o meno continui e regolari, in corrispondenza di fratture riempite di materiale cataclastico non coesivo o di interstrati a debole

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 54 a 104

consistenza. L'origine è imputabile alle acque di dilavamento superficiali o di scaturigini temporanee che asportano questi materiali creando cavità come sotto documentato.

E' del tutto probabile che nel corso dello scavo della galleria si possa assistere alla nascita di queste forme per rifluimento del materiale detritico ad opera dell'acqua di falda, soprattutto ove tali strutture costituiscono vie preferenziali del flusso idrico .



Due affioramenti di Calcari dolomitici. A sinistra, SP n. 6 sotto la Cava Grandi, un esempio di cavità lineare verticale creatasi per asportazione di un interstrato o di uno strato di materiale erodibile,. A destra, Cava Calcestruzzi, una cavità lineare verticale lungo una fascia cataclastica con rifluimento del materiala detritico e sua deposizione alla base della banca.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 55 a 104

7. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DELL'AREA

Nel bacino idrografico del T. Verde a monte di Isoverde, così come descritto precedentemente, sono presenti ammassi rocciosi caratterizzati da una conducibilità idraulica discreta per fessurazione. Si tratta del complesso di rocce ofiolitiche affioranti nell'alta valle e in destra idrografica (meta gabbri dell'Unità di Cravasco Voltaggio). Analoghe caratteristiche si rinvengono in alcune limitate aree del versante sinistro per la presenza di metabasalti. Le formazioni rocciose che hanno comunque caratteri idrodinamici di un certo rilievo sono quelle calcareo dolomitiche e calcaree ascrivibili alle Dolomie di M. Gazzo e ai Calcari di Gallaneto affioranti poco a nord di Isoverde sulle dorsali del M. Carlo e del M. Carmelo, la cui conducibilità idraulica dettata dalla fessurazione risulta localmente accentuata dalla presenza di cavità carsiche.

Per quanto attiene le coperture detritiche assume una certa rilevanza l'esteso e potente accumulo di frana su cui sorge l'abitato di Cravasco che occupa tutto il fondovalle tra i 700 m di Pian (apice) e i 350 m del piede situato tra il Rio dei Campi e la cava di M. Carmelo.

La continuità idraulica tra le suddette formazioni appare localmente interrotta dalla presenza di discontinuità tettoniche transpressive ad andamento meridiano quale quella che pone a contatto le formazioni ofiolitiche del versante destro con i calcari dolomitici del M. Carmelo e che ha un effetto tamponante sulle acque di falda circolanti a monte, all'interno degli stessi ammassi ofiolitici. Localmente l'effetto tamponante è legato alla interposizione di orizzonti più o meno continui di argilliti.

Per quanto attiene l'area strettamente interessata dallo scavo della finestra Cravasco vi è da osservare che le uniche formazioni che presentano caratteri idrodinamici di rilievo sono quelle carbonatiche fessurate che possono presentare anche morfologie carsiche più o meno sviluppate

La permeabilità dei litotipi presenti in questo settore è estremamente eterogenea, poiché è legata alla presenza di fratture con riempimento cataclastico non coesivo e allo sviluppo di condotti carsici con dissoluzione. Entrambi i litotipi (calcari e dolomie) costituenti l'ammasso roccioso possono essere interessati da carsismo, anche se tali forme appaiono meno sviluppate nei calcari di Gallaneto per la presenza di spesse intercalazioni argillitiche. E' quindi possibile che si incontrino settori in cui la permeabilità è elevata per la presenza di fratture allargate per dissoluzione ed anche zone con condotti carsici di diametro considerevole (da decimetrico a metrico). Le variazioni di permeabilità potranno risultare estremamente repentine e le venute d'acqua più consistenti, di tipo occasionale perché legate alle precipitazioni atmosferiche, dovrebbero avere un carattere piuttosto localizzato.

Il nuovo tracciato proposto prevede l'attraversamento di litotipi carbonatici per un primo tratto di circa 140-160 m nella zona non satura, con venute idriche importanti che si dovrebbero manifestare solo in occasione di forti piogge e un secondo tratto nel saturo fino a pk 0+400 ca.

Meno probabili le venute idriche nei tratti successivi, al sotto attraversamento del Rio Rizzolo, dove lo scavo interesserà la fascia milonitica nelle argilliti e successivamente argilloscisti filladici, anch'essi sostanzialmente privi di una circolazione idrica attiva.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 311"> <tr> <td>Foglio Pag. 56 a 104</td> </tr> </table>	Foglio Pag. 56 a 104
Foglio Pag. 56 a 104		

8. CARATTERISTICHE DI PERMEABILITÀ DEGLI ACQUIFERI

Le caratteristiche di permeabilità degli acquiferi sono state definite su base bibliografica e modificate sulla base di parametri che tengono conto delle portate idriche delle sorgenti e dall'estensione dei relativi bacini idrogeologici.

Dall'analisi dei dati relativi a permeabilità, distribuzione delle sorgenti e dalle osservazioni di superficie eseguite nell'area di studio e nelle aree adiacenti è stato elaborato uno schema concettuale che è servito da base per eseguire la previsione della portata drenata in fase di scavo. L'analisi dei dati si è concentrata principalmente sulle formazioni di M. Gazzo e di Gallaneto. Queste, infatti, costituiscono i principali acquiferi dell'area.

E' su questi acquiferi che potrebbero verificarsi fenomeni di interferenza a seguito del drenaggio operato dal cavo con le risorse idriche di superficie.

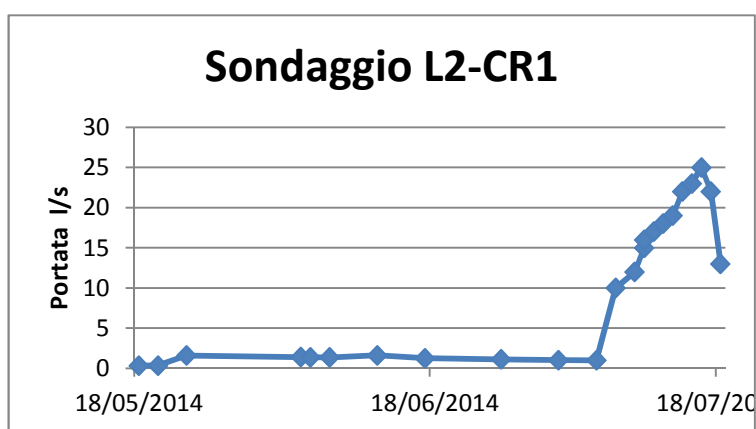
8.1. Prove di permeabilità eseguite in foro di sondaggio

Gli unici dati a cui riferirci per una valutazione diretta del coefficiente di permeabilità in profondità, sono quelli ricavati nelle prove Lugeon in foro sulle Argille a palombini realizzati nell'area di Campomorone. Dati che possono essere utilizzati per una stima del coefficiente di permeabilità degli Argilloscisti neri (Mn) e degli Argilloscisti filladici (f)

Codice	Comune	Pk	Tipo	Prof. i	Prof. f	U.L	K (m/s)
AA301G052	Campomorone	7+950	Lu	101.0	104.0	1.1	0.66e-7
			Lu	107.0	111.0	0.9	0.54e-7
6A301G054	Campomorone	8+550	Lu	31.9	34.9	0.165	0.1e-7
			Lu	39.7	41.7	0.182	0.1e-7
			Lu	45.7	47.7	0.39	0.23e-7
			Lu	49.7	50.7	0.38	0.22e-7
L2-CR3	Campomorone	9+900 e Finestra	Lu	102.5	105.0	0.7	6.9e-8
			Lu	133.0	136.0	0.36	3.7e-8
			Lu	151.5	154.5	0.56	5.8e-8
L2-CR4	Campomorone	10+100 e Finestra	Lu	207,4	212,4	0.4	5.3e-8
			Lu	245.0	250.0	0.1	1.27e-8
			Lu	256.4	261.4	0.09	1.01e-8
L2-CR1	Campomorone	0+140 Finestra	-	174	246		Ca.3.0e-6

Sintesi delle prove Lugeon eseguite nell'ambito delle campagne geognostiche su sondaggi verticali, sul tracciato della Gallerie di valico e sul tracciato della Finestra Cravasco, in comune di Campomorone. (Relazione idrogeologica di Progetto Definitivo e Indagini di P.E.). Il sondaggio sub orizzontale L2-CR1 ha intercettato acqua a partire da pk 0+64 m con un incremento significativo a partire da pk 0+180 circa.

Nel corso del sondaggio sub-orizzontale L2-CR1, realizzato all'interno dei Calcari dolomitici, si sono manifestate venute idriche che hanno raggiunto valori intorno a 20 l/s



Idrogramma delle portate registrate nel corso del sondaggio L2-CR1. I valori superiori a 20 l/s si riferiscono a portate di picco che si sono manifestate nel corso di manovre che hanno comportato

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 58 a 104

l'asportazione del rivestimento dal foro. Al termine del sondaggio e prima dell'istallazione del piezometro le portate si sono stabilizzate intorno a 13 l/s.

Sulla base di una portata di 20 l/s riferita all'intero tratto realizzato nel saturo (72 m), considerando quindi l'acquifero come un mezzo isotropo ed omogeneo e in presenza di un carico idraulico di 40 m (è il battente stimato sulla base dei dati registrati al manometro a quattro mesi dalla sua istallazione), è possibile avere indicazioni circa la conducibilità idraulica dell'ammasso carbonatico, nell'intorno del sondaggio, che risulta essere dell'ordine di $3,0E-6$ m/s.

Nel corso del sondaggio sono state poste sotto monitoraggio le sorgenti SCM217, SCM219, SCM370 e SCM221.

Gli effetti che il drenaggio della perforazione ha determinato su sorgenti poste ad una distanza di circa 100 m dal punto di aggettamento dell'acqua e posizionate al contatto tra Calcari di Gallaneto e argilloscisti (SCM217 e SCM219) fa ritenere che la conducibilità idraulica dei Calcari di Gallaneto sia dello stesso ordine di grandezza di quella dei Calcari dolomitici o lievemente inferiore. Le sorgenti di cui sopra a seguito del drenaggio hanno subito o la perdita totale di portata (SCM219) o una forte riduzione della stessa (SCM217).



Il sondaggio L2-CR1 nella fase di completamento. La portata registrata al momento della ripresa fotografica era di 16 l/s.

Da quanto sopra evidenziato e sulla base dei risultati delle prove di permeabilità in foro si ritiene di poter confermare i valori di conducibilità idraulica fin qui adottati, tenendo presente che soprattutto per le unità carbonatiche tali valori devono essere intesi come valori medi per poterli associare ad un

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 59 a 104

mezzo ideale isotropo e omogeneo, assunzione questa che può consentirci di applicare un modello idrogeologico numerico.

Litotipo	K (m/s)
Calcari dolomitici di M. Gazzo (dG)	2,0 E-6
Gessi, anidriti, carnirole (gC)	1,0 E-7
Calcari di Gallaneto (cG)	1,0 E-6
Metargilliti nere (Mn)	3,4 E-8
Metargilliti filladi che (f)	3,4 E-8
Calcari di Voltaggio (cV)	6,0 E-7
Metabasalti (B ^{''})	8,0 E-7
Serpentinoscisti (Se ^{''})	8,0 E-7

8.2. Caratteristiche dei punti d'acqua dell'area

Le sorgenti dell'area afferente alla porzione di bacino idrografico del T. Verde, a monte di Isoverde, sono state oggetto di un primo censimento nel 2004, nell'ambito della stesura del Progetto definitivo del Terzo valico ferroviario e di un secondo censimento nel 2013, nell'ambito della stesura del Progetto esecutivo e degli approfondimenti richiesti dal CIPE.

Nell'area del bacino idrografico del T. Verde a monte di Isoverde, sono in totale 43 le sorgenti censite. Si tratta di sorgenti in gran parte captate e utilizzate da privati e/o da gestori di acquedotti pubblici. Quindici di queste sono inutilizzate o non captate. Le sorgenti sono individuabili da una sigla che ne identifica la natura S=sorgente, dal Comune CM=Campomorone e da un Numero.

Nella carta geologica sono individuabili dal solo numero; scelta fatta per non appesantire troppo la cartografia.

Le sorgenti di cui all'elenco sono state oggetto di monitoraggio da Marzo 2013 a Marzo 2014:

Sorgenti censite oggetto di monitoraggio, campionamento e analisi

- SCM 92 San Michele quota 345 m
- SCM 94 Campasso2 quota 300 m
- SCM 93 Campasso quota 305 m
- SCM 351 Gallaneto Cimitero quota 240 m
- SCM 72 Gallaneto sulfurea quota 210 m
- SCM 88 Rizzolo Nicoletta quota 245 m
- SCM 89 Rizzolo Nicoletta quota 260 m
- SCM 91 Neppiane quota 425 m
- SCM 370 Case Rizzolo quota 265 m
- SCM 217 Isoverde Sig. Parodi quota 256 m
- SCM 219 Isoverde Sig. Parodi quota 287 m
- SCM 368 Isoverde I Buggi quota 220 m

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 60 a 104

- SCM 102 Isoverde ex Cava Calcestruzzi quota 264 m
- SCM 220 Rizzolo quota 285 m
- SCM 221 Rizzolo quota 335 m
- SCM 85 Caduti di Cravasco quota 500 m
- SCM 87 Rio Vallette quota 365 m
- SCM 70 Rio Cravasco quota 370 m
- SCM 84 Rio Campi - Ghigliotti quota 420 m
- SCM 90 Mulino Cravasco quota 425 m
- SCM 82 Cà Mea quota 460 m

Altre sorgenti sono state censite ma non sono state oggetto di monitoraggio.

Sorgenti censite non monitorate

- SCM 86 Rio vallette quota 392 m .
- SCM 372 Rio Rizzolo C. Torvi quota 355 m
- SCM 373 Rio Rizzolo C. Torvi quota 380 m
- SCM 374 Rio Rizzolo - C. Lason quota 352 m
- SCM 375 Rio Rizzolo - C. Lason sup. quota 445 m
- SCM 376 Rio Rizzolo - C. Lason cava quota 410 m
- SCM 103 Isoverde Parodi quota 270 m
- SCM 350 Campasso - Rio Roncaschi quota 425 m
- SCM 110 Rio Ciappelli quota 755 m
- SCM 64 Rio Campi quota 635 m
- SCM104 Rio Campi quota 610 m
- SCM 306 Cravasco – C. Cortino quota 540 m
- SCM 307 Cravasco quota 485 m
- SCM 317 Cravasco – Lavaggi quota 590 m
- SCM 318 Cravasco – Dellepiane quota 580 m

Delle 43 sorgenti individuate, 16 ricadono nell'area di interesse per il tracciato della finestra Cravasco.

Si tratta delle sorgenti SCM368, SCM102, SCM103, SCM104, SCM369, SCM217, SCM219, SCM88, SCM89, SCM90, SCM370, SCM220, SCM221, SCM374, SCM375 e SCM376.

Le sorgenti dell'area hanno origine da acquiferi diversi afferibili al substrato roccioso (calcari, calcari dolomitici, metabasalti, meta gabbri, serpentinoscisti) e a coperture detritiche e di frana.

La scelta delle sorgenti da sottoporre a monitoraggio e campionamento è stata fatta ai fini di una caratterizzazione geochimica in base alla natura della roccia serbatoio, e della posizione (monte e valle) rispetto alle aree di affioramento delle unità carbonatiche al fine di confrontare la composizione delle acque in ingresso ai complessi carbonatici con la composizione di quelle in uscita dagli stessi.

<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-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica</p> <p>Foglio Pag. 61 a 104</p>

Nell'ambito del bacino idrografico del T. Verde la descrizione delle sorgenti viene fatta a partire dalle aree di monte.

Sorgente Cà Mea SCM 82

La sorgente è situata nel sottobacino del Rio dei Campi in destra idrografica nei pressi della confluenza con il Rio Mascio. L'acqua affiora a quota 460 dal substrato costituito da serpentiniti del gruppo di Voltri in prossimità della faglia ad andamento meridiano che ha effetto tamponante sull'acquifero, come documentato anche per le sorgenti SCM84 e SCM91 che versano nel reticolo idrografico e non nei vicini calcari dolomitici a più elevata permeabilità.

Le portate idriche misurate con cadenza mensile a partire da Marzo 2013 evidenziano un regime idrologico dettato da massimi invernali di 2,8 l/s e da minimi estivi di 0,2 l/s.

La sorgente risente in maniera significativa degli apporti meteorici con incrementi di portata che seguono di poche ore l'evento piovoso.

Anche le temperature dell'acqua sono in accordo con una filtrazione in parte superficiale ..

I valori di conducibilità elettrica sono sostanzialmente bassi in accordo con le caratteristiche della roccia serbatoio e in accordo con tutte le altre sorgenti che traggono alimentazione dall'acquifero costituito da rocce cristalline del gruppo di Voltri.

Sorgente Vecchio Mulino di Cravasco SCM 90

La sorgente è situata nel sottobacino del Rio Cravasco, in destra torrente a 425 m di quota.

Ha origine all'interno degli estesi depositi di frana di Cravasco costituiti da clasti eterogenei per natura e dimensioni, alla base del versante, nei pressi dell'alveo.

