

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



# INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01e s.m.i.



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

CUP: J94F04000020001

## U.O. GEOLOGIA

### PROGETTO DEFINITIVO

#### ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

#### ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

#### LOTTO 1: FORTEZZA - PONTE GARDENA

#### GEOLOGIA ED IDROGEOLOGIA

#### RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

SCALA:

-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I B L 1	1 0	D	6 9	R G	G E 0 0 0 1	0 0 1	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione definitiva per CdS					C. Mazzocchi		F. Marchese	

ITALFERR S.p.A.  
 Resp. UO GEOLOGIA  
 Ordine Geologi Lazio n. 17925

File: \_\_\_\_\_ n. Elab.: \_\_\_\_\_

## INDICE

1	INTRODUZIONE .....	5
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	8
3	GEOLOGIA.....	10
3.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	10
3.2	CENNI GENERALI DI TETTONICA E METAMORFISMO .....	11
4	CARTA GEOLOGICA 1:25000 .....	13
5	STRATIGRAFIA .....	15
5.1	BASAMENTO METAMORFICO .....	15
5.2	ROCCE MAGMATICHE PERMIANE.....	18
5.3	DEPOSITI QUATERNARI.....	21
6	ASSETTO GEOLOGICO STRUTTURALE LOCALE.....	28
6.1	ANALISI DEL MODELLO FRAGILE LOCALE .....	28
7	INDAGINI.....	33
7.1	SONDAGGI PROFONDI.....	33
7.2	SONDAGGI ORDINARI.....	34
7.3	INDAGINI GEOFISICHE.....	36
7.4	RILIEVI GEOSTRUTTURALI .....	37
8	SISMICITA' .....	39
9	GEOMORFOLOGIA .....	41
9.1	CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE GENERALI DELL'AREA .....	41
9.2	CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DELLA ZONA DI PONTE GARDENA.....	42
10	VALUTAZIONI SUL CONTENUTO MINERALOGICO DELLE ROCCE ANFIBOLITICHE E SULLA RADIOATTIVITA' NATURALE MISURATA .....	52
10.1	VALUTAZIONE DEL POTENZIALE RISCHIO DA AMIANTO .....	52
10.2	MISURE DI RADIOATTIVITA' NATURALE.....	53

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	3 di 268

10.2.1	SURVEY TEST CON STRUMENTO PORTATILE .....	54
10.2.2	SPETTROMETRO GAMMA AD ALTA RISOLUZIONE .....	55
10.2.2.1	Risultati e conclusioni.....	56
10.2.2.2	Valutazioni sui materiali di escavazione.....	58
11	DESCRIZIONE GEOLOGICA DEL TRACCIATO.....	61
11.1	TRACCIATO DI LINEA .....	62
11.2	INTERCONNESSIONI DI FORTEZZA – FINESTRE DI AICA-VARNA, ALBES, CHIUSA – INTERCONNESSIONI DI PONTE GARDENA .....	65
12	IDROGEOLOGIA.....	69
12.1	OBIETTIVI .....	69
12.2	RACCOLTA DEI DATI DI BASE .....	69
12.3	PROGETTAZIONE E STRUTTURAZIONE DELLA BANCA DATI GEORIFERITA IDROGEOLOGICA E GEOCHIMICA.....	71
12.3.1	Progettazione.....	72
12.3.1.1	Analisi dei requisiti.....	72
12.3.1.2	Progettazione concettuale e logica.....	73
12.3.1.3	Progettazione Fisica.....	75
12.3.2	Implementazione.....	83
12.3.3	Utilizzo.....	84
12.4	CAMPAGNA DATI IDROGEOLOGICI .....	85
12.4.1	Pianificazione della campagna idrogeologica.....	88
12.4.2	Acquisizione dati .....	89
12.4.3	Schede punti acqua monitorati.....	91
12.4.3.1	Descrizione dei campi delle schede .....	94
12.4.3.1.1	Area stimata bacino .....	94
12.5	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROGEOCHIMICO.....	95
12.5.1	Bilancio Idrogeologico.....	95
12.5.1.1	Caratteristiche pluviometriche dell'area .....	95
12.5.1.2	Considerazioni sul bilancio idrologico .....	108
12.5.2	Considerazioni geochimiche .....	108
12.5.2.1	Dati pregressi: dati relativi al Progetto Preliminare 2003-2004 e Dati della Provincia Autonoma di Bolzano .....	109
12.5.2.1.1	Indagini isotopiche .....	110
12.5.2.2	Dati relativi alla campagna 2012.....	115
12.5.2.3	Risultati.....	118
12.5.3	Stima della Conducibilità Idraulica da rilievo geomeccanico.....	121

12.6	DESCRIZIONE DEL MODELLO IDROGEOLOGICO CONCETTUALE .....	125
12.6.1	<i>Dati di partenza</i> .....	128
12.6.2	<i>Assegnazione valori di conducibilità idraulica ai litotipi</i> .....	133
12.6.3	<i>Complessi idrogeologici interessati e loro descrizione</i> .....	139
12.6.4	<i>Assetto idrico sotterraneo</i> .....	150
12.7	VALUTAZIONE RISCHIO D'INTERFERENZA CON LE RISORSE IDRICHE DI SUPERFICIE .....	151
12.7.1	<i>Valutazione rischio isterilimento sorgenti</i> .....	152
12.7.2	<i>Descrizione del metodo</i> .....	153
12.7.2.1	<i>Descrizione parametri in ingresso</i> .....	154
12.7.3	<i>Valutazione impatto su pozzi</i> .....	158
12.7.4	<i>Valutazione impatto sui corsi d'acqua</i> .....	160
12.7.5	<i>Risultati</i> .....	162
12.7.6	<i>Compensazione impatti</i> .....	172
12.8	AFFLUSSI D'ACQUA IN GALLERIA .....	174
12.8.1	<i>Metodologia – regime transitorio</i> .....	174
12.8.2	<i>Stima afflussi</i> .....	176
12.9	AFFLUSSI D'ACQUA IN GALLERIA – REGIME STAZIONARIO .....	176
12.9.1	<i>Metodologia</i> .....	176
12.9.1.1	<i>Descrizione parametri in ingresso</i> .....	178
12.9.2	<i>Commento ai risultati</i> .....	187
13	SINGOLARITÀ IDROGEOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO .....	196
13.1	GALLERIE DI LINEA .....	198
13.2	INTERCONNESSIONI.....	203
13.3	FINESTRE DI AICA-VARNA, ALBES, CHIUSA.....	206
14	INDICAZIONI RELATIVE AL SUCCESSIVO PIANO DI MONITORAGGIO .....	209
15	DOCUMENTAZIONE DEI PUNTI DI OSSERVAZIONE .....	211
16	BIBLIOGRAFIA SOMMARIA .....	264



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	5 di 268

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione illustra i risultati dello studio geologico svolto a supporto del progetto definitivo del “Quadruplicamento della linea Fortezza – Verona, Lotto 1: Fortezza – Ponte Gardena”.

I rilievi geologici, geomorfologici e idrogeologici di terreno hanno interessato una porzione di territorio ubicata nella Provincia autonoma di Bolzano e all’incirca compresa tra gli abitati di Fortezza e Ponte Gardena, all’interno della quale sono state eseguite anche indagini geognostiche, sia di tipo diretto che di tipo indiretto.

Preliminarmente e congiuntamente alle attività di campagna è stata condotta una accurata ricerca bibliografica, relativa sia a pubblicazioni che a cartografia pregressa.

Nei rilievi di terreno è stata utilizzata come base topografica la Carta Tecnica Provinciale della Provincia Autonoma di Bolzano (scala 1:10.000 in formato raster e 1:5.000 in formato vettoriale).

Alle analisi di campagna è stato affiancato lo studio delle fotoaeree, delle ortofoto e del nuovo modello digitale del terreno (DTM) della Provincia autonoma di Bolzano ottenuto da immagini LIDAR. Il rilevamento geologico è stato effettuato a scala 1:5000 in un’area di circa 100 km<sup>2</sup> (fig.1), ed in alcuni settori specifici e strategici ad una scala maggiore (1:2000). Le attività idrogeologiche hanno riguardato l’area oggetto di rilevamento geologico ma sono state estese anche al di fuori di essa. Per la caratterizzazione geomeccanica dei litotipi affioranti sono state realizzate 39 stazioni di misura geostrutturali. Sono state effettuate anche alcune valutazioni quantitative e qualitative relative al contenuto radioattivo naturale delle rocce interessate dal tracciato in progetto nonché alla tematica dell’inquinamento naturale derivante dalla potenziale presenza di minerali amiantiferi nelle rocce oggetto di scavo.

Le attività geognostiche hanno compreso l’esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità massima di 350 m, a distruzione di nucleo e di indagini geofisiche di tipo sismico, elettrico e magnetotellurico.

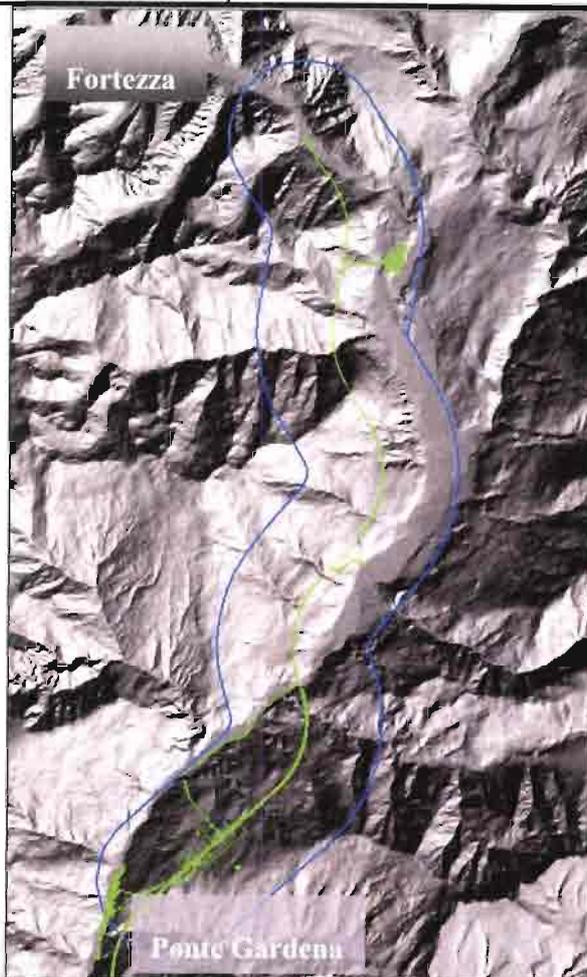


Fig. 1-1 Modello digitale del terreno: in verde il tracciato in progetto, in blu il limite dell'area di indagine a scala 1:5000.

Le informazioni di carattere geologico, idrogeologico e geomeccanico dell'area indagata sono state sintetizzate nei seguenti elaborati che integrano ed accompagnano la presente relazione:

- Carta geologica di inquadramento (scala 1:25000)
- Carta geologica (scala 1:5000 – 6 tavole)
- Carta idrogeologica generale (scala 1:25000)
- Carta idrogeologica (scala 1:5000 - 6 tavole)
- Carta dei lineamenti fotointerpretati con ubicazione delle stazioni geostretturali(1:25000)
- Profilo geologico – tracciato di linea (costruito sul Binario Dispari) (scala 1:5000 – 2 tavole)
- Profilo idrogeologico – tracciato di linea (costruito sul Binario Dispari) scala 1:5000 – 5 tavole)
- Profilo geologico – interconnessione di Fortezza (scala 1:5000)

- Profilo idrogeologico – interconnessione di Fortezza (scala 1:5000 – 2 tavole)
- Profilo geologico – interconnessione di Ponte Gardena (scala 1:5000)
- Profilo idrogeologico – interconnessione di Ponte Gardena (scala 1:5000 – 2 tavole)
- Profili geologici delle finestre Aica/Varna, Albes e Chiusa (scala 1:5000)
- Profilo idrogeologico della finestra Aica/Varna (scala 1:5000)
- Profilo idrogeologico delle finestre Albes e Chiusa (scala 1:5000)
- Relazione sulle stazioni geostrutturali
- Sondaggi geognostici profondi (8 volumi)
- Sondaggi geognostici ordinari (7 volumi)
- Indagini geofisiche (30 elaborati)
- Prove di laboratorio (5 volumi)

## 2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'areale interessato dal presente lavoro insiste su parte del bacino idrografico del Fiume Isarco e di alcuni suoi tributari (Fig. 2-1).

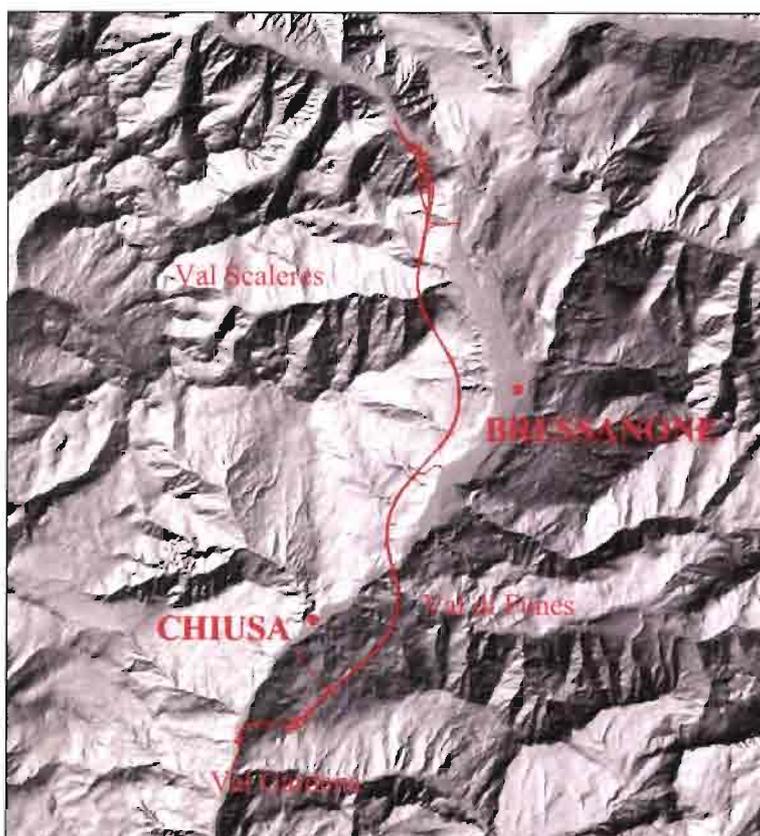


Fig. 2-1 Modello digitale del territorio, in rosso il tracciato in progetto.

Il limite settentrionale dell'area di indagine è posto in corrispondenza dell'abitato di Fortezza; da qui essa si snoda verso sud includendo la città di Bressanone e la sua periferia occidentale; ancora più a sud l'areale in studio abbraccia la bassa Val di Funes sino a raggiungere il proprio limite meridionale, in prossimità dei paesi di Laion e Ponte Gardena, in corrispondenza della bassa Val Gardena (Fig. 2-1)

Il settore settentrionale è caratterizzato, dal punto di vista orografico, dal rilievo del Monte Bersaglio (1859 m s.l.m.) a sud di Fortezza, e dalle pendici del Monte Gipfel (1975 m s.l.m.) limitate verso nord dal torrente Spelonca. Proseguendo verso sud la morfologia è caratterizzata da un versante regolare a medio-alta pendenza, ove si collocano i paesi di Tiles, Tecelina e Velturmo; a sud di quest'ultimo abitato il tracciato in progetto si sposta in sinistra Isarco interessando le pendici occidentali del Monte Hauben (1258 m s.l.m.), ove è sito l'abitato di Tiso e la parte bassa della Val di Funes, per poi proseguire in direzione del paese di Gudon. Anche in questo caso le morfologie sono caratterizzate da versanti regolari medio pendenti, che proseguono sino al settore meridionale

caratterizzato orograficamente dal Col dell'Acqua (nei pressi di Laion, 1103 m s.l.m.) e dalla bassa valle del Rio Gardena.



Fig. 2-2 Panoramica su Bressanone dal Monte Bersaglio in direzione sud.



Fig. 2-3 Settore meridionale dell'area indagata, a nord di Ponte Gardena prima della confluenza con il Rio Gardena.

### 3 GEOLOGIA

#### 3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area interessata dal presente lavoro (Fig. 3-1) si colloca in uno dei settori più complessi delle Alpi orientali, in prossimità della linea Insubrica, noto sistema di faglie che separa le unità Europa vergenti da quelle Africa vergenti. L'area rilevata si sviluppa a sud di tale lineamento, nel dominio Sudalpino o delle Alpi Meridionali, caratterizzato da un basamento ercinico e da successioni vulcaniche e sedimentarie di età permo-mesozoica.

Nel settore in studio è presente un basamento metamorfico formato da un complesso prevalentemente filladico appartenente all'Unità di Bressanone, al quale sono associate importanti intercalazioni di porfiroidi, (Ordoviciano sup.); complessivamente questo substrato mostra un metamorfismo di età pre-permiana, mentre durante l'orogenesi alpina non si sviluppano nuove foliazioni metamorfiche. Sono inoltre presenti importanti intrusioni permiane (granito di Bressanone) con relativi corteo filoniano ed aureola di contatto conservati nelle filladi incassanti e una copertura vulcanica-sedimentaria riconducibile al Gruppo Vulcanico Atesino. Tale successione ed i plutoni permiani sono privi di metamorfismo alpino.

Elementi deformativi, prevalentemente di tipo fragile e fragile-duttile, si osservano lungo tutto il settore indagato e le principali faglie.

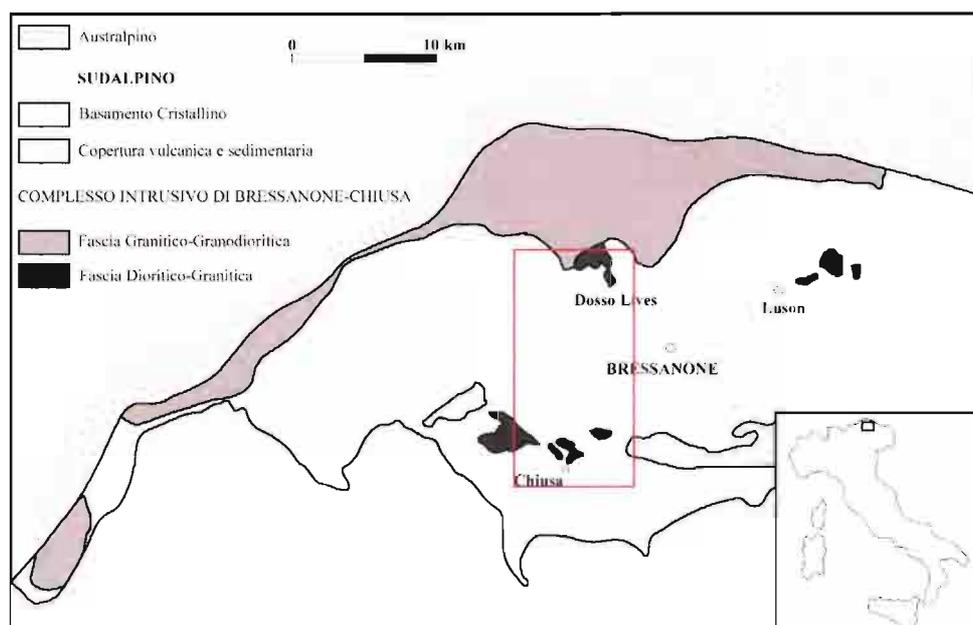


Fig. 3-1 Schema geologico semplificato dell'area indagata (da Bargossi et alii, 1998).

Il substrato roccioso è spesso coperto da depositi superficiali attribuibili al Pleistocene superiore - Olocene, con predominanza di quelli di origine glaciale, riferibili all'ultimo evento glaciale culminato nel Last Glacial Maximum (LGM), alle successive fasi di ritiro e a dinamiche recenti (Piccola Età Glaciale).

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	11 di 268

Diffusi, ma con maggiore concentrazione sul tratto inferiore dei versanti, risultano i depositi riferibili alla dinamica di versante ed a processi di trasporto in massa. Il fondovalle del fiume Isarco presenta, nella parte settentrionale dell'area indagata (Bacino di Bressanone), i caratteri peculiari di una pianura intravalliva a sedimentazione prevalentemente alluvionale, con alcuni apporti dalle valli affluenti, talora con evidente presenza dei depositi di debris-flow (conoidi di origine mista) e limitati settori a sedimentazione di tipo palustre (Lago di Varna). Si riconoscono inoltre evidenti conoidi alluvionali, nei tratti bassi della Val Scaleres e della Val di Funes.

### 3.2 CENNI GENERALI DI TETTONICA E METAMORFISMO

Gli affioramenti di basamento cristallino sudalpino delle Alpi Orientali possono venire ripartiti in tre principali settori (SASSI et alii, 2004): una fascia settentrionale che si estende in direzione circa E-W dalla Valle Sarentina attraverso Bressanone e la Val Pusteria fino al Comelico; una fascia intermedia, orientata approssimativamente SW-NE, dalla Valsugana attraverso Cima d'Asta fino ad Agordo; un'area meridionale, ossia l'area Recoaro-Schio.

Il basamento cristallino sudalpino è costituito da una potente sequenza di rocce filladiche con intercalazioni di metavulcaniti acide (porfiroidi Auct.). All'interno di esso SASSI & ZIRPOLI (1989) individuano una successione pre-metamorfica costituita da un complesso pelitico inferiore, un complesso vulcano-sedimentario intermedio ed un complesso pelitico superiore. Il complesso pelitico inferiore è formato principalmente da filladi quarzifere con ripetute alternanze di bande ricche in mica e bande ricche in quarzo + albite. Il complesso vulcano-sedimentario intermedio consiste in una sequenza pelitico-psammitica in cui sono presenti intercalazioni caratteristiche rappresentate da: (a) metavulcaniti e metavulcanoclastiti acide (i cosiddetti "porfiroidi" Auct.); (b) un orizzonte discontinuo di metavulcaniti e metavulcanoclastiti basiche, costituite da scisti epidotico-cloritici ± actinolitici e metabasiti ad albite-epidoto; (c) mineralizzazioni tipo "kieslager" a Fe, Cu, Zn e Pb, associate principalmente alle metavulcaniti basiche; (d) filladi ricche di ilmenite; (e) un orizzonte discontinuo di filladi a carbonato che passano a scisti a carbonato; (f) un sottile orizzonte discontinuo di quarziti bianche; (g) filladi nere (carboniose) e quarziti. Il complesso pelitico superiore è simile al complesso pelitico inferiore e viene distinto solo per la relativa posizione rispetto al complesso vulcano-sedimentario intermedio.

Riguardo all'età di sedimentazione, un'associazione ad acritarchi rinvenuta a Col di Foglia (presso Agordo), suggerisce un'età da tardo cambriana a tremadociana per le filladi del complesso inferiore. Recenti studi sui graptoliti di queste rocce hanno spostato al Cambriano inferiore l'età di sedimentazione dei protoliti (VECOLI et alii, 2008); questa rappresenta la più antica datazione biostratigrafica nelle Alpi ed in tutta l'Italia. L'attività magmatica prevalentemente acida rappresentata dai livelli metariolitici ("porfiroidi") è datata radiometricamente su zirconi (U/Pb) a circa 480 Ma.

Il basamento cristallino sudalpino ha subito un metamorfismo varisico in due distinti episodi che coprono l'intero intervallo di temperatura della facies degli scisti verdi ed hanno avuto luogo in condizioni di relativa bassa pressione. Anche per i "porfiroidi" della Valle Sarentina (ad ovest dell'area indagata) le età radiometriche ottenute da Meli (1994 e 1995) indicano un evento metamorfico varisico in due stadi: il più antico a  $345 \pm 9$  Ma (isocrona Rb/Sr su roccia totale); il secondo a 325-330 Ma (età  $39\text{Ar}/40\text{Ar}$ ). Queste datazioni sono in sintonia con i risultati ottenuti da altri autori in altre aree del basamento metamorfico delle Alpi Meridionali.

Per quanto riguarda la natura geologica e la stratigrafia delle vulcaniti permiane atesine, studi stratigrafici e petrografici, oltre a chiarire la natura vulcanologica dei "porfidi quarziferi", riconosciuti come ignimbriti, individuano nell'area settentrionale atesina una successione tipo, consistente in un gruppo inferiore a composizione latiandesitico-dacitica con prevalenti lave e tufi, un gruppo intermedio con prevalenti ignimbriti riodesitiche e



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	12 di 268

sottili livelli epiclastici, ed un gruppo superiore costituito da ignimbriti e lave riolitiche, separato dal precedente da una potente successione alluvionale. Recenti studi stratigrafici nell'ambito del progetto CARG hanno ridefinito e precisato la successione del settore nord-occidentale, fissandone il range temporale sulla base di datazioni radiometriche (285-274 Ma). Essi hanno inoltre messo in evidenza la stretta connessione fra emissione dei prodotti vulcanici e progressiva calderizzazione della piattaforma porfirica, ora chiamata Gruppo Vulcanico Atesino (Avanzini et alii, 2007; Bargossi et alii, 2007).

Per quanto concerne le masse plutoniche del Penniano inferiore affioranti lungo il margine settentrionale del Sudalpino delle Alpi Orientali, il massiccio granodioritico di Bressanone è stato studiato dal punto di vista geologico, geochimico, petrografico e radiometrico da Borsi et alii (1972), Schaltegger & Brack (2007), Rottura et alii (1998), Bargossi et alii (1998), Dal Piaz e Martin (1998), mentre per le rocce magmatiche pre-permiane nei dintorni di Chiusa si può fare riferimento ai dati di Visonà et alii (1987).

Le intrusioni di Bressanone-Chiusa secondo alcuni autori rappresentano un'associazione magmatica calcalcalina di età permiana (280-260 Ma). Il magmatismo è posteriore al metamorfismo (ca 350 Ma) e all'uplift (ca 320 Ma) della catena varisica delle Alpi Meridionali centro-orientali (Poli et alii, 1997). Le masse plutoniche si sono intruse nel basamento metamorfico di basso-medio grado delle Alpi Meridionali, a profondità variabili da una decina di chilometri fino a condizioni sub-vulcaniche. I prodotti magmatici plutonici sono costituiti sia da gabbri che da graniti, sebbene prevalgano i termini più evoluti. Le facies plutoniche granitoidi contengono inclusi femici microgranulari di composizione variabile da quarzo-dioritica a tonalitica; l'associazione granitoidi-inclusi femici microgranulari è caratteristica comune dei complessi calcalcalini orogenici e viene attribuita ad interazione tra magmi basici e acidi. Le rocce magmatiche costituiscono un'associazione ad affinità calcalcalina alta in K e mostrano ampie variazioni delle composizioni isotopiche iniziali di Sr, Nd e O, considerate indicative del carattere ibrido del magmatismo.

#### 4 CARTA GEOLOGICA 1:25000

Allo scopo di definire i parametri geologici di riferimento ottenuti dai dati presenti in bibliografia, è stata realizzata una carta geologica a scala 1:25.000 di un'area che contiene sia il settore oggetto del rilevamento 1:5000, sia un'area esterna ad esso. Tale carta copre un settore di circa 200 km<sup>2</sup>, include numerosi litotipi che non interessano il tracciato, e risulta particolarmente significativa ai fini dello sviluppo dei tematismi idrogeologici. La carta geologica è stata ottenuta dalle informazioni esistenti nel Foglio 011 M. Marmolada, Fogli 1 e 4A Passo del Brennero e Bressanone a scala 1:100.000 della C.G.I..