L'opera di presa è minimale costituita da una piccola traversa in cls con una piccola canaletta in testa.

La portata si misura solo parzialmente alla canaletta in quanto parte dell'acqua filtra da sotto la traversa (circa un 50%). Le caratteristiche geochemiche sembrano del tutto simili alla sorgente SCM 112, non capta, con acqua che emerge dagli stessi depositi ad una quota un poco più alta (455 m s.l.m.) sorgente quest'ultima che da origine al fosso tributario di destra del Rio Cravasco e che vi confluisce nei pressi del vecchio Mulino.

Sorgente Ghigliotti SCM84

La sorgente Ghigliotti è situata sul versante destro del Rio dei Campi a 420 m di quota

L'acqua emerge alla base di un affioramento in roccia costituito da serpentiniti al di sotto della quale vi è una coltre detritica che si estende fino al fondovalle.

Il contesto è analogo a quello di Cà Mea e Neppiane ove la presenza di una soglia di permeabilità sottoposta costituita dalla faglia ad andamento meridiano che separa il gruppo di Voltri dall'unità tettonometamorfica Gazzo Isoverde, fa emergere l'acqua sul medio versante.

Le portate sono comunque modeste e variano in ambito stagionale tra un massimo di 1 l/s a minimi di 0,2 l/s

Sorgente Caduti di Cravasco SCM 85

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 62 a 104

La sorgente è situata sul versante sinistro del T. Verde nell'alto bacino del Rio Barbun, a 500 m di quota, lungo il sentiero che dal cimitero di Cravasco conduce alla cima del M. Carlo.

L'acqua affiora in corrispondenza di argilloscisti, in prossimità di un contatto per faglia con

Sorgente Rio Cravasco SCM 70

La sorgente è situata a 370 m di quota nel bacino idrografico del Rio di Cravasco affluente in sinistra del Rio dei Campi. L'acqua emerge dai depositi di frana costituiti da materiali grossolani eterometrici a supporto di matrice sabbioso-limosa.

Le portate variano in ambito stagionale tra 1 l/s del periodo primaverile e 0,1 l/s del periodo estivo.

Sorgente Valletta valle SCM87

La sorgente captata solo in minima parte è situata nella media valle del Rio Valletta in sinistra idrografica a 365 m di quota.

L'acqua emerge da una coltre detritica di disfacimento dei Calcari di Voltaggio ma, visto il regime idrologico della stessa è probabile che l'alimentazione sia ascrivibile agli stessi calcari. Le portate variano in ambito stagionale tra un massimo di 7,8 l/s e minimi di 1,7 l/s.

Sorgente SCM368 – E' la sorgente più importante per l'area con portate che variano in ambito stagionale tra i 280 l/s del periodo invernale e primaverile e i 50 l/s dell'estate. Occasionalmente, in concomitanza con importanti eventi meteorici le portate possono raggiungere picchi importanti (dell'ordine dei 300 l/s) anche nel periodo estivo, come sotto documentato.

La sorgente è ubicata nei pressi dell'alveo del T. Verde, in destra idrografica, a 220 m di quota e trae alimentazione dall'acquifero carsico costituito dai Calcari dolomitici di M. Gazzo che in quest'area hanno un assetto trasversale all'alveo con inclinazione accentuata intorno a 65° (assetto 155/65). L'emergenza è localizzata lungo strato, in prossimità del limite con i Calcari di Gallaneto.

La sorgente è captata con un canale di derivazione sul quale è possibile effettuare le misure con il correntometro.

Le variazioni di portata nel corso degli eventi meteorici più rilevanti sono repentine, così come le riduzioni di portata. Due gli eventi registrati che forniscono informazioni significative sul regime idrologico della sorgente nella fase di ricarica e nella fase di esaurimento.

Evento di Novembre 2012

Dato di portata di venerdì 9 novembre ore 16. 165 l/s

Dato di portata di lunedì 12 novembre ore 10. 225 l/s

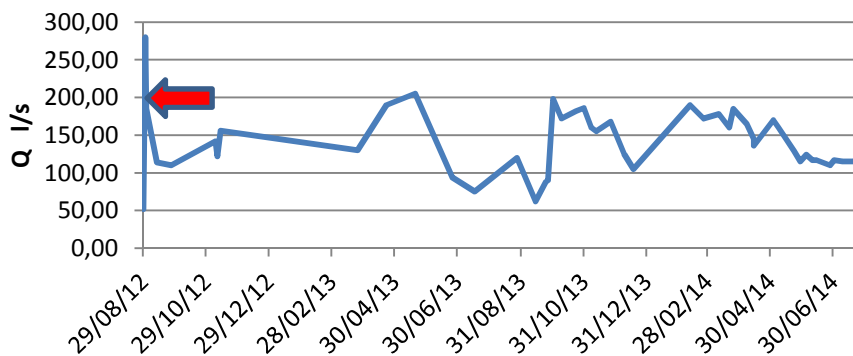
Evento di Agosto 2012

Dato di portata del 28 Agosto 2012 ore 16. 50 l/s

Dato di portata del 31 Agosto 2012 ore 11. 280 l/s

Dato di portata del 31 Agosto 2012, ore 15. 185 l/s.

Sorgente I Buggi SCM368 Quota 220 m s.l.m.



Idrogramma della sorgente I Buggi SCM368.

È evidenziato dalla freccia l'incremento repentino di portata alla sorgente (da 50 l/s il 29.8.2012 a 280 l/s il 31.8.2012 ore 11) in risposta all'evento meteorologico occorso tra il 30 Agosto 2012 (ore 14.00) e il 31 Agosto 2012 (ore 4.00) nel quale alla stazione meteo di Isoverde sono stati misurati 185 mm di pioggia. Come evidenzia il grafico i tratti in esaurimento sono frequentemente interrotti da picchi determinati da eventi piovosi più o meno intensi.

Sulla base dei dati geochimici, come di seguito illustrato, e dei dati di conducibilità elettrica si evidenziano valori in linea con quelli registrati su sorgenti e corsi d'acqua situati nelle porzioni di bacino nordoccidentali per la presenza di acque con una bassa conducibilità elettrica rispetto alle sorgenti situate nell'intorno del Monte Carlo.



Il canale di derivazione della sorgente dei Buggi SCM368 nel quale sono state effettuate le misure di portata con cadenza mensile. E' evidenziata la strumentazione predisposta per la prova di tracciamento effettuata il 3 Maggio 2014 (Fluorimetro, fluocaptori e conduttivimetro).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 64 a 104

Sorgenti SCM102 e SCM 103 – Si tratta di sorgenti non captate situate sul versante sinistro del T. Verde poco a monte di Isoverde a quote intorno a 264 m s.l.m.. Hanno origine dai Calcari dolomitici di M. Gazzo con emergenza lungo strato. Le sorgenti pur presentando caratteri di spiccata stagionalità con lunghi periodi privi di portata idrica sono significative in quanto danno indicazioni circa i livelli idrici massimi raggiunti entro l'acquifero fessurato e localmente carsificato. Si tratta di sorgenti situate al limite della porzione di ammasso attraversata da acque di percolazione ed è nei periodi in cui i quantitativi meteorici superano le capacità di deflusso dei punti di recapito situati in prossimità del fondovalle che si attivano punti di emergenza idrica, a quote superiori. Queste due sorgenti sono state utilizzate per la ricostruzione dei livelli piezometrici massimi sul versante sinistro del T. Verde.

Sorgenti SCM217 e SCM219 a quote rispettivamente di 255 m e 286 m

Si tratta di sorgenti captate situate sul versante sinistro del T. Verde, poco a monte di Isoverde posizionate lungo il contatto tra Calcari di Gallaneto (acquifero) e Argilloscisti neri (acquicludi).

La SCM 219, più alta in quota ha un regime idrologico estremamente variabile, tra i 10 l/s del periodo invernale e i 0,08 l/s del periodo estivo. Meno variabili le portate della SCM217, più bassa in quota che registra portate massime dell'ordine degli 8 l/s e portate estive intorno a 0,12 l/s.

Sorgenti SCM88, SCM89 e SCM90 a quote rispettivamente di 250 m, 265 m e 260 m.

Si tratta di sorgenti captate situate sul basso versante del Rio Rizzolo in destra idrografica. Hanno portate generalmente modeste inferiori a 0,5 l/s con minimi estivi intorno a 0,06 l/s. La sorgente SCM90 ha un regime stagionale caratterizzato da lunghi periodi di secca estivi.

Traggono alimentazione da inclusi carbonatici e gessosi affioranti in superficie e confinati lateralmente dagli argilloscisti.

Sorgenti SCM370, SCM220 e area sorgentizia in fregio al T. Rizzolo a quote intorno a 260 m.

Si tratta di un allineamento di emergenze idriche poste in fregio all'alveo, alla base del versante destro del Rizzolo, a valle dei ruderi di Case Rizzolo. E' probabile che i flussi idrici diretti da monte verso valle siano in quest'area guidati dalle macrodiscontinuità ad orientazione NW-SE presenti poco a nord di Case Rizzolo. Le emergenze idriche non sono probabilmente lì dove si osservano ma poco più a monte al contatto tra Calcari di Gallaneto e argilloscisti. La presenza di un esteso accumulo di frana, di coltri detritiche, incrostazioni travertinose e di terrazzamenti, al piede del versante maschera l'ubicazione dei punti di emergenza idrica. La sorgente principale, solo in parte captata è la SCM370. Questo gruppo di sorgenti, assieme alla SCM221 e ad altre situata più a monte, garantisce un minimo di deflusso in alveo Rizzolo anche nei mesi estivi.

Sorgente SCM221 a 320 m di quota.

Si tratta di una sorgente solo in parte captata, al contatto tra Calcari dolomitici di M. Gazzo (acquifero) e i Calcari di Gallaneto che qui hanno caratteristiche di acquitardi. Appare evidente dalle osservazioni di campagna che i flussi lungo strato sono nettamente superiori a quelli trasversali per l'interposizione di interstrati argillitici. La portata della sorgente per la quota parte non captata si misura con difficoltà.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica Foglio Pag. 65 a 104

La tabella sottostante riassume i dati del monitoraggio eseguito in corrispondenza di 24 sorgenti tra quelle presenti nel bacino idrografico del T. Verde. I dati raccolti da Gennaio 2013 a Novembre 2013 e successivamente da Febbraio 2014 ad Aprile 2014 mostrano una spiccata variabilità con portate che, per quanto potuto accertare sulla base dei dati disponibili (estate 2013) si riducono notevolmente nel periodo estivo.

Fa eccezione la sorgente SCM 368 (220 m s.l.m.), situata sul fondovalle del T. Verde, a valle di tratti di alveo interessati da perdite di portata per infiltrazione dal subalveo, che nel periodo estivo non scende mai al di sotto dei 50 l/s garantendo così un certo deflusso idrico al torrente.



Valle del T. Rizzolo, tratto in sponda destra compreso tra le sorgenti SCM370 e SCM220. Si notano gli stillicidi abbondanti e diffusi su placche di travertino, alla base dell'accumulo di frana di Case Rizzolo (ruder). Si tratta di un fronte sorgentizio importante soprattutto durante i periodi di maggior ricarica ma che si riduce sensibilmente nei periodi siccitosi (fino a circa 2 l/s)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica		Foglio Pag. 66 a 104

Sorgente	Sigla	Quota (m s.l.m)	Portata max (l/s)	Portata min (l/s)	Cond.E. microS/cm
I Buggi	SCM 368	220	280 l/s	50 l/s	200
Rio Cravasco	SCM70	370	1,0 l/s	0,2	210
Isoverde	SCM88	250	0,6 l/s	0,05 l/s	600
Isoverde	SCM89	265	0,3 l/s	0,04 l/s	620
Mulino Cravasco	SCM90	430	0,7 l/s	0,2 l/s	250
Rio Valletta Grandi	SCM87	370	Ca. 8 l/s	1,7 l/s	200
Rio Rizzolo	SCM370	257	5 l/s	1,5 l/s	500
Rio Rizzolo	SCM220	286	Ca. 7,0 l/s	0.0 l/s	504
Rio Rizzolo	SCM221	320	Ca. 6,0 l/s	0,6 l/s	570
Lason	SCM374	350	Ca. 1,0 l/s	0,1 l/s	410
Cravasco Cippo	SCM85	505	0,3 l/s	0,1 l/s	385
Ghigliotti	SCM84	425	1,2 l/s	0,2 l/s	148
Cà Mea	SCM82	470	Ca. 3,0 l/s	0,2 l/s	120
San Michele	SCM92	350	Ca. 2 l/s	0,3 l/s	320
Pietraia alta	SCM375	435	0,3 l/s	0,03 l/s	435
Pietraia bassa	SCM376	405	0,35 l/s	0,08 l/s	405
Parodi	SCM217	255	Ca. 4 l/s	0,1 l/s	460
Parodi	SCM219	286	Ca. 9 l/s	0,05 l/s	450
Cava bassa	SCM102	264	8 l/s	0,0 l/s	420
Isoverde	SCM103	266	7 l/s	0,0 l/s	410
Isoverde	SCM104	215	2 l/s	0,2 l/s	440
Isoverde	SCM369	218	2,5 l/s	0,1 l/s	450
Neppiane	SCM91	432	0,12 l/s	0,05 l/s	180
Campasso	SCM94	294	0,1 l/s	0,01 l/s	440
C. Torvi	SCM372	335	0,2 l/s	0,05 l/s	400
C. Torvi	SCM373	350	0,15 l/s	0,06 l/s	410

Dati massimi e minimi di portata idrica desumibili dal monitoraggio sorgenti.

Da una sommaria analisi dei dati di tabella, e dalle analisi geochimiche, analizzate in seguito, si evidenzia quanto segue.

- Le sorgenti afferenti ai sottobacini posti in destra idrografica del T. Verde (aree di affioramento dell'Unità tettonometamorfica di Voltri) hanno una bassa Conducibilità elettrica che si posiziona intorno a 110-180 microS/cm
- Le sorgenti afferenti ai sottobacini che occupano il settore centro-settentrionale del bacino del T. Verde (Rio Gambette, Rio Cravasco e Rio Vallette – aree di affioramento dell'Unità tettonometamorfica Cravasco-Voltaggio) hanno una conducibilità elettrica compresa tra 200 e 400 microS/cm.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica</p> <p style="text-align: right;">Foglio Pag. 67 a 104</p>

- Le sorgenti afferenti ai bacini del Rio Rizzolo e porzione meridionale del T. Verde (aree di affioramento dell'Unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde) hanno una conducibilità elettrica superiore a 400 microS/cm.

Sulla base di questi riscontri appare plausibile, per la sorgente carsica di Isoverde SCM368, (I Buggi) la cui conducibilità si attesta intorno a 200 microS/cm, un' alimentazione prevalente dai settori centro-settentrionali e occidentali dei sottobacini idrografici del T. Verde (area di M. Carmelo).

Per contro i valori di C.E. superiori a 600 microS/cm, riscontrati alle sorgenti SCM88 e SCM89, situate sul versante destro del Rizzolo, in prossimità dell'abitato di Isoverde, sono molto probabilmente legati alla presenza di lenti di gesso di cui vi è documentazione poco più a valle.

8.3. Caratteristiche del reticolo idrografico

Nella tratta di interesse l'idrografia superficiale è dominata dalla presenza di tre elementi idrografici principali: il Torrente Iso, il Torrente Verde, il Rio Rizzolo e il Rio Corneo (Gallaneto), tutti afferenti al bacino idrografico del T. Verde. Il Rizzolo è quello lungo il quale si sviluppa buona parte del tracciato di progetto.

L'idrografia superficiale entro il bacino del T. Verde è variamente articolata con aste torrentizie minori ad elevato grado di gerarchizzazione, disposte secondo un reticolo la cui geometria risulta in parte condizionata dai principali elementi tettonico-strutturali, soprattutto nel settore occidentale e orientale dell'area di studio (strutture nord sud dettate dalla orientazione delle strutture parallele alla linea Sestri Voltaggio), e per quanto attiene il pattern, dalla natura litologica del substrato. Tali corsi d'acqua mostrano un regime torrentizio con deflussi idrici che salvo rare eccezioni, come più avanti descritto, appaiono garantiti tutto l'anno.

I corsi d'acqua afferenti al bacino del T. Verde vengono qui descritti in quanto, su alcuni di questi e per alcuni tratti, si osservano riduzioni di portata idrica fino al totale azzeramento nei periodi estivi.

Da monte a valle e da ovest ad est, si rileva quanto segue:

Il Rio dei Campi, situato a monte di Cravasco, alla base del versante del Bric di Guana, registra riduzioni di portata a partire da quota 375, nei pressi della cava di M. Carmelo, poco a valle del contatto tra Serpentinoscisti del Bric del Dente e Dolomie di M.Gazzo.

Il Rio Gambette, situato a ovest di Cravasco, scorre su antichi depositi di frana (debris avalanche e debris flow) fin quasi alla confluenza con il Rio dei Campi; sulla base dei dati fin qui raccolti non evidenzia riduzioni di portata idrica.

Il Rio Cravasco che attraversa l'omonimo centro abitato vede ridursi la portata, fino a seccarsi completamente nei mesi estivi, a valle del vecchio mulino di Cravasco (quota 420) e fino alla confluenza con il Rio dei Campi nei pressi del piazzale della cava di M. Carmelo.

Il Rio Vallette situato a est di Cravasco, ai piedi del versante settentrionale del Monte Carlo sul quale non si sono evidenziate riduzioni di portata idrica.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 68 a 104

Il T. Verde nel tratto a valle della Cava di M. Carmelo e fino alla sorgente dei Buggi SCM 368, registra una progressiva riduzione di portata fino al totale disseccamento nei mesi estivi.

Il tratto di torrente Verde a valle della sorgente I Buggi non evidenzia riduzioni di portata apprezzabili.

Il Rio Ciappuen affluente del T. Corneo (Gallaneto) che scorre alla base del M. Carmelo e che si diparte dal versante soprastante l'abitato rurale di Neppiane appare privo di acqua per gran parte dell'anno tra Neppiane e la confluenza con il Rio Corneo.

Lo stesso Rio conserva invece un certo deflusso idrico a monte di Neppiane.

Il Rio Lago Scuro, così come gli altri affluenti in destra Corneo ha un regime idrologico del tutto normale in linea con gli apporti meteorici.

Il Rio Rizzolo è interessato da riduzioni di portata nel tratto posto tra il Cimitero di Isoverde e la confluenza con il T. Verde, in un'area ove in passato erano presenti alcune gallerie minerarie per l'estrazione dei gessi.

Le sezioni di misura in alveo sono state posizionate tenendo delle anomalie sopra descritte. Esse sono situate a monte e a valle dei tratti di alveo interessati da perdita di portata.

In linea di massima sono stati individuate alcune sezioni idrauliche poste a monte dell'area di affioramento delle formazioni carbonatiche e alcune sezioni poste a valle delle stesse formazioni.

La necessità di effettuare misure precise ha comportato la progettazione e la realizzazione di opere idrauliche per lo più di modesta entità al fine di rendere regolare la sezione di misura e poter effettuare, nei periodi caratterizzati da basse portate misure anche di tipo volumetrico. Il monitoraggio dei corsi d'acqua nell'alto bacino idrografico del T. Verde è stato effettuato.

8.3.1. *Il monitoraggio dei corsi d'acqua*

Il monitoraggio dei corsi d'acqua è stato effettuato con l'uso del correntometro e con metodo volumetrico, sulle seguenti sezioni idrauliche.



Il monitoraggio delle portate in alveo è stato in massima parte effettuato con mulinello flow probe della Global Water.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 69 a 104

Le misure di portata sui corsi d'acqua sono state precedute da sopralluoghi e verifiche al fine di individuare nell'ambito del bacino idrografico del T. Verde a monte dell'abitato di Isoverde, le sezioni idrauliche più significative ai fini del presente studio.

Le sezioni di monte situate sui torrenti Campi, Gambette, Cravasco e Vallette, a monte delle aree di affioramento delle unità carbonatiche, sono state scelte su tratti idonei e raggiungibili per i previsti interventi di regolarizzazione delle sezioni. Le sezioni di valle (poste a valle delle aree di affioramento delle unità carbonatiche) sono state scelte su opere preesistenti (briglie e traverse di regimazione idraulica).

I corsi d'acqua dell'area appartengono a tre sottobacini idrografici principali (T. Iso o Verde, Rio Rizzolo e T. Corneo) la cui confluenza è situata presso l'abitato di Isoverde.

Di questi sono stati oggetto di un monitoraggio sistematico il T. Verde e il Rio Rizzolo, mentre il T. Corneo è stato monitorato solo nelle prime fasi. Il monitoraggio di quest'ultimo è stato abbandonato in quanto a questo bacino afferiscono occasionalmente acque provenienti da bacini idrografici extraterritoriali (acque di scarico della centrale idroelettrica ex De Ferrari Galliera alimentata dall'invaso del Gorzente). Nel corso del 2013 lo scarico di queste acque in alveo, all'altezza di Gallaneto, si è manifestato con frequenza a causa delle importanti precipitazioni iniziate già nella tarda estate dello stesso anno. Conseguentemente sono state interrotte le misure alla sezione D posta a valle della confluenza Verde - Corneo.

Le sezioni idrauliche appositamente predisposte per la misura delle portate sono in totale dieci (A, B, C, D, E, F, G, H, I, L).

Le portate massime medie e minime registrate nel corso del monitoraggio iniziato a Marzo 2013 e conclusosi a Marzo 2014 sono riportate in tabella

Sezione	Q max (l/s)	Q med (l/s)	Q min (l/s)
A - Rio Campi	460	166	37
B - T. Verde	500	92	20
C - T. Verde	980	370	95
D * - T. Verde	-	-	-
E - Rio Gambette	170	57	5
F - Rio Cravasco	110	36	3
G - Rio Valletta	95	30	7
H - Rio Valletta	165	54	9
I - Rio Rizzolo	110	33	6
L * - T. Corneo	-	-	-

(*) Sezioni idrauliche disattivate perché ritenute non significative

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica</p> <p>Foglio Pag. 70 a 104</p>

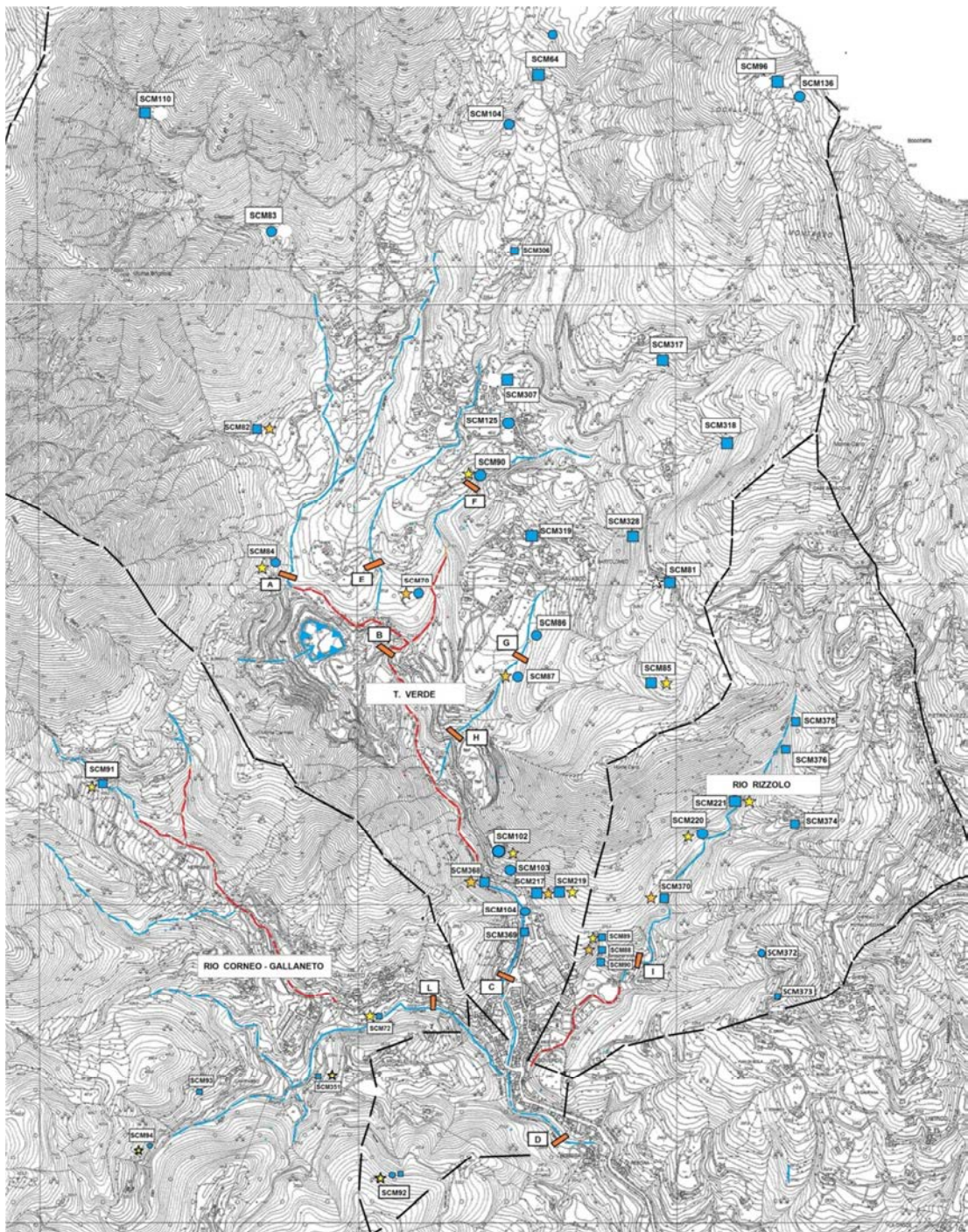
Il monitoraggio dei corsi d'acqua ha evidenziato, nelle aree di attraversamento dei Calcari dolomitici, alcuni tratti di alveo che vanno ad alimentare la falda sottostante.

I corsi d'acqua interessati dal fenomeno che vedono occasionalmente e per periodi più o meno prolungati nel tempo il completo prosciugamento di alcuni tratti sono i seguenti:



- Il Rio di Neppiane (Ciappuen) affluente del T. Corneo, situato lungo il margine occidentale del rilievo calcareo-dolomitico di M. Carmelo che risulta solitamente asciutto tra Neppiane e la confluenza con il Corneo; anche l'acqua proveniente dal Rio Tinelle una volta raggiunto il Ciappuen e il substrato calcareo si infiltra e scompare interamente;
- Il Rio di Cravasco affluente in sinistra del T. Verde mostra un tratto (quello di valle) con portate ridotte o totalmente assenti nel periodo estivo.
- Il tratto terminale del Rio dei Campi e la sua prosecuzione verso valle (T. Verde) fino alla sorgente SCM368 (I Buggi) evidenzia significative riduzioni di portata che si possono quantificare con precisione soprattutto nei periodi di scarse precipitazioni. Frequentemente il tratto di alveo compreso tra la Cava Calcestruzzi e la sorgente I Buggi risulta asciutto nel periodo estivo.

In tutti i casi sopra evidenziati, le riduzioni di portata idrica si manifestano ove il corso d'acqua incide il substrato carbonatico.

Nella corografia sottostante è riportata la posizione delle sezioni d'alveo sulle quali sono state effettuate le misure di portata e i tratti di alveo che vedono ridursi o azzerarsi la portata in alveo per infiltrazione



IDROGRAFIA

-  Corso d'acqua
-  Tratto asciutto o con portate ridotte per infiltrazione

AREA CRAVASCO ISOVERDE

PUNTI DI MONITORAGGIO

-  CORSO D'ACQUA
-   SORGENTE CAPTATA
-   SORGENTE NON CAPTATA



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 72 a 104

8.4. Ricostruzione del profilo piezometrico

Il profilo piezometrico riportato nella sezione idrogeologica in asse al tracciato della finestra Cravasco è stato ricostruito sulla base dei dati raccolti ai piezometri SF12, L2-CR1 e L2-CR1bis posizionati all'interno dei Calcari dolomitici (dG) e dei Calcari di Gallaneto (cG), della quota delle sorgenti e del loro regime idrologico; sorgenti che sulla base di questi parametri sono probabilmente connesse alla falda basale in rete, in equilibrio con i due corsi d'acqua principali Verde e Rizzolo. Pertanto i livelli massimi riportati su profili e sezioni longitudinali e trasversali al tracciato sono quelli ricostruiti sulla base delle emergenze più alte in quota, con portate temporanee o stagionali quali quelle che si osservano alle sorgenti SCM102, SCM103, SCM219, SCM221, ecc.. Analogamente, i livelli minimi sono stati ricostruiti sulla base dei dati raccolti al piezometro SF12 e del regime idrologico delle sorgenti più basse in quota e caratterizzate da portate estive anche modeste. I piezometri L2-CR1 e L2-CR1bis, installati di recente, indicano livelli compresi tra 275 e 300 m s.l.m., in linea con i massimi e i minimi sopra ricordati.

Il piezometro a tubo aperto SF12, situato in vicinanza dell'imbocco della finestra Cravasco, installato nel 2005 su un foro verticale lungo 85 m, indica livelli a quota alveo T. Verde o livelli di poco superiori a questo.

Il profilo piezometrico trasversale A-A'-B, ad orientazione NE-SW, tracciato all'interno dei Calcari di Gallaneto in vicinanza del contatto con gli argilloscisti impermeabili ha seguito la stessa logica. Anche in questo caso sono stati utilizzati i livelli piezometrici e la quota delle sorgenti alimentate dalla falda di base (SCM370, SCM220, SCM221), non utilizzando pertanto le sorgenti SCM88 e SCM89 alimentate da un acquifero sospeso confinato a letto dagli argilloscisti.

I livelli massimi di falda nel tratto compreso tra l'imbocco della finestra e il sottoattraversamento del Rio Rizzolo di pk 0+680, sono dell'ordine dei 50 m.

I livelli massimi di falda nel tratto compreso tra pk 0+680 e il camerone di innesto alla galleria di linea (pk 1+321) sono dell'ordine dei 250 m.

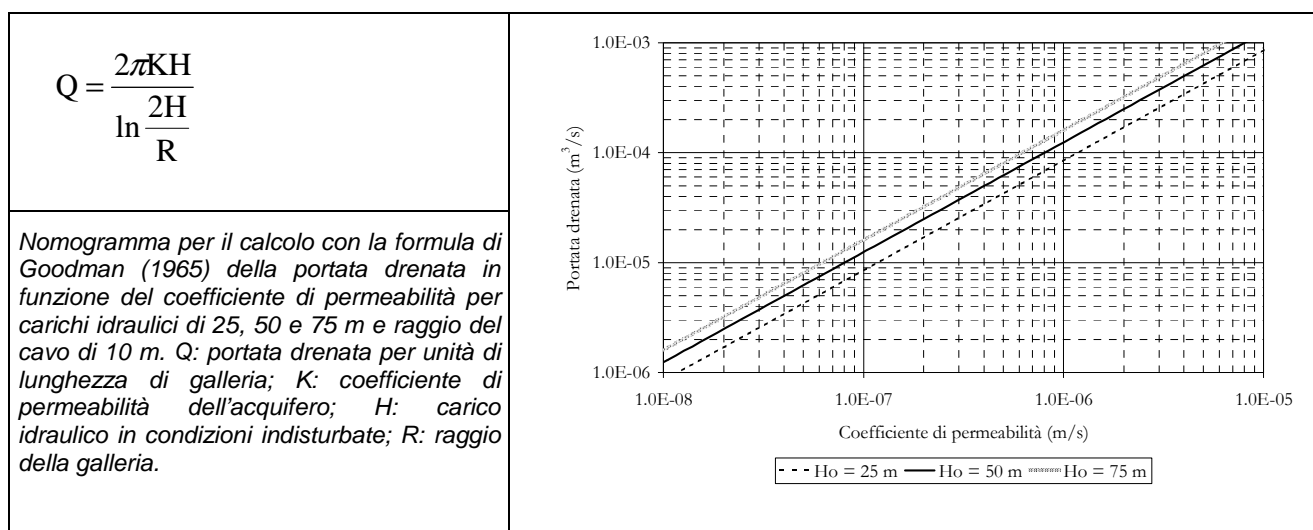
8.5. Valutazione delle portate drenate in galleria nella fase di cantiere

Per quanto sopra asserito circa le caratteristiche geologico-strutturali e idrogeologiche degli ammassi rocciosi interessati dallo scavo e la disposizione della superficie piezometrica, appare evidente che i maggiori apporti idrici saranno intercettati tra pk 0+160 e pk 0+400 nelle condizioni più sfavorevoli dettate dai massimi livelli idrici e/o in concomitanza con i maggiori eventi meteorici.

L'elevato grado di tettonizzazione dell'area interessata dalla galleria e la scarsità degli affioramenti conferisce incertezza alla valutazione della conducibilità idraulica e conseguentemente delle portate drenate e alla stima dell'estensione dell'area di influenza e pertanto, non essendoci le condizioni per

poter applicare metodi di calcolo più raffinati, è necessario ricorrere a formule semplificate. Nelle condizioni a breve termine la valutazione della portata drenata in fase di scavo è stata effettuata usando la formula di Goodman (1965). Tale formula permette di calcolare la portata drenata da una galleria scavata in un acquifero isotropo e omogeneo nel quale la piezometrica, che si suppone orizzontale, non ha ancora risentito degli effetti dello scavo.

In queste condizioni, esprimendo le lunghezze in metri e i tempi in secondi, la portata espressa m³/s drenata da un metro di galleria è calcolabile con la formula riportata in tabella.



Utilizzando i coefficienti di permeabilità ricostruiti sulla base degli schemi descritti in precedenza, i dati di portata misurati durante l'esecuzione del sondaggio L2-CR1 e i livelli piezometrici riportati nel profilo idrogeologico, considerando un raggio del cavo di 10 m e applicando la formula riportata in tabella, si otterrebbe nel breve termine una portata complessiva drenata dalla galleria di circa 65 l/s. Questo valore però nella realtà risulta sovrastimato in quanto le condizioni di piezometrica indisturbata si hanno solo in prossimità del fronte di scavo, mentre nei tratti già scavati il carico idraulico diminuisce già durante le fasi di cantiere. Per questa ragione, durante le fasi di cantiere, si può ipotizzare, di dover gestire portate dell'ordine dei 40 l/s.