Le formazioni e i litotipi che sono stati rappresentati sono i seguenti:

- Depositi quaternari:
  - (Fr) depositi di frana
  - (a) alluvioni recenti ed attuali
  - (cna) conoidi alluvionali
  - (d) detriti di falda e di versante
  - (cnd) cono detritico
  - (mo) morene wurmiane miste a detrito
  - (md) morene miste a detrito
  - (fg) depositi fluvioglaciali
  - (at) alluvioni antiche terrazzate
  - (mor) morene rissiane
- Successione vulcano-sedimentaria permo-mesozoica:
  - (T4) Dolomia dello Sciliar - dolomie chiare, massicce
  - (tβc) Colate laviche;
  - (T3s) Formazione di Wengen – arenarie e brecciole poligeniche, marne e calcareniti, tufi;
  - (T3) Formazione di Livinallongo, calcari nodulari silicei;
  - (T2s) Dolomia del Serla – dolomie chiare, massicce;
  - (T2) Conglomerato di Richtofen - conglomerati ad elementi della sottostante formazione, silti e arenarie
  - (T1) Formazione di Werfen - calcari marnoso-siltosi e arenarie;

(PE1) Formazione a Bellerophon - dolomie, calcari e gessi;

(PE2) Arenarie della Val Gardena – arenarie quarzose feldspatiche.

- Gruppo Vulcanico Atesino:

(p) Ignimbriti riolitiche e quarzoriolitiche;

(ac) Arenarie e conglomerati ad elementi vulcanici;

(pδv) Ignimbriti riodacitiche;

(cw) Conglomerati ed arenarie;

(α) Lave andesitiche e trachianandesitiche in colate e piroclastiti;

(Vcg) Conglomerato di Ponte Gardena;

- Basamento cristallino sudalpino

Fillade quarzifera di Bressanone

(fq) Filladi quarzifere;

(mgr) Micascisti granatiferi;

(fc) Filladi quarzifere carboniose;

(pq) Gneiss albitici;

(c) Marmi saccaroidi;

(sa) Anfiboliti epidoti che e gneiss;

(an) Cloritoscisti;

Corpi magmatici intrusivi

(γbi) Graniti biotitici, grano dioriti (Granito di Bressanone Auctt., Fortezza);

(δ1) Dioriti quarzifere (Fortezza e Sistema magmatico di Chiusa);

(ε1) Gabbri (Fortezza);

(A) Filoni aplitici;

(α1) Filoni di porfirite.

## 5 STRATIGRAFIA

La stratigrafia dell'area oggetto di rilevamento a scala 1:5000, è costituita da associazioni litologiche così schematizzabili:

un basamento prevalentemente filladico originatosi durante l'orogenesi varisca o ercinica (Carbonifero-Permiano, da 350 a 250 milioni di anni fa), in cui sono intrusi diversi corpi plutonici e filoniani di età permiana (circa 250 m.a.); dei corpi vulcanici non metamorfosati (ciclo alpino < 250 m.a.); una successione quaternaria caratterizzata da estese porzioni di depositi fluvio-glaciali pleistocenici e da successivi depositi alluvionali.

La sequenza stratigrafica viene di seguito descritta procedendo dal basamento verso i termini più recenti.

### 5.1 BASAMENTO METAMORFICO

#### Unità di Bressanone

Il basamento metamorfico delle Alpi Meridionali affiora abbondantemente in tutto il settore indagato. Costituisce un'unica unità di età varisca di medio-basso grado metamorfico (facies degli scisti verdi, sub-facies a granato), denominata unità di Bressanone che è intrusa e tagliata da corpi plutonici e filoni di età permiana e da filoni basici tardoalpini (Oligocene). Le litologie presenti nell'area indagata sono rappresentate da filladi quarzifere, talora con sovraimpronta metamorfica di contatto (cornubianiti) nell'intorno dei plutoni permiani, quarziti muscovitiche, metavulcaniti acide, talora a grandi porfiroclasti, e metabasiti.

#### *BSS – Fillade Quarzifera*

È la formazione maggiormente rappresentata nell'areale indagato. Si tratta di filladi più o meno quarzose a luoghi granatifere di colore da argenteo a plumbeo, con quarzo, mica chiara, clorite, plagioclasio cui si possono associare biotite, ilmenite e grafite. Si rinvengono occasionali porfiroblasti di granato e di plagioclasio. Frequenti sono i noduli e i letti di quarzo bianco. Localmente sono presenti orizzonti più competenti di scisti quarzoso-muscovitici con granato, plagioclasio, clorite e biotite e limitate zone in cui la dimensione dei cristalli aumenta. Più rare sono le intercalazioni di livelli di micascisti/paragneiss (note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 foglio 013 Merano). La roccia presenta una foliazione in alcuni casi poco evidente (Fig. 5-1); localmente, alla mesoscala, si riconoscono almeno due fasi deformative (Fig. 5-2).

La sovra-impronta metamorfica (rappresentata in carta con la sigla *MPC*) è costituita da cornubianiti a plagioclasio e biotite, molto compatte e di colore chiaro.



Fig. 5-1 Affioramento di Filladi Quarzifere nei dintorni della città di Chiusa; la scistosità è visibile solo in alcune zone.



Fig. 5-2 Particolare dei rapporti tra fasi deformative rilevabili in affioramento.

Questa formazione si trova in contatto con i corpi magmatici permiani dei settori più settentrionali, mentre nella parte centrale dell'area indagata, all'altezza della Val di Funes, essa affiora in contatto con corpi magmatici che sembrano essere coinvolti nella deformazione che interessa il corpo filladico stesso.

*BSSa – Quarziti muscovitiche (Paragneiss Auct.)*

Quarziti impure, muscovitiche in orizzonti o lenti intercalate alle filladi (vedi fig. 5-3 e 5-4). Si tratta di rocce a grana medio-fine, compatte, a tessitura scistosa, di colore chiaro con sfumature argenteo, che passano a scisti o

gneiss minuti quarzoso-muscovitici. Sono costituite da un'alternanza di livelli a quarzo prevalente con sottili e discontinui letti a muscovite, che ne definiscono la scistosità principale (S2) (note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1 :50.000 foglio 013 Merano). Al loro interno è possibile rinvenire, seppur in quantità accessorie, piccoli cristalli di granato, plagioclasio, pirite, clorite ed ilmenite, raramente biotite. I più importanti affioramenti (lenti di dimensioni massime di qualche decina di metri) sono lungo la val di Funes e in destra idrografica del fiume Isarco, nei settori centrali dell'areale rilevato.



Fig. 5-3 Affioramento di quarziti muscovitiche lungo la strada che percorre la Val di Funes.



Fig. 5-4 Particolare delle pieghe interessanti la litofacies quarzomuscovitica.

*P - Metavulcaniti acide o Porfiroidi Auct.*



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	18 di 268

Metavulcaniti (originarie lave ed ignimbriti) e metavulcanoclastiti di composizione da riolitica a riodacitica. Si presentano da massicce o blandamente foliate fino a scistose e sono costituite da quarzo, K-feldspato, plagioclasio, muscovite, clorite, biotite, epidoto. La roccia presenta struttura occhiadina e/o micro-occhiadina con porfiroclasti feldspatici (2-8 mm) in un fondo con livelli quarzoso-feldspatici alternati ed anastomizzati da letti fillosilicatici (note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1 :50.000 foglio 013 Merano). Sono stati rilevati pochissimi affioramenti, tutti nel settore centro-meridionale dell'area indagata.

Rocce metamorfiche da protoliti ignei

*sa - Anfiboliti epidotiche, anfiboliti epidotiche a biotite;*

Affiorano in modo evidente in corrispondenza dell'abitato di Gudon. Si tratta di metabasiti ad anfibolo e plagioclasio in cui la blanda scistosità è definita dalla parziale isorientazione dell'anfibolo; l'associazione mineralogica è costituita da anfibolo, plagioclasio, epidoto, clorite, titanite e minerali opachi con sporadico quarzo; il plagioclasio risulta sempre parzialmente alterato in sericite ed epidoto.

*δ - Metadioriti (Sistema intrusivo di Chiusa Auct.)*

Sono ben visibili in destra idrografica del Fiume Isarco, a NE della giunzione con la Valle di Funes; si tratta di litotipi che manifestano una blanda scistosità in coerenza con la scistosità regionale, che in questa sede, anche sulla base dei risultati delle analisi in sezione sottile, sono stati classificati come metamorfiti di basso grado, di età ercinica, provenienti da protoliti magmatici di tipo dioritico; tali rocce sono da ricondurre al cosiddetto Sistema intrusivo di Chiusa (datato al Permiano) della Carta Geologica d'Italia, Foglio M. Marmolada II ed., scala 1:100.000.

## 5.2 ROCCE MAGMATICHE PERMIANE

Durante il magmatismo permiano si ha la messa in posto di notevoli spessori di vulcaniti e vulcanoclastiti, e di importanti corpi plutonici. I primi litotipi, riconducibili al sistema noto in letteratura come Gruppo Vulcanico Atesino, affiorano nell'area indagata nei dintorni dell'abitato di Tiso; i secondi, riconducibili alle Massiccio di Bressanone Auct., sono diffusi nel settore settentrionale dell'area rilevata, tra il paese di Fortezza e il Monte Bersaglio.

Gruppo Vulcanico Atesino

*fb - Filoni Basici di Tiso.* Sono costituiti da porfiriti plagioclastiche pirosseniche, di colore grigio scuro e grana fine; in esse la tendenza ad una struttura porfirica è pronunciata e segnata da cristalli di plagioclasio e di pirosseni in gran parte cloritizzati e calcitizzati (Note illustrative del F. 11 Marmolada).

*α - Lave andesitiche e trachianandesitiche in colate, piroclastiti, spesso conglomeratiche (Fig. 5-5 e 5-6).* Sul versante destro della Val di Funes (Tiso) affiorano piccole colate laviche intercalate da banchi di tufi spesso conglomeratici di spessore spesso maggiore delle lave. Il colore prevalente è il verde scuro per le colate laviche e il grigio-verde o rossiccio per le piroclastiti. Le lave sono andesitiche o dacitiche, mentre le formazioni clastiche sono andesitiche, quarzolatitiche o riodacitiche; i tipi clastici più acidi sono forse in relazione con fenomeni di tipo ignimbritico (Note illustrative del F. 11 Marmolada).



Fig. 5-5 Colate piroclastiche affioranti a est di Tiso.



Fig. 5-6 Particolare della grana grossolana dei depositi piroclastici rielaborati.

#### Corpi Plutonici

$\gamma_{bi}$  - Graniti biotitici, granodioriti (Granito di Bressanone *Auctt.*, Fortezza)

$\delta_1$  – Dioriti quarzifere (Fortezza)

$\epsilon$  – Gabbri (Fortezza)

Nel gruppo delle masse intrusive periadriatiche quelle costituenti il massiccio di Bressanone hanno una particolare importanza sia per la loro cospicua estensione sia per la loro particolare localizzazione, essendo situate nella zona di intersezione di due grandi linee di dislocazione tettonica: la linea delle Giudicarie e quella della Pusteria.

Il corpo intrusivo di Bressanone ha una prevalente estensione in senso ovest-est e un'età compresa tra 280 e 290 milioni di anni fa (Borsi et alii, 1972); il bordo meridionale risulta a contatto con la formazione delle filladi

quarzifere dell'unità di Bressanone nella quale l'intrusione ha sviluppato un alone termo metamorfico (Fig. 5-6 e 5-7).



Fig. 5-6 Affioramento del contatto tra filladi quarzifere (a sinistra) e granito di Bressanone (a destra), a sud-est di Fortezza.



Fig. 5-7 Particolare del contatto tra il corpo magmatico (destra) e le filladi (a sinistra).

Il granito di Bressanone ( $\gamma_{bi}$ ) presenta generalmente un aspetto compatto ed alquanto omogeneo; le maggiori disomogeneità sono date dalla presenza di inclusi femici microgranulari, di porzioni microcristalline e di masse irregolari aplitiche di cristallizzazione tardiva. La roccia è di colore chiaro, a struttura fanerocristallina eterogranulare con cristalli di quarzo, K-feldspato, plagioclasio bianco-lattiginoso e biotite di dimensioni comprese generalmente tra 1 e 6 mm. Petrograficamente si tratta di granodioriti/graniti a struttura ipidiomorfa olocristallina.

Le masse dioritiche ( $\delta_1$ ) e gabbriche ( $\epsilon$ ) (Fig. 5-8) affioranti sono limitate al settore settentrionale e occidentale del Monte Bersaglio.



Fig. 5-8 Affioramento di gabbri sul versante meridionale del Monte Bersaglio.

### 5.3 DEPOSITI QUATERNARI

#### *Depositi fluvio-glaciali (df)*

Tali depositi sono da riferire ai fenomeni glaciali che hanno interessato tutto l'arco alpino, modificandone sensibilmente la morfologia, in epoca pleistocenica. In accordo con le tipologie dei fenomeni esogeni da cui derivano, i terreni in parola sono caratterizzati da una sensibile variabilità granulometrica e litologica.

I depositi rilevati presentano prevalentemente caratteristiche di rimaneggiamento fluviale; solo in limitati affioramenti si riconoscono le caratteristiche sedimentologiche relative ai depositi morenici.

La sequenza completa rilevata è costituita alla base da porzioni limitate di depositi morenici, a volte estremamente alterati, il cui spessore non supera quasi mai i 2 o 3 metri; a tetto di questi si rinvengono, discordanti, depositi fluviali che rimaneggiano ed elaborano i sottostanti livelli morenici, la cui potenza può raggiungere alcune decine di metri e che sono costituiti principalmente da termini a matrice sabbiosa con rari blocchi di dimensioni superiore al metro (Fig. 5-9), generalmente contenenti lenti di conglomerati a spessore variabile (Fig. 5-10); possono essere presenti rare intercalazioni argillose, anch'esse mutevoli dal punto di vista dello spessore e del colore.

Si ritrovano sia in destra che in sinistra idrografica del fiume Isarco e affiorano indistintamente lungo i versanti sia a bassa quota che nelle porzioni più elevate altimetricamente, sino a raggiungere e superare in alcuni casi i 1300 m s.l.m..



Fig. 5-9 Affioramento di depositi fluvio-glaciali; si evidenzia la presenza di elementi di dimensioni superiori al metro alla base; al tetto prevalgono depositi di rimaneggiamento fluviale.



Fig. 5-10 Particolare dei complessi rapporti stratigrafico-sedimentologici nei depositi fluvio-glaciali; si evidenziano le numerose superfici discordanti presenti all'interno della sequenza stratigrafica locale.



Fig. 5-11 Particolare dei depositi fluvio-glaciali a matrice sabbiosa con ciottoli di dimensioni centimetriche.

#### *Depositi alluvionali antichi (at1 – at2)*

Tali depositi sono stati riconosciuti quasi esclusivamente nel settore settentrionale dell'area rilevata, nel tratto in cui il fiume Isarco incontra il fiume Rienza, ossia nell'ampio bacino di Bressanone, la cui natura evolutiva è strettamente legata con i fenomeni glaciali pleistocenici.

All'interno di tale bacino, particolarmente complesso per quel che riguarda i rapporti tra depositi quaternari, affiorano depositi alluvionali di spessore elevato, che in alcuni tratti raggiungono anche gli 80 m di potenza (Fig. 5-12).

Il criterio adottato per discriminare i depositi fluvio-glaciali dai depositi alluvionali antichi si basa principalmente sulla quota di affioramento; sono stati classificati come fluvio-glaciali quei depositi che, non distinguibili sedimentologicamente dai depositi alluvionali si trovano lungo i versanti sino a quote elevate; i depositi che costituiscono la parte di fondo delle valli, che sono terrazzati e chiaramente non sono correlabili con l'attuale o la recente evoluzione del reticolo idrografico, sono stati considerati come depositi alluvionali antichi. Essi sono costituiti principalmente da sabbie medio-grossolane di colore grigio (Fig. 5-13 e Fig. 5-14), soprattutto nella parte basale della sequenza, mentre proseguendo verso l'alto stratigrafico si evidenzia un aumento della frazione conglomeratica (Fig. 5-15).

Lo spessore variabile dei depositi alluvionali antichi dipende dalla paleomorfologia molto articolata su cui si sono impostati: non è possibile ricostruire con certezza, nelle aree dove non affiora, la superficie di appoggio tra le alluvioni antiche ed il substrato roccioso. Tale superficie comunque è comunque visibile in alcuni settori a nord di Bressanone, in particolare nei dintorni di Novacella, grazie anche all'effetto di recenti attività di estrazione.

Sono stati distinti due ordini gerarchici dei depositi in questione. L'ordine più basso (at<sub>2</sub>) rappresenta l'ultima fase antica in cui l'alveo del fiume stava evolvendo verso la forma attuale, con varie diramazioni abbandonate, vedi lago di Varna; il primo ordine (at<sub>1</sub>) si riferisce ai depositi alluvionali che riempivano il bacino di Bressanone quando il livello di base dell'erosione era più elevato.



Fig. 5-12 Panoramica di un versante molto ripido su depositi alluvionali antichi, a nord di Bressanone.



Fig. 5-13 Depositi alluvionali antichi del bacino di Bressanone, sabbie grigie.



Fig. 5-14 .Particolare delle sabbie alluvionali medio-grossolane.



Fig. 5-15 Depositi alluvionali antichi con aumento della frazione conglomeratica verso il tetto.

#### *Depositi alluvionali attuali(aa) e recenti (ar)*

I depositi alluvionali recenti affiorano in maniera discontinua lungo tutta la valle del fiume Isarco; per la loro caratterizzazione litologica si fa particolare riferimento agli affioramenti presenti nei settori poco a nord di Bressanone (Fig. 5-16), dove recenti attività estrattive hanno permesso una analisi dei depositi stessi ed il riconoscimento diretto delle caratteristiche stratigrafico-sedimentologiche (Fig. 5-17).



Fig. 5-16 Panoramica dei rapporti tra depositi alluvionali antichi e recenti, a nord-ovest di Novacella.



Fig. 5-17 Particolare dei depositi alluvionali recenti.

I depositi alluvionali recenti sono costituiti da sabbie medio-grossolane grigie e da subordinati conglomerati polimittici a dimensioni variabili che raggiungono, in alcuni casi, dimensioni superiori al metro. Lo spessore di tali depositi è difficilmente valutabile in campagna.

I depositi alluvionali attuali, sono presenti lungo quasi tutto il tratto di fiume che rientra nell'area oggetto dell'indagine, ad eccezione di alcuni tratti dove l'alveo è caratterizzato dal substrato roccioso; le alluvioni sono costituite quasi esclusivamente da ciottoli polimittici di dimensioni variabili ma, nella maggior parte dei casi, superiori al decimetro sino ad arrivare a dimensioni superiori al metro.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	27 di 268

Depositi di tipo gravitativo e di origine mista

Tra gli elementi riconosciuti e classificati durante il rilevamento di campagna come depositi quaternari, si citano i depositi gravitativi, sia relativi a fenomeni franosi che a fenomeni di trasporto detritico, antichi o attualmente in attività.

*Frane quiescenti (fq), frane attive (fa)*

Per quanto riguarda i fenomeni di tipo franoso sono state individuate in maggioranza frane per scivolamento, legate alla natura del substrato costituito da rocce competenti; le frane di dimensioni maggiori hanno tuttavia cinematismi di tipo complesso. Sono stati riconosciuti fenomeni sia quiescenti che attivi. Gli accumuli di frana sono costituiti in maggioranza da blocchi di rocce filladiche di dimensioni molto variabili, che in alcuni casi superano la decina di metri. La maggior parte di questi depositi è stata osservata nei settori meridionali dell'area indagata.

*Detrito e depositi di origine mista (d)*

Per quanto riguarda gli accumuli di detrito, si evidenzia che nella maggior parte dei casi si tratta di depositi oramai non più attivi, sebbene questi, in alcuni casi, possano rappresentare un potenziale rischio nel caso di fenomeni meteorologici particolarmente intensi. La maggior parte di tali depositi si trova nelle forme concave ad alta quota e negli stretti canali che insistono sulla principale valle dell'Isarco; la natura litologica di tali depositi riflette ovviamente il substrato su cui si impostano, che nella maggior parte del territorio è costituito da rocce metamorfiche filladiche; solo nel settore più settentrionale dell'area in studio tali depositi sono costituiti da elementi di granito e di altre rocce magmatiche con minor superficie affiorante.

I depositi di origine mista sono rappresentati dai depositi di debris flow; essi vengono considerati di origine mista perché nel processo di formazione e trasporto vi è una componente di tipo fluviale all'interno di una componente di tipo gravitativo. Sono distribuiti in tutta l'area indagata; le zone soggette a maggior rischio potenziale si trovano nei settori centrali e settentrionali, sia perché insistono su zone attualmente abitate o dove sussistono attività antropiche, sia perché conservano a monte dei bacini di ricarica quiescenti ma vasti.

*Depositi colluviali (c)*

Tali depositi si trovano principalmente lungo le maggiori rotture di pendio tra la piana alluvionale del fiume Isarco e i versanti che la confinano; sono costituiti da materiale fine e medio-fine derivante dall'alterazione del substrato e in alcuni casi avente dei lenti movimenti verso valle.

Sono stati infine cartografati depositi riconducibili ad attività antropiche (riporti, riempimenti), indicati con la sigla *h*.



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IBL1

10

D 69RG

GE 00 01 001

A

28 di 268

## 6 ASSETTO GEOLOGICO STRUTTURALE LOCALE

Le rocce metamorfiche che costituiscono il basamento Sudalpino sono caratterizzate da una scistosità regionale, penetrativa, ben evidente nelle filladi e più spaziata nei litotipi massivi come le quarziti. Si tratta di una scistosità di piano assiale sviluppatasi durante un evento duttile che ha prodotto pieghe con geometria da isoclinala a più o meno serrata, che traspone e oblitera completamente alla scala dell'affioramento le precedenti strutture.

Pieghe ascrivibili a questa fase sono presenti ovunque, evidenziate da livelli e lenti di quarzo bianco di spessore da millimetrico (talora anche sub-millimetrico) fino a pluricentimetrico. Frequentemente si tratta di pieghe isoclinali, intrafoliali, sradicate e più raramente di pieghe asimmetriche. I livelli di quarzo bianco potrebbero essere interpretati in vari modi: a) come originari livelli sedimentari a diversa composizione rispetto a quella pelitica, nel qual caso definirebbero la scistosità  $S_0$ ; b) come vene quarzose che tagliavano il layering sedimentario, formatesi a livello diagenetico durante una fase idrotermale, poi polideformate dall'evento varisico; c) come il risultato della trasformazione dei minerali argillosi in miche durante il metamorfismo, trasformazione che produce un eccesso di quarzo; d) come vene di quarzo legate a fenomeni di pressure-solution e redistribuzione del quarzo durante la deformazione, ripiegate e trasposte durante gli eventi deformativi varisici.

La scistosità regionale va definita come  $S_2$  e le pieghe isoclinali ad essa associate come  $F_2$ , prodotte entrambe dalla deformazione  $O_2$ . La foliazione  $S_2$ , è marcata nelle filladi dall'isorientazione di muscovite  $\pm$  clorite e ilmenite. La fase  $D_3$  è caratterizzata dallo sviluppo di pieghe asimmetriche ( $F_3$ ) da aperte a serrate con dimensioni generalmente da centimetriche a metriche, sempre ben visibili alla scala dell'affioramento. Esse ripiegano le  $F_2$  dando luogo a figure di interferenza. Generalmente questa fase non sviluppa una nuova scistosità limitandosi ad un ripiegamento della  $S_2$ . Solo in alcuni affioramenti si è osservata la formazione di nuovi piani  $S$  nelle porzioni più pelitiche. La foliazione  $S_3$  costituisce un crenulation cleavage definito da superfici di dissoluzione.

### 6.1 ANALISI DEL MODELLO FRAGILE LOCALE

Per la realizzazione e definizione del modello strutturale fragile dell'area indagata sono state effettuate diverse tipologie di studio e di interpretazione sugli elementi che concorrono alla definizione del modello stesso; in particolare vi è stata la necessità di intraprendere uno studio multidisciplinare che prevedesse un approccio multi scalare nell'interpretazione degli elementi strutturali presenti nel territorio.

Tale approccio è costituito da distinte fasi che hanno interessato l'area oggetto del rilevamento geologico di campagna. Una fase ha riguardato l'analisi del modello digitale del terreno e l'analisi fotogrammetrica di foto aeree riguardanti il territorio rilevato: in questo modo è stata ottenuta l'interpretazione di lineamenti morfologici associabili ad una struttura fragile definita alla macroscale dei dati telerilevati; ove possibile tali lineamenti sono stati discriminati sulla base dei rilievi geologici di campagna, confermandone o meno gli elementi caratteristici alla scala dell'affioramento; successivamente è stata programmata la campagna di rilevamento geomeccanico, atta a completare ed implementare le conoscenze relative ai sistemi di frattura esistenti negli ammassi rocciosi.

Tale procedimento, sviluppato attraverso livelli diversi di conoscenza e interpretazione, ha permesso di ricostruire affidabilmente il modello strutturale fragile del territorio rilevato.

Nel settore meridionale prevalgono lineamenti a direzione NE-SW e ENE-WSW; tali lineamenti caratterizzano dal punto di vista geomeccanico gli affioramenti e gli ammassi rocciosi analizzati, e sono stati interpretati come causa di svariati dissesti rilevati a nord di Ponte Gardena.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A	FOGLIO 29 di 268

Procedendo verso nord si incontra un importante lineamento tettonico alpino, la linea di Funes, costituita da un sovrascorrimento con vergenza NW il cui rigetto non è rilevabile e sicuramente ridotto rispetto alle sue propaggini più orientali (fuori dell'area indagata), dove tale linea mette in contatto il basamento metamorfico, al tetto, con le Dolomie triassiche a letto. La linea di Funes è rappresentata nell'areale in studio da una fascia di taglio corrispondente a una serie di faglie inverse riconosciute nella valle di Funes e nei dintorni di Gudon, sino ad alcuni settori in destra idrografica del fiume Isarco.

Allo sbocco della Val di Funes, in destra idrografica del fiume Isarco, affiora un importante sistema di discontinuità a movimento diretto che interessa il contatto tra le filladi quarzifere e le metadioriti del gruppo di Chiusa (Fig. 6-1).



Fig. 6-1 Faglia diretta sulle metadioriti del gruppo di Chiusa: il tetto della faglia è a sinistra.

Proseguendo verso nord, alcune valli perpendicolari alla direzione della valle del fiume Isarco, appaiono correlabili all'esistenza di lineamenti fragili a direzione WNW-ESE e NE-SW (Fig. 6-2).



Fig. 6-2 Faglia a probabile movimento orizzontale con componente minore verticale diretta, a nord della Val Scaleres.

Tali strutture fragili sono state rilevate in particolare lungo la Val Scaleres e in alcuni casi mostrano aperture superiori ai 3 metri (Fig. 6-3).

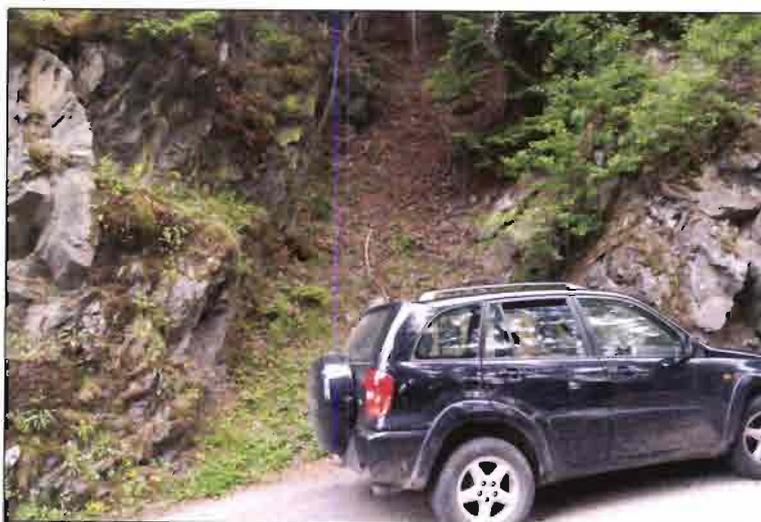


Fig. 6-3 Trincea di faglia o frattura, con piano immergente verso sud, a nord-ovest di Bressanone in destra idrografica del fiume Isarco.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	<b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A	FOGLIO 31 di 268

Poco a sud della città di Bressanone, in destra idrografica del fiume Isarco, si osservano estese porzioni di filladi quarzifere con evidenti strutture deformative fragili; in particolare a est di Perara affiora una estesa faglia inversa con numerosi indicatori cinematici e faglie coniugate (Fig. 6-4).