Ipotesi con piezometrica massima

da progr. (km)	a progr. (km)	lunghezza (m)	H medio (m)	K medio (m/s)	q (l/s/m)	Q (l/s)
0+000	0+140	140	0	2E-6	0	0
0+140	0+320	180	37	2E-6	0,235	42,3
0+320	0+400	80	50	1,2E-6	0,163	13,0
0+400	1+321.7	921	160	3.4E-8	0,010	9,2
0+000	1+321.7	1321.7	Portata complessiva drenata =			64,5
<i>Calcolo teorico della portata di filtrazione in fase di scavo applicando la formula di Goodman (1965)</i>						

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica Foglio Pag. 74 a 104

Un'ulteriore variabile a tale stima è costituita dalla possibilità di intercettare, nell'ambito degli Argilloscisti e degli Argilloscisti filladici, inclusi acquiferi saturi di metabasalti, serpentinoscisti, calcari stratificati, ecc.(dati di superficie e sondaggi in L2-CR3 a pk 9+900 circa della galleria di linea). E' pertanto possibile che nel corso dello scavo, in presenza di tali inclusi, si possano manifestare venute d'acqua e stillicidi nell'ordine di qualche litro al secondo, destinate ad esaurirsi in tempi brevi.

Al riguardo occorre ricordare che nel corso delle perforazioni effettuate negli argilloscisti micaceo-carbonatici (sondaggi L2-CR2, L2-CR3 e L2-CR4) non sono state riscontrate anomalie nei livelli idrici, quali perdite del fluido di circolazione o risalite dello stesso fluido. Le misure di livello effettuate la sera al termine delle lavorazioni e la mattina, prima della ripresa dei lavori, non hanno mai evidenziato scostamenti significativi.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 75 a 104

9. LA CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA

9.1. Prove di tracciamento

Alla luce di quanto emerso dalle osservazioni appena descritte e dai dati di portata idrica in alveo rilevati alle sezioni idrauliche si è ritenuto opportuno approfondire la conoscenza delle modalità di circolazione idrica sotterranea nell'area compresa tra l'area di cava di M. Castellaro (di Calcestruzzi s.p.a.) e la sorgente dei Buggi SCM368.

Una prima prova effettuata il 10 Agosto 2004 (nelle fasi conclusive di elaborazione del P.D.) con immissione di fluoresceina sodica (tracciante chimico colorante atossico solubile in acqua – 2 kg sciolti in 40 litri d'acqua), nel piezometro SF12, a 291.7 m di quota, posto nell'area d'imbocco della finestra Cravasco, e con il posizionamento di fluocaptori alla sorgente dei Buggi SCM368, alla sorgente in sinistra alveo SCM371, nell'alveo del T. Verde, a valle della briglia (sezione idraulica C) non diede alcun esito. Una possibile interpretazione dell'accaduto fu di ritenere che il sondaggio attrezzato con piezometro non avesse intercettato, alle quote del tratto filtrante, un sistema di fratture sufficientemente trasmissivo da poter garantire in tempi relativamente brevi una sufficiente connessione con la falda in rete posta in equilibrio con l'alveo del T. Verde (il piezometro, infatti, ha sempre indicato e indica tuttora livelli di falda a quota alveo).

Altre cause possono essere ricondotte alle caratteristiche del tracciante utilizzato e alle modalità con cui esso stesso si muove all'interno di condotti naturali le cui pareti sono costituite da rocce carbonatiche con una componente argillosa a volte non trascurabile o all'interno di condotti riempiti di materiale detritico più o meno grossolano che contribuisce ad aumentare notevolmente la superficie (perimetro/superficie bagnata) su cui il tracciante è costretto a muoversi. Premesso che è ampiamente documentato l'effetto "collante" dei minerali argillosi sulla fluoresceina occorre aggiungere che anche in assenza di una significativa componente argillosa più aumenta la superficie bagnata più tracciante si spalma e viene trattenuto sulle superfici dei clasti di riempimento delle fratture e quindi più si riduce progressivamente, lungo il percorso, il quantitativo di tracciante trasportato dall'acqua.

Occorre poi considerare le portate in gioco al momento della prova all'interno del sistema costituito dalla somma delle portate derivanti dal flusso in falda (nel caso specifico sono le portate alla sorgente dei Buggi) e delle portate in alveo.

Le altre prove di tracciamento sono state effettuate, tenendo conto dell'esperienza passata, a Maggio 2014 e a Giugno 2014.

La prova di tracciamento del 3 Maggio 2014 è stata effettuata con il supporto degli speleologi citati in premessa che hanno immesso traccianti diversi in due punti ben distinti del bacino idrografico del T.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 76 a 104

Verde (alla Grotta Abisso Lindenbrook sul Verde e alla grotta del Buran sul Rio di Neppiane - Gallaneto). .

All'interno della Grotta Lindenbrook a 270 m di quota, in corrispondenza di una canaletta naturale posta nella camera inferiore, in cui transitava acqua per circa 2 l/s, è stata immessa una soluzione acquosa di NaCl.

Alla Grotta del Buran è stata immessa fluoresceina sodica (4 Kg) fatta sciogliere in un laghetto posto alla base della grotta a quota 257; anche in questo caso l'emissario del laghetto aveva una portata stimata dell'ordine di 1 l/s.

La prova di tracciamento, oramai programmata da tempo, è stata effettuata ma in condizioni non ottimali, con portate in gioco elevate: (alla sezione (C) sul T. Verde, a valle della sorgente dei Buggi, la portata era di 560 l/s e la sola sorgente contribuiva per circa 190 l/s).

La strumentazione per il controllo del passaggio dei traccianti è stata posta nei seguenti punti.

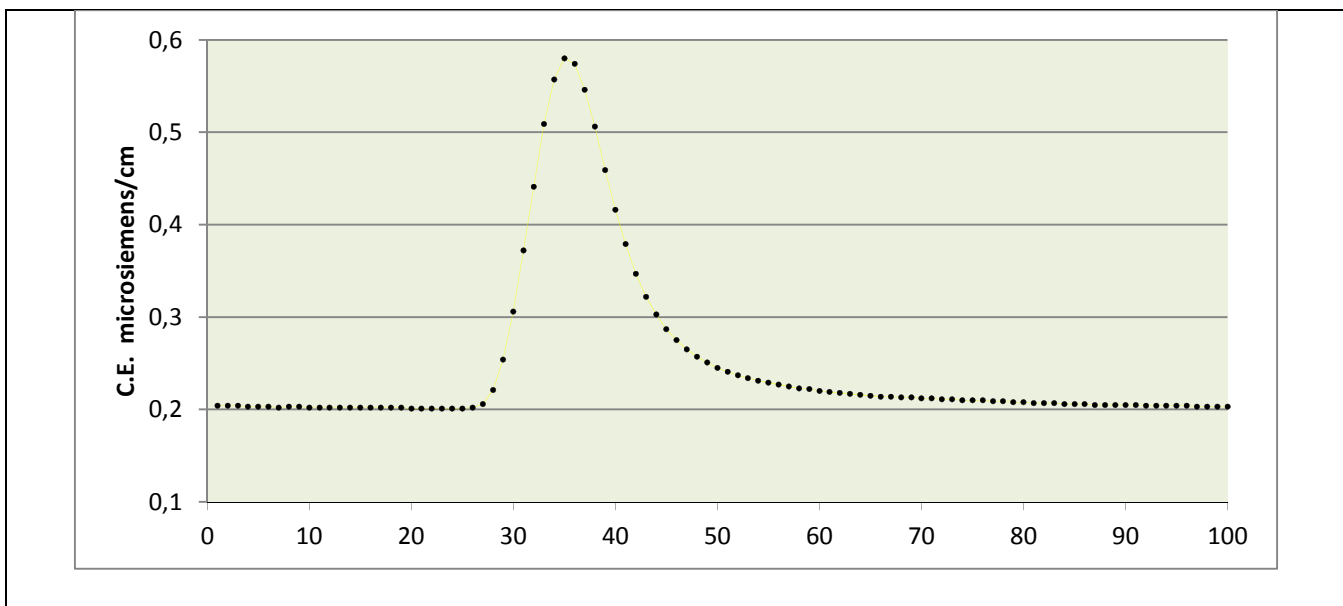
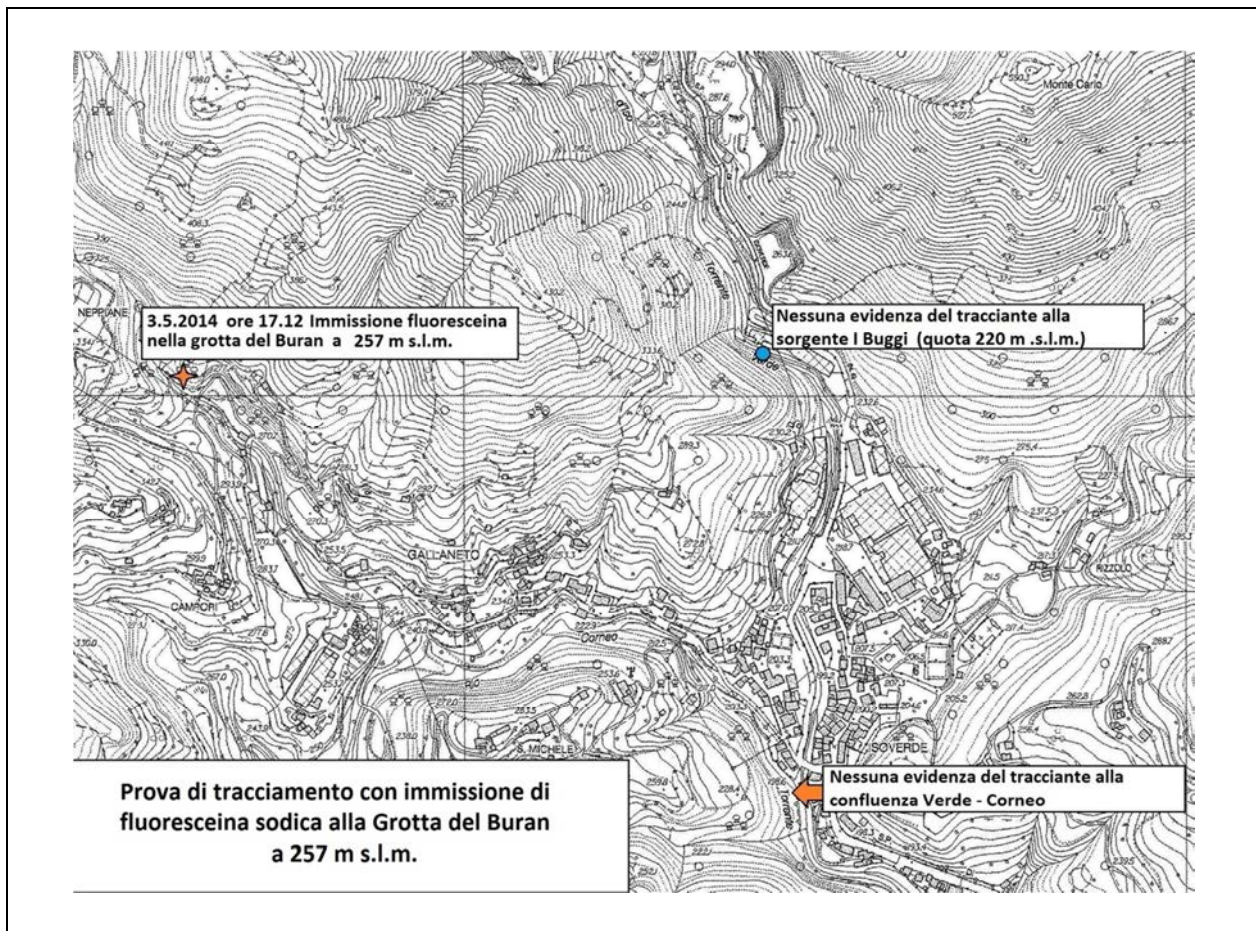
- Alla grotta 12, ramo Quaglia, a 227 m di quota, i fluocaptori e un conduttivimetro a registrazione programmata dei dati di C.E..
- Alla sorgente dei Buggi i fluocaptori e due fluorimetri a registrazione programmata.
- In alveo, alla briglia a protezione del metanodotto, di quota 225, un conduttivimetro a registrazione programmata
- Alla briglia (sezione idraulica C del Verde) i fluocaptori.

La prova ha dato gli esiti seguenti:

- il tracciante immesso alla Lindenbrook, costituito dalla soluzione acquosa di NaCl, è stato rintracciato unicamente alla grotta 12 (Agnoletto), ramo Quaglia dopo un tempo trascorso dall'immissione di 4 ore e 45 minuti (distanza planimetrica tra punto di immissione e ramo Quaglia 350 m).
- Nessuna traccia della fluoresceina sodica, immessa nella grotta del Buran, ai punti di controllo posti al ramo Quaglia, alla sorgente dei Buggi e alla briglia (C) sul Verde.



Accesso alla Grotta del Buran il 3 Maggio 2014 all'interno della quale è stata immessa la fluoresceina sodica.



Il grafico evidenzia il passaggio del tracciante, costituito da NaCl, al ramo Quaglia della grotta 12 (Agnolotto)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica Foglio Pag. 79 a 104

Riguardo al mancato ritrovamento della fluoresceina immessa nel Buran nei punti previsti (sorgente dei Buggi, Grotta 12, ramo Quaglia e alveo del T. Verde) si ritiene che oltre alle cause sopra indicate relative alle caratteristiche del tracciante, sia risultata determinante la bassa portata idrica al punto di immissione (circa 1 l/s) a fronte di portate di 190 l/s alla sorgente e di 560 l/s alla briglia (sezione C) del T. Verde. In pratica il tracciante avrebbe subito una diluizione così elevata da non essere rilevabile dalla strumentazione utilizzata (fluorimetri e fluocaptori).

L'analisi dei fluocaptori a carboni attivi è stata eseguita con le stesse modalità dei campioni d'acqua previo lavaggio con soluzione di KOH in metanolo.

L'esito delle analisi è stato negativo non essendo mai stata rilevata la presenza di fluoresceina nei fluocaptori. Anche in questo caso l'esito della spettrofluorimetria è risultato negativo per tutti i campioni.

La prova di tracciamento del 14 Giugno 2014 ore 8.30 effettuata immettendo una soluzione acquosa di NaCl nel Rio Valletta, alla sezione idraulica (H); 8000 litri di soluzione acquosa (20 gr/litro) di NaCl che sono stati immessi con una portata di 32 l/s per circa 4 minuti).

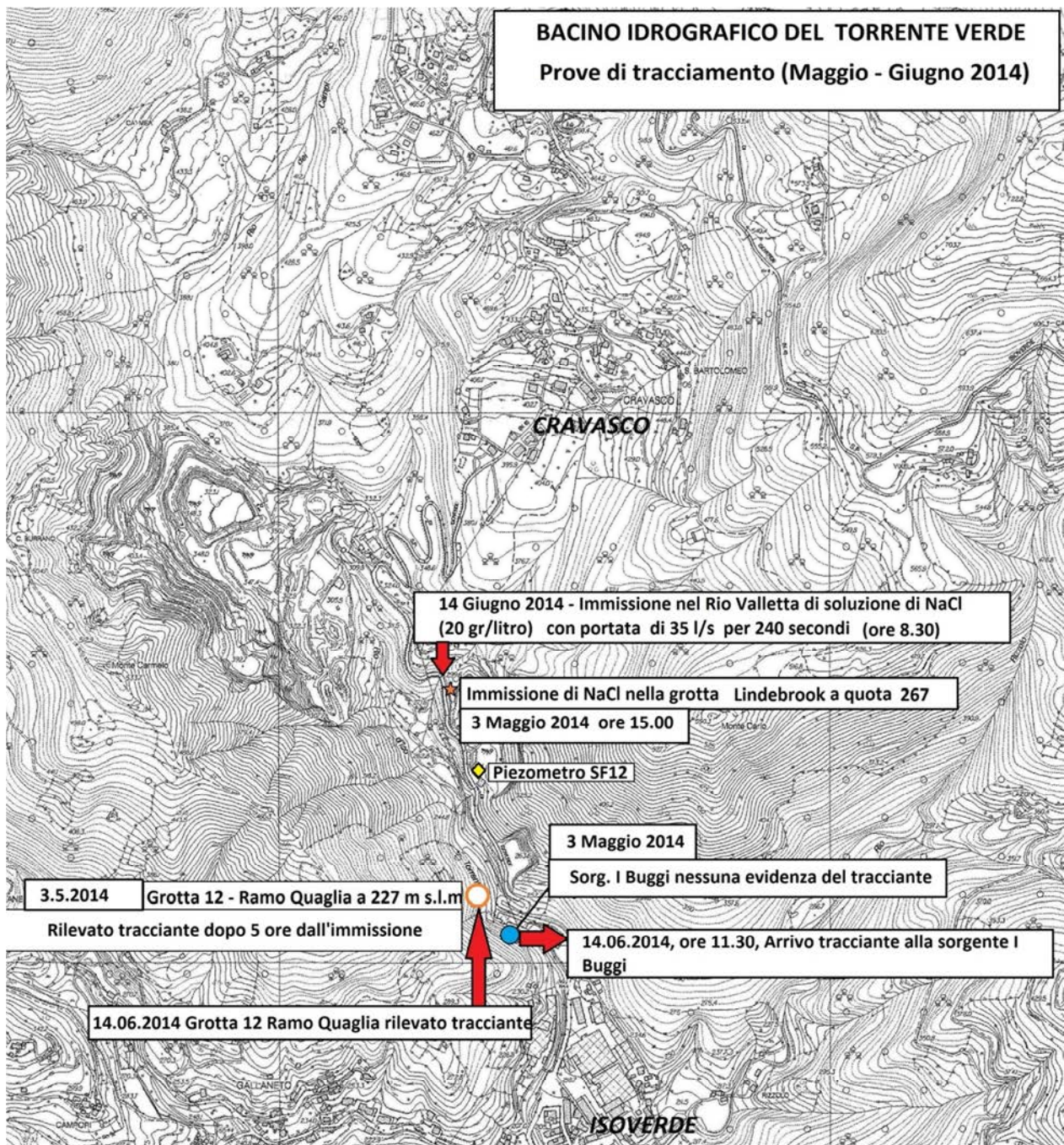
I conduttivimetri sono stati posti all'interno della grotta 12, ramo Quaglia, alla sorgente dei Buggi e in alveo poco sopra la stessa sorgente.