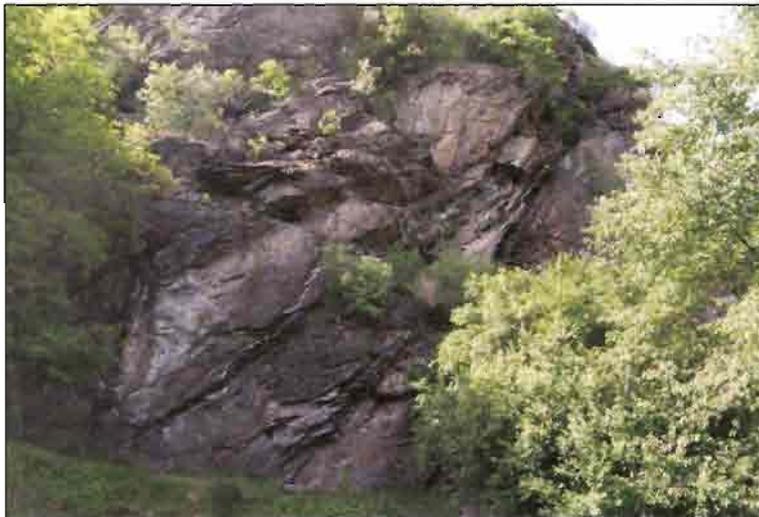


Fig. 6-4 Sistemi di faglie inverse all'interno delle filladi quarzifere a sud di Bressanone.

Nel settore settentrionale dell'area rilevata, sul versante meridionale e settentrionale del Monte Bersaglio, si segnala la presenza di alcuni lineamenti fragili e, in particolare all'altezza del paese di Fortezza, di faglie dirette legate ad una fase di collasso tettono-gravitativo. Le faglie hanno una generale direzione N-S o NNE-SSW e, in alcuni casi ad esse sono associati livelli di breccie (Fig. 6-5 e 6-6).



Fig. 6-5 Affioramento con sistemi di faglia ad alto angolo a componente normale: sentiero CAI a sud di Fortezza in destra idrografica del fiume Isarco.

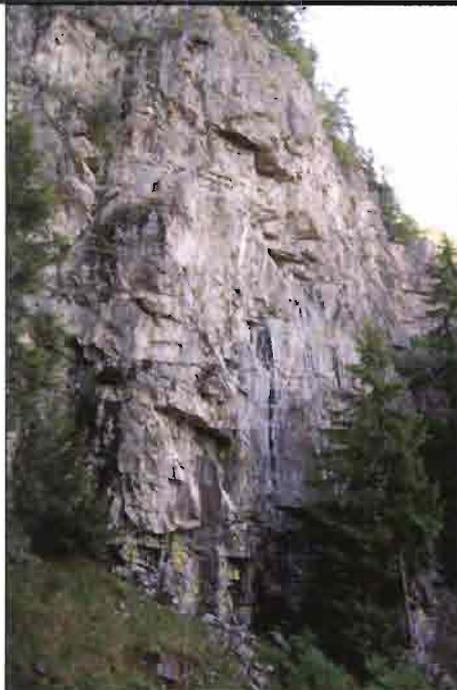


Fig. 6-6 Specchio di faglia lungo il versante in destra idrografica del fiume Isarco, a sud di Fortezza.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	33 di 268

## 7 INDAGINI

Nel corso della presente fase progettuale è stata condotta una di indagini geognostiche i cui risultati, integrati con i rilievi di superficie, hanno consentito di affinare il modello geologico di riferimento.

Nel corso di tale campagna sono state eseguite sia indagini di tipo diretto che di tipo indiretto.

Le indagini di tipo diretto hanno previsto la perforazione di sondaggi definiti “profondi” (>150 di profondità) e sondaggi definiti “ordinari” (<150 m di profondità); le indagini di tipo indiretto hanno consistito in rilievi geofisici di tipo sismico, elettrico e magnetotellurico.

Per l’ubicazione delle indagini eseguite si rimanda agli elaborati cartografici (vedi Cap.1) che accompagnano la presente relazione.

### 7.1 Sondaggi profondi

A partire dall’ottobre 2011 sono stati eseguiti 8 sondaggi profondi, dei quali 4 sulla galleria Scaleres, 2 sulla galleria Gardena e 2 sull’interconnessione di Ponte Gardena; la profondità massima raggiunta è stata di 350 m. In foro sono state eseguite prove di permeabilità tipo Lugeon (in totale 27), prove dilatometriche (in totale 20) e prove di fratturazione idraulica (in totale 17). Sono stati inoltre prelevati campioni rimaneggiati/lapidei (in totale 212) successivamente inviati a laboratorio per prove geotecniche: nello specifico sono state eseguite 105 determinazioni del peso dell’unità di volume, 29 determinazioni del peso specifico, 64 misurazioni di velocità sonica ( $V_p$  e  $V_s$ ), 98 prove di resistenza a compressione monoassiale di cui 63 con rilievo di deformazione, 28 prove triassiali, 23 prove di trazione indiretta, 21 point load test, 20 prove di taglio; sono state inoltre eseguite 55 analisi mineralogico-petrografiche in sezione sottile e 3 analisi diffrattometriche.

Tutti i fori sono stati strumentati con piezometro a tubo aperto.

Sondaggio	Opera	Lunghezza (m)	Prove in foro			Foro strumentato
			Lugeon	Dilatometrica	Fratturazione	
S2	Gal. Scaleres	240	x	x	x	piezometro
S4	Gal. Scaleres	275	x	x		piezometro
S7	Gal. Scaleres	230	x	x		piezometro
S8	Finestra Albes	245	x	x	x	piezometro
S12	Gal. Gardena	190	x	x	x	piezometro
S13	Gal. Gardena	350	x	x	x	piezometro
S16	Int. P. Gardena	205	x	x		piezometro
SPG1	Int. P. Gardena	300	x	x	x	piezometro

Fig. 7.1 - Tabella di sintesi dei sondaggi profondi effettuati.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	34 di 268

## 7.2 Sondaggi Ordinari

A partire da inizio del 2012 si è svolta anche la perforazione dei cosiddetti sondaggi ordinari, ossia sondaggi di profondità inferiore ai 150 m. Sono state eseguite sia perforazioni a carotaggio continuo sia perforazioni a distruzione di nucleo.

In totale sono state realizzate 35 perforazioni a carotaggio continuo, di cui 23 attrezzate con piezometro, 8 con inclinometro, 2 con tubazioni per l'esecuzione di prove sismiche tipo down-hole. Nei sondaggi sono state eseguite prove in foro quali SPT, prove pressiometriche, prove dilatometriche, prove Lefranc e Lugeon: in totale sono state eseguite 197 prove SPT, 85 prove pressiometriche, 67 prove dilatometriche, 73 prove Lefranc, 73 prove Lugeon; sono stati prelevati inoltre 296 campioni tra rimaneggiati e lapidei e 1 campione indisturbato. I campioni sono stati inviati a laboratorio per prove geotecniche: nello specifico sono state eseguite 93 determinazioni del peso dell'unità di volume, 28 determinazioni del peso specifico, 106 misurazioni di velocità sonica ( $V_p$  e  $V_s$ ), 64 prove di resistenza a compressione monoassiale di cui 52 con rilievo di deformazione, 25 prove triassiali, 41 prove di trazione indiretta, 31 point load test, 3 prove di taglio su giunto, 24 determinazioni dei limiti di Atterberg, 138 granulometrie, 3 determinazioni di contenuto d'acqua, 1 determinazione di sostanza organica, 2 prove di taglio diretto; sono state inoltre eseguite 55 analisi mineralogico-petrografiche in sezione sottile e 3 analisi diffrattometriche.

Dei suddetti 35 fori, 12 sono distribuiti in corrispondenza della zona interessata dall'interconnessione di Ponte Gardena. Nelle tabelle di Fig. 7.2 è riportata una sintesi relativa a tali perforazioni.

sondaggio	Opera/ubicazione	Lunghezza (m)	Prove in foro					Strumentazione
			SPT	Pressiom.	Dilat.	Lefranc	Lugeon	
C1	tratto all'aperto	40	x	x		x		piezom. Norton
C2	Gall. Scaleres	40			x		x	piezom. Norton
C3	int. Pari Fortezza	40	x	x	x	x	x	piezom. Norton
C4	Gall. Scaleres	131			x		x	piezom. Norton
C6	Gall. Scaleres	100			x		x	piezom. Norton
C7	Viadotto Isarco	70	x	x		x		piezom. Norton
C8	Viadotto Isarco	60	x		x		x	piezom. Norton
C22	Viadotto Isarco	50	x	x	x	x	x	doppio piez. Norton-Casag.
C9	Gall. Gardena	150			x		x	piezom. Norton
C10	Gall. Gardena	75			x		x	piezom. Norton
C11	Finestra Chiusa	50	x	x	x	x	x	doppio piez. Norton-Casag.
C12	Finestra Chiusa	120	x	x	x		x	piezom. Norton
C15	Finestra Aica	60	x	x		x		piezom. Norton
C16	Finestra Aica	60	x	x		x		piezom. Norton
C17	Finestra Aica	55	x	x		x		piezom. Norton
C18	Finestra Aica	60	x	x		x		piezom. Norton
C21	Finestra Aica	50	x	x		x		piezom. Norton
C19	Finestra Aica	55	x	x		x		tubo pvc per dh
C20	Finestra Aica	55	x	x		x		tubo pvc per dh
C25	int. P. Gardena	150			x		x	piezom. Norton
C28	Val Riga	30	x	x		x		piezom. Norton
C29	Val Riga	30	x	x		x		piezom. Norton
C30	Val Riga	30	x	x		x		piezom. Norton

sondaggio	Opera/ubicazione	Lunghezza (m)	Prove in foro					Strumentazione
			SPT	Pressiom.	Dilat.	Lefranc	Lugeon	
V21	int. P. Gardena/A22	130	x	x	x	x	x	doppio piez. Casagrande
B2V11	int. P. Gardena/A22	110	x	x	x	x	x	inclinometro
B2V13	int. P. Gardena/A22	70	x	x	x	x	x	inclinometro
BV1	int. P. Gardena/A22	90	x	x		x	x	inclinometro
BV4p	int. P. Gardena/A22	90	x	x	x	x	x	piezom. Norton
BV5	int. P. Gardena/A22	70	x	x		x		inclinometro
BV6	int. P. Gardena/A22	80	x	x		x	x	inclinometro
C5	int. P. Gardena/A22	100	x	x	x	x	x	inclinometro
C23	int. P. Gardena/A22	50	x	x	x	x	x	inclinometro
CBV13	int. P. Gardena/A22	80	x		x	x	x	inclinometro
C26	int. P. Gardena/A22	40	x	x		x		-
C27	int. P. Gardena/A22	50	x	x	x	x	x	-

Fig. 7.2 - Tabelle di sintesi dei sondaggi ordinari a carotaggio continuo effettuati

Sono stati inoltre realizzati 17 sondaggi a distruzione di nucleo, finalizzati prevalentemente (15 perforazioni) all'esecuzione di prove geofisiche in foro tipo cross-hole, e in misura minore (2 fori) per l'allocazione di piezometri. Nelle tabelle di Fig. 7.3 è riportata una sintesi relativa a tali perforazioni.

sondaggio	Opera	Lunghezza (m)	Strum.
D2a	Gall. Scaleres	40	tubo pvc per ch
D2b	Gall. Scaleres	40	tubo pvc per ch
D2c	Gall. Scaleres	40	tubo pvc per ch
D7a	Viadotto Isarco	61,5	tubo pvc per ch
D7b	Viadotto Isarco	60	tubo pvc per ch
D7c	Viadotto Isarco	61	tubo pvc per ch
D11a	Finestra Chiusa	50	tubo pvc per ch
D11b	Finestra Chiusa	50	tubo pvc per ch
D11b	Finestra Chiusa	50	tubo pvc per ch
D16a	Finestra Aica	60	tubo pvc per ch
D16b	Finestra Aica	60	tubo pvc per ch
D16b	Finestra Aica	60	tubo pvc per ch
D18a	Finestra Aica	51	tubo pvc per ch
D18b	Finestra Aica	51,5	tubo pvc per ch
D18b	Finestra Aica	51,5	tubo pvc per ch

sondaggio	Opera	Lunghezza (m)	Strum.
B2V13pg	int. P. Gardena/A22	63	piez. Casag.
B2V13ps	int. P. Gardena/A22	30	piez. Casag.

Fig. 7.3 - Tabella di sintesi dei sondaggi ordinari a distruzione di nucleo effettuati.

### 7.3 Indagini geofisiche

Le attività svolte hanno compreso l'esecuzione di:

- Profili tomografici elettrici
- Profili sismici a rifrazione
- Prove RE.MI (microtremori)
- Prove MASW
- Rilievi magnetotellurici
- Prove Cross-Hole
- Prove Down-Hole

Nello specifico sono stati eseguiti 22 profili tomografici elettrici, 27 profili sismici a rifrazione, un rilievo magnetotellurico sviluppato su 12 stazioni allineate, 10 prove tra MASW e RE.MI, 5 prove cross-hole a tre fori, 2 prove down-hole.

Geoelettrica		Sismica	
id profilo	lunghezza (m)	id profilo	lunghezza (m)
L1	520	P1	120
L2	520	P2	120
L3	1450	P3	120
L3b	1100	P9	120
L4	900	P13	120
L5	1050	P14	120
L6	750	P15	120
L7	650	P21	450
L8	1550	P22	430
L9	1300	P23	490
L10	1200	P24 a-b	950
L11	1470	P25	480
L12	1450	P26	410
L13	1400	P27	460
L14	1450	P28 a-b	850
L15	1320	P31-32	930
L16	1800	P33	450
L17	1750	P34	450
L19	2220	P35-36	950
L20	2120	P37	480
L21	2150	P41	120
L22	1570	P42	120
L23	1940	P43	90
		P44	120
		P45a-b	330
		P46	120
		P51	425

Fig. 7.4 - Tabella di sintesi degli stendimenti elettrici e sismici effettuati

Come si vede dalla tabella di Fig. 7.4 la lunghezza dei profili tomografici elettrici varia tra circa 500 e circa 2200 m, per un totale di circa 31500 m di stendimento effettuati, quella dei profili sismici a rifrazione varia tra 100 e oltre 900 m, per un totale di circa 9900 m di stendimento effettuati. Della totalità dei profili elettrici e sismici eseguiti, 18 profili elettrici e 13 profili sismici sono stati realizzati nella zona dell'interconnessione di Ponte Gardena (vedi par. 9.2). Lo sviluppo del profilo magnetotellurico è di circa 1100 m. La lunghezza dei fori in cui sono state eseguite le prove cross-hole è compresa fra 40 e 60 m, mentre la lunghezza dei fori di sondaggio in cui sono stati eseguiti i test down-hole è pari a 55 m (vedi Fig. 7.2 e 7.3).

#### 7.4 Rilievi geostrutturali

Oltre alle indagini suddette, ai fini dello sviluppo della caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi presenti nell'area in studio a scala 1:5000, sono stati eseguiti rilievi geostrutturali di superficie consistenti in 39 stazioni di misura; tali stazioni sono state ubicate in modo da ottenere dati relativi a tutte le litologie affioranti e realizzando al contempo una campionatura omogenea del settore indagato. Particolare attenzione è stata rivolta alle

zone d'imbocco delle gallerie dove la frequenza di stazioni di misura è stato intensificato. L'ubicazione delle stazioni eseguite è riportata nella Carta dei lineamenti fotointerpretati (elaborato IBL110D69G3GE0004001A). L'elaborazione statistica dei dati acquisiti ha permesso di classificare dal punto di vista geomeccanico le porzioni rocciose oggetto dei rilievi secondo i criteri di Bieniawski (1989), attraverso la stima del coefficiente RMR, e secondo quelli proposti da Barton (1974) mediante il calcolo del parametro Q, ed infine secondo il parametro GSI dedotto dal valore di RMR (Hoek, 1995). Nella Fig. 7.5 si riporta la sintesi dei risultati ottenuti. Per maggiori dettagli si rimanda alla specifica "Relazione sulle stazioni geostrutturali" (elaborato IBL110D69RHGE0005001A).

Stendimento	Litologia	R	M	R	Q	GSI
1N	Filladi	59			3	54
2N	Granito	85			7,8	80
3N	Filladi	68			2,2	63
4N	Granito	80			5,3	75
6N	Granito	72			7	67
7N	Granito	87			5,3	82
10N	Cornubianiti	84			5	79
11N	Cornubianiti	83			4,4	78
12N	Filladi	58			2,4	53
14N	Filladi	71			5,2	66
15N	Filladi	56			0,7	51
16N	Filladi	74			3,7	69
19N	Filladi	72			8,5	67
21N	Filladi	53			0,4	48
22N	Filladi	50			0,9	45
23N	Granito	70			7,8	65
24N	Granito	72			8,9	67
BR1	Filladi	71			2,2	66
BR2	Filladi	68			3,3	63
BR3	Dioriti	79			5,3	74
BR4	Anfiboliti	67			4	62
BR5	Anfiboliti	63			1,5	58
BR7	Filladi	72			4,4	67
BR8	Filladi	74			4	69
BR9	Filladi	72			6,3	67
BR11	Filladi	68			2,5	63
BR13	Filladi	73			2,2	68
BR14	Filladi	65			6,1	60
BR17	Filone basico	60			3,6	55
BR18	Filladi	62			5,8	57
BR20a	metaDioriti	78			7,8	73
BR20b	Fillade	76			2,1	71
BR21	Filladi	73			4	68
BR22	Filladi	69			2,5	64
BR24	Filladi	73			2,7	68
BR25	Filladi	81			9	76
BR27	Filladi	63			3	58
BR28	Porfiroidi	74			8	69
BR29	Dioriti	82			1,3	77

Fig. 7.5 - Sintesi della classificazione geomeccanica degli ammassi rocciosi presi in considerazione

8 SISMICITA'

L'area studiata è interessata da movimenti di tipo neotettonico s.l., alcuni dei quali risultano tuttora attivi come dimostrato dalla sismicità presente e dai numerosi studi a carattere geologico-strutturale effettuati nelle Alpi centro-orientali, riguardanti anche reti permanenti GPS e livellazioni geodetiche.

L'intera regione alto-atesina è caratterizzata da una microsismicità confinata nella crosta superiore, sempre più frequente nel settore più interno della catena e concentrata lungo l'Engadina, la Valtellina e la Val Venosta. Nelle Alpi centrali sono conosciuti almeno 200 eventi di Magnitudo (Mw) compresa tra 2 e 4.9 nel periodo 1975-2008 (Note Illustrative del Foglio n. 013 Merano).

Uno dei più importanti eventi sismici si è verificato il 17-07-2001 con epicentro situato nei pressi di Merano. Nelle vicinanze dell'epicentro non si ricorda un evento della stessa energia negli ultimi 1000 anni (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - CPTI, Fig. 8.1).

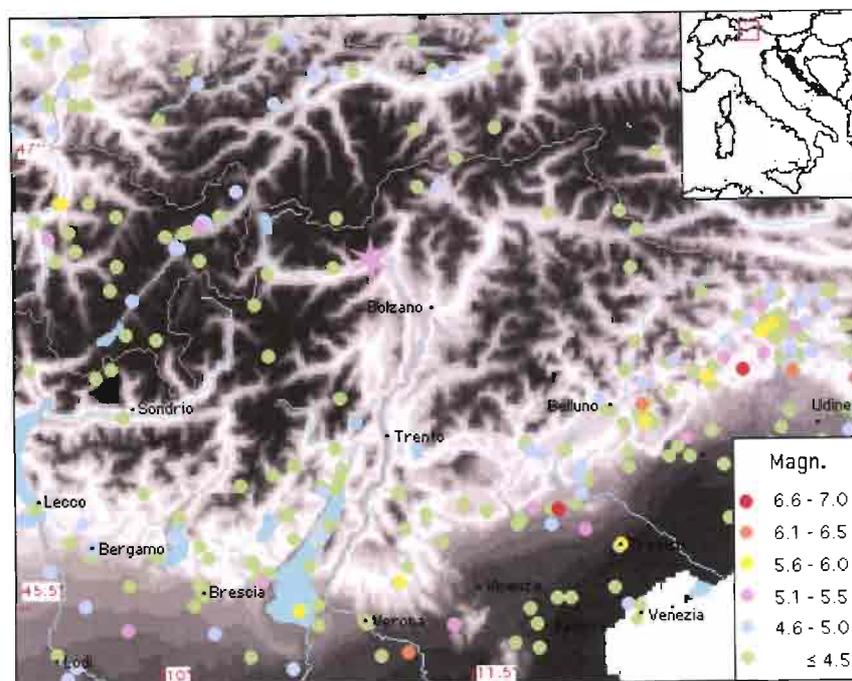


Fig. 8.1- Sismicità nell'area alto atesina secondo il Catalogo CPTI (il marker a forma di stella indica la localizzazione dell'evento del 17/07/2001)

Di seguito vengono elencati i dati relativi ai sismi storici (dal 1683 al 2001) più rilevanti nelle aree interessate dal progetto e/o i settori alpini più vicini (fonte res.italica).

n°	zona sismica	Prov.	Regione	data	ora UTC	MAG	LAT-LON
1)	Riolagundo	(BZ)	Trentino Alto Adige	17/07/2001	15:06:15	5,38	46.632, 11.055
2)	Geroli	(TN)	Trentino Alto Adige	13/09/1989	00:00:00	4,96	45.870, 11.172
3)	Castelbello	(BZ)	Trentino Alto Adige	25/01/1980	00:27:00	4,48	46.638, 10.879
4)	Righi	(TN)	Trentino Alto Adige	13/12/1976	05:24:00	4,89	45.894, 10.799
5)	Molveno	(TN)	Trentino Alto Adige	01/06/1975	13:25:56	4,63	46.200, 10.900
6)	Arco	(TN)	Trentino Alto Adige	20/06/1942	14:42:00	4,52	45.916, 10.882
7)	Peio	(TN)	Trentino Alto Adige	07/06/1937	22:02:00	4,71	46.343, 10.551
8)	Lardaro	(TN)	Trentino Alto Adige	14/04/1931	22:13:00	4,89	45.973, 10.665
9)	Stelvio	(BZ)	Trentino Alto Adige	21/05/1924	15:32:00	4,68	46.620, 10.552
10)	Vipiteno	(BZ)	Trentino Alto Adige	26/03/1924	17:08:33	5,22	46.900, 11.400
11)	Trafoi	(BZ)	Trentino Alto Adige	20/04/1907	13:25:00	4,66	46.512, 10.482
12)	Terme di Brennero	(BZ)	Trentino Alto Adige	14/09/1905	05:00:00	4,63	47.000, 11.500
13)	Racines	(BZ)	Trentino Alto Adige	19/06/1902	09:23:00	4,83	46.900, 11.300
14)	Nago-Torbole	(TN)	Trentino Alto Adige	22/05/1868	21:00:00	4,63	45.888, 10.869
15)	Sesto	(BZ)	Trentino Alto Adige	27/05/1862	01:20:00	4,83	46.740, 12.388
16)	Castel Condino	(TN)	Trentino Alto Adige	03/08/1851	00:00:00	4,96	45.938, 10.561
17)	Brunico	(BZ)	Trentino Alto Adige	01/09/1850	09:45:00	4,83	46.803, 11.951
18)	Molina di Ledro	(TN)	Trentino Alto Adige	28/07/1783	00:00:00	5,03	45.878, 10.808
19)	Lomaso	(TN)	Trentino Alto Adige	25/05/1683	00:00:00	5,00	46.024, 10.864

Nel complesso si tratta comunque di un'area a sismicità molto bassa.

Di seguito viene riportata la classificazione sismica dei comuni interessati dall'opera in progetto ai sensi nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Provinciale n. 4047 del 6.11.2006 della Provincia autonoma di Bolzano e con Decreto del Presidente della Provincia del 21 luglio 2009, n. 33: il territorio in parola risulta classificato in zona 4, ossia a pericolosità sismica molto bassa

Comune	Zona Sismica	Accelerazione max orizz. con probabilità di superamento del 10% in 50 anni
Fortezza, Varna, Bressanone, Velturmo, Laion, P. Gardena	4	$a_g < 0,05g$

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A	FOGLIO 41 di 268

## 9 GEOMORFOLOGIA

### 9.1 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE GENERALI DELL'AREA

L'elemento idrografico principale del territorio rilevato è rappresentato dal fiume Isarco, importante tributario di sinistra del secondo (per lunghezza) fiume italiano, l'Adige, in cui confluisce all'altezza di Bolzano. All'interno dell'area in studio i versanti che insistono sull'Isarco presentano una elevata acclività media; forma analoga hanno quelli che caratterizzano il rio Funes e il rio Scaleres, principali affluenti dell'Isarco nella zona indagata. Il paesaggio si presenta quindi caratterizzato da una elevata acclività media, con locali cambi di pendenza legati alla presenza di depositi fluvio-glaciali (Fig. 9-1).



Fig. 9-1 Versante in sinistra idrografica del fiume Isarco: è evidente il cambio di pendenza legato ai depositi fluvio-glaciali terrazzati.

Il fondovalle del fiume Isarco è caratterizzato da alluvioni da attive sino ad antiche, e allo sbocco delle maggiori valli ad esso trasversali si rilevano conoidi alluvionali. Per quanto riguarda le morfologie di tipo gravitativo si segnala una rilevante differenza tra il settore settentrionale e meridionale dell'area indagata; quest'ultimo appare infatti come un settore interessato da fenomeni franosi complessi, in particolare la parte a nord dell'abitato di Ponte Gardena (vedi oltre, Cap. 9-2); nella parte settentrionale i fenomeni di tipo franoso sono meno sviluppati e hanno dimensioni molto variabili, in alcuni casi comunque ragguardevoli (estesi fenomeni di crollo a sud di Fortezza, Fig. 9-2). Non trascurabili risultano le porzioni di territorio coperte da detrito di versante, che in alcuni casi sembra anche aver alimentato la formazione di colate riconducibili a meccanismi di debris-flow (Fig. 9-3). Questi ultimi depositi, in stato di quiescenza, sono stati osservati anche in prossimità di zone abitate, come Bressanone e Fortezza



Fig. 9-2 Frana per crollo a sud del paese di Fortezza.



Fig. 9-3 Depositi da *debris flow* sul versante settentrionale del Monte Bersaglio.

## 9.2 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DELLA ZONA DI PONTE GARDENA

Le gallerie delle interconnessioni di Ponte Gardena sono caratterizzate dall'interferenza legata al sottoattraversamento con ridotte coperture della Autostrada del Brennero A22. Allo scopo di dettagliare il contesto geologico-geomorfologico entro cui si verifica la suddetta interferenza, nell'areale in sinistra idrografica del F. Isarco compreso fra il fondovalle e le frazioni di Fontana, Ranzfruner e Tschangger i rilievi di campagna sono stati condotti non soltanto a scala 1:5000, ma in alcuni punti singolari anche a scala maggiore, 1:2000.