La prova ha dato gli esiti seguenti:

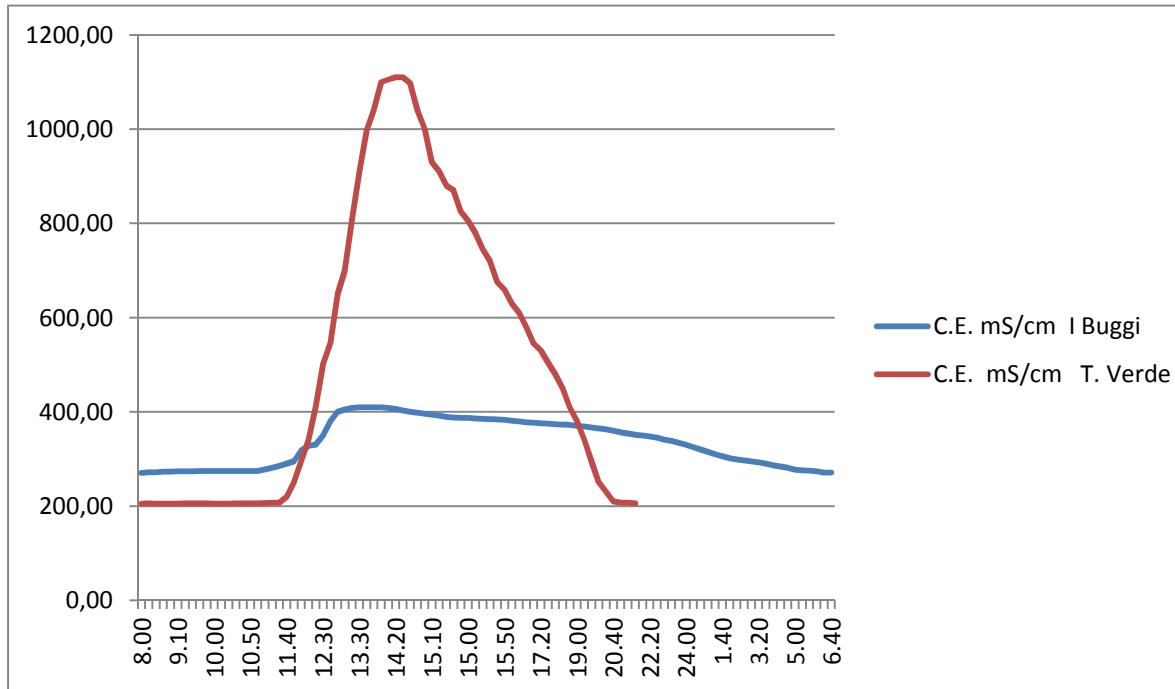
- Il tracciante è stato rintracciato al ramo Quaglia della grotta 12 (a 380 m dal punto di immissione a circa tre ore dall'immissione)
- Il tracciante è stato rintracciato alla sorgente dei Buggi (a circa 470 m dal punto di immissione)
- Il tracciante è stato rintracciato in alveo poco sopra la stessa sorgente dei Buggi (a circa 450 m dal punto di immissione).

Nel corso di questa seconda prova le portate in gioco sono risultate significativamente più contenute rispetto alla prima prova:

- Portata in alveo T. Verde, all'altezza della sorgente dei Buggi, 20 l/s
- Portata sorgente dei Buggi 110 l/s
- Portata complessiva alla sezione idraulica di valle (C) del T. Verde, 132 l/s



Ubicazione delle prove di tracciamento effettuate lungo il T. Verde con immissione di di NaCl alla grotta Lindenbrook (3 Maggio 2014) e di una soluzione acquosa di NaCl nel Rio Vallette (14 Giugno 2014)



Dal grafico si evince che il tracciante è stato intercettato dagli strumenti alle ore 11.30, a tre ore dall'immissione (8.30). Si evince anche che i tempi di arrivo in alveo e alla sorgente dei Buggi sono del tutto simili. Si evince altresì che le concentrazioni in alveo, com'è ovvio, sono risultate nettamente superiori a quelle registrate alla sorgente.

Riguardo alla similitudine dei tempi di arrivo del tracciante in alveo e alla sorgente si possono avanzare due ipotesi. Una prima ipotesi, la più verosimile, attribuisce questa similitudine alla presenza di punti di infiltrazione in alveo posti in vicinanza della stessa sorgente. Una seconda ipotesi, meno verosimile, attribuisce questa similitudine alla presenza di un circuito sotterraneo nel quale l'acqua si muove alla stessa velocità dell'acqua in superficie.

La presenza di una perdita di portata per infiltrazione dall'alveo nel tratto di torrente Verde a valle della confluenza con il Rio Valletta, già osservato in precedenza, è confermata da questa prova laddove a fronte di un'immissione di 32 l/s nel Valletta per circa 4 minuti, le portate in alveo all'altezza della sorgente non hanno mai superato i 25 l/s (dato rilevato prima dell'immissione del tracciante), riducendosi, a partire dalla tarda serata del 14 Giugno, a 15 l/s.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 82 a 104

10. CHIMICA DELLE ACQUE

Le analisi per la caratterizzazione chimica e isotopica delle acque di sorgenti e corsi d'acqua del bacino idrografico del T. Verde, sono state effettuate con lo scopo di ricavare elementi utili:

- alla definizione dei circuiti idrogeologici;
- alla definizione delle dinamiche idrogeologiche;
- alla definizione dell'età delle acque.

10.1. Premessa Metodologica

La rete di monitoraggio è stata impostata in due fasi successive:

- Una prima fase, che include le prime 6 tornate da marzo ad agosto 2013, con un numero di punti d'acqua monitorati pari a 30 e suddivisi in:
 - N. 9 punti di prelievo in alveo (Alveo A, Alveo C, Alveo D, Alveo E, Alveo F, Alveo G, Alveo H, Alveo I, Alveo L);
 - N. 19 sorgenti (SCM 70, SCM 82, SCM 84, SCM 85, SCM 87, SCM 88, SCM 89, SCM 90, SCM 93/94, SCM 92, SCM 102, SCM 217, SCM 219, SCM 220, SCM 221, SCM 350, SCM 351, SCM368, SCM 70);
 - N. 2 campionatori di pioggia (PLV1, PLV2);
- Una seconda fase, che include le successive 6 tornate da settembre 2013 a marzo 2014, con un numero di punti d'acqua pari a 25, suddivisi in:
 - N. 5 punti di prelievo in alveo (Alveo A, Alveo C, Alveo E, Alveo H, Alveo I);
 - N. 19 sorgenti (SCM 70, SCM 82, SCM 84, SCM 85, SCM 87, SCM 88, SCM 89, SCM 90, SCM 93/94, SCM 92, SCM 102, SCM 217, SCM 219, SCM 220, SCM 221, SCM 350, SCM 351, SCM368, SCM 70);
 - N. 2 campionatori di pioggia (PLV1, PLV2).

La scelta dei punti d'acqua da monitorare nella seconda fase è stata effettuata dopo aver preso visione ed elaborato, sia pure in via preliminare, i risultati dei dati geochimici ottenuti dai primi 6 mesi di monitoraggio, con l'obiettivo di mantenere nella rete di monitoraggio tutti i punti d'acqua più

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 83 a 104

interessanti per la comprensione delle modalità di circolazione idrica sotterranea nell'area di interesse.

Per quanto riguarda il protocollo operativo di campionamento, si è proceduto nel seguente modo: In campo sono stati misurati i parametri chimico-fisici labili, quali temperatura, pH, conducibilità elettrica, TDS e salinità, con una sonda multiparametrica HANNA mod HI9828;

Per ciascun punto d'acqua sono stati campionati quantitativi d'acqua sufficienti per effettuare le analisi geochimiche previste ed in particolare sono stati collezionati:

- 50ml per singolo punto d'acqua, filtrati con filtri 0.45 µm in nylon e acidificati con HNO₃ suprapur 1% in volume, per la determinazione di anioni e metalli;
- 250ml per singolo punto d'acqua, per la determinazione dei principali cationi oltre che all'analisi dei bicarbonati;
- 50 ml per singolo punto d'acqua, per l'analisi degli isotopi stabili dell'ossigeno e dell'idrogeno;
- 1000ml per singolo punto d'acqua, per l'analisi dell'isotopo del tritio;

I campioni d'acqua così collezionati, sono stati poi trasportati nel più breve tempo possibile ed in ogni caso entro 72 ore dal campionamento, alla sede del Laboratorio di Studi Interdisciplinari sulle Risorse Idriche dell'Università di Parma;

La determinazione dei principali costituenti è stata effettuata mediante ICP-MS/OES, l'alcalinità totale (come HCO₃⁻) è stata effettuata mediante titolazione di Gran, la determinazione di δ¹⁸O e δ²H è stata effettuata mediante spettrometro di massa per gli elementi leggeri Thermo Delta Plus, mentre la determinazione del Tritio è stata effettuata mediante contatore multicanale a liquido scintillante LKBQuantulus.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica Foglio Pag. 84 a 104

10.2. Caratterizzazione chimica delle acque

Di seguito ci si concentra prevalentemente sulla disamina dei caratteri idrochimici relativi ad acque superficiali e sorgive che gravitano nell'area in cui dovrà essere scavata la "Finestra Cravasco".

L'analisi complessiva dei dati acquisiti durante il periodo marzo/novembre 2013 e febbraio/maggio 2014 porta a suddividere le acque campionate secondo le seguenti facies chimiche:

- Ca-HCO₃. Appartengono a questo gruppo i seguenti punti d'acqua: Alveo G, Alveo H, SCM 85 SCM 87;
- Ca-Mg-HCO₃. Appartengono a questo gruppo i seguenti punti d'acqua: Alveo C, Alveo F, Alveo L, SCM 84; SCM 90, SCM 92, SCM 94, SCM 217, SCM 219, SCM 220, SCM 351, SCM 368;
- Ca-HCO₃-SO₄. Appartengono a questo gruppo i seguenti punti d'acqua: SCM 88, SCM 89;
- Ca-Mg-HCO₃-SO₄. Appartengono a questo gruppo i seguenti punti d'acqua: Alveo D, Alveo I, SCM102, SCM 221, SCM 370;
- Mg-Ca-HCO₃. Appartengono a questo gruppo i seguenti punti d'acqua: Alveo A, Alveo E, Rio Neppiane, SCM 70, SCM 350;
- Mg-HCO₃. Appartengono a questo gruppo i seguenti punti d'acqua: SCM 82.

Le figure da 9.1 a 9.3 schematizzano graficamente i principali aspetti idrochimici delle acque analizzate.

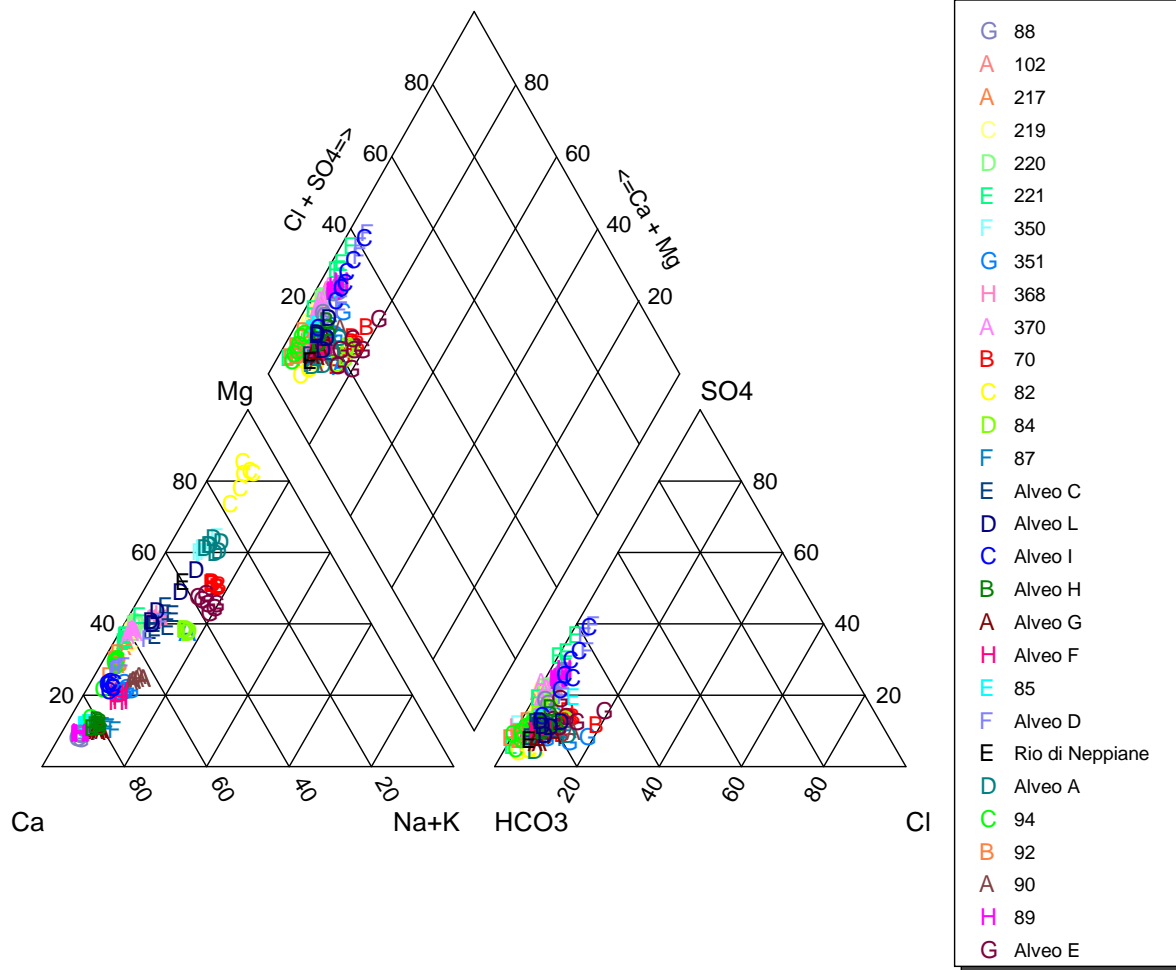


Figura 9.1 – Diagramma di Piper.

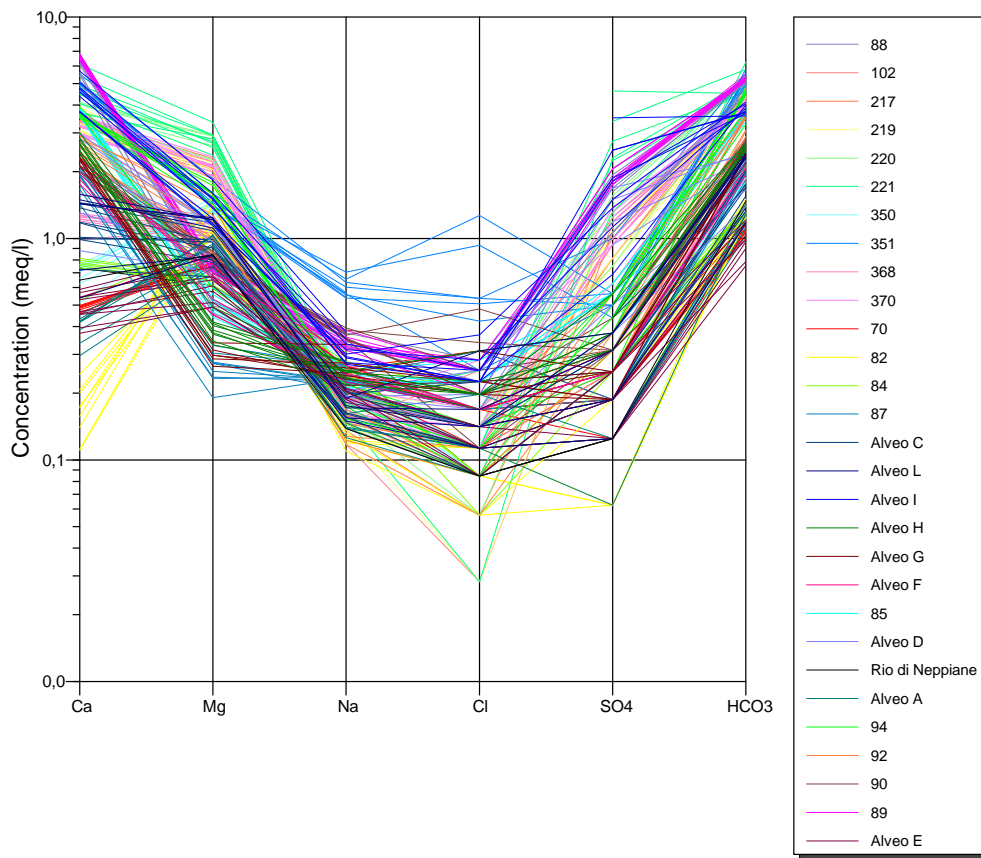


Figura 9.2 – Diagramma di Shoeller.

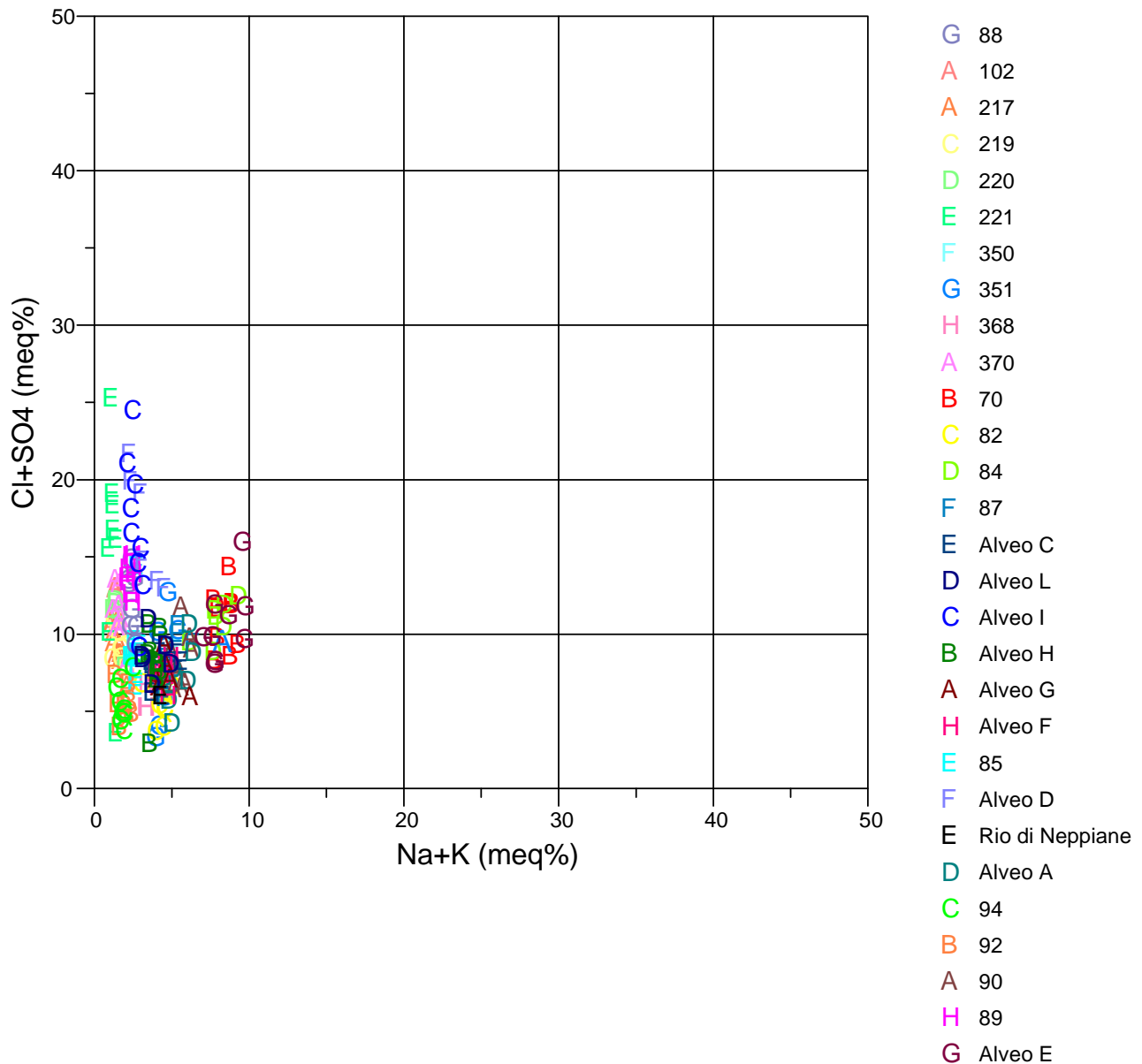


Figura 9.3 – Diagramma di Ludwig- Langelier.

La disamina dei caratteri idrochimici e la rispettiva variazione nello spazio e nel tempo conducono al seguente scenario interpretativo:

Le emergenze sorgive che si rinvergono lungo il margine sud-orientale dell'area di interesse (SCM 102, SCM 217, SCM 219, SCM 220, SCM 221, SCM 370) mostrano valori molto simili di Conduttività Elettrica, a loro volta perfettamente sovrapponibili a quelli delle acque superficiali campionate nell'Alveo I (T. Rizzolo) (Fig. 9.4);

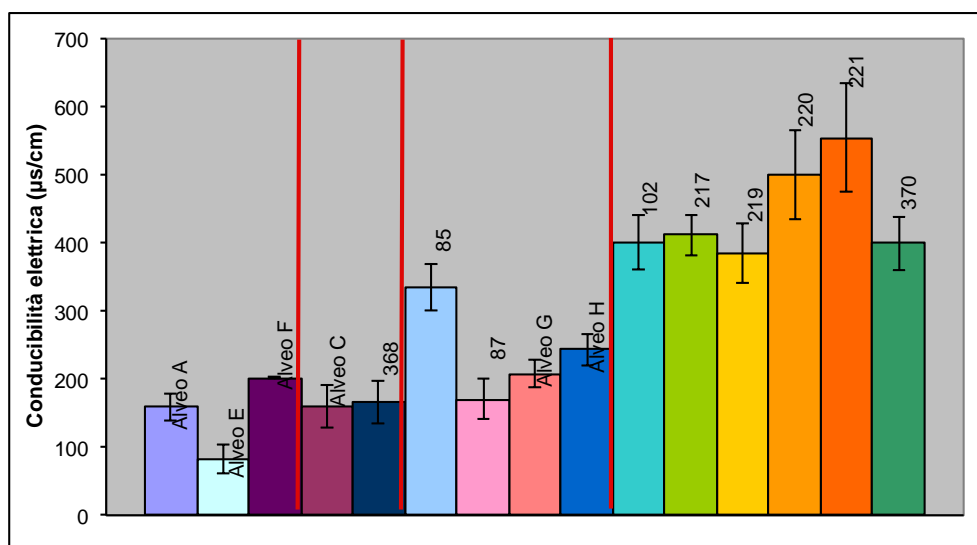


Figura 9.4 – Raggruppamenti dei punti d'acqua campionati, in funzione della dislocazione spaziale e della classe di valori di Conducibilità Elettrica.

Quanto sopra detto, tenendo conto del fatto che le singole sorgenti investigate hanno erogato portate massime di pochi l/s ciascuna, mentre in Alveo I (T. Rizzolo) sono state misurate portate anche superiori a 100 l/s, porta a ritenere plausibile che l'intero corso dell'Alveo I sia un vero e proprio fronte sorgivo di entità non trascurabile;

Di conseguenza, risulta verosimile che in questa porzione di idrostruttura carbonatica vi sia una diffusa falda basale che alimenta il suddetto fronte sorgivo, con quote piezometriche all'interno dell'idrostruttura ovviamente maggiori delle quote di sfioro delle su citate sorgenti;

I dati idrochimici disponibili non consentono di affermare se la sorgente SCM 221, posta a quota molto più alta rispetto alla SCM 220, sia alimentata da una falda sospesa in un orizzonte epicarsico; tuttavia, il fatto che la SCM 221 sia perenne, mentre la SCM 220 (posta a quota di gran lunga inferiore rispetto alla SCM 221) sia stagionale, lascia supporre che le due emergenze sorgive possano essere recapito di una falda basale che defluisce all'interno di due distinti compartimenti di un'unica idrostruttura;

Nel suddetto scenario, infatti, la SCM 220 sarebbe uno sbocco a quota relativamente elevata (e quindi potenzialmente soggetta ad un regime stagionale) di un sotto-bacino occidentale in cui la superficie piezometrica si colloca complessivamente ad una quota inferiore rispetto a quella attribuibile al sotto-bacino orientale, di cui la SCM 221 sarebbe un'emergenza a quota relativamente bassa (e quindi ragionevolmente perenne);

A supporto di tale ipotesi l'indicazione di una discontinuità tettonica in corrispondenza della SCM 220, orientata circa nord-ovest / sud-est, che potrebbe svolgere un ruolo tamponante o semi-tamponante, qualora fosse presente un nucleo ben sviluppato a bassa permeabilità, nell'ambito della zona di faglia;

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica Foglio Pag. 89 a 104

Medesime considerazioni sviluppate per il margine sud-orientale della sub-struttura di cui si è discusso in precedenza possono essere fatte per il margine nord-orientale, lungo il quale emergono le sorgenti SCM 85 ed SCM 87, che erogano portate massime di pochi l/s ciascuna, mentre in Alveo H sono state misurate portate di gran lunga superiori, con valori di Conducibilità Elettrica confrontabili con quelli dei recapiti sorgivi (Fig. 9.4);

Tenendo conto del dislivello di quota esistente tra la sorgente SCM 85 e la sorgente SCM 87, e dell'ubicazione di entrambe le scaturigini, appare nuovamente plausibile che tale dislivello piezometrico sia indotto da perdita di carico idraulico concentrato lungo una discontinuità tettonica a bassa permeabilità;

Anche in questo caso, in effetti, la cartografia geologica evidenzia una discontinuità tettonica, orientata circa nord-est / sud-ovest, che può svolgere la funzione tamponante o semi-tamponante di cui si è detto in precedenza;

Più in generale, la compartimentazione dell'idrostruttura carbonatica di cui ai punti precedenti è in linea con i risultati della perforazione del sondaggio sub-orizzontale L2-CR1; infatti, nel corso della perforazione, a circa 180 m dall'imbocco, si è decuplicata la portata complessiva delle venute in foro, compatibile con un repentino e considerevole aumento della conducibilità idraulica e del carico idraulico all'interno del mezzo;

Tuttavia, in questo caso non vi è documentazione di discontinuità tettoniche, né di caratteri lito-stratigrafici a cui associare quanto sperimentalmente osservato; sarebbe pertanto auspicabile un approfondimento mirato dei caratteri geologico-strutturali del mezzo in questa porzione dell'idrostruttura;

Passando alla sub-struttura carbonatica che si sviluppa ad ovest del Torrente Verde, si rinviene un'unica scaturigine perenne (SCM 368), i cui caratteri idrochimici tendono ad essere in buona parte in accordo con quelli delle acque superficiali campionate lungo gli alvei A, E, F (Figg. da 9.1 a 9.4);

Tale similarità, tenendo conto anche delle misure di portata in alveo e degli esiti della prova con traccianti artificiali, è in linea con un assorbimento più o meno diffuso delle acque di ruscellamento superficiale all'interno della sub-struttura carbonatica che alimenta la sorgente SCM 368;

Sempre tenendo conto dei risultati delle prove con traccianti artificiali, nonché delle quote piezometriche misurate nel piezometro SF12, collocato in sinistra idrografica, è plausibile che la sorgente SCM 368 sia alimentata anche se in minima parte dalle propaggini occidentali della sub-struttura carbonatica che si sviluppa ad est del Torrente Verde ed in cui è prevista la perforazione della "Finestra Cravasco";

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica Foglio Pag. 90 a 104

Per quanto concerne le modalità di funzionamento idrogeologico del sistema analizzato, la disamina congiunta dei dati delle portate sorgive e dei valori di Conducibilità Elettrica (EC) delle acque delle medesime sorgenti consente di affermare che:

Tutti i sotto-sistemi idrogeologici in esame sono caratterizzati, in toto o in parte, da dinamiche di infiltrazione e deflusso relativamente rapide, in quanto si assiste spesso ad un rapporto inverso tra variazioni di portata e variazioni di EC;

In altre parole, in toto o in parte gli incrementi di portata sono legati anche, se non soprattutto, all'arrivo in sorgente di acque di neo-infiltrazione, a minore EC;

Questo fenomeno è particolarmente evidente per la sorgente SCM 368 in cui il rapporto inverso è visibile in tutte le fasi dell'anno idrologico (Fig. 9.6); ciò in accordo con quanto detto in precedenza, in merito ai collegamenti rapidi e diretti della scaturigine con corsi d'acqua superficiali;

Tuttavia, tenendo conto della cadenza mensile di campionamento, non è possibile comprendere in dettaglio quale sia la rapidità del circuito di cui in precedenza;

Simili considerazioni possono essere fatte per le sorgenti SCM 220 ed SCM 221 (Figg. 9.7 e 9.8), anche se in questo caso gli elementi a disposizione fanno propendere, più per l'esistenza di circuiti diffusi relativamente rapidi, che non per il collegamento diretto con punti di assorbimento concentrato di acque superficiali; ciò in accordo con quanto ipotizzato in precedenza, in merito al fatto che entrambe le sorgenti siano alimentate da una falda in rete di estensione non trascurabile;

Altre sorgenti analizzate nella medesima idrostruttura mostrano comportamenti simili ai precedenti, in alcuni casi inframezzati a fasi in cui il rapporto tra portate ed EC è diretto, a testimonianza di mobilitazione di acque a circuito relativamente più prolungato, in virtù di un generalizzato incremento del carico idraulico della falda in rete (ad es., sorgente SCM 217; Fig. 9.9).

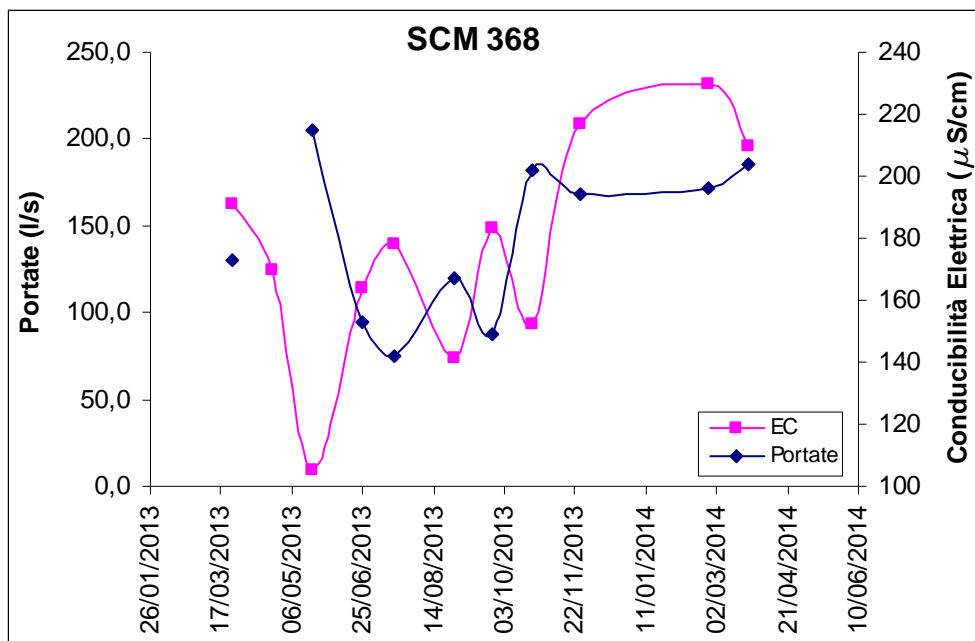


Figura 9.6 – Relazione tra portate della sorgente SCM 368 e Conducibilità elettrica (EC) delle acque della medesima sorgente.

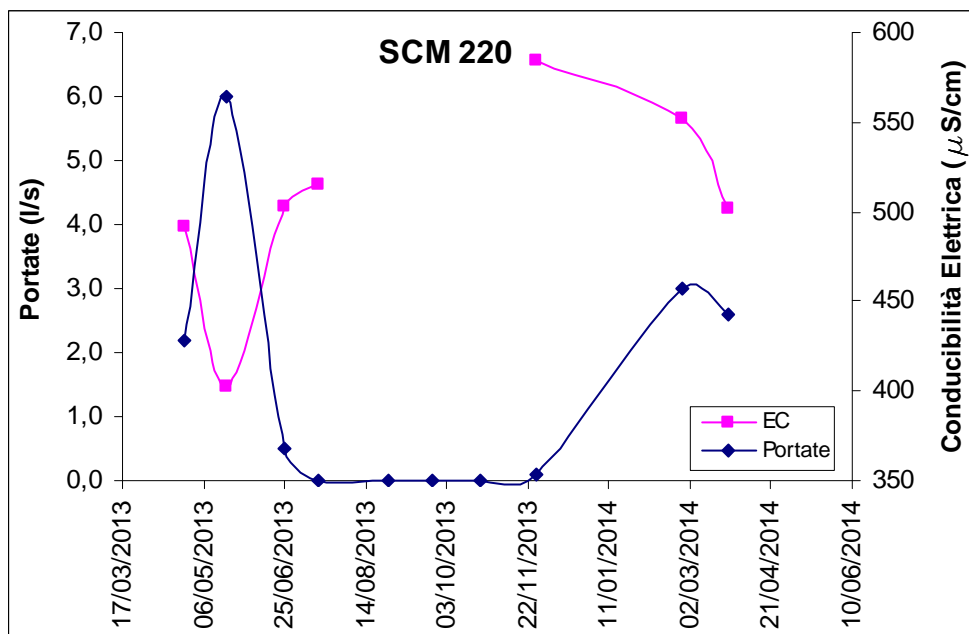


Figura 9.7 – Relazione tra portate della sorgente SCM 220 e Conducibilità elettrica (EC) delle acque della medesima sorgente.