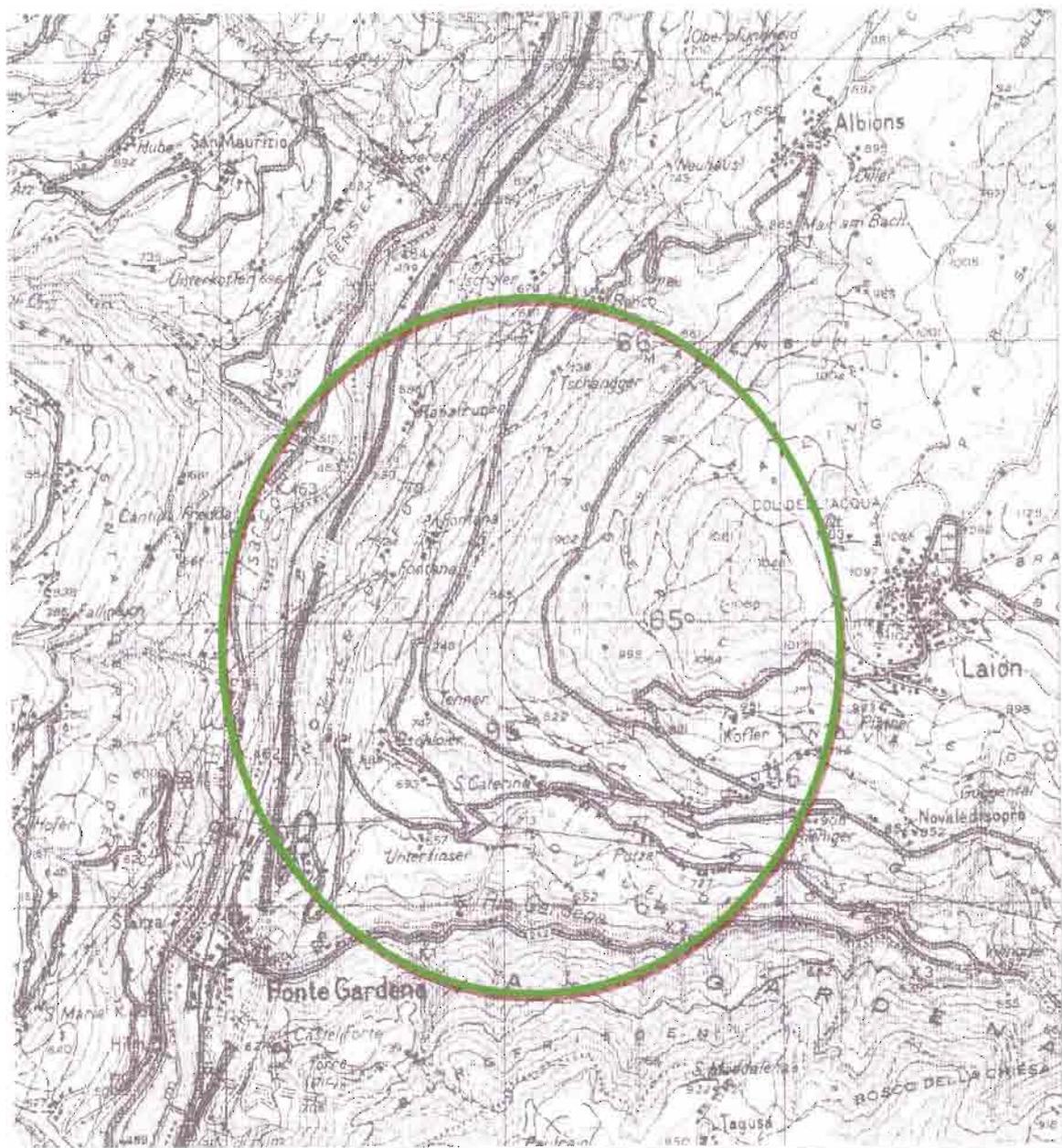


Fig. 9.4 – Inquadramento dell’area oggetto dell’approfondimento di studio (stralcio da cartografia 1:25000 IGM)

È stata inoltre effettuata una analisi fotogrammetrica multiscalare e multitemporale affiancata da una accurata analisi del nuovo modello digitale del terreno (DTM) della Provincia Autonoma di Bolzano ottenuto da immagini LIDAR ed stata eseguita una campagna geognostica ad hoc che ha compreso sia la realizzazione di sondaggi geognostici a carotaggio continuo e distruzione di nucleo, sia l’esecuzione di indagini geofisiche.

Nella figura e nella tabella seguente sono rappresentate le ubicazioni delle perforazioni eseguite, la tipologia, le relative profondità e la strumentazione installata, che è attualmente sottoposta a misure con frequenza mensile.

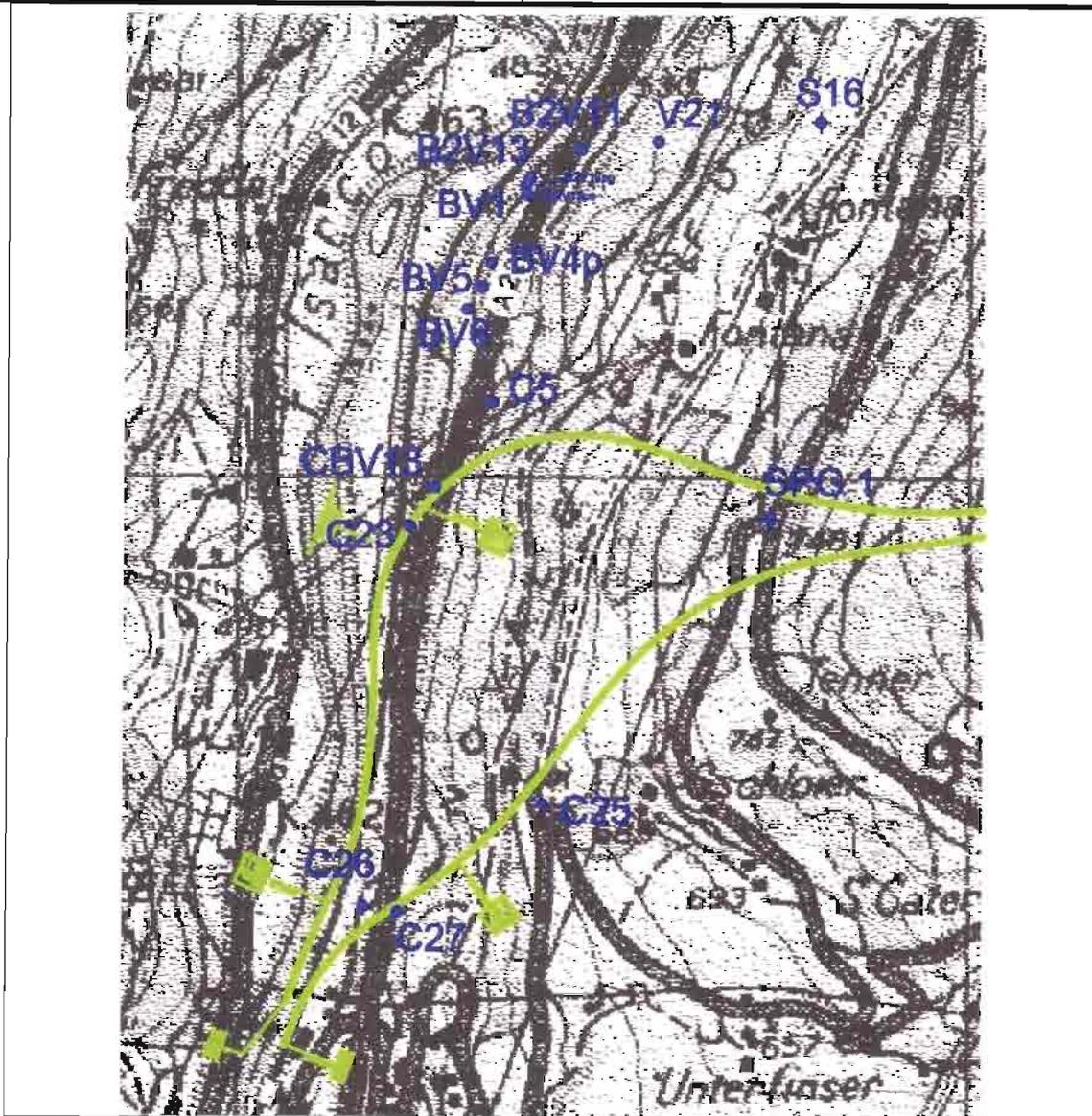


Fig. 9.5 – Ubicazione delle perforazioni eseguite nell'area di Ponte Gardena (scala 1:10000)

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A	FOGLIO 45 di 268

sondaggio	ubicazione	prof. (m)	tipologia	strumentazione
<b>S16</b>	circa 320m ad E di pila 10 Viad. Belprato2	205	carotaggio	piezometro
<b>V21</b>	circa 100 m ad E di pila 11 Viad. Belprato2	130	carotaggio	piezometro
<b>B2V11</b>	pila11 Viad. Belprato 2	70	carotaggio	inclinometro
<b>B2V13</b>	pila13 Viad. Belprato 2	70	carotaggio	inclinometro
<b>BV1</b>	pila1 Viad. Belprato	70	carotaggio	inclinometro
<b>BV4p</b>	pila4 Viad. Belprato	70	carotaggio	piezometro
<b>BV5</b>	pila6 Viad. Belprato	70	carotaggio	inclinometro
<b>BV6</b>	pila5 Viad. Belprato	65	carotaggio	inclinometro
<b>C5</b>	circa 45 m ad E di pila 10 Viad. Belprato	100	carotaggio	inclinometro
<b>C23</b>	circa 30 m a W di pila 15 Viad. Belprato	50	carotaggio	inclinometro
<b>CBV13</b>	pila 13 Viad. Belprato	80	carotaggio	inclinometro
<b>C25</b>	rilevato - località Novale	30	carotaggio	-
<b>C26</b>	rilevato - località Novale	40	carotaggio	-
<b>B2V13pg</b>	pila13 Belprato 2	63	distruzione	piezometro
<b>B2V13ps</b>	pila13 Belprato 2	30	distruzione	piezometro

Fig. 9.6 Caratteristiche delle perforazioni eseguite nell'area di Ponte Gardena.

Per quel che riguarda le indagini geofisiche nell'area sono state realizzati 18 profili di tomografia elettrica (lunghezza fino a 2100 m) e 13 profili sismici a rifrazione (lunghezza fino a 1100 m) (Fig. 9.7).

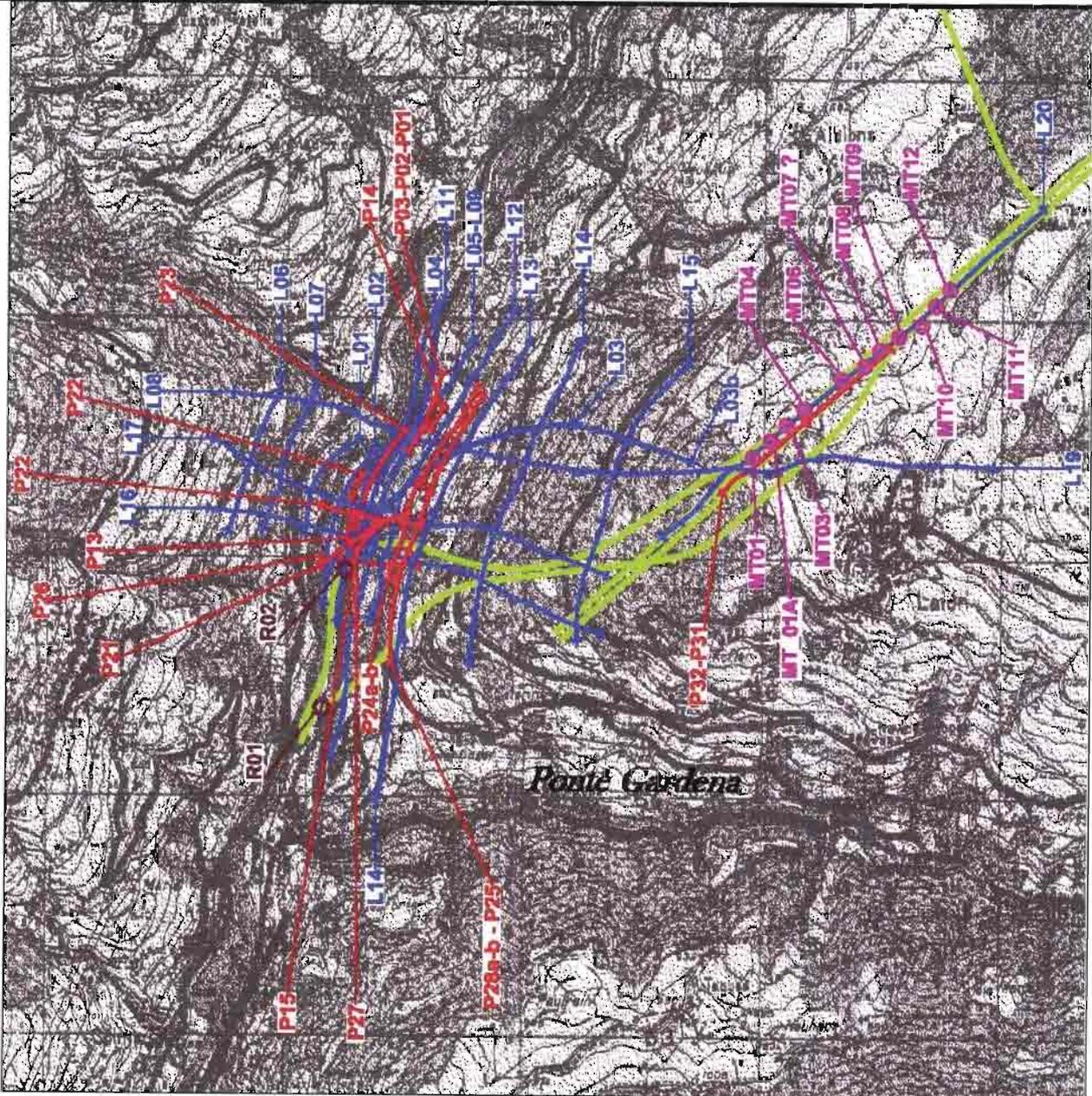


Fig. 9.7 – Ubicazione delle indagini geofisiche eseguite nell'area di Ponte Gardena: in rosso i profili sismici, in blu la tomografia elettrica (scala 1:25000)

L'elaborazione dei dati così raccolti ha consentito di sviluppare una interpretazione della struttura geologica e geomorfologica relativa alla parte di versante in esame.

Nell'area gli affioramenti si sono rivelati piuttosto sporadici e di ridotta estensione. Ciò nonostante si riconosce la presenza di un substrato metamorfico costituito dalle filladi dell'Unità di Bressanone, ad assetto coerente con il resto dell'area studiata, ossia caratterizzato da una generale direzione di immersione della scistosità principale verso il quadrante sud-est (giacitura media intorno a 150/30); sul terreno sono stati osservati almeno due sistemi principali di discontinuità, tra loro all'incirca ortogonali e mediamente orientati 300/80 e 40/85 riconosciuti successivamente anche dalle analisi dei dati telerilevati.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	47 di 268

### Modello strutturale fragile ed evoluzione geomorfologica.

L'area oggetto dell'approfondimento in parola rappresenta un tipico esempio di legame diretto tra struttura fragile e fenomeni geomorfologici. Essa infatti è stata interessata da una generale fratturazione legata al sollevamento della catena alpina; tale deformazione fragile è stata individuata dal rilevamento di campagna e riconosciuta come appartenente, sostanzialmente, ai due suddetti sistemi principali di fratturazione (N300/80 e N40/85).

L'ammasso roccioso sistematicamente e pervasivamente fratturato è stato interessato da fenomeni di erosione meccanica legati ai periodi glaciali alpini; tali fenomeni esogeni hanno interessato tutto l'arco alpino e hanno in generale contribuito alla deformazione e alterazione degli ammassi rocciosi. Successivamente al ritiro dei ghiacciai alpini, si è determinata una situazione di rilascio tensionale a carico delle masse rocciose costituenti i fianchi vallivi alpini in questo caso rappresentati dai versanti della valle del fiume Isarco e della valle del torrente Gardena. Tale fenomeno può portare a svincolare dalla propria posizione le porzioni più fratturate dell'ammasso roccioso, rendendo possibile, in alcuni casi, dei lenti movimenti verso le zone di basso morfologico.

Tale modello evolutivo quaternario appare attribuibile anche al settore in esame, sia attraverso l'analisi delle foto aeree e dei controlli effettuati in campagna, sia grazie all'ausilio del modello digitale del terreno ad alta risoluzione. Quest'ultimo presenta spiccati elementi riferibili alla struttura fragile del territorio, tipo lineamenti relativi a morfologie rettilinee, strette e continue valli e vallecicole, trincee più o meno ampie e scarpate strutturali; questi elementi danno al modello digitale una forma a blocchi evidentemente disgiunti l'uno dall'altro come visibile in Fig. 9.8. In Fig. 9.9 si evidenzia il settore centrale dell'area indagata, dove coesistono elementi morfologici tipici di un ammasso roccioso fratturato; in Fig. 9.10 vengono evidenziati gli elementi lineari interpretati sul modello digitale del terreno, che corrispondono a morfologie rettilinee e continue associabili a discontinuità sub-verticali presenti nell'ammasso roccioso.

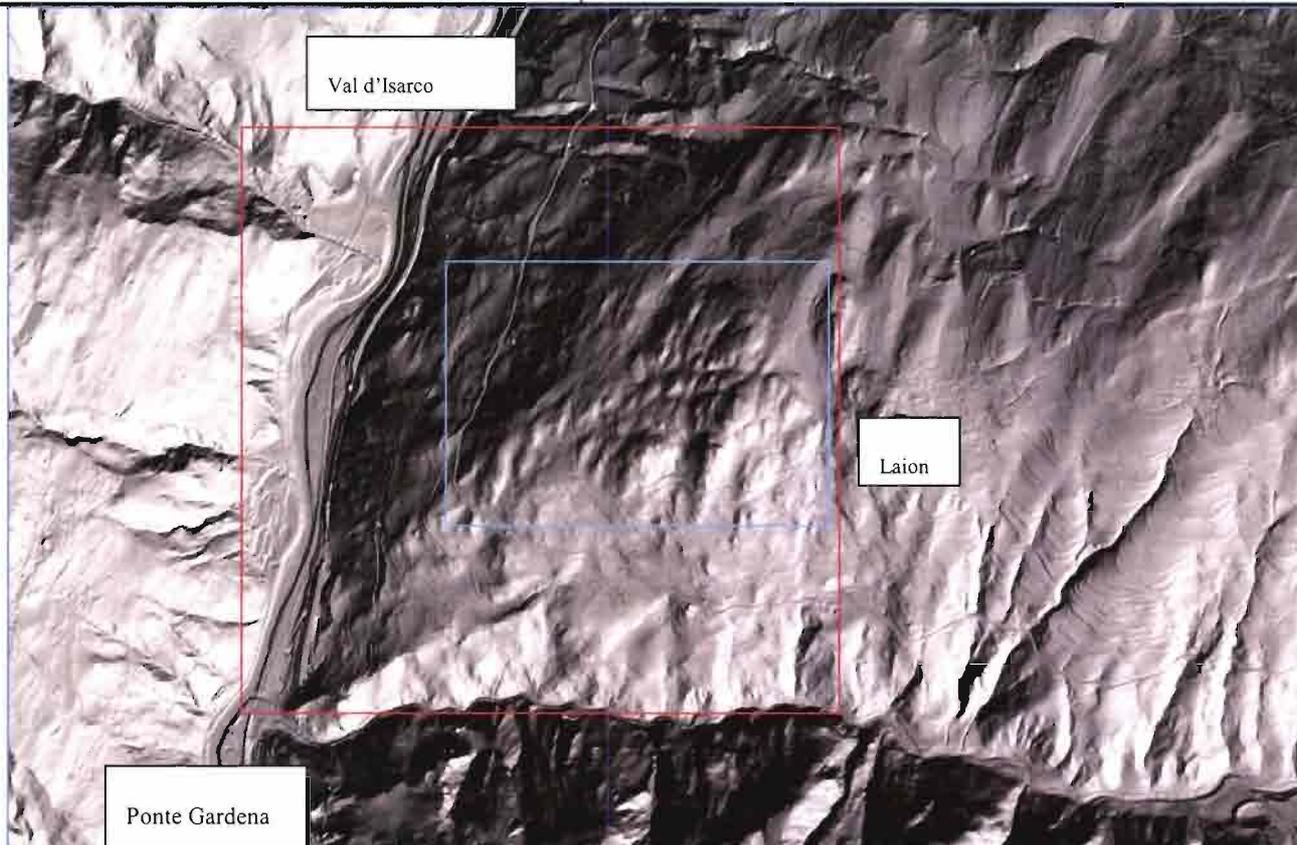


Fig. 9.8 – DEM dell'area indagata (rettangolo rosso), si evidenzia nel settore centrale la presenza di evidenti gibbosità legate alla struttura fragile del territorio. Il rettangolo azzurro rappresenta l'area mostrata nella figura 9.9.

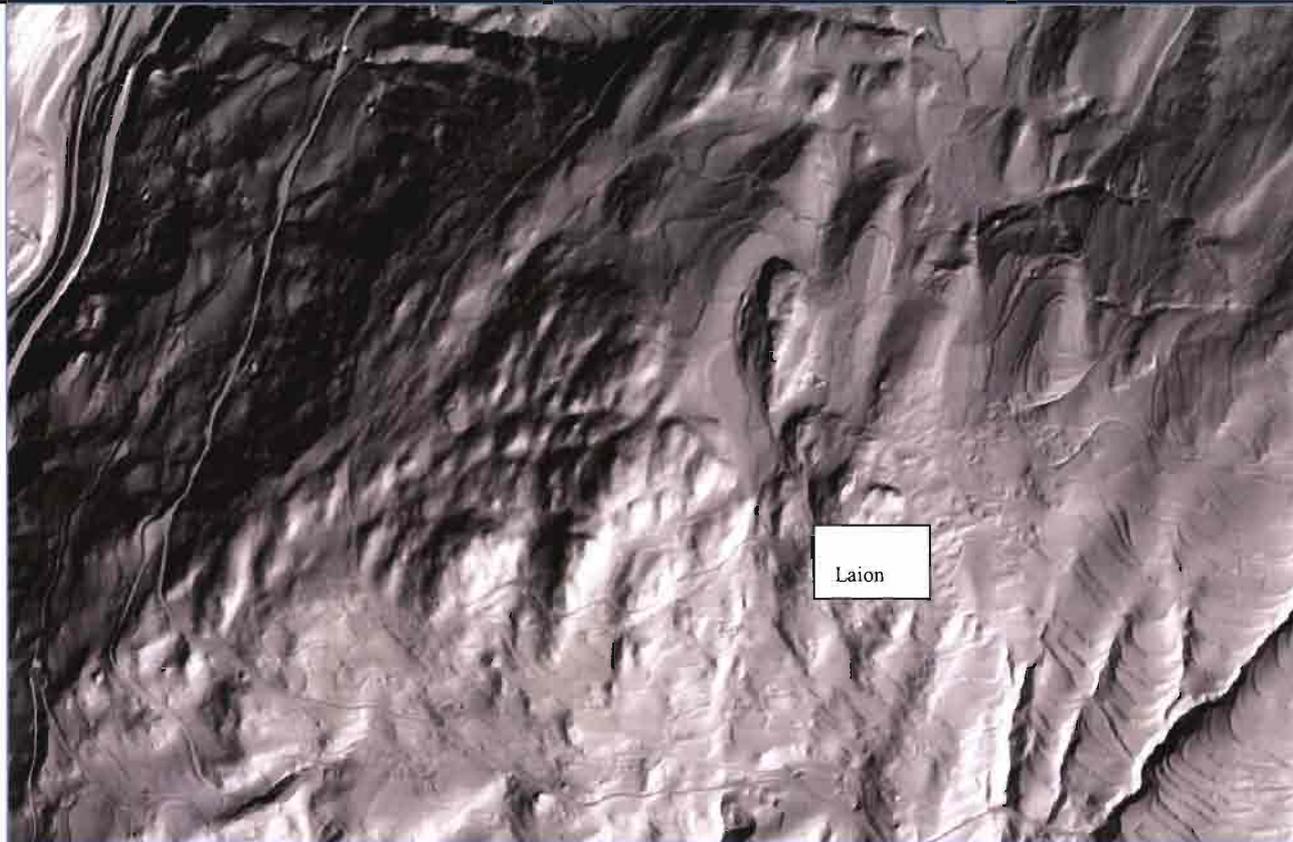


Fig. 9.9 – Particolare del settore centrale caratterizzato dagli elementi legati alla struttura fragile del territorio.

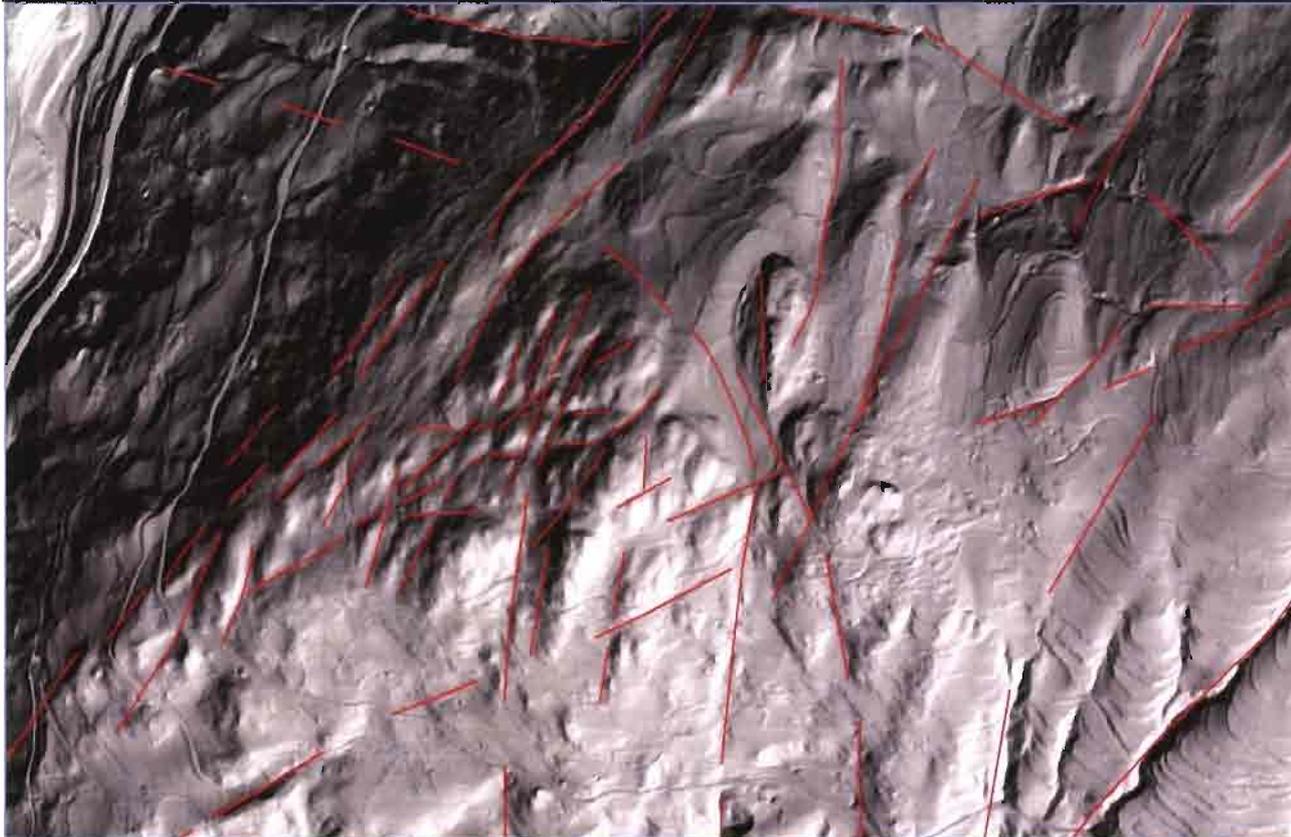


Fig. 9.10 – Particolare del settore centrale caratterizzato dagli elementi legati alla struttura fragile del territorio, con i lineamenti interpretati.