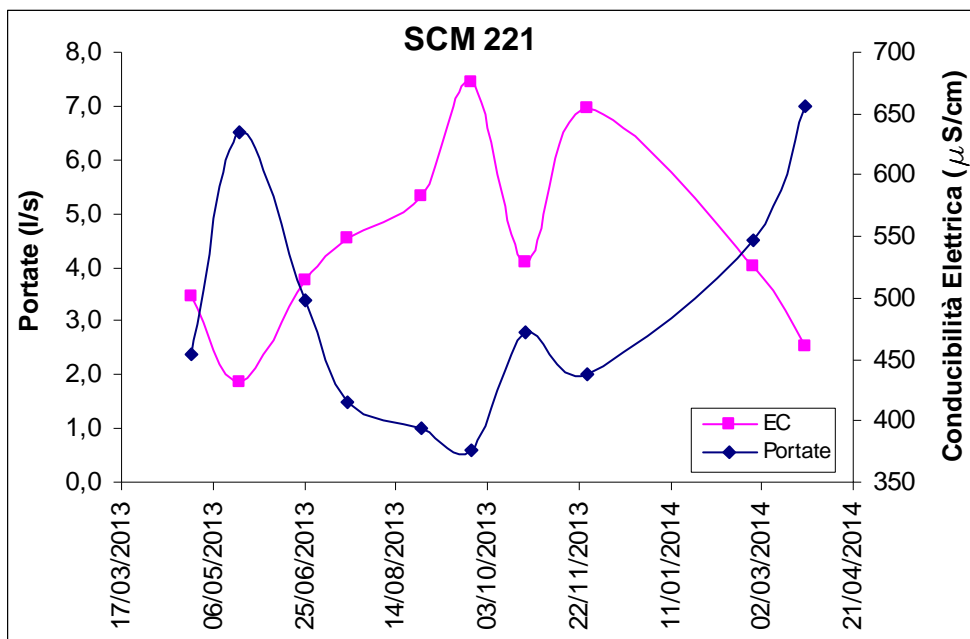


Figura 9.8 – Relazione tra portate della sorgente SCM 221 e Conducibilità elettrica (EC) delle acque della medesima sorgente.

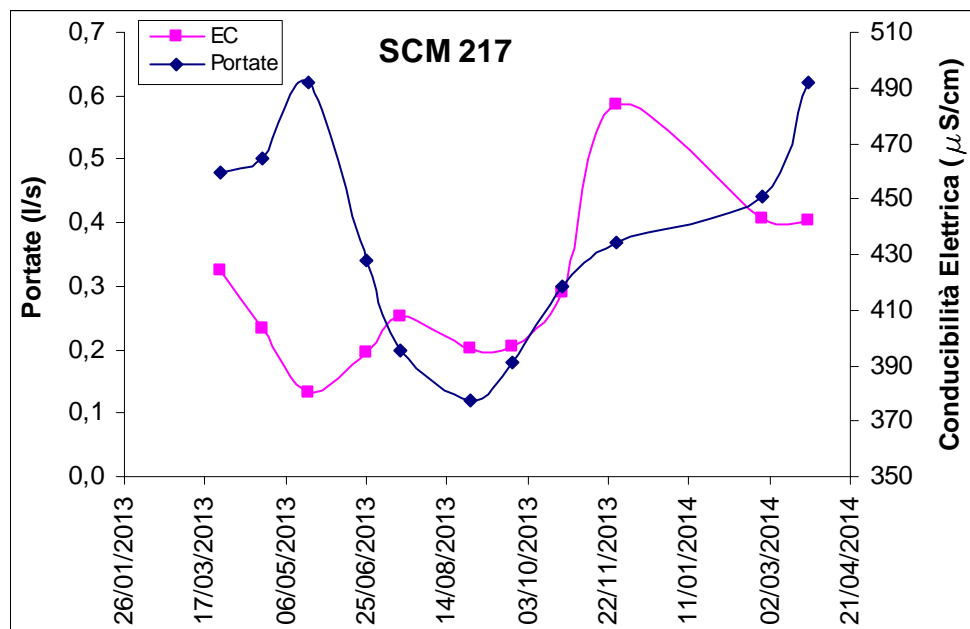


Figura 9.9 – Relazione tra portate della sorgente SCM 217 e Conducibilità elettrica (EC) delle acque della medesima sorgente.

10.3. Caratterizzazione isotopica delle acque

Di seguito vengono esaminati i caratteri isotopici delle acque superficiali e sorgive che gravitano nell'area in cui dovrà essere perforata la "Finestra Cravasco".

Innanzitutto, dalla disamina della figura 9.1 viene confermata l'origine meteorica di tutti i campioni analizzati e quindi assenza di fenomeni più o meno complessi che possono modificare significativamente il contenuto isotopico delle acque.

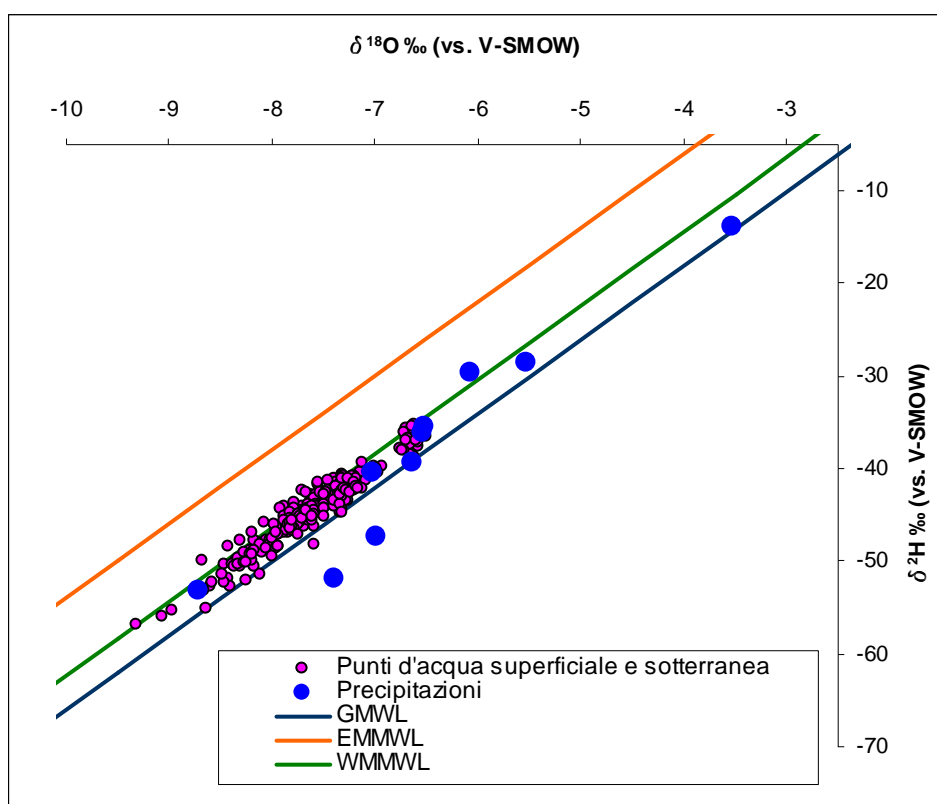


Figura 9.10 – Contenuto isotopico ($\delta^{18}\text{O}$ vs. $\delta^2\text{H}$) nei campioni analizzati (GMWL è la Global Meteoric Water Line; EMMWL è la Eastern Mediterranean Meteoric Water Line; WMMWL è la Western Mediterranean Meteoric Water Line).

Entrando in maggiore dettaglio nei caratteri isotopici delle acque analizzate, è possibile delineare le seguenti riflessioni principali:

- Le sorgenti alimentate dall'idrostruttura carbonatica in esame mostrano fluttuazioni temporali del contenuto isotopico (isotopi stabili di ossigeno e idrogeno) maggiori dell'errore strumentale (vedi esempio in Fig. 9.2) e, quindi, in linea con l'esistenza di circuiti relativamente rapidi che consentono la miscela, in diverse proporzioni, tra acque pre-evento meteorico (che si suppone

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 94 a 104

abbiano contenuto isotopico stabile nel tempo) ed acque di neo-infiltrazione (il cui contenuto isotopico varia nel tempo, al variare di quello delle precipitazioni);

- Tali oscillazioni sono di entità variabile, da sorgente a sorgente, a testimonianza di un connubio arealmente diversificato tra circuiti più rapidi e più lenti;
- In ogni caso, nel complesso, i dati relativi agli isotopi stabili confermano quanto ipotizzato sulla base della disamina degli elementi idrochimici, in merito al fatto che le sorgenti analizzate, perenni e stagionali, appaiono più verosimilmente alimentate da falde in rete, con l'influenza, più o meno marcata, di circuiti carsici;
- La coesistenza di circuiti più e meno rapidi è definitivamente confermata dall'analisi del contenuto di trizio, da cui emerge con chiarezza una macroscopica differenza tra la fase di magra (trizio meno elevato, indice di maggiori tempi di residenza medi) e la fase di ricarica (trizio più elevato, indice di minori tempi di residenza medi e, quindi, nel caso in esame, della miscela tra acque pre-evento ed acque di neo-infiltrazione);
- A titolo esemplificativo, si ricorda che la sorgente SCM 368 è caratterizzata da un contenuto di trizio pari a 7.9 UT in fase di ricarica, contro un contenuto di 3.3 UT in fase di magra;
- Al contempo, sorgenti come la SCM 217, per le quali è stata dedotta una maggiore influenza dei circuiti in rete sulla base dei caratteri idrochimici (cfr. paragrafo precedente), mostrano una minore variazione (4.3 UT in ricarica e 3.1 UT in esaurimento);
- Le acque prelevate negli alvei I ed H, in linea con quanto ipotizzato in precedenza circa la diffusa alimentazione dal limitrofo acquifero carbonatico e la coesistenza di circuiti di alimentazione più e meno rapidi, mostrano una marcata differenza, con valori di 9.4 UT e 5.6 UT in ricarica, rispettivamente, e di 3.1 UT e 2.8 UT in esaurimento, rispettivamente;
- Nel complesso, è interessante notare che in fase di magra tutti i punti d'acqua analizzati hanno mostrato un contenuto di trizio molto simile (da un minimo di 2.8 UT ad un massimo di 4.0 UT); diversamente, in fase di ricarica si amplifica la differenza (da un minimo di 4.1 UT ad un massimo di 9.4 UT), a testimonianza ulteriore del fatto che l'influenza dei circuiti rapidi, per quanto riscontrabile in modo generalizzato nell'area di interesse, è più o meno marcata a seconda delle sorgenti esaminate.

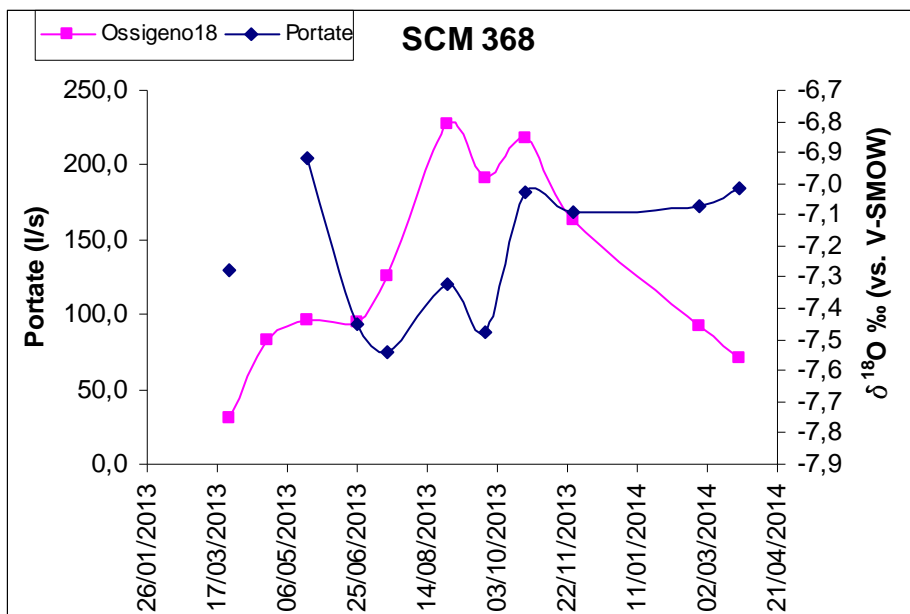


Figura 10.11 – Fluttuazioni temporali del contenuto isotopico ($\delta^{18}\text{O}$) nei campioni della sorgente SCM 368, al variare della portata sorgiva (misurata da COCIV).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 96 a 104

11. POSSIBILE IMPATTO SULLE RISORSE IDRICHE

Per le risorse idriche poste in prossimità della Finestra Cravasco (nuova ipotesi di tracciato di P.E.) sono previste interferenze su alcune delle sorgenti situate a quote superiori alla quota galleria, e a modesta distanza dal tracciato. I tratti che presentano le maggiori criticità sono quelli realizzati all'interno delle formazioni carbonatiche nei punti in cui la galleria intercetta una prima soglia di permeabilità che appare molto relativa tra Dolomie del M. Gazzo e Calcari di Gallaneto che dovrebbe posizionarsi a 320 m dall'imbocco e a 259 m di quota. La seconda soglia di permeabilità sovrapposta è quella corrispondente al limite tra Calcari di Gallaneto e Argilloscisti neri che saranno intercettati a circa 400 m dall'imbocco e a 250 m di quota. Nel tratto successivo, ove predominano gli Argilloscisti e dove gli acquiferi sono di dimensioni modeste e completamente confinati dalla "matrice" argillitica, si escludono interferenze per via delle elevate coperture che appaiono decisamente superiori alle dimensioni degli inclusi acquiferi (carbonatici, basaltici, ecc). Questi peraltro, avendo una limitata possibilità di trarre alimentazione idrica dalla superficie, una volta intercettati, possono dar luogo a venute idriche fino a qualche litro/secondo, in rapido esaurimento.

Le sorgenti ad elevata probabilità di isterilimento sono quelle a breve distanza dal tracciato e posizionate ad una quota superiore a quelle di progetto, nell'ambito delle soglie di permeabilità di cui sopra.

Si tratta in particolare della sorgente stagionale SCM103 situata in vicinanza del contatto tra Dolomie di M.Gazzo e Calcari di Gallaneto, e della sorgente SCM219 al contatto tra Calcari di Gallaneto e Argilloscisti neri. E' possibile una riduzione di portata per la sorgente SCM 217 situata in corrispondenza della stesa soglia di permeabilità, ad una distanza dal tracciato di 150 m e ad una quota del tutto simile a quella di progetto 255 m s.l.m..

Da escludere l'interferenza sulle sorgenti situate in analogo contesto idrogeologico, sul fondovalle del Verde e in particolare sulla sorgente carsica dei Buggi SCM368 a quota 220 per la quale rispetto alla quota della galleria al contatto Gallaneto Argilloscisti (250 m s.l.m.) sussiste un franco di 30 m. Oltre a ciò occorre ricordare che i dati di monitoraggio fin qui raccolti indicano come zona di alimentazione di questa sorgente l'area di M. Carmelo e non il M. Carlo.

In sintesi, lo scavo della Finestra Cravasco evidenzia le seguenti criticità:

- le sorgenti SCM217 e SCM219 sono da considerare ad elevata pericolosità d'isterilimento;
- le sorgenti situate nell'alta valle del Rizzolo (SCM220 e SCM221) sono da considerare a bassa pericolosità di isterilimento (si ricorda che le sorgenti dell'alta valle hanno una certa valenza ambientale in quanto sono le uniche in grado di garantire un minimo deflusso idrico in alveo nel periodo estivo);
- la SCM370 e l'area sorgentizia sottostante l'accumulo di frana di Case Rizzolo sono a media pericolosità di isterilimento;
- le sorgenti SCM88 e SCM 89, a pk 0+500 ca., ad una distanza dal tracciato di 170 m, caratterizzate da portate modeste e che traggono alimentazione da inclusi acquiferi sospesi di modeste dimensioni sono da considerare a bassa pericolosità di isterilimento;

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica</p>	<p>Foglio Pag. 97 a 104</p>

- anche le sorgenti in località Lason SCM375, SCM376 e SCM374 sono da considerare a bassa pericolosità d'isterilimento. Lo stesso dicasi per le sorgenti di C. Torvi SCM372 e SCM373.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 98 a 104

12. CONFRONTO TRA I DUE DIFFERENTI TRACCIATI (DI P.E. E P.E.- MODIFICATO - NOVEMBRE 2014)

Tracciato di P.E. modificato (Novembre 2014)

Nell'area interessata dalla realizzazione della Finestra Cravasco saranno intercettate, per un tratto di circa 400 m (da pk 0+000 a pk 0+400), rocce carbonatiche permeabili per fessurazione e localmente per carsismo con coefficienti di permeabilità stimati in un intervallo compreso tra $1E-6$ m/s e $2E-6$ m/s.