L'ammasso roccioso così fratturato e svincolato verso valle dall'assenza del ghiacciaio, avrebbe subito, per ogni singolo blocco, una serie di lenti movimenti di allontanamento e rotazione reciproca. Questi fenomeni di deformazione legati alla gravità che coinvolgono grandi masse di roccia senza un singolo e netto piano di scivolamento vengono definiti come DGPV (deformazioni gravitative profonde di versante).

Nell'area di studio il settore in deformazione si estende per 2 km da Ponte Gardena verso NE ed appare delimitato a nord e ad est da una superficie di frattura di notevole estensione immergente verso N210, inclinata di circa 60-70 gradi, che raggiunge sia la sinistra idrografica del fiume Isarco che la destra idrografica del Torrente Gardena, passando ad ovest di Laion con una evidente trincea ampia fino a 50-60 metri. Dal punto di vista dell'evoluzione non sono stati riscontrati elementi geomorfologici (ad es. scarpate e trincee fresche) che possano far pensare ad una recente e/o attuale attività.

Nelle sue porzioni più esterne, in particolare sul versante affacciato verso la valle d'Isarco, l'area interessata da DGPV presenta fenomeni franosi complessi molto estesi e di tipo quiescente. A supporto della classificazione e del riconoscimento di tali fenomeni franosi, sono state effettuate delle analisi multi scalari e multi temporali di riprese aeree relative agli anni 1959, 1986, 2006 e 2008. Tali confronti hanno permesso di riconoscere per tutto il range temporale di analisi le stesse tipologie di frana, sia per quanto riguarda le dimensioni che per quanto riguarda gli elementi geomorfologici di riconoscimento.



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	51 di 268

Per quanto riguarda l'analisi delle frane dal punto di vista evolutivo, l'insacco della fenomenologia, nella sua prima manifestazione, è da ricercarsi nella fase post-glaciale dovuta al generale collasso gravitativo causato dal ritiro del ghiacciaio, dal conseguente rilascio tensionale e dalla struttura fragile regionale che ne ha condizionato l'evoluzione: a ciò è da aggiungere l'erosione al piede del versante indotta in passato dal fiume Isarco, costretto ad una evidente deviazione verso sud-est dalla crescita della conoide del Rio degli Orli (tributario in destra idrografica dell'Isarco stesso).

Il distretto franoso suddetto si estende lateralmente per oltre 1 km e coinvolge un settore di versante di circa 350 metri di dislivello, a partire dal fondovalle fino ad una quota di circa 850 m s.l.m., andando ad interrompere la continuità morfologica del terrazzo fluvioglaciale localizzato a Nord di Ponte Gardena ubicato a quote comprese tra 600 e 700 m.s.l.m..

Il complesso deposito di frana può raggiungere, sulla base delle indagini geognostiche, una potenza dell'ordine di un centinaio di m. Al suo interno si riconoscono anche fenomeni di riattivazione in condizione quiescente: quelli più evidenti ed estesi sono stati individuati in corrispondenza di località Ranzfruner e sono costituiti da tre corpi distinti che sembrano presentare un generale aumento della competenza e quindi una diminuzione di caoticità procedendo verso sud. All'interno di queste riattivazioni si hanno arcc in movimento attivo, riconosciute attraverso il monitoraggio inclinometrico realizzato dalla A22.

Le indagini geognostiche appaiono confermare la natura complessa dei fenomeni osservati. Infatti nell'attività dei movimenti franosi sembrano individuabili almeno due fasi distinte, come ipotizzabile dal rinvenimento in un sondaggio (BV6) perforato all'interno del corpo di frana più esteso, di un livello di sabbie e micro-conglomerati di presumibile origine fluviale che separa sopra e sotto di esso due porzioni caotiche entrambe ascrivibili a depositi per frana. Per quanto riguarda la natura dei corpi franosi, dalle indagini geognostiche si evince la loro articolata e composita natura, con zone caotiche e difficili da definire, alternate a settori riconducibili a orizzonti rocciosi variamente fratturati e discontinui.

Per quel che riguarda i litotipi filladici di basamento, questi appaiono alle indagini dirette come un ammasso roccioso a luoghi più o meno integro e continuo, a luoghi invece con evidente incremento della fratturazione. Alle indagini indirette l'ammasso roccioso sembra caratterizzato da una strutturazione a megablocchi, contraddistinti da variabili proprietà in termini soprattutto di resistività elettriche; tale struttura, appare riconducibile, come precedentemente accennato, all'evoluzione morfostrutturale della zona.

In conclusione i dati raccolti in campagna, quelli derivati dalle analisi fotogrammetriche, lo studio dei modelli digitali del terreno, i risultati delle indagini geognostiche effettuate, hanno consentito di elaborare una interpretazione della struttura geologica relativa al substrato e dei fenomeni gravitativi che interessano la parte di territorio in esame. Questo risulta caratterizzato in sinistra Isarco da un complesso ed esteso fenomeno franoso quiescente, che mostra, in alcuni settori, fenomeni di riattivazione anch'essi quiescenti, più recenti. Tale fenomeno si è probabilmente sviluppato per la presenza di un grosso sistema di fratture a direzione N30-N50. Tale complesso franoso risulta costituire la porzione più esterna di una vasta area in deformazione gravitativa profonda di versante. Tale sistema avrebbe agito all'interno di un'area, a monte del paese di Ponte Gardena e limitata verso nord da una superficie di scollamento a inclinazione medio-alta e immersione verso N210, ove il deconfinamento degli ammassi rocciosi legato al ritiro delle lingue glaciali, sommato alla struttura fragile avrebbe determinato movimenti relativi di grandi blocchi disgiunti (movimenti gravitativi di massa - DGPV).

## 10 VALUTAZIONI SUL CONTENUTO MINERALOGICO DELLE ROCCE ANFIBOLITICHE E SULLA RADIOATTIVITA' NATURALE MISURATA

### 10.1 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE RISCHIO DA AMIANTO

Lo scopo di tale valutazione è quello di stimare l'esistenza o meno di possibili associazioni mineralogiche di tipo amiantifero o meglio di minerali fibrosi, tenendo comunque presente che tali tipologie sono riferibili solo a precise associazioni mineralogiche, quindi a determinate rocce e/o a determinate condizioni geologiche.

L'amianto raggruppa un insieme di fasi minerali (Fig. 10-1) che generalmente si presentano con struttura microcristallina e aspetto fibroso. Appartengono alla classe chimica dei silicati e alle serie mineralogiche del serpentino (crisotilo) e degli anfiboli (amosite, antofillite, actinolite, crocidolite e tremolite).

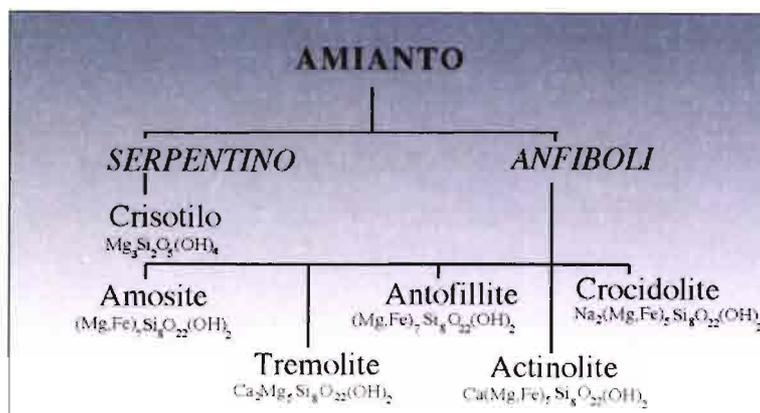


Fig. 10-1 Schema delle varietà mineralogiche dell'amianto (da <http://geologia-e.igg.cnr.it/GeologiaeSaluteText.htm>).

**Crocidolite:** è la varietà asbestiforme della riebeckite ed è commercialmente conosciuta come "amianto blu". Questo minerale si trova nei giacimenti caratterizzati da filoni incassanti su rocce con alto contenuto in ferro. Si forma in condizioni di bassa temperatura e pressione, comunque in condizioni di deformazione tettonica.

**Amosite:** è costituita da fibre aghiformi di colore grigio-bruno, il giacimento più conosciuto e commercialmente utilizzabile si trova nelle formazioni ferrifere metamorfiche sudafricane.

**Antofillite:** si tratta di amianto di colore grigio-azzurro, si forma comunemente nella zona di reazione tra corpi ultramafici (peridotiti serpentinnizzate) e rocce incassanti. L'antofillite è un anfibolo orto rombico che, durante il metamorfismo regionale, non appare generalmente in facies di scisti verdi ma nella facies anfibolitica.

**Actinolite:** è un amianto di colore grigio-olivastro ed è caratteristico di rocce ultrabasiche di metamorfismo regionale di basso grado. Questo minerale, associato ad epidoto e clorite, è un comune prodotto del metamorfismo di bassa temperatura di rocce basaltiche.

**Tremolite:** è un amianto di colore grigio-chiaro, si trova in rocce di metamorfismo di contatto e regionale. Nelle dolomie impure, sottoposte a metamorfismo termico, la tremolite si forma precocemente per reazione tra dolomite



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	53 di 268

e quarzo. E' comunque caratteristica di rocce ultrabasiche di metamorfismo regionale di basso grado, come gli scisti a tremolite-talco.

Crisotilo: è un amianto di colore bianco e rappresenta una modificazione polimorfa, a struttura fibrosa, del serpentino. Si forma dalla trasformazione idrotermale retrograda di rocce ultrabasiche, oppure per metamorfismo progrado di una serpentinite.

Come è noto da letteratura l'amianto è un minerale dinamometamorfico, ossia che si genera da prevalente metamorfismo legato a deformazione, da rocce prevalentemente serpentinite e comunque da rocce magmatiche basiche. Si tratta di tipologie di rocce assai poco rappresentate nell'area indagata, che si rinvenivano in misura limitata nel settore centrale dell'area indagata, nei pressi della bassa Val di Funes e nei dintorni del paese di Gudon.

Le rocce affioranti in questo settore sono costituite da rocce basiche metamorfosate, cartografate come "Anfiboliti". Tali rocce, alla mesoscala non presentano nessun elemento mineralogico che appaia associabile a minerali di tipo fibroso. Allo scopo di confermare quanto osservato alla scala dell'affioramento, sono state effettuate analisi al microscopio di sezioni sottili estratte dai campioni più incerti dal punto di vista classificativo; fra i vari siti campionabili solo in 2 casi (campione n. 60 e n. 68 ) si è ritenuto opportuno procedere con l'analisi microscopica, poiché negli altri casi era da escludere, sia dal punto di vista mineralogico che dal punto di vista del grado di alterazione, qualsiasi possibilità di riconoscere minerali asbestiformi. Questi campioni, per quanto detto prima sulla genesi dei minerali del gruppo dell'amianto, sono stati scelti su basi geologico-strutturali (rocce che hanno interagito in fase pre-orogena e durante le fasi deformative).

#### *Descrizione sintetica dei campioni 60 e 68*

Si tratta di due campioni presi a qualche centinaio di metri di distanza l'uno dall'altro, che mostrano comunque una certa affinità essendo costituiti essenzialmente da una roccia metamorfica derivante da protolite magmatico basico. In tutti e due i casi sono state osservate associazioni di biotite a struttura sfibrata e plagioclasio con percentuali simili (dell'ordine del 45% circa); la parte rimanente è risultata di difficile interpretazione perché molto alterata.

Nell'insieme dunque le osservazioni alla mesoscala e le analisi microscopiche portano ad escludere la presenza di minerali fibrosi del gruppo dell'amianto e delle sue varietà mineralogiche, all'interno dei litotipi afferenti alla formazione delle "Anfiboliti". Tale unità peraltro, in base ai risultati dello studio geologico condotto, non appare neanche coinvolta negli scavi delle gallerie in progetto.

## 10.2 MISURE DI RADIOATTIVITA' NATURALE

Allo scopo di caratterizzare dal punto di vista del contenuto radioattivo naturale le rocce affioranti lungo il tracciato in progetto, sono state effettuate delle misure e delle analisi sul contenuto di radioattività naturale presente nei litotipi all'interno dell'area indagata. In particolare le misure sono state effettuate con l'ausilio di spettrometri gamma ed hanno interessato gli isotopi dell'uranio ( $^{238}\text{U}$ ), del torio ( $^{232}\text{Th}$ ) e del potassio ( $^{40}\text{K}$ ).

I contenuti di  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{40}\text{K}$ , per quanto riguarda i materiali naturali come le rocce e i suoli, possono variare considerevolmente al variare della litologia e delle caratteristiche geochimiche di questi materiali. La radioattività naturale totale dipende dal contenuto di questi isotopi all'interno delle rocce analizzate, che per l'80% del

territorio sono costituite da rocce metamorfiche di tipo filladico e per il restante da rocce magmatiche intrusive, in particolare da graniti. L'area è stata investigata per la caratterizzazione del contenuto radioattivo delle litologie presenti lungo il tracciato di progetto attraverso l'uso di spettrometria gamma ad alta risoluzione. Le misure di radioattività naturale delle rocce affioranti sono state effettuate seguendo due metodi distinti, il primo direttamente in campagna con uno strumento portatile, particolarmente importante come "survey test", il secondo attraverso misure effettuate in laboratorio su 29 campioni raccolti all'interno dell'area indagata.

### 10.2.1 SURVEY TEST CON STRUMENTO PORTATILE

Le misure effettuate con lo strumento portatile hanno valore indicativo perché sono affette da un'incertezza significativa. Questo tipo di misura presenta comunque un ottimo risultato per quanto riguarda il survey di screening, dove con una misura veloce (5 min) vengono riconosciute e discriminate direttamente in campagna le litologie con un contenuto relativo più alto (rispetto alla media della crosta terrestre superiore 33 +/- 7 Bq/kg; 43 +/- 4 Bq/kg; 727 +/- 60 Bq/kg rispettivamente per 238U; 232Th e 40K) di radioattività.

Fig. 10-2 Caratterizzazione in-situ delle abbondanze di 40K, 238U and 232Th nelle diverse litologie (K viene misurato in % di massa perché relativamente più abbondante).

litologia	# misure	40K ± σK (%)	238U ± σU (μg/g)	232Th ± σTh (μg/g)
granito	5	3.6 ± 0.6	3.3 ± 0.4	14.4 ± 2.9
fillade	4	1.6 ± 0.3	2.9 ± 0.5	13.5 ± 1.5
gabbro	2	0.8 ± 0.4	0.6 ± 0.3	2.3 ± 1.4
diorite	2	4.2 ± 0.1	4.0 ± 0.1	17.7 ± 3.1
cornubianite	2	2.2 ± 0.3	2.9 ± 0.2	17.8 ± 7.3
anfibolditi	2	0.7 ± 0.1	0.5 ± 0.1	1.9 ± 0.1

Fig. 10-3 Caratterizzazione in-situ delle concentrazioni dell'attività media di 40K, 238U and 232Th nelle diverse litologie.

litologia	# misure	40K ± σK (Bq/kg)	238U ± σU (Bq/kg)	232Th ± σTh (Bq/kg)
granito	5	1123.2 ± 189.6	41.3 ± 5.5	58.6 ± 11.7
fillade	4	500.7 ± 88.6	35.4 ± 6.7	54.8 ± 5.9
gabbro	2	262.6 ± 138.1	7.4 ± 3.2	9.4 ± 5.8
diorite	2	1316.8 ± 44.7	49.3 ± 0.9	71.9 ± 12.8
cornubianite	2	691.4 ± 93.0	36.2 ± 2.2	72.3 ± 29.6
anfibolditi	2	208.5 ± 7.5	5.8 ± 1.5	7.9 ± 0.5

### 10.2.2 SPETTROMETRO GAMMA AD ALTA RISOLUZIONE

Per misurare la concentrazione dell'attività dei radio-elementi naturali è stata impiegata la spettrometria gamma ad alta risoluzione MCA\_Rad; questo apparato è costituito da due rivelatori affacciati al germanio iperpuro (HPGe) tipo n (60% eff. relativa), aventi una risoluzione energetica di circa 1.9 keV a 1332 keV (60Co). Grazie ad una schermatura in piombo e rame, ad un'elevata efficienza e alla geometria simmetrica, l'MCA\_Rad è in grado di realizzare misure di attività assoluta con un errore sistematico minore del 5%. Le specifiche tecniche del sistema e la procedura di analisi risultano conformi alle raccomandazioni dello standard ANSI N42.14-1999<sup>1</sup> e compatibili con la norma UNI 10797:1992. I campioni di rocce sono stati frantumati ed omogeneizzati, il contenuto è stato confezionato in un contenitore di un volume di 200 cc e lasciato chiuso per circa 4 settimane, affinché il <sup>222</sup>Rn raggiungesse l'equilibrio secolare con <sup>226</sup>Ra, prima di essere stati misurati per 1 ora (Figura 10-4 e 10-5).

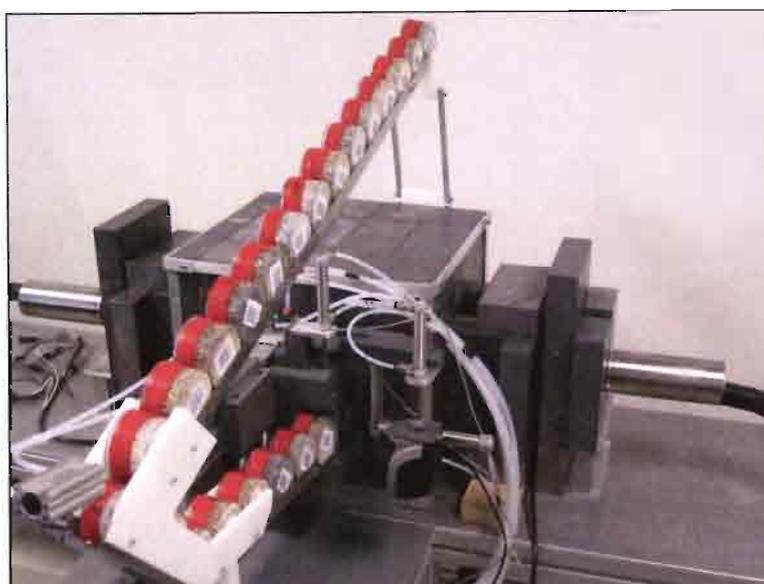


Fig. 10-4 Spettrometro gamma ad alta risoluzione MCA\_Rad (INFN Padova)

<sup>1</sup> UNI 10797:1999 "Radionuclidi naturali nei materiali da costruzione. Determinazione mediante spettrometria gamma ad alta risoluzione".

<sup>2</sup> UNI 10797:1999 "Radionuclidi naturali nei materiali da costruzione. Determinazione mediante spettrometria gamma ad alta risoluzione".

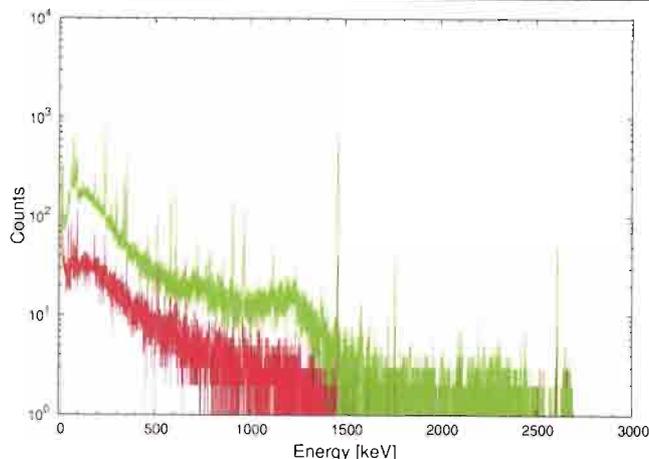


Figura 10-5. Spettro misurato con MCA\_Rad per 1 ora dove si riporta un campione di anfiboliti e un campione di granito.

### 10.2.2.1 Risultati e conclusioni

In Fig. 10-6 è riassunta la concentrazione dell'attività media e l'incertezza rispettiva pesata e stimata tramite simulazione “Monte-Carlo”. Il metodo di Monte Carlo consiste nel ricercare la soluzione di un problema rappresentandola quale parametro di una ipotetica popolazione e nello stimare tale parametro tramite l'esame di un campione della popolazione ottenuto mediante sequenze di numeri casuali. Il metodo Montecarlo è una procedura numerica usata in fisica per riprodurre lo stato di un sistema. In generale questo metodo permette di generare eventi secondo un'opportuna distribuzione di probabilità, quindi può essere applicato a qualsiasi fenomeno di cui si conosca la probabilità di occorrenza.

Per ottenere la deviazione standard della media, sono state generate delle matrici con 105 valori pseudo-casuali, utilizzando i parametri individuali delle misure (le misure K, U, Th e il rispettivo  $\pm 1\sigma$ ).

Figura 10-6 Attività specifica media ( $\pm 1\sigma$ ) e valore minimo e massimo (in parentesi) per le varie litologie studiate con il rispettivo numero di campioni analizzati.

Litologia	Nr. campioni	$^{40}\text{K} \pm \sigma\text{K}$	$^{238}\text{U} \pm \sigma\text{U}$	$^{232}\text{Th} \pm \sigma\text{Th}$
		(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)
anfiboliti	3	$51 \pm 11$ (44 - 63)	$5 \pm 3$ (2* - 7)	$2 \pm 3$ (< 3*)
gabbro	4	$336 \pm 29$ (300 - 369)	$9 \pm 7$ (2* - 16)	$12 \pm 10$ (4* 23)
fillade	4	$363 \pm 71$	$34 \pm 9$	$52 \pm 3$

		(260 - 413)	(24 - 45)	(51 - 54)
cornubianite	3	<b>521 ± 216</b> (354 - 764)	<b>30 ± 3</b> (27 - 32)	<b>64 ± 26</b> (42 - 93)
porfiroidi	4	<b>541 ± 56</b> (460 - 576)	<b>24 ± 2</b> (23 - 25)	<b>35 ± 4</b> (30 - 36)
diorite	5	<b>1071 ± 613</b> (135 - 1693)	<b>33 ± 19</b> (2 - 51)	<b>42 ± 23</b> (2* - 57)
granito	6	<b>901 ± 341</b> (360 - 1199)	<b>37 ± 10</b> (22 - 47)	<b>61 ± 13</b> (43 - 81)

\* valori corrispondenti all'attività minima rivelabile

Considerando che il contenuto dell'attività media mondiale nella crosta continentale superiore è  $33 \pm 7$  Bq/kg,  $43 \pm 4$  Bq/kg e  $727 \pm 60$  Bq/kg rispettivamente per  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  possiamo evidenziare che i valori ottenuti sono comparabili o inferiori entro  $1\sigma$ . Le anfiboliti e il gabbro mostrano valori più piccoli entro  $2\sigma$  per K, U e Th. Si evidenzia che mediamente per la media delle litologie studiate il 68.3% ( $1\sigma$ ) dei dati si trovano entro il 50% del valore medio. La larghezza di questa distribuzione è legata inoltre alla bassa statistica campionata. I valori medi misurati del potassio nelle dioriti e nel granito e di torio nelle cornubianiti, nel granito e nelle dioriti mostrano dei valori centrali più alti, comuni per le litologie di origine ignea (dioriti e granito) o metamorfiche (cornubianiti).

Figura 10-7 Attività specifica (in Bq/kg) ed incertezza della misura per ogni campione misurato con la relativa litologia ed le coordinate del campionamento.

litologia	Latitude/Longitude	$^{40}\text{K} \pm \sigma\text{K}$ (Bq/kg)	$^{238}\text{U} \pm \sigma\text{U}$ (Bq/kg)	$^{232}\text{Th} \pm \sigma\text{Th}$ (Bq/kg)
anfiboliti	N46°38'56" E11°36'09"	47 ± 3	2*	2*
anfiboliti	N46°38'53" E11°35'45"	44 ± 6	6 ± 1	3*
anfiboliti	N46°38'53" E11°35'45"	63 ± 6	7 ± 1	1*
diorite? aplite?	N46°39'36" E11°35'48"	1693 ± 25	44 ± 2	54 ± 3
diorite? aplite?	N46°39'36" E11°35'48"	1546 ± 22	51 ± 2	57 ± 3
diorite	N46°42'20" E11°38'47"	1017 ± 19	36 ± 2	54 ± 3
diorite	N46°45'39" E11°36'24"	964 ± 19	33 ± 2	42 ± 3
diorite	N46°39'06" E11°35'24"	135 ± 6	2 ± 1	2*

Descrizione	Coordinate	Valore	Valore	Valore
cornubianite	N46°42'11"	354 ± 13	30 ± 2	93 ± 3
cornubianite	N46°45'39" E11°36'24"	444 ± 13	32 ± 2	42 ± 2
cornubianite	N46°46'04" E11°36'47"	764 ± 16	27 ± 2	57 ± 3
fillade quarzifera	N46°44'39" E 11°37'11"	404 ± 13	24 ± 2	51 ± 3
fillade	N46°39'45" E11°35'56"	413 ± 13	37 ± 2	54 ± 3
fillade	N46°39'45" E11°35'56"	376 ± 13	32 ± 2	52 ± 3
fillade	N46°39'45" E11°35'56"	260 ± 9	45 ± 2	52 ± 3
gabbro	N46°45'49" E11°36'01"	369 ± 13	14 ± 1	17 ± 2
gabbro	N46°45'49" E11°36'01"	300 ± 9	16 ± 1	23 ± 2
gabbro	N46°40'05" E11°35'53"	341 ± 9	2*	5 ± 1
gabbro	N46°40'05" E11°35'53"	335 ± 9	4 ± 1	4*
granito	N46°46'54" E11°37'02"	1049 ± 19	43 ± 2	56 ± 3
granito	N46°47'04" E11°36'45"	360 ± 13	22 ± 1	43 ± 3
granito	N46°46'25" E11°37'44"	604 ± 16	47 ± 2	81 ± 3
granito	N46°46'30" E11°37'30"	1199 ± 19	29 ± 2	63 ± 3
granito	N46°46'32" E11°37'26"	1011 ± 19	33 ± 2	58 ± 3
granito	N46°46'04" E11°36'47"	1180 ± 22	46 ± 2	71 ± 3
porfiroidi?	N46°38'55" E11°36'50"	557 ± 16	23 ± 2	30 ± 2
porfiroidi?	N46°38'55" E11°36'50"	460 ± 13	25 ± 2	36 ± 2
porfiroidi?	N46°38'55" E11°36'50"	570 ± 16	25 ± 2	36 ± 2
porfiroidi?	N46°38'55" E11°36'50"	576 ± 16	25 ± 2	36 ± 2

\* valori corrispondenti all'attività minima rivelabile

#### 10.2.2.2 Valutazioni sui materiali di escavazione

La Direttiva (89/106/CEE del 21 Dicembre 1988) del Consiglio d'Europa prescrive una linea guida per gli Stati Membri in modo da garantire la certificazione del marchio di conformità "CE". Nel'Allegato I, Paragrafo 3 vengono descritti i requisiti essenziali di Igiene, Salute ed Ambiente, richiedendo il controllo dell'emissione di radiazioni pericolose. La Direttiva COM(2011) 593 del 29 Settembre 2011, nel Articolo 75 "Prodotti da costruzione" definisce nel Paragrafo 2, Allegato VII, l'indice di radioattività "activity concentration index, ACI" per il controllo all'esposizione umana dai raggi gamma provenienti dai radionuclidi di origine naturale <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th e <sup>40</sup>K, utilizzando la seguente formula:

$$ACI = \frac{C_{226Ra}}{300 \text{ Bq/kg}} + \frac{C_{232Th}}{200 \text{ Bq/kg}} + \frac{C_{40K}}{3000 \text{ Bq/kg}}$$

dove le concentrazioni di attività dei radionuclidi  $C_{226Ra}$ ,  $C_{232Th}$  e  $C_{40K}$  sono espresse in Bq/kg. In particolare i prodotti da costruzione vengono classificati in base al loro utilizzo secondo l'indice ACI come descritto nella matrice:

Categoria (dose limite corrispondente*)	Tipo di prodotto 1 Materiale utilizzato in grandi quantità "bulk" (calcestruzzo, mattoni ...)	Tipo di prodotto 2 Materiale utilizzato in quantità ristretta o superficiale (piastrella, bordi...)
A ( $\leq 1$ mSv/y)	per ACI $\leq 1$ categoria <b>A1</b>	per ACI $\leq 6$ categoria <b>A2</b>
B ( $> 1$ mSv/y)	per ACI $> 1$ categoria <b>B1</b>	per ACI $> 6$ categoria <b>B2</b>

\* secondo Dlgs. 17 Marzo 1995, N. 230, Allegato IV, Paragrafo 7.1 il limite di dose efficace per gli individui della popolazione e' stabilito in 1 mSv per anno solare.