I dati di portata misurati nel corso del sondaggio L2-CR1 sono sostanzialmente in accordo con i valori massimi di conducibilità idraulica sopra espressi.

I livelli di falda derivanti dalle misure effettuate al piezometro SF12, ubicato poco a nord dell'imbocco della Finestra, al manometro installato sul CR1 e al piezometro CR1bis evidenziano valori massimi di 50 m nella zona di passaggio tra unità carbonatiche (Calcari dolomitici dG e Calcari di Gallaneto cG) e argilloscisti (Mn), intorno a pk 0+400.

Le venute idriche stimate come modeste, in presenza di livelli piezometrici contenuti, quali quelli che si prospettano nel periodo estivo possono divenire consistenti in presenza di battenti idraulici di alcune decine di metri quali quelli che si prospettano per i mesi invernali e in occasione di eventi meteorici importanti. L'assetto strutturale di questo tratto favorisce peraltro la filtrazione lungo le direttrici più favorevoli ai flussi idrici, costituite dalla stratificazione che viene intercettata ortogonalmente dal tracciato o a sistemi di frattura trasversali alla stratificazione con presenza di riempimento cataclastico granulare non coesivo. Occorre inoltre prevedere anche apporti idrici significativi nel non saturo per percolazione di acqua in concomitanza di precipitazioni consistenti vista la rapidità con cui si manifesta l'incremento di portata sulle sorgenti "sospese" per soglia di permeabilità sottoposta SCM102 e SCM103 e di sorgenti in rete come quella del Rizzolo SCM220 che da portate prossime a zero vede incrementi rapidi (in termini di ore) in concomitanza di importanti eventi pluviometrici. Lo stesso dicasi per la sorgente dei Buggi SCM368, ove tra il 29 Agosto 2012 e il 31 Agosto 2012 si è passati da una portata di 50 l/s (il giorno 28 alle ore 16) ad una portata di 280 l/s il 31 Agosto alle ore 11 e ad una portata di 185 l/s alle ore 15 dello stesso 31 Agosto. L'evento meteorico che ha determinato questo consistente incremento delle portate si è verificato tra il 30 Agosto (46,6 mm di pioggia) e il 31 Agosto (138,6 mm): dati registrati alla stazione meteo ARPAL di Isoverde.

Lo scavo oltre le formazioni carbonatiche, e per il restante tratto fino all'innesto di pk 1+321.75 interesserà litotipi prevalentemente argillitici (Argilloscisti neri e Argilloscisti filladici) per i quali è stato assunto un coefficiente K di $3,4E-8$ m/s. Le portate drenate saranno verosimilmente modeste anche se si ritiene possibile che vengano intercettati corpi acquiferi isolati all'interno degli argilloscisti quali basalti, calcari serpentinoscisti, con conseguente attivazione di venute d'acqua e stillicidi dell'ordine di qualche litro al secondo, destinate ad esaurirsi rapidamente.

Per quanto attiene la pericolosità di isterilimento delle sorgenti dell'area si evidenzia un'alta pericolosità di interferenza per alcune sorgenti non captate, a regime stagionale, quale ad esempio la SCM103 e la SCM102 e delle sorgenti SCM219 e SCM217, captate e utilizzate, tutte alimentate dall' acquifero carbonatico. Si ritiene, invece, a pericolosità media-la sorgente SCM370 che è situata ad una quota comparabile con quella della galleria e ad una distanza di 280 m. Le altre sorgenti dell'area situate lungo la valle del Rizzolo, nella zona di Case Lason e di Torvi (SCM221, SCM375, SCM376 e

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 99 a 104

SCM374, SCM372 e SCM373) sono da considerare a pericolosità da molto bassa a nulla. Lo stesso dicasi delle sorgenti SCM88, SCM89 e SCM90, alla periferia nord di Isoverde.

Per venire al quesito posto dal CIPE, relativamente alle possibilità di interconnessione del sistema carsico di Isoverde con l'acquifero posto in sinistra idrografica e direttamente interessato dallo scavo della finestra Cravasco, si evidenzia quanto segue.

Il sistema di circolazione idrica sotterranea a cui fa capo la sorgente dei Buggi (SCM368) avviene attraverso una falda in rete basale che trae alimentazione prevalentemente dal massiccio carbonatico di M. Carmelo, con l'apporto di acque provenienti anche dai corsi d'acqua circostanti che vengono progressivamente assorbite fin dalle quote più elevate.

Questa ricostruzione è confermata dalla totale assenza di emergenze idriche sui versanti del M. Carmelo anche alle quote più basse e prossime agli alvei del Verde e del Ciappuen. Anche le ripetute osservazioni in grotta hanno evidenziato una modesta circolazione attiva. La grotta n. 12 che è posizionata in prossimità dell'alveo non ha mai evidenziato allagamenti in quanto le direttrici di drenaggio sono appunto posizionati a quote più basse in corrispondenza del torrente e della sorgente principale di quota 220. Anche il piezometro SF12 posto in sinistra idrografica evidenzia livelli prossimi alla quota dell'alveo in ogni stagione anche in concomitanza di apporti meteorici importanti, escludendo quindi la presenza di condotti in pressione o di innalzamenti dei livelli piezometrici ancorché temporanei. Anche al fondo della Grotta Lindenbrook, posta in sinistra idrografica Verde in vicinanza dell'imbocco della finestra e del piezometro SF12 non sono mai stati osservati allagamenti o risalita di acque in pressione. Le stesse prove di tracciamento effettuate immettendo il tracciante nella grotta Lindenbrook ha escluso la sua risalita in superficie fino alla quota dell'alveo attraverso condotti in pressione, confermando che il recapito delle acque avviene secondo assi di scorrimento sotterraneo posti a quote progressivamente inferiori a quelle dell'alveo del Verde, fino al recapito finale che è quello corrispondente alla sorgente dei Buggi. Anche i rilievi effettuati in più occasioni nel tratto di alveo compreso tra la Cava di M. Carmelo e la sorgente hanno sempre evidenziato perdite di portata in alveo e mai incrementi temporanei, localizzati o puntuali della stessa.

Anche i dati idrochimici e isotopici evidenziano per tutti i sotto-sistemi idrogeologici in esame dinamiche di infiltrazione e deflusso relativamente rapide, dato questo confermato anche dalla conducibilità elettrica in quanto si assiste spesso ad un rapporto inverso tra variazioni di portata e variazioni di EC; In altre parole, in toto o in parte gli incrementi di portata sono legati anche, se non soprattutto, all'arrivo in sorgente di acque di neo-infiltrazione, a minore EC;

Questo fenomeno è particolarmente evidente per la sorgente dei Buggi SCM 368 in cui il rapporto inverso è visibile in tutte le fasi dell'anno idrologico (Fig. 9.6); ciò in accordo con quanto detto in precedenza, in merito ai collegamenti rapidi e diretti della scaturigine con corsi d'acqua superficiali;

Stesse considerazioni si possono fare per il torrente Ciappuen situato alla base del versante sud-occidentale del M. Carmelo che è quasi sempre privo di acqua nel tratto a valle di Neppiane.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 100 a 104

Per quanto attiene le possibili connessioni tra l'acquifero del M. Carlo e la sorgente dei Buggi appare evidente che la presenza di sorgenti in quota SCM102, SCM103, SCM217 e SCM219 a cui si associano due piccole sorgenti in sinistra alveo può apportare un minimo contributo alla sorgente. Essa costituisce comunque il recapito, alla quota più bassa possibile, dei vari contributi provenienti dall'alto e non viceversa.

Riguardo poi alla possibilità di intercettare cavità carsiche in fase di scavo, le indagini di superficie effettuate portano ad escludere la possibilità di intercettare cavità di grandi dimensioni. Come documentato, le cavità riscontrate in superficie hanno dimensioni modeste e in alcuni casi si tratta di cavità lungo fratture o piani di strato sulle quali il carsismo ha prodotto un modellamento trascurabile.

Per quanto attiene la modifica del tracciato della finestra Cravasco nell'ambito del Progetto esecutivo si possono fare le seguenti considerazioni.

La galleria in posizione più parietale rispetto al tracciato di P.D., e ad una quota lievemente più elevata attraversa quasi ortogonalmente le unità carbonatiche, andando ad interessare una porzione di acquifero saturo più contenuta; la modifica planimetrica che lo pone più a sud rispetto al precedente (tracciato di P.D.)

, riduce il rischio di impatto sulle sorgenti dell'alta valle del T. Rizzolo che garantiscono deflussi idrici in alveo, ancorché modesti (4-5 l/s) anche nel periodo estivo.

L'innesto della Finestra Cravasco sulla Galleria ferroviaria di binario dispari elimina il rischio di intercettare l'acquifero del M. Carlo, non interconnesso con il sistema carsico di Isoverde, ma in continuità idraulica con i Calcari di Gallaneto.

Tracciato di P.E. (2013)

Per quanto attiene le problematiche ascrivibili al tracciato di Progetto esecutivo di Luglio 2013 si rileva quanto segue.

Il tracciato attraversa nello stesso tratto di circa 400 m i Calcari dolomitici di M. Gazzo e i Calcari di Gallaneto. Il tratto nei calcari è pertanto lo stesso del progetto in variante.

Le portate drenate in questo stesso tratto, sono sostanzialmente le stesse. Anche le sorgenti coinvolte sono le stesse, così come la pericolosità d'isterilimento di dette sorgenti.

Oltre il sottoattraversamento del Rio Rizzolo, il tratto di Finestra in affiancamento alla galleria di binario pari, tra pk 1+200 e il camerone di innesto di pk 1+273.68, evidenzia criticità sulle sorgenti dell'alta valle del Rizzolo (SCM221, SCM375, CM376) e sul sistema acquifero del M. Carlo, soprattutto ad opera del camerone d'innesto che penetra in profondità nei Calcari di Gallaneto.

13. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Criticità idrogeologica del nuovo tracciato di P.E. e proposta di interventi di mitigazione/compensazione

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 101 a 104

Il territorio attraversato dal tracciato di P.E. della Finestra Cravasco, modificato e ottimizzato, rispetto ai progetti precedenti, mostra comunque, alcune criticità.

Premesso che appare esclusa ogni interferenza sul sistema carsico di Isoverde che ha come recapito naturale della circolazione idrica sotterranea la sorgente dei Buggi (SCM368), posta in sinistra T. Verde a 220 m s.l.m., a fronte di una quota galleria a 250 m s.l.m., al contatto tra unità carbonatiche e argilloscisti, le criticità che permangono sono quelle di seguito illustrate.

Il primo tratto di galleria realizzato all'interno di un ammasso roccioso calcareo (dG e cG), a buona conducibilità idraulica, il cui tratto saturo lungo la galleria si estende tra pk 0+160 circa e pk 0+400, fino al contatto con gli Argilloscisti Mn, raggiunge qui la quota minima di 249.69 m s.l.m.. Quota alla quale, in presenza di una galleria drenante, si raccorderebbe la superficie piezometrica, con un abbattimento, rispetto alla quota massima ante operam, di circa 50 m.

Le sorgenti, SCM219 (a 287 m s.l.m.) e SCM217 (a 254 m.s.l.m.), in uso ad alcuni utenti di Isoverde, due dei quali sono privi di allaccio all'acquedotto pubblico, sono ad elevato rischio d'isterilimento.

Le rimanenti sorgenti situate nella valle del Rio Rizzolo, a quote comprese tra 265 m s.l.m. e i 445 m s.l.m. (SCM370, SCM221, SCM375, SCM376 e SCM374) e alimentate dallo stesso acquifero carbonatico, sono ritenute a pericolosità d'isterilimento molto bassa; fa eccezione la SCM370 a 265 m s.l.m. e ad una distanza di circa 280 m dal punto di maggiore abbattimento della piezometrica (pk 0+400 della galleria), che potrebbe risentire in certa misura del drenaggio della galleria ed è da ritenere a media pericolosità d'isterilimento.

Le sorgenti SCM88 e SCM89 che traggono alimentazione da un acquifero localizzato, confinato alla base dagli argilloscisti, soprastante la galleria non dovrebbero risentire del monitoraggio della stessa.

La sorgente di Lason, SCM374, e le sorgenti di Torvi SCM372 e SCM37 che traggono alimentazione da alcune scaglie di metabasalti (B'') e Calcari di Voltaggio (cV), imballate all'interno degli argilloscisti (Mn) e degli argilloscisti filladici (f), sono da ritenere a pericolosità d'isterilimento molto bassa.

Il tratto di galleria compreso tra pk 0+400 e pk 0+680 (sottoattraversamento del Rio Rizzolo con circa 12 m di copertura) interessa un ammasso roccioso (Mn e f) a bassa conducibilità idraulica. Viste le basse coperture non si può comunque escludere che si attivi una filtrazione di acqua dal subalveo verso il cavo che potrebbe evidenziarsi in superficie, soprattutto nel periodo estivo, quando nel Rizzolo si hanno portate idriche modeste (3-5 l/s circa).

Nel rimanente tratto di galleria tra pk 0+680 e pk 1+321.75, ove saranno attraversati ammassi rocciosi argillitici, a conducibilità idraulica molto bassa, non si avranno interferenze sui punti d'acqua di superficie.

Nella tabella sono indicate tutte le sorgenti dell'area di Isoverde e della valle Rizzolo, anche quelle minori e/o prive di utilizzo e per le quali si ritiene trascurabile la pericolosità d'isterilimento.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica
	Foglio Pag. 102 a 104

Sorgente	Captata	Pericolosità d'isterilimento			
		molto bassa/nulla	bassa	media	alta
SCM368 I Buggi	SI	X			
SCM217 Isoverde - Parodi	SI				X
SCM219 Isoverde - Parodi	SI				X
SCM370 C. Rizzolo	SI			X	
SCM221 Rio Rizzolo	SI	X			
SCM375 .Rio Rizzolo - Lason	SI	X			
SCM376 .Rio Rizzolo - Lason	SI	X			
SCM374 Lason – Amato	SI	X			
SCM88 Rizzolo Nicoletta	SI		X		
SCM89 Rizzolo Nicoletta	SI		X		
SCM372 Torvi - Amato	SI	X			
SCM373 Torvi - Amato	SI	X			
SCM90 Rizzolo Nicoletta	NO		X		
SCM220 T. Rizzolo	NO	X			
SCM102 Cava Calcestruzzi	NO		X		
SCM103 Metanodotto	NO		X		
SCM371 Verde	NO	X			
SCM369 Verde	NO	X			
Rio Rizzolo	NO		X		

Galleria di servizio Cravasco - Tabella di sintesi delle interferenze sui punti d'acqua di superficie

Alla luce delle criticità sopra indicate le mitigazioni o compensazioni possibili sono costituite da interventi in sotterraneo e da interventi in superficie.

In sotterraneo, nel tratto di galleria compreso tra pk 0+160 e 0+400 (tratto saturo nelle unità carbonatiche dG e cG) si potrebbe prospettare un intervento di impermeabilizzazione full round in modo da sostenere battenti idraulici massimi di circa 30 m (in base al dislivello esistente tra la quota galleria a pk 0+160 e la quota galleria a pk 0+400). In questo modo verrebbero preservate le sorgenti SCM217, SCM370, SCM102 e SCM103). A lavori completati l'interferenza riguarderebbe la sola sorgente SCM219.

In superficie (nel periodo intercorrente tra il completamento del full round e la ricarica della falda) sarà necessario, "compensare" la mancata portata delle sorgenti ad alta e media pericolosità d'isterilimento con un approvvigionamento idrico sostitutivo.

L'interferenza con il Rio Rizzolo in corrispondenza del sottoattraversamento, che risulterebbe apprezzabile solo nel periodo estivo, qualora si manifestasse, potrebbe essere mitigata con un intervento di impermeabilizzazione del subalveo o di bypass in alveo.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002-E00.DOCX Galleria naturale finestra Cravasco -Relazione Idrogeologica Foglio Pag. 103 a 104

14. 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.
- Dematteis, A., Kalamaras, G., Eusebio, A. (2001) – *A systems approach for evaluating springs drawdown due to tunneling*. *World Tunnel Congress ATTES-ITA 20001*, vol. 1, pp 257-264.
- 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, F. (1984) – Il processo di drenaggio da una galleria in avanzamento. *R.I.G.*, 4, pp. 191-208.
- 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.
- Goodman, R.E., Moye, D.G., Van Schalkwyk, A., Javandel, I. (1965) – *Ground water inflow during tunnel driving*. *Eng. Geol.*, 2, pp. 39-56.
- 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.
- Ribacchi, R. Graziani, A. Boldini, D. (2002) - *Previsione degli afflussi d'acqua in galleria e influenza sull'ambiente*. *Meccanica e Ingegneria delle rocce*, MIR, Torino, pp. 143-199.
- 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.