In particolare i prodotti da costruzione classificati nella categoria A sono esenti da restrizioni per quanto riguarda l'esposizione dai raggi gamma emessi negli ambienti indoor.

L'Italia ha recepito in principio la Direttiva (89/106/CEE del 21 Dicembre 1988) del Consiglio Europeo con Decreto del Presidente della Repubblica N. 246 del Aprile 1993, senza fissare il limite relativo alla presenza di radioattività nei prodotti da costruzione.

In tabella 2 sono rappresentati i valori di ACI calcolati per le 7 litologie con la deviazione standard rispettivo.

Figura 10-8. ACI e incertezza calcolata per ogni litologia, con la rispettiva categoria.

Litologia	ACI $\pm \sigma$ ACI	Categoria
anfiboliti	0.04 $\pm$ 0.02	<b>A1; A2</b>
gabbro	0.20 $\pm$ 0.06	
fillade	0.49 $\pm$ 0.04	
cornubianite	0.59 $\pm$ 0.15	

porfiroidi	$0.44 \pm 0.03$	
diorite	$0.68 \pm 0.24$	
granito	$0.73 \pm 0.14$	

Le litologie studiate sono classificate entro  $1\sigma$  in categoria A1 ( $ACI < 1$ ) e categoria A2 ( $ACI < 6$ ), esente da restrizioni per l'uso in quantità "ristretta o superficiale" e come materiale "bulk" per quanto riguarda l'esposizione dai raggi gamma emessi negli ambienti indoor/outdoor.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	<b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A	FOGLIO 61 di 268

## 11 DESCRIZIONE GEOLOGICA DEL TRACCIATO

La ricostruzione delle caratteristiche geologiche del sottosuolo interessato delle opere in progetto è rappresentata nei profili geologici che accompagnano la presente relazione.

Sono stati realizzati i seguenti profili geologici:

- profilo geologico in asc binario dispari del tracciato di linea;
- profilo geologico delle interconnessioni di Fortezza;
- profilo geologico delle interconnessioni di Ponte Gardena;
- profilo geologico delle finestre di Aica;
- profilo geologico della finestra di Albes;
- profilo geologico della finestra di Chiusa;

I profili (ai quali si rimanda per una migliore comprensione di quanto di seguito esposto) costituiscono una ricostruzione interpretativa ottenuta integrando i dati di terreno con i risultati delle indagini geognostiche. È opportuno segnalare che in assenza di indagini l'extrapolazione del dato superficiale nel sottosuolo può essere affetta da un livello di errore che tende a crescere in relazione alla complessità geologica e all'aumentare della profondità cui il dato viene proiettato. In quest'ottica il profilo deve essere letto come una immagine del sottosuolo che ne esprime ragionevolmente le caratteristiche e nell'insieme la complessità, pur tuttavia con un margine di aleatorietà che si incrementa all'aumentare degli spessori coinvolti nella ricostruzione e all'aumentare della distanza dai punti di indagine.

Sui profili sono stati riportati oltre ai lineamenti strutturali rilevati sul terreno anche quelli interpretati da analisi fotogrammetrica distinti in evidenti e incerti (non evidenti), estrapolati cautelativamente fino a quota galleria. Per pesare il modello geostrutturale e ai fini delle considerazioni idrogeologiche di cui si dirà nei capitoli successivi sono state definite due classi relative alle dimensioni lineari della porzione di ammasso roccioso fratturato nell'intorno del lineamento osservato e/o interpretato. Tale spessore è nella realtà molto variabile essendo legato a vari fattori come la tipologia del lineamento, la tipologia del movimento nel caso in cui esistano indicatori cinematici, l'importanza del lineamento riferito alla deformazione principale e l'interazione con le litologie interessate alla deformazione. Sulla base delle osservazioni di campagna, sono state definite due classi relative alle dimensioni lineari della porzione di ammasso roccioso fratturato nell'intorno del lineamento osservato e/o interpretato. Si è così scelto di associare uno spessore lineare di 50 metri a cavallo dei lineamenti osservati durante il rilevamento di campagna e dei lineamenti considerati come evidenti nell'interpretazione fotogrammetrica, mentre è stato associato uno spessore di 20 metri ai lineamenti poco evidenti derivanti dall'interpretazione fotogrammetrica.

## 11.1 Tracciato di linea

Il tracciato si sviluppa inizialmente, fino alla pk 0+550 circa, all'aperto, sui depositi alluvionali recenti costituiti da ghiaie e sabbie, lambendo, circa all'altezza di pk 0+375, alcuni depositi tipo debris flow (Fig. 11-1); proseguendo verso sud il tracciato intercetta la massa intrusiva granitica di Bressanone ed entra in galleria (Galleria Scaleres).

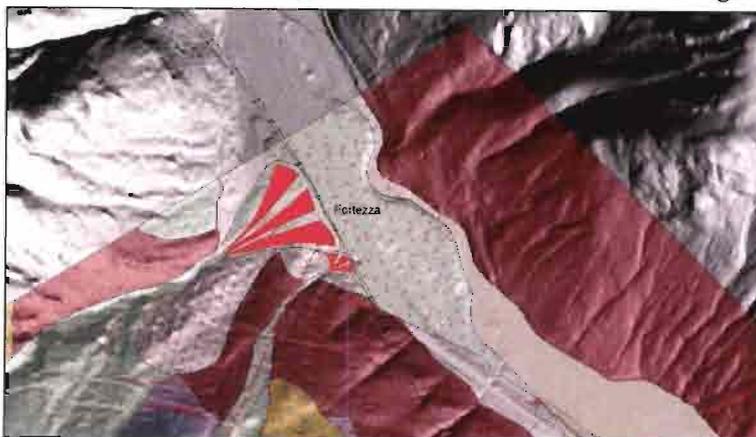


Fig. 11-1 Parte iniziale del tracciato in progetto: tratto su depositi alluvionali (sfondo azzurro con pallini rossi) e nel Granito di Bressanone (rosso scuro); l'immagine è stata estratta da drappaggio dei poligoni geologici su hillshade ricavato da DEM\_Lidar.

Il granito è caratterizzato in affioramento da sistemi di frattura pervasivi che in alcuni casi sviluppano movimenti di tipo diretto o comunque mostrano spostamenti di aperture superiori al metro; almeno tre sono i sistemi di discontinuità individuati; i lineamenti principali hanno una direzione media verso NE e sono sub-verticali.

Successivamente la galleria intercetta il passaggio tra il Granito di Bressanone e le Filladi Quarzifere (Fig. 11-2): il contatto è marcato da una discontinua e variabile fascia di rocce termometamorfiche (cornubianiti), della quale risulta difficile stabilire uno spessore medio e ancor più interpretarne lo sviluppo profondo. Di conseguenza il passaggio in questione, posto sul profilo attorno alla pk 3+200 sotto coperture di diverse centinaia di m, deve essere considerato come affetto da un non indifferente margine di incertezza.



Fig. 11-2 Tratto relativo al passaggio tra Granito di Bressanone (rosso scuro) e cornubianiti (puntinato rosso su sfondo grigio).

Oltrepassato questo settore il tracciato coinvolge esclusivamente le rocce metamorfiche appartenenti alla formazione delle Filladi Quarzifere fino a sud dell’abitato di Velturmo; in superficie le filladi affiorano con direzione di inclinazione variabile da N150 sino a N210 con inclinazioni che diminuiscono gradualmente verso i settori meridionali.

Sino all’altezza della Val Scaleres (pk circa 6+100) le filladi sono caratterizzate in affioramento dai medesimi sistemi di frattura presenti nella zona di Fortezza; più a sud la direzione dei principali sistemi di frattura sembra ruotare (Fig. 11-3), di alcune decine di gradi in senso antiorario, orientandosi verso NW nelle aree comprese tra Bressanone e Velturmo.

La Val Scaleres in particolare è caratterizzata da una serie di fratture sub verticali appartenenti a due sistemi principali di discontinuità, una a direzione N50 e l’altra a direzione N140; questi lineamenti, legati a deformazione neotettonica fragile, riconosciuti sia dall’analisi fotogrammetrica che dai rilevamenti di campagna, possono presentare, alla scala dell’affioramento, aperture superiori ai 3 metri. Nel sottoattraversamento di questa valle, che come si vedrà in seguito costituisce anche importante elemento dal punto di vista idrogeologico, si può ipotizzare il coinvolgimento negli scavi di zone particolarmente fratturate.



Fig. 11-3 Tratto compreso nelle Filladi Quarzifere con cambio della direzione delle principali fratture.

A sud della Val Scaleres nei pressi di Tiles, all’incirca tra pk 7+800 e 9+400 sembrano invece importanti una serie di fratture a direzione N120 con immersione verso NE ed inclinate di circa 50-60 gradi.

La galleria Scaleres continua ad interessare i litotipi filladici finchè, in prossimità dello sbocco sulla Val d’Isarco, all’altezza della pk 15+700 circa, intercetta il contatto tra le filladi e le metadioriti del sistema di Chiusa (Fig. 11-4). Il contatto è dislocato da faglie dirette sub-verticali a direzione NNE-SSW (in un caso con qualche metro di apertura) legate a deformazione neotettonica fragile. Le metadioriti interesseranno per circa 200 m lo scavo del tunnel: si tratta di materiali dalle buone proprietà meccaniche anche se localmente si presentano fratturati con discontinuità random.

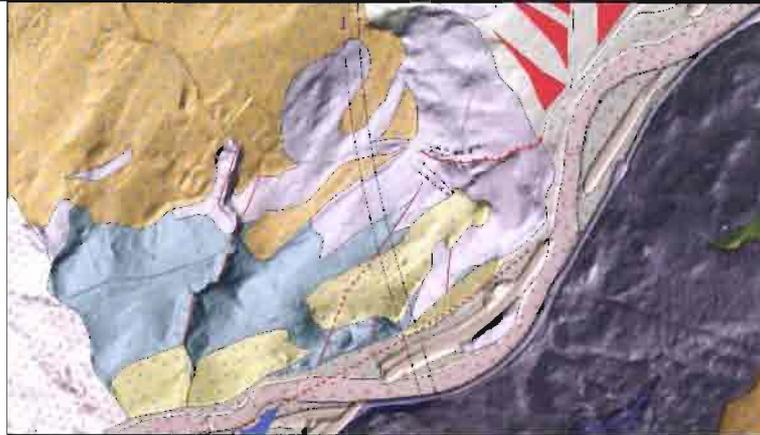


Fig. 11-4 Tratto a sud di Velturno con il contatto, in pianta, tra filladi (grigio) e dioriti (verde-azzurro), in destra idrografica della Val d'Isarco.

Alla pk 15+850 circa il tracciato esce all'aperto impegnando in viadotto, per circa 250 m, i depositi alluvionali dell'Isarco. Si tratta di terreni a granulometria prevalentemente grossolana i cui spessori massimi intercettati nel corso delle perforazioni (sondaggio C7) sono dell'ordine di 50 m. Il basamento di tali alluvioni è di tipo filladico: esso appare inoltre interessato, in destra Isarco, dalla presenza di un lineamento sub verticale a direzione N20, ipotizzato in base alle risultanze dei sondaggi geognostici effettuati.

Alla pk 16+100 circa il tracciato rientra di nuovo in galleria (galleria Gardena). Dall'imbocco per circa 750 m, lo scavo interesserà nuovamente l'Unità di Bressanone, qui rappresentata da filladi entro cui si rinvennero litofacies particolarmente ricche in quarzo (Paragneiss Auct.) dalle buone proprietà meccaniche.

Circa alla pk 16+850 (misurata sul profilo) si prevede che gli scavi vadano ad interessare un lineamento tettonico inverso di importanza regionale, denominato linea di Funes. In superficie (Fig. 11-5), questa discontinuità presenta direzione E-W, ed è caratterizzata, nelle sue porzioni più orientali, da una fascia di taglio ampia qualche centinaio di metri; verso ovest, ossia avvicinandosi alla Val d'Isarco si divide in due lineamenti, uno di ordine inferiore che segue la direzione del Rio Funes e che coinvolge esclusivamente le Filladi Quarzifere, ed uno principale che prosegue in direzione E-W, immergente verso sud e inclinato di circa 60 gradi, che coinvolge filladi (a tetto) e un corpo metamorfico anfibolitico di spessore pluridecametrico (a letto) che tende a rastremarsi verso est; non si prevede l'attraversamento di tale corpo a quota galleria, come appare confermato anche dai dati provenienti dal sondaggio S12 (le analisi microscopiche in sezione sottile eseguite sui campioni prelevati da tale sondaggio escludono la presenza delle anfiboliti). Nella bassa val di Funes, nei litotipi filladici è stata riscontrata un'intensa fratturazione (valore  $J_n = 15$ ) ed è ipotizzabile che tale caratteristica si trasferisca anche nei litotipi da scavare in profondità, con presenza quindi di fasce degradate (vedi stratigrafia del sondaggio C10).

 <b>ITOLFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	<b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A	FOGLIO 65 di 268

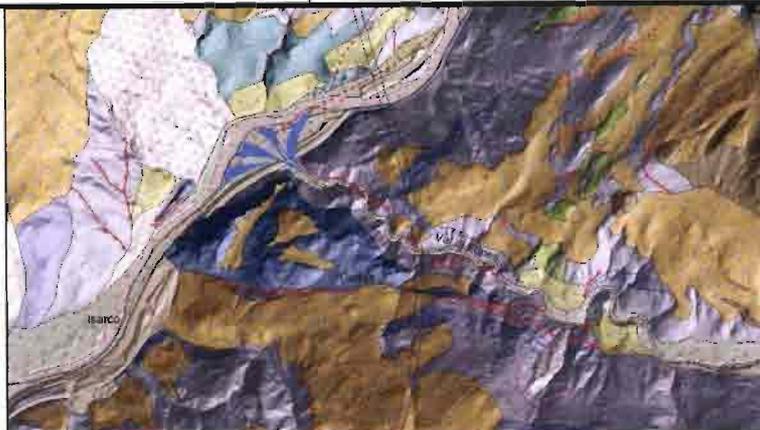


Fig. 11-5 Planimetria geologica della zona di attraversamento della “Linea di Funes”.

Oltrepassata la zona della Val di Funes, il tracciato continua a interessare planimetricamente la formazione delle Filladi Quarzifere che in affioramento mostrano fino alla pk di fine progetto (21+917) direzione di immersione piuttosto costante, verso SE di circa 25-30 gradi; sono presenti serie di fratture a direzione NW-SE sub verticali, a cui sono collegate le valli secondarie perpendicolari alla valle del fiume Isarco. In questo ultimo tratto della galleria Gardena le coperture tendono ad aumentare raggiungendo valori dell’ordine dei 600 m. Tuttavia alla luce dei dati di terreno non sembrano ipotizzabili particolari variazioni dei litotipi intercettabili a livello del cavo. Possono essere ipotizzate zone di maggiore fratturazione associate ai lineamenti individuati: ad esempio attorno a pk 19+800 circa, in prossimità di Rio della Gola (all’interno di questa incisione in campagna si osservano una serie di fratture pervasive e continue), sembra verificarsi un’intersezione di più lineamenti che potrebbe agire in termini di decadimento delle proprietà dell’ammasso; si segnala inoltre che in determinati settori (in particolare fra pk 18+200 e 20+000 circa) il tracciato si snoda subparallelamente ad alcuni elementi strutturali fotointerpretati.

## 11.2 Interconnessioni di Fortezza – Finestre di Aica-Varna, Albes, Chiusa – Interconnessioni di Ponte Gardena

### *Interconnessione Dispari Fortezza*

L’Interconnessione Dispari di Fortezza (Fig. 11.6) si sviluppa per circa un centinaio di metri all’aperto sui depositi alluvionali recenti; poco prima dell’imbocco in galleria si segnala una situazione di fragilità geomorfologica legata alla presenza di depositi detritici da debris flow in corrispondenza del Rio della Chiusa, tributario di destra del F. Isarco. Gli scavi della galleria andranno ad interessare le rocce magmatiche acide del Granito di Bressanone, secondo la ricostruzione effettuata, per circa 1,5 km e successivamente il contatto tra l’intrusione e le Filladi Quarzifere. Come già detto nel paragrafo precedente, il passaggio avviene attraverso un’aureola termometamorfica il cui andamento in profondità non risulta facilmente definibile. L’interconnessione attraversa inoltre un sistema di fratture ad alto angolo a direzione NE-SW e ENE-WSW, che in alcuni casi sembra aver sviluppato del movimento a componente sia verticale che orizzontale.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A	FOGLIO 66 di 268

### *Interconnessione Pari Fortezza*

Anche l'Interconnessione Pari si snoda inizialmente sui depositi alluvionali recenti e sui depositi detritici di Rio della Chiusa in prossimità dell'imbocco; le litologie intercettate in galleria sono analoghe a quelle intercettate dall'Interconnessione Dispari, e ovviamente valgono le stesse considerazioni per quel che riguarda le caratteristiche del contatto termometamorfico fra Granito e Filladi.



Fig. 11-6 Interconnessioni di Fortezza: si evidenzia il passaggio tra granito (rosso scuro) e filladi (grigio).

### *Finestra di Aica-Varna*

La finestra di Aica-Varna si trova nel settore settentrionale dell'areale rilevato, in destra idrografica del fiume Isarco all'altezza del bacino di Bressanone.

La zona interessata dall'opera è suddivisibile, dal punto di vista geologico, in due settori distinti: il settore occidentale ove affiorano le filladi quarzifere; il settore orientale caratterizzato da potenti affioramenti di depositi alluvionali antichi di primo e secondo ordine (Fig. 11-7, I ordine giallo, II ordine arancio-bruno).

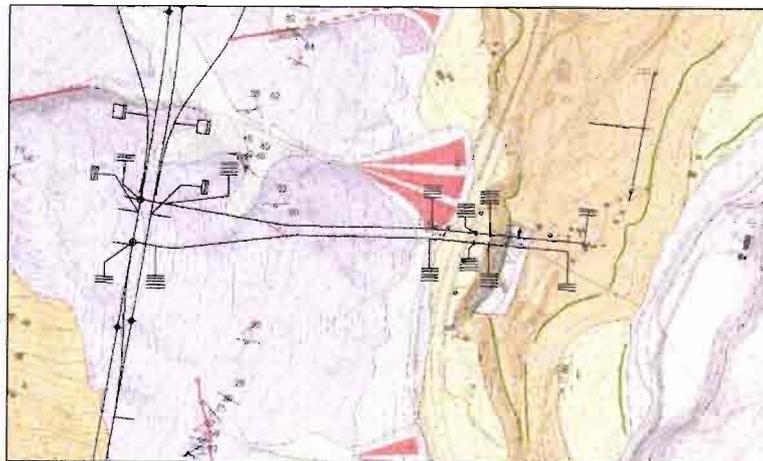


Fig. 11-7 Stralcio geologico riguardante la Finestra di Aica-Varna: a ovest sono presenti filladi quarzifere, a est depositi alluvionali.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	67 di 268

Nel settore orientale dunque gli scavi interessarono litotipi granulari costituiti da sabbie e conglomerati, per poi passare verso ovest nel basamento filladico caratterizzato da una struttura molto semplice e regolare costituita da una monoclinale immergente verso SW con un valore medio di circa 50 gradi. Le filladi sembrano essere interessate da un sistema di fratture sub-verticali molto pervasivo e continuo a direzione N50, coniugato ad un sistema meno pervasivo e continuo a direzione N110.

### *Finestra di Albes*

La finestra di Albes (Fig. 11-8) è localizzata in destra idrografica del fiume Isarco, in un'area caratterizzata da affioramenti di Filladi Quarzifere con giacitura uniforme all'incirca verso i settori sud-orientali e inclinazioni variabili tra i 30 e 70 gradi. Tale variabilità nell'inclinazione è legata alla presenza di numerosi contatti tettonici caratterizzati quasi esclusivamente da faglie inverse. I sistemi di frattura più evidenti presentano direzione principale N50 e N110. Nella zona affiorano anche estese porzioni di depositi glaciali e fluvio-glaciali, costituiti da sabbie e conglomerati a luoghi ben organizzati e a luoghi assolutamente caotici, ed i depositi alluvionali recenti dell'Isarco. Questi ultimi interessano in modesta parte il tratto iniziale del tracciato, che poi si snoda interamente nelle filladi del basamento. Si segnala inoltre la presenza, in prossimità dell'imbocco, di una conoide detritica attiva.

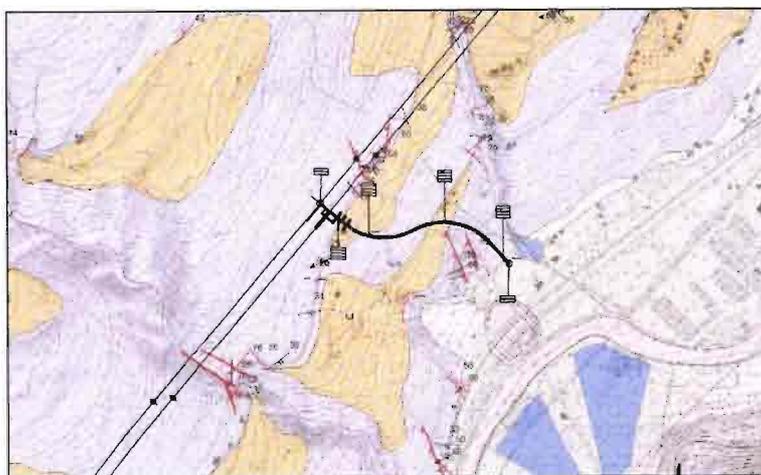


Fig. 11-8 Stralcio geologico della zona della Finestra di Albes.

### *Finestra di Chiusa*

La finestra di Chiusa si trova in sinistra idrografica del fiume Isarco (Fig. 11-9). Il basamento nella zona è rappresentato da Filladi Quarzifere con giacitura media verso sud-est di circa 30 gradi; i sistemi di frattura più rappresentativi e pervasivi hanno una direzione media N130, coniugati con sistemi a direzione N50. Sono presenti anche coperture fluvio-glaciali costituite da sabbie e conglomerati di colore grigiastro, che determinano sensibili cambi di pendenza nel versante ed interessano minimamente l'opera nel suo tratto iniziale. In prossimità dell'imbocco è stato rilevato anche un corpo di frana quiescente che tuttavia non appare interessato dagli scavi della galleria. Quest'ultima si sviluppa per la quasi totalità nei litotipi filladici che, indagati nei sondaggi C11 (all'imbocco) e C12 (200 m più a monte) hanno mostrato in ambedue i casi un rilevante stato di fratturazione.

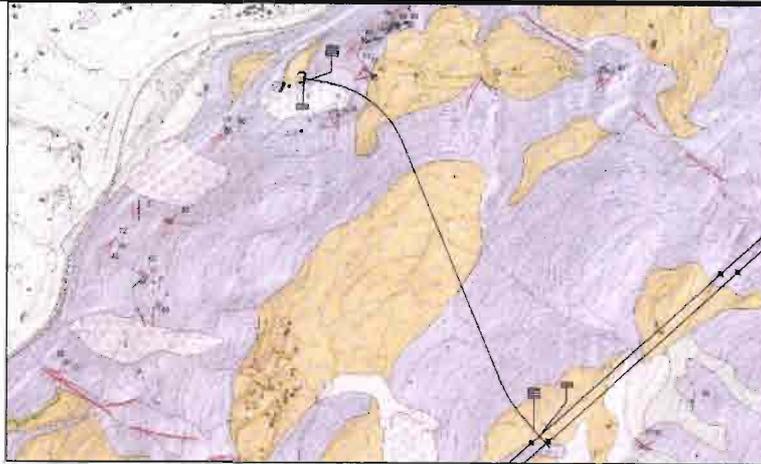


Fig. 11-9 Stralcio geologico dell'area relativa alla Finestra di Chiusa.

#### *Interconnessioni di Ponte Gardena.*

Il tracciato delle Interconnessioni di Ponte Gardena interessa quasi esclusivamente la formazione delle Filladi Quarzifere che però vengono attraversate in diverse condizioni strutturali fragili. Il tracciato si sviluppa infatti inizialmente in ammassi rocciosi che affiorano con giaciture medie verso N150 di circa 20-30 gradi fino ad intercettare un lineamento tettonico fragile inclinato verso SW di circa 50 gradi. Ciò si verifica, secondo la ricostruzione riportata nel profilo geologico, alla pk 1+100 circa per il binario dispari, alla pk 0+470 circa per il binario pari. È ipotizzabile che da questo punto i litotipi filladici si presentino maggiormente scadenti e decompressi rispetto alla parte iniziale. Tale lineamento infatti, come visto nel paragrafo 9.2, delimita un'area che è stata interessata da movimenti gravitativi che sono il risultato di vari fenomeni concomitanti e conseguenti, dal rilascio tensionale successivo al ritiro dei ghiacciai pleistocenici, al collegamento con sistemi di faglie e fratture subverticali, caratterizzate da direzione d'immersione prevalente verso Nord-Ovest e legate a deformazioni neotettoniche di tipo fragile. In particolare in quest'area è stata riscontrata la presenza di almeno tre sistemi di discontinuità e localmente di discontinuità ad orientazione random ed inclinazione variabile.

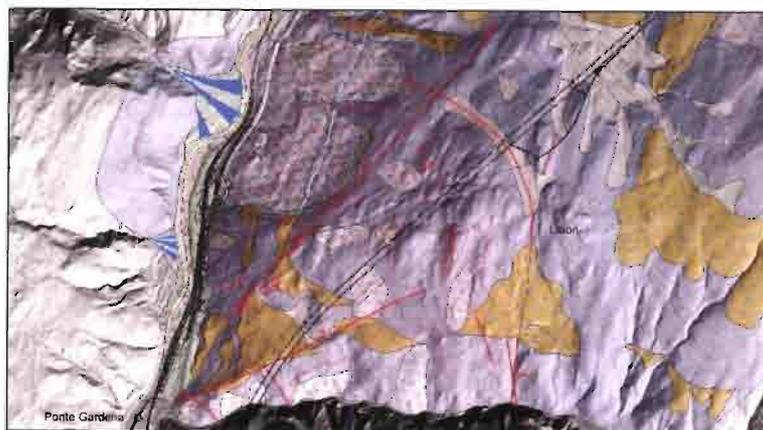


Fig. 11-10 Stralcio geologico della zona delle Interconnessioni di Ponte Gardena

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	69 di 268

## 12 IDROGEOLOGIA

### 12.1 Obiettivi

Lo studio idrogeologico è stato finalizzato alla comprensione del sistema idrogeologico interessato dall'opera. Particolare riguardo è stato posto alle condizioni di circolazione sia superficiale sia profonda delle acque di falda, studiando i parametri chimici e chimico-fisici dei punti d'acqua ritenuti significativi dal punto di vista pubblico e dal punto di vista geologico. Sono stati ricercati gli eventuali possibili effetti indotti dallo scavo delle gallerie sulle sorgenti e sulle acque superficiali, sono state individuate le aree di mitigazione e le potenziali interferenze con i circuiti idrogeologici prossimi all'asse del tracciato effettuando una stima sulle eventuali portate drenate dalle gallerie.

L'area oggetto dello studio è stata definita cercando di delineare le possibili entrate ed uscite dal sistema utilizzando come condizioni al contorno del modello idrogeologico i due bacini idrologici più importanti interessati dall'opera; il primo fa riferimento ad una parte del bacino del fiume Isarco, il secondo si riferisce al bacino del Rio Funes. Idrologicamente il bacino del Rio Funes affluisce in quello del fiume Isarco mentre idrogeologicamente la connessione tra i due bacini è data dalla struttura fragile nota come faglia di Funes. I limiti dell'area coincidono con l'abitato di Fortezza a nord e con il Rio Gardena a sud, mentre ad Est collimano con il limite di bacino del Rio Funes ed ad Ovest con il limite di bacino del fiume Isarco.

All'interno dell'area di studio sono state approfondite le conoscenze idrogeologiche su una fascia (buffer) definita da una distanza di 2000 metri dal tracciato, coincidente con l'area oggetto del rilevamento geologico.

Dal punto di vista cartografico, è stata restituita alla scala 1:25000 una carta idrogeologica generale che comprendesse l'area dei bacini suddetti ed una carta del rischio idrogeologico dell'intera area di studio, ed una carta alla scala 1:5000 riguardante la suddetta fascia coincidente con l'area interessata dal rilevamento geologico.

Per convenzione nelle parti a seguire della relazione saranno usati i termini "area a 25 mila" per riferirci all'area estesa, ed "area a 5 mila" per riferirci all'area delimitata dal buffer.

### 12.2 Raccolta dei Dati di base

Per lo sviluppo degli aspetti descritti nel capitolo "12.1 Obiettivi" è stata svolta un'attività preliminare di ricerca di dati pregressi provenienti da fonti sia private che pubbliche e presso le amministrazioni locali competenti, con particolare interesse verso la Provincia autonoma di Bolzano.

La fase di raccolta dati, oltre ad essere un utile punto di partenza per la ricostruzione dell'assetto idrodinamico e stratigrafico dell'area di interesse, rappresenta anche la base per impostare una razionale successiva fase di campagna.

Si ritiene pertanto opportuno citare le documentazioni e gli enti fornitori:

- Per un primo inquadramento dell'ubicazione dei punti di interesse sono stati utilizzati i dati liberi presenti nella banca dati on-line (webgis) della Provincia autonoma di Bolzano (<http://www.provincia.bz.it/informatica/cartografia/maps-webgis.asp>), relativi ai punti di derivazione d'acqua per i quali sono stati attivate pratiche o denunce di utilizzo presso la Provincia.
- Ufficio Gestione Risorse Idriche Provincia autonoma di Bolzano, responsabile Dott. Beniamino Donati, raccolta dati inerenti alle derivazioni: ubicazione, titolari della concessione, studi per rilascio concessioni, parametri fisici.
- Ufficio Idrografico Provincia autonoma di Bolzano, Geom. Rigott Wolfgang, raccolta dati inerenti acque superficiali.
- Laboratorio analisi acqua Provincia autonoma di Bolzano, Dott. ssa Luisi Garzon Luciana, raccolta dati relativi ad analisi chimiche riguardanti le acque di sorgenti e torrenti.
- Ufficio Tutela acque Provincia autonoma di Bolzano, Ing. Zambaldi Martin, raccolta dati riguardanti analisi chimiche su sorgenti.
- Ufficio Geologia – Laboratorio Prove Materiali Provincia autonoma di Bolzano, Dott. Volkmar Mair, raccolta dati riguardanti studi geologici realizzati nell'area di interesse.
- Amministrazioni Pubbliche locali dei Comuni di Fortezza, Varna, Bressanone, Velturmo, Chiusa, Funes, Laion. Raccolta dati riguardante l'ubicazione di punti d'acqua captati a gestione pubblica (comune, interessenze) o privata.
- Responsabili Interessenze – Consorzi d'acqua potabile di Laion, Novale, P. Gardena, Païrdorf, Gereuth, Verdignes, Gudon, Lazfons, Spelonca, Montepoente, Fraina. Raccolta dati riguardante l'ubicazione di punti d'acqua gestiti da ciascun consorzio.
- Ufficio idrografico Provincia autonoma di Bolzano, p.i. Claudio Mutinelli, Dati termo-pluviometrici
- Progetto preliminare Potenziamento Asse Ferroviario Monaco – Verona, Accesso sud alla galleria di base del Brennero, Quadruplicamento della linea Fortezza – Verona, relazione idrogeologica idrologica, (RFI, 2003).
- Progetto definitivo Galleria di base del Brennero, Progettazione tecnica, Rapporto di idrogeologia (BBT, 2006).
- Modello digitale del terreno derivato da acquisizione Lidar della Provincia di Bolzano a risoluzione di 2,5 metri.

È opportuno ringraziare tutti gli organi competenti per il supporto prestato e per i tanti dati raccolti.



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	71 di 268

L'elevata mole di materiale raccolto in formato digitale durante questa fase ha richiesto un accurato lavoro di analisi preliminare, per poterne estrapolare i contenuti di reale interesse idrogeologico, mentre l'eterogeneità dei dati ha richiesto un processo di omogeneizzazione al fine di poter comparare dati affini, espressi in formati diversi.

Inoltre, vista la natura "spaziale" del target d'indagine, i dati raccolti sono stati inseriti in una Banca Dati georiferita, iniziando così a comporre un mosaico necessario per la ricostruzione del modello idrogeologico d'interesse.

### 12.3 Progettazione e strutturazione della Banca Dati georiferita idrogeologica e geochimica

Questo capitolo è stato redatto per esplicitare la struttura della Banca Dati citata nel paragrafo precedente e che di seguito sarà indicata come Banca Dati Indagini Brennero (BDIB).

La Banca Dati Indagini Brennero (BDIB) si inserisce nell'ambito della raccolta delle informazioni su tutte le tipologie di derivazioni d'acqua superficiali e non, ma soprattutto per gestire la raccolta dei dati riguardanti gli enti provinciali, di studi idrogeologici e di analisi chimiche e chimico-fisiche sia di situ che di laboratorio. È una banca dati omogenea per il territorio studiato nell'ambito del presente lavoro contenente informazioni di tipo tecnico e di tipo anagrafico- amministrativo il cui obiettivo è l'omogeneizzazione e la archiviazione e/o editazione dei dati reperiti per il territorio d'interesse a supporto della progettazione dell'opera.

Nel presente paragrafo vengono descritte le fasi propedeutiche alla progettazione della Banca Dati e la relativa struttura. In tal modo i dati possono essere facilmente utilizzati per varie interrogazioni ed elaborazioni statistico-spaziali, oltre al facile aggiornamento dei dati presenti ed inserimento di dati futuri. In Figura 12-1 è riportata una visualizzazione della struttura della BDIB secondo il modello dati Personal Geodatabase ESRI™, che prevede come proprio formato fisico quello di MS Access \*.mdb (Microsoft© Data Base).

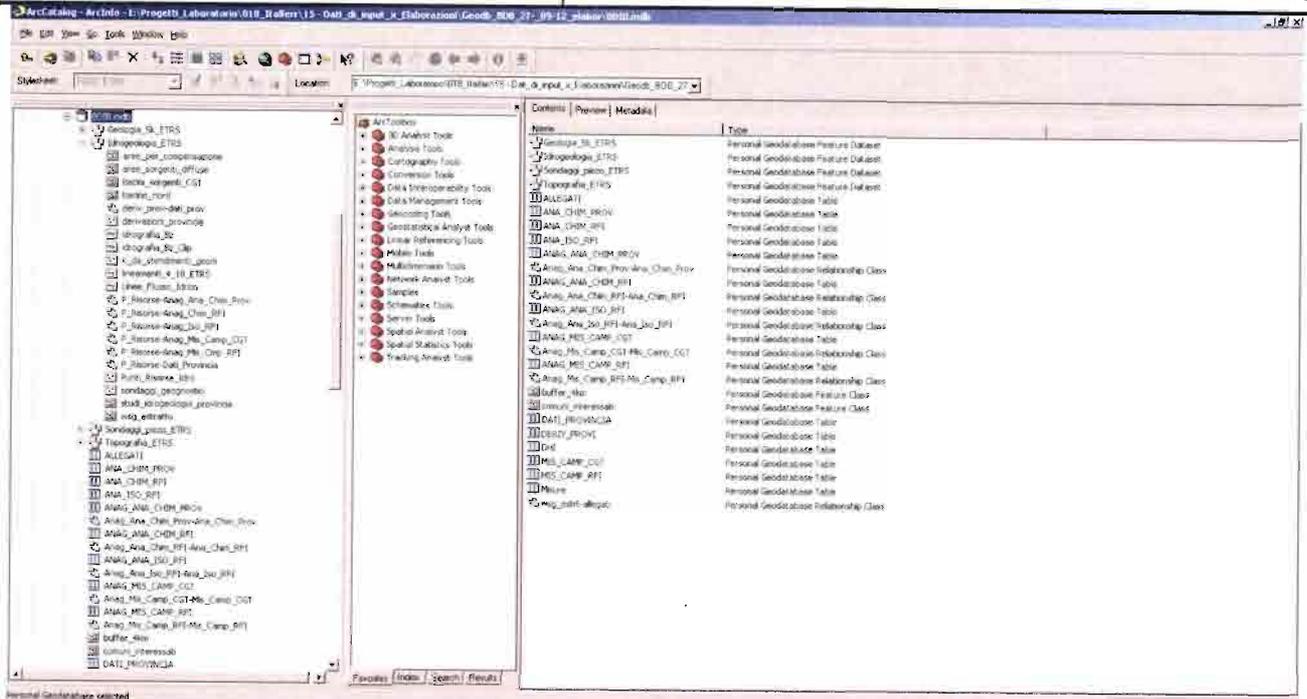


Figura 12-1 - Visualizzazione in ambiente ESRI ArcCatalog della struttura della BDIB.

### 12.3.1 Progettazione

La progettazione della BDIB è stata svolta mediante le fasi tipiche utilizzate nell'ambito dei Sistemi Informativi, quali (Atzeni et alii, 2009):

- Analisi dei requisiti
- Progettazione concettuale e logica
- Progettazione fisica
- Implementazione

Le fasi sopra riportate vengono qui di seguito brevemente descritte, e sono seguite dall'elenco delle tabelle e delle caratteristiche geometriche relazionate presenti nella BDIB.

#### 12.3.1.1 Analisi dei requisiti.

Tutti i dati e la documentazione disponibile sono stati analizzati in funzione delle necessità di archiviazione e gestione delle informazioni presenti, tenendo conto delle finalità del progetto e le conseguenti elaborazioni.

L'analisi dei requisiti può essere sintetizzata nei seguenti punti principali:



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	73 di 268

1. Acquisizione Dati: Presa in visione della documentazione e raccolta dati dai vari enti interessati e da tutte le banche dati provinciali. Tale fase ha avuto come obiettivo quello di raccogliere tutte le informazioni di tipo idrogeologico, geognostico e chimico dell'area.
2. Organizzazione Dati: Omogeneizzazione dei dati acquisiti con creazione di tabelle riassuntive. Questa fase è particolarmente complessa in quanto i dati provenienti dalla prima fase vengono organizzati in prima battuta secondo la sorgente di provenienza, e in un secondo momento sono stati organizzati secondo files \*.csv che fanno riferimento ad ogni singolo elemento puntuale.

Ogni elemento puntuale rappresenta l'ubicazione di punti di Derivazione d'acqua, ossia sorgenti, pozzi, piezometri, punti torrente, sondaggi geognostici, ovvero tutti quegli elementi di cui sono note le coordinate nello spazio.

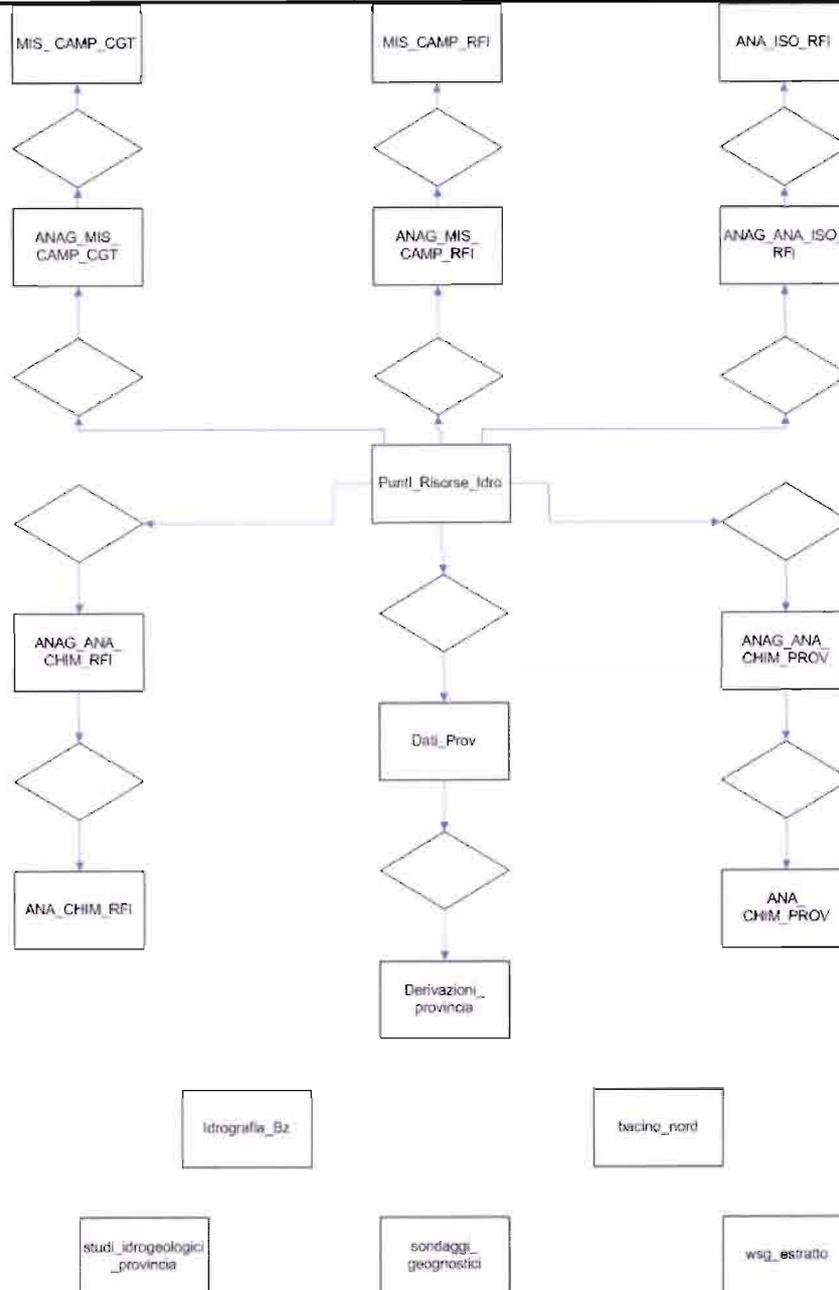
Nella fase di raccolta e acquisizione dei dati si è data particolare rilevanza alle caratteristiche anagrafiche e posizionali dei punti acqua, relative a differenti fonti, dando particolare risalto alle informazioni geotematiche ad esse correlate, prevedendo per queste delle specifiche tabelle.

Considerazioni simili sono state ovviamente effettuate anche in relazione alle analisi chimiche ed ai relativi analiti di campioni prelevati dai suddetti punti d'acqua.

Per permettere la successiva correlazione di tutti gli allegati digitali raccolti dagli enti Provinciali con i relativi dati, questi sono stati organizzati all'interno di una cartella denominata Attachment con denominazioni uguale al numero di pratica con cui sono stati registrati in provincia.

#### 12.3.1.2 Progettazione concettuale e logica

Successivamente all'analisi dei requisiti, tutte le informazioni inerenti la realtà d'interesse sono state modellate dal punto di vista concettuale, ovvero definendo differenti entità, al cui interno poter includere elementi aventi caratteristiche simili, prescindendo correlazioni fra le differenti entità, prendendo in considerazione sia la tipologia di informazioni da gestire che le finalità a cui queste devono adempiere, determinando le cardinalità con cui tali correlazioni avvengono. Dopo aver eseguito la normalizzazione e la ristrutturazione del modello concettuale, è stato prodotto il modello logico riportato in basso come risultato della fase di progettazione logica.



Questo modello rappresenta lo schema relazionale della banca dati, poiché ne descrive la struttura secondo relazioni (tabelle), al cui interno verranno immagazzinati i dati, correlate fra loro attraverso specifici attributi comuni. Le tabelle e le relative correlazioni sono gestite mediante quella componente software del Sistema Informativo Territoriale costituita dal Data Base Management System (DBMS), che può basarsi su differenti modelli di gestione, fra cui il modello relazionale, anche con le ultime evoluzioni orientati agli oggetti, risulta essere il più diffuso e adottato nell'ambito dei sistemi informativi.

Lo schema evidenzia come le due classi di oggetti principali della banca dati risultino essere Punti\_risorse\_idro, e Derivazioni\_provincia, intesi come strumento di sintesi delle derivazioni punti d'acqua derivati da differenti fonti,

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	75 di 268

quali censimento progetto preliminare e dati provinciali, principalmente assimilabili a sorgenti, pozzi e punti torrente e descritti da una geometria puntuale che ne rappresenta l'ubicazione in coordinate piane riferite al Sistema di riferimento Cartografico ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_32N.

La classe Punti\_risorse\_idro, risulta essere invece correlata uno a molti con l'anagrafica delle analisi chimiche e isotopiche effettuate da RFI nell'ambito del progetto preliminare e con l'anagrafica delle analisi dei parametri chimico-fisici effettuate sia nell'ambito del progetto preliminare che nell'ambito del progetto definitivo, che descrivono le analisi secondo caratteristiche generiche quali ad esempio data di esecuzione o laboratorio che le ha eseguite, a sua volta correlata uno a molti con le classi dei parametri delle varie tipologie di analisi; ciò in modo da poter interrogare e visualizzare esclusivamente i parametri specifici di ogni analisi, con relative unità di misura, escludendo la presenza di valori nulli e permettendo di implementare in futuro qualsiasi tipo di parametro o analita per tipologie di analisi ancora eventualmente non prese in considerazione, poiché ogni parametro costituisce un valore dell'attributo PARAMETRO e non un differente attributo a seconda del parametro o analita considerato.

Le informazioni inerenti la fonte dei dati sono contenute nella classe di oggetti denominata FONTE, cui sono correlate, con cardinalità uno a molti, le istanze delle classi di oggetti che disponevano di tale tipologia di informazione. Tutti gli allegati disponibili, in formato digitale, relativi agli studi idrogeologici, sono immagazzinati all'interno della classe di oggetti ALLEGATI, mediante chiave esterna degli identificativi di ogni classe correlata e riportante la directory relativa al file di interesse.

### 12.3.1.3 Progettazione Fisica

A partire dallo schema logico prima descritto, è stato creato un Personal Geodatabase® di ESRI. (ESRI, 2004, 2007), modello dati relazionale orientato agli oggetti, al cui interno sono state definite sia le classi di oggetti spaziali mediante featureclass, racchiuse in un unico feature dataset che ne descrive le medesime caratteristiche spaziali, e le classi di oggetti non spaziali attraverso le table class, tutte relazionate secondo lo schema logico precedentemente descritto mediante le opportune relationship class.

Tale modello dati consente ovviamente un'eventuale evoluzione della struttura dati, oltre a poter definire vincoli informativi e spaziali sugli oggetti in essa immagazzinati, a garanzia della qualità delle informazioni in essa riportate.

Di seguito viene riportata la tabella di sintesi delle relazioni fra le varie classi di oggetti (Table class e Feature class sopra descritte) del geodatabase BDIB (Tabella 12-1) (si veda anche la struttura del geodatabase della BDIB, visualizzata in Figura 12-1):

Tabella Sorgente	Relazione 1:M	Tabella destinazione
Punti_Risorsa_Idro	P_Risorse_Anag-Ana_Chim_Prov P_Risorse_Anag-Chim_Prov P_Risorse_Anag-Iso_RFI P_Risorse_Anag-Chim_RFI P_Risorse_Anag-Mis_Camp_CGT P_Risorse_Anag-Mis_Camp_RFI	ANAG_ANA_CHIM_PROV ANAG_ANA_CHIM_RFI ANAG_ANA_ISO_RFI ANAG_MIS_CAMP_CGT ANAG_MIS_CAMP_RFI DATI_PROVINCIA
derivazioni_provincia	deriv_prov-dati_prov	DATI_PROVINCIA
ANAG_ANA_CHIM_PROV	Anaga_chim_Prov-Ana_chim_Prov	ANA_CHIM_PROV
ANAG_ANA_CHIM_RFI	Anag_Chim_RFI-Ana_Chim_RFI	ANA_CHIM_RFI
ANAG_ANA_ISO_RFI	Anag_Ana_Iso_RFI-Ana_Iso_RFI	ANA_ISO_RFI
ANAG_MIS_CAMP_CGT	Anag_Mis_Camp_CGT-Mis_Camp_CGT	MIS_CAMP_CGT
ANAG_MIS_CAMP_RFI	Anag_Mis_Camp_RFI-Mis_Camp_RFI	MIS_CAMP_RFI
wsg_estratto	wsg_estr-allegati	ALLEGATI

Tabella 12-1 - Sintesi delle relazioni tra classi di oggetto

La struttura precedentemente descritta, permetterà il proficuo successivo inserimento ed aggiornamento dei dati utili alle elaborazioni necessarie a tutte le prossime fasi del progetto, in seguito al collaudo dei dati medesimi per verificarne l'omogeneità e la correttezza delle informazioni presenti, oltre a poterne verificare la fruibilità, comunque garantita dalle potenzialità di evoluzione ed integrazione dello schema della banca dati progettato, secondo quanto previsto dalle direttive comunitarie INSPIRE (EEC, 2007).

Di seguito l'elenco dei Feature dataset e delle classi di oggetto presenti nella Banca Dati Indagini Brennero:

### Tabella di riferimento

**NOME: Punti\_Risorse\_Idro** (Tabella 12-2)

Punti d'acqua di interesse presenti nell'area di lavoro

Tipologia di classe: Feature class puntuale

Nome Campo	Descrizione
ID_PROGETT	Identificativo del punto di interesse
ID_RFI	Identificativo del punto di interesse assegnato da Progetto Preliminare



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	77 di 268

Nome Campo	Descrizione
DENOMINAZI	Nome del punto di interesse
COMUNE	Comune nel quale è ubicato il punto di interesse
COM_CATAST	Comune catastale nel quale è ubicato il punto di interesse
PARTICELLA	Particella catastale nel quale è ubicato il punto di interesse
TIPO	Tipologia del punto di interesse (Sorgente, Pozzo, Piezometro, ecc.)
USO	Utilizzo principale del punto di interesse
QUOTA	Quota in metri del punto di interesse
STATO_RFI	Interesse del punto nel Progetto Preliminare (Monitorato, Monitorato Parzialmente, Censito)
STATO_CGT	Interesse del punto nel Presente Lavoro (Monitorato, Censito)
CLASS_IDRO	Classificazione Idrogeologica del punto (Roccia, Detrito, ecc.)
OPERA_PRES	Tipologia costruttiva del manufatto di capatazione delle acque
AREA_BACIN	Area stimata del bacino di alimentazione del punto in Kilometri Quadrati
N_TUBI	Numero di tubi presenti nel manufatto di capatazione delle acque
CORP_CODIC	Codice del Corpo idrico assegnato dalla Provincia Autonoma di Bolzano
CORP_DENOM	Nome del Corpo idrico assegnato dalla Provincia Autonoma di Bolzano
BAC_IMBR_S	Codice del Bacino Imbrifero interessato assegnato dalla Provincia Autonoma di Bolzano
BAC_IMBR_1	Nome del Bacino Imbrifero interessato assegnato dalla Provincia Autonoma di Bolzano
IMPI_DENOM	Nome dell'impianto di captazione delle acque
CONCESSION	Denominazione concessionario sfruttamento del punto di interesse
N_CONCESSI	Numero della concessione rilasciata per lo sfruttamento del punto di interesse
PRATICHE	Numero della pratiche avviate presso l'Uff. Risorse Idriche della Provincia Autonoma di Bolzano al fine del rilascio della concessione
REFERENTE	Nominativo del peferente per l'accesso al punto di interesse
X_ETRS89	Coordinata Est nel sistema di riferimento cartografico ETRS 1989 Fuso 32N
Y_ETRS89	Coordinata Nord nel sistema di riferimento cartografico ETRS 1989 Fuso 32N
RISCHIO_DHI	Valore di Rischio Assegnato secondo Codifica DHI (Drawdown Hazard Index)
FONTE	Fonte dei dati del punto di interesse (ubicazione ed eventuali analisi e misurazioni)
GESTIONE	Tipo di gestione del punto di interesse (Pubblica o Privata)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  <b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A

Nome Campo	Descrizione
IMPORTANZA	Natura dell'importanza assegnata al punto ai fine delle scelte per il piano di monitoraggio

Tabella 12-2 - Tabella Pivot Punti\_Risorse\_Idro

**NOME: ANAG\_MIS\_CAMP\_RFI** (Tabella 12-3)

Anagrafe delle misure di campagna effettuate nel Progetto Preliminare

Tipologia di classe: Tabella

Nome Campo	Descrizione
ID_ANAG	Identificativo dell'anagrafe della serie di misure effettuate nello stesso momento sul punto di interesse
ID_PROGETT	Identificativo del punto di interesse
NOME	Nome del punto di interesse
DATA	Data dello svolgimento della serie di misurazioni

Tabella 12-3- Tabella Pivot ANAG\_MIS\_CAMP\_RFI

**NOME: MIS\_CAMP\_RFI** (Tabella 12-4)

Misure di campagna effettuate nel Progetto Preliminare

Tipologia di classe: Tabella

Nome Campo	Descrizione
ID_MIS_CAMP	Identificativo della misura effettuata sul punto di interesse
ID_ANAG_CAMP	Identificativo dell'anagrafe della serie di misure effettuate nello stesso momento sul punto di interesse
PARAMETRO	Tipologia del parametro misurato
U_D_M	Unità di misura del parametro misurato
VALORE	Valore del parametro misurato

Tabella 12-4 - Tabella Pivot MIS\_CAMP\_RFI

**NOME: ANAG\_AN\_CHIM\_RFI** (Tabella 12-5)

Anagrafe delle analisi chimiche effettuate nel Progetto Preliminare

Tipologia di classe: Tabella

Nome Campo	Descrizione
ID_ANAG	Identificativo dell'anagrafe delle analisi chimiche effettuate sul campione
ID_PROGETT	Identificativo del punto di interesse
NOME	Nome del punto di interesse
DATA_PREL	Data del prelievo del campione
DATA_ENTR	Data di entrata del campione in laboratorio
DATA_VERB	Data di compilazione del verbale di analisi
LABORATORI	Nome del laboratorio che ha effettuato l'analisi
N_PROT	Numero di protocollo del laboratorio
N_ANALISI	Numero di analisi del laboratorio

Tabella 12-5 - Tabella Pivot ANAG\_AN\_CHIM\_RFI

**NOME: ANA\_CHIM\_RFI** (Tabella 12-1)

Analisi chimiche effettuate nel Progetto Preliminare



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	80 di 268

Tipologia di classe: Tabella

Nome Campo	Descrizione
ID_VAL	Identificativo del valore analizzato sul campione
ID_ANAG	Identificativo dell'anagrafe delle analisi chimiche effettuate sul campione
	Tipologia del parametro analizzato
U_D_M	PARAMETRO Unità di misura del parametro analizzato
VALORE	Valore del parametro analizzato
SEGNO	Segno del valore del parametro analizzato
ERRORE	Tolleranza del valore del parametro analizzato

Tabella 12-1 - Tabella Pivot ANA\_CHIM\_RFI

**NOME: ANAG\_AN\_ISO\_RFI** (Tabella 12-2)

Anagrafe delle analisi isotopiche effettuate nel Progetto Preliminare

Tipologia di classe: Tabella

Nome Campo	Descrizione
ID_ANAG	Identificativo dell'anagrafe delle analisi isotopiche effettuate sul campione
ID_PROGETT	Identificativo del punto di interesse
NOME	Nome del punto di interesse
DATA_VERB	Data di compilazione del verbale di analisi
LABORATORIO	Nome del laboratorio che ha effettuato l'analisi

Tabella 12-2 - Tabella Pivot ANAG\_AN\_ISO\_RFI

**NOME: AN\_ISO\_RFI** (Tabella 12-2)

Analisi isotopiche effettuate nel Progetto Preliminare

Tipologia di classe: Tabella

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A	FOGLIO 81 di 268

Nome Campo	Descrizione
ID_ISO	Identificativo dell'isotopo analizzato
ID_ANAG	Identificativo dell'anagrafe delle analisi isotopiche effettuate sul campione
PARAMETRO	Tipologia del parametro analizzato
U_D_M	Unità di misura del parametro analizzato
VALORE	Valore del parametro analizzato
ERRORE	Tolleranza del valore del parametro analizzato
DATA	Data dello svolgimento dell'analisi
N_PROT	Numero di protocollo del laboratorio

Tabella 12-3 - Tabella Pivot AN\_ISO\_RFI

**NOME: ANAG\_AN\_CHIM\_PROV** (Tabella 12-4)

Anagrafe delle analisi chimiche effettuate dal Laboratorio Analisi della Provincia Autonoma di Bolzano

Tipologia di classe: Tabella

Nome Campo	Descrizione
ID_ANAG	Identificativo dell'anagrafe delle analisi chimiche effettuate sul campione
ID_PROGETT	Identificativo del punto di interesse
NOME	Nome del punto di interesse
DATA_PREL	Data del prelievo del campione
DATA_ENTR	Data di entrata del campione in laboratorio
DATA_VERB	Data di compilazione del verbale di analisi
LABORATORI	Nome del laboratorio che ha effettuato l'analisi
N_PROT	Numero di protocollo del laboratorio
N_ANALISI	Numero di analisi del laboratorio

Tabella 12-4 - Tabella Pivot ANAG\_AN\_CHIM\_PROV



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	82 di 268

**NOME: ANA\_CHIM\_PROV** (Tabella 12-5)

Analisi chimiche effettuate dal Laboratorio Analisi della Provincia Autonoma di Bolzano

Tipologia di classe: Tabella

Nome Campo	Descrizione
ID_VAL	Identificativo del valore analizzato sul campione
ID_ANAG	Identificativo dell'anagrafe delle analisi chimiche effettuate sul campione
PARAMETRO	Tipologia del parametro analizzato
U_D_M	Unità di misura del parametro analizzato
VALORE	Valore del parametro analizzato
SEGNO	Segno del valore del parametro analizzato
ERRORE	Tolleranza del valore del parametro analizzato

Tabella 12-5 - Tabella Pivot ANA\_CHIM\_PROV

**NOME: ANAG\_MIS\_CAMP\_CGT** (Tabella 12-6)

Anagrafe delle misure di campagna effettuate nel presente lavoro

Tipologia di classe: Tabella

Nome Campo	Descrizione
ID_PROGETT	Identificativo del punto di interesse
ID_RFI	Identificativo del punto di interesse nel progetto preliminare
NOME	Nome del punto di interesse
DATA	Data dello svolgimento della serie di misurazioni
NOTE	Note eventuali

Tabella 12-6 - Tabella Pivot ANAG\_MIS\_CAMP\_CGT

NOME: MIS\_CAMP\_CGT (Tabella 12-7)

Misure di campagna effettuate da CGT Spinoff S.r.l. nel presente lavoro

Tipologia di classe: Tabella

Nome Campo	Descrizione
ID_MIS	Identificativo della misura effettuata sul punto di interesse
ID_ANAG	Identificativo dell'anagrafe della serie di misure effettuate nello stesso momento sul punto di interesse
PARAMETRO	Tipologia del parametro misurato
U_D_M	Unità di misura del parametro misurato
VALORE	Valore del parametro misurato

Tabella 12-7 - Tabella Pivot MIS\_CAMP\_CGT

### 12.3.2 Implementazione

Premettendo che la struttura è stata creata per l’immagazzinamento, l’omogeneizzazione e la facile interrogazione di tutti i dati riguardanti i punti d’acqua superficiali dell’area di interessc; per migliorare la visione di insieme dei dati sono stati inseriti anche due dataset Geologici, uno che riguarda l’intera area di studio “area a 25 mila” ed un secondo che riguarda l’area con aumento delle conoscenze geologiche- idrogeologiche definita “area a 5 mila” .

All'interno della struttura fisica della BDIB sono presenti 3 dataset, 24 feature class, 14 Table class e 12 Relationship class.

Un dataset geologico 5K contenente 9 feature class relative alla cartografia proveniente dal rilevamento geologico alla scala 1:5000; un dataset geologico 25 K contenente 6 feature class relativo in parte al rilevamento ed in parte alla cartografia di letteratura.

Nel dataset delle indagini idrogeochimiche dell’area di studio “Idrogeologia” “area 25 mila” sono stati inseriti oltre 1200 (1224) elementi geometrici puntuali tra sorgenti, pozzi, punti torrente e sondaggi geognostici. Sono stati inseriti più Table class relativi alle date di campionamento di analisi chimico-fisiche discriminate per operatore (ANAG\_ANA\_RFI, ANAG\_ANA\_CGT, ANAG\_ANA\_PROV) e per ogni singolo punto acqua analizzato, caratterizzati da attributi anagrafici che ci permettono di accedere direttamente agli analiti che sono stati analizzati nella relativa data, immagazzinati in ulteriori tabelle in cui stati inseriti record relativi alla tipologia di analita e al valore ottenuto dalle analisi. In particolare nella tabella che raccoglie le informazioni derivanti dalla provincia 6193 record, nella tabella dove sono state inserite le analisi effettuate durante il progetto preliminare 3954 record, 42 analiti relativi ad analisi isotopiche, 7300 relativi ad analisi chimico-fisiche effettuate durante il progetto preliminare e 1670 relativi ad analisi chimico-fisiche effettuate durante la campagna del progetto preliminare.



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	84 di 268

### 12.3.3 Utilizzo

Come accennato in precedenza, obiettivo della BDIB è l'omogeneizzazione e la facile archiviazione e/o editazione, l'immediata consultazione e estrapolazione dei dati chimici, chimico-fisici e dei dati relativi agli studi idrogeologici reperiti in provincia per tutto il territorio oggetto di studio.

Con la BDIB vi è la possibilità di visualizzare gli stessi dati direttamente in ambiente GIS e di utilizzare tutte le tipologie di dati contenute al suo interno per elaborazioni sia statistiche che statistico-spaziali.

Il primo utilizzo della BDIB è stato proprio nella pianificazione della campagna idrogeologica, attraverso la selezione, in primo luogo, delle sorgenti facenti parte di opere pubbliche tipo acquedotto (per ulteriori informazioni si rimanda al paragrafo 12.4.1).

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	85 di 268

## 12.4 Campagna dati idrogeologici

Con obiettivo la ricostruzione dell'assetto idrogeologico dell'area di interesse "area a 25 mila", è stata effettuata, come già descritto nel Paragrafo 12.2, la raccolta dei dati pregressi relativi a tutti i punti d'acqua dell'area definita da parte del bacino del fiume Isarco e dal bacino del Rio Funes, cui ha fatto seguito una fase di studio di campagna.

In particolare, durante la fase di campagna sono state svolte le seguenti attività:

- verifica dei punti acqua individuati nei dati raccolti
- acquisizione delle coordinate X,Y,Z nel sistema di riferimento WGS84 per l'implementazione del punto in Banca Dati
- rilevamento idrogeologico finalizzato alla ricerca ed individuazione di nuovi punti d'acqua presenti nell'area di studio
- analisi dei principali parametri chimico-fisici utilizzando la sonda multiparametrica Hydrolab Quanta (lunghezza cavo: 30 m - Figura 12-2A), equipaggiata con i seguenti sensori: Temperatura, Conduttanza Specifica, pH, Potenziale Redox, Ossigeno Disciolto (con agitatore), coadiuvato da un preventivo spurgo ove necessario effettuato tramite Bailer "Eijkelkamp" in PVC trasparente a doppia valvola (dimensioni: 42mm x 90cm - Figura 12-2B) effettuato direttamente in campo.
- misurazioni di profondità del livello piezometrico dei pozzi dal piano campagna utilizzando un Freatimetro OTT a nastro piatto (lunghezza: 200 m, OTT. Srl - Figura 12-2C)
- misure speditive di portata su pozzi e sorgenti

I punti d'acqua raccolti sono stati plottati su una base DEM; nella

Figura 12-3 sono rappresentati i Punti d'acqua monitorati e i Punti d'acqua censiti e presenti in Banca Dati.



A)



B)



C)

Figura 12-2 - Strumentazione da campo utilizzata nel rilievo dei dati idrogeologici: A) sonda multiparametrica; B) Bailer; C) Freatimetro.

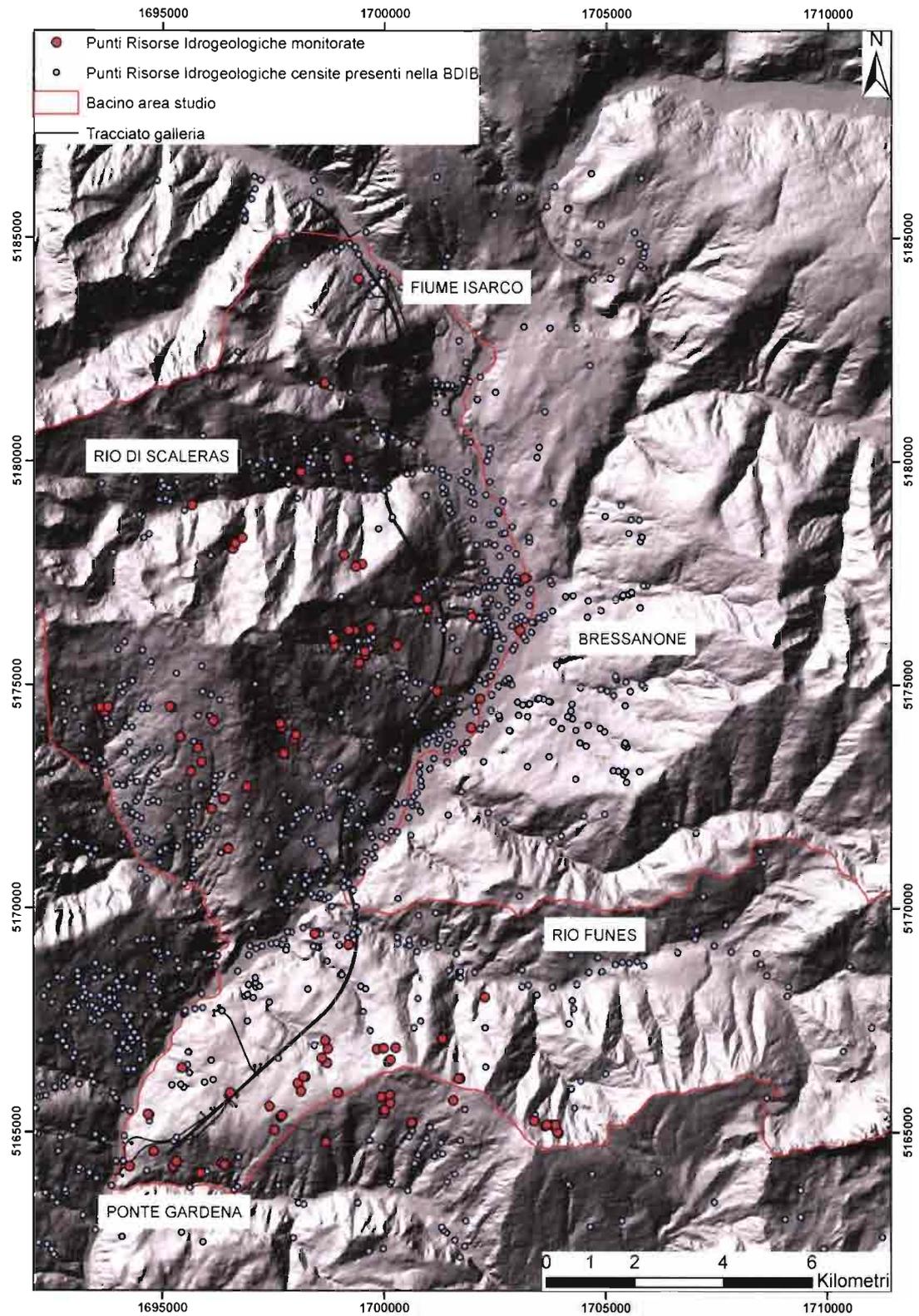


Figura 12-3 – Ubicazione dei punti d'acqua monitorati e censiti

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A	FOGLIO 88 di 268

#### 12.4.1 Pianificazione della campagna idrogeologica

Le due fasi precedentemente descritte nei paragrafi 12.2 e 12.3, oltre ad essere un utile punto di partenza per la ricostruzione dell'assetto idrodinamico dell'area di interesse, sono state propedeutiche e hanno rappresentato la base per impostare una razionale successiva fase di campagna.

La campagna idrogeologica effettuata è stata rivolta alla misura e, dove possibile, al monitoraggio dei parametri chimico-fisici delle acque di falda. Le aree di interesse per effettuare le misure sono state selezionate interagendo ed interrogando la BDIB, creata dai dati raccolti in modo preliminare, con la quale è stato possibile pianificare la campagna idrogeologica. Il primo aspetto esaminato è stato quello di considerare ad alta priorità i Punti risorsa idrica che hanno carattere pubblico, cioè quei punti d'acqua captati e immessi in strutture acquedottistiche.

Sono stati inoltre considerati ulteriori aspetti, egualmente importanti tra loro ai fini pianificativi:

- Punto risorsa idrica appartenenti a privati, ad uso potabile con portate rilevanti ( $Q > 1$  l/s);
- Punto risorsa idrica appartenenti a privati, ad uso potabile con portate scarsamente importanti ( $Q < 1$  l/s);
- Sondaggi geognostici ordinari e profondi.

Durante la campagna è stato possibile misurare anche punti d'acqua che non rientrano nelle suddette categorie ma che si possono comunque considerare importanti per via della loro posizione rispetto al tracciato o per la vicinanza con altre sorgenti monitorate. Ultimo aspetto considerato, ma non per importanza, è stata la logistica (possibilità di contatto con il proprietario, disponibilità dello stesso).

In funzione del tempo progettuale a disposizione per la raccolta dati idrogeologica, è stato deciso di effettuare ove possibile 2 campagne di misura di parametri chimico-fisici, cercando di coprire due date rappresentative di due stagioni differenti. La prima campagna è stata effettuata a gennaio, periodo di magra, e la secondo è stata effettuata a maggio, inizio periodo di morbida, secondo quanto descritto nel paragrafo 12.5.1.1 relativo alla Pluviometria.

La Tabella 12-8 riassume i dati esaminati nella pianificazione della campagna idrogeologica; in essa è visibile il numero di sorgenti analizzate suddivise in base alla gestione tra pubblico, privato o senza informazioni; vi è poi un'ulteriore suddivisione basata sul tipo di risorsa considerata ed il conteggio della stessa.

Gestione Risorsa	Tipo Risorsa	Totale punti
Pubblica	Pozzo	3
	Sorgente	72
Pubblica Totale		75
Privata	Pozzo	1
	Sorgente	17
Privata Totale		18
Nessuna informazione	Acqua corrente	1
	Piezometro	11
	Sorgente	1
	Torrente	6
Nessuna informazione Totale		20
Totale complessivo		112

Tabella 12-8 - Considerazioni tipologiche sui punti monitorati nel corso della campagna idrogeologica.

#### 12.4.2 Acquisizione dati

Lo scopo ed il significato geochimico delle misure effettuate in campagna permette di evidenziare come questi parametri possano essere identificativi degli acquiferi a cui si riferiscono. La combinazione dei parametri misurati infatti si comporta come una sorta di “impronta digitale”, caratterizzando univocamente (nel limite della variabilità statistica) acquiferi separati, permettendo così il loro discernimento.

I dati analizzati in campagna sono:

- Acquisizione delle coordinate Longitudine, Latitudine ed elevazione nel sistema di riferimento geografico WGS84 per l’implementazione del punto in BDIB;
- Temperatura acqua;
- Temperatura esterna;
- Conduttanza Specifica;
- pH;
- Potenziale Redox;
- Ossigeno Disciolto

I dati ricavati dall’analisi delle acque delle varie emergenze idriche monitorate (due esempi del campionamento delle acque sono mostrati nella Figura 12-4 e nella Figura 12-5) sono stati riportati nella Banca Dati BDIB georiferita ed estrapolati in apposite tabelle; per le elaborazioni geochimiche si rimanda al Paragrafo 12.5.2.



Figura 12-4 - Misura dei parametri chimico- fisici in una sorgente.



Figura 12-5 - Misura dei parametri chimico-fisici in uno dei sondaggi geonostici (S4).



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

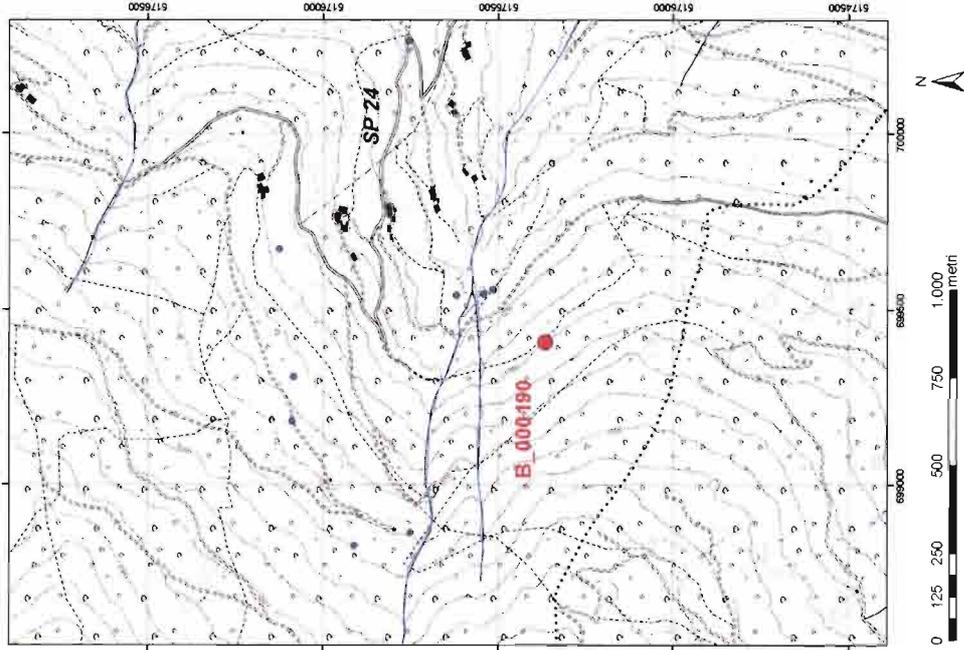
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	91 di 268

### 12.4.3 Schede punti acqua monitorati

Durante la fase di censimento sono state raccolte informazioni su 1224 punti d'acqua fra cui sono stati selezionati 112 punti di campionamento ove sono state effettuate le analisi chimico-fisiche; i criteri di scelta della selezione sono stati precedentemente descritti nel Paragrafo 12.4.1.

Fra i 112 punti d'acqua selezionati per il monitoraggio dei parametri chimico-fisici delle acque di falda sono stati scelti 105 punti sui quali redigere schede tecniche di dettaglio. Tali punti si riferiscono alle sorgenti, ai pozzi e ai piezometri, tralasciando i punti di campionamento riferiti ai torrenti e alle acque correnti. In totale sono state compilate 105 schede tecniche di dettaglio, raccolte in apposito elaborato. Si riportano di seguito 2 schede a titolo di esempio (Figura 12-6 e Figura 12-7).

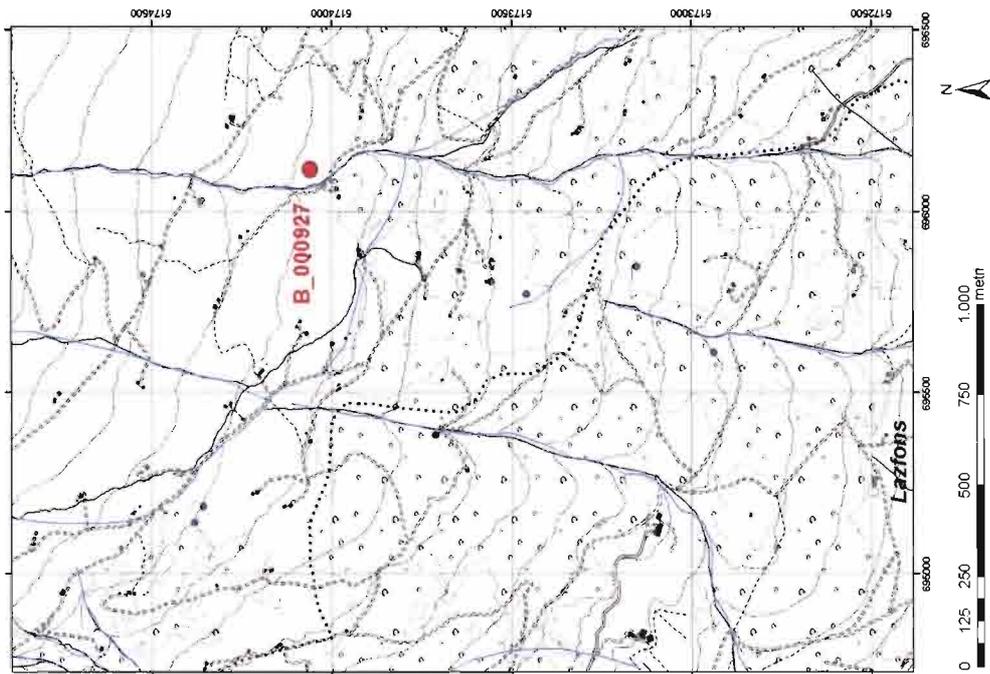
Nelle succitate schede, oltre alla planimetria di ubicazione dei punti d'acqua misurati, sono state inserite le foto scattate durante le misurazioni ed una tabella semplificativa dei parametri geometrici, anagrafici e fisici della derivazione, meglio esplicitati nel paragrafo 12.4.3.1.



Spinoff		CGT spinoff s.r.l.	
STUDIO IDROGEOLOGICO PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA (LOTTO 1)			
Scheda n. 1			
ID_PROGETTO:	B.000190	ID_RF:	0001
Tipo:	Sorgente	Denominazione:	Assandati
Comune:	Bassano	Località:	Montebelluna
Dati catastali:	p.1.144	Quota (m):	126
Coordinata x (ETRS89) [m]:	499412	Coordinata y (ETRS89) [m]:	517359
Coordinata x (GB) [m]:	498443	Coordinata y (GB) [m]:	417624
Classificazione idrogeologica:	CS15	Tipo e regime di sfruttamento:	usata per abbever.
Opera di presa:	BR080225	Numero Tubi:	3
Concessionario:	Intesa Sanpaolo	Accessibilità:	Buona
Area bacino stimata [km²]:	2,4	Data compilazione:	Luglio 2012
Ultima misura effettuata:	20062012	Numero monitoraggi:	2
Portata [L/s]:	0,31 (06/01), 0,34 (27/04)		



Figura 12-6 - Scheda di monitoraggio relativa alla sorgente Altkaserquelle



**SpinOff**

**CGT SpinOff s.r.l.**

STUDIO IDROGEOLOGICO PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA (LOTTO 1)

Scheda n. 36	ID_PROGETTO:	B_000927	ID_RFI:	8036
	Tipo:	Sorgente	Denominazione:	Ausserbach
	Comune:	Volturno	Località:	Volturno
	Dati catastali:	p.t. 225/71	Quota (m):	1745
	Coordinata x (ETRS89) (m):	4961375	Coordinata y (ETRS89) (m):	5174007
	Coordinata x (GB) (m):	11961154	Coordinata y (GB) (m):	51742162
	Classificazione idrogeologica:	Subfreatica	Tipo e regime di sfruttamento:	controllata con valvola
	Opera di presa:	Acquedotto	Numero Tubi:	5
	Concessionario:	Comune di Volturno	Accessibilità:	Plum
	Area bacino stimata (km²):	0,26	Data compilazione:	11 luglio 2012
	Ultima misura effettuata:	2/05/2017	Numero monitoraggi:	1
	Portata (l/s):	3,37 (23005)		





Figura 12-7 - Scheda di monitoraggio relativa alla sorgente Ausserbach

#### 12.4.3.1 Descrizione dei campi delle schede

La tabella inserita nelle schede costituisce un sunto essenziale dei parametri anagrafici e fisici del punto d'acqua preso in considerazione; nel particolare sono stati inseriti:

- ID\_PROGETTO: ID univoco per tutti i record (punti risorse idriche) facenti parte della BDIB utile all'omogeneizzazione dei dati;
- ID\_RFI: ID univoco utilizzato da RFI in ambito di progetto preliminare;
- Tipo: tipologia di Risorsa idrica, (sorgente, pozzo, piezometro, punto torrente);
- Denominazione: nome provinciale o locale solitamente attribuito alla sorgente;
- Comune: per meglio localizzare e focalizzare il punto;
- Località;
- Dati catastali: dove possibile è stato inserito la particella catastale;
- Coordinate X e Coordinate Y nei due sistemi di riferimento utilizzati Gauss Boaga fuso Ovest e ETRS89 32N;
- Classificazione idrogeologica: classificazione della derivazione tra superficiale, mista o profonda, effettuata in base a tutti i parametri chimici e chimico – fisici raccolti (per maggiori chiarimenti si rimanda al paragrafo 12.5.2 sulle considerazioni geochimiche);
- Tipo e regime di sfruttamento, uso della sorgente
- Opera di presa: tipologia opera di presa, per esempio calcestruzzo;
- Numero tubi: numero di tubi nell'opera di presa
- Concessionario: ente che ha richiesto la concessione nel caso di opera pubblica;
- Accessibilità: accessibilità al sito
- Area bacino stimata: si rimanda al paragrafo 12.4.3.1.1;
- Data compilazione: data compilazione della scheda;
- Ultima misura effettuata: data dell'ultima misura dei parametri chimico-fisici della sorgente;
- Numero monitoraggi: numero di misure effettuate nell'ambito di questo studio;
- Portata: portata in l/s quando possibile anche delle due diverse date di misura

##### 12.4.3.1.1 **Area stimata bacino**

La stima delle aree di ricarica delle sorgenti misurate, è partita dall'assunzione che l'area di ricarica di una sorgente coincida con il bacino idrografico. Tale assunzione non sempre è vera, soprattutto in condizione di elevata eterogeneità del mezzo sia da un punto di vista litostratigrafico che strutturale, condizioni tuttavia non presenti nell'area di studio vista la prevalenza dei litotipi filladici dell'Unità di Bressanone.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A	FOGLIO 95 di 268

La verifica dei limiti del bacino idrografico è stata effettuata con una tools di ESRI ArcGis, che permette partendo da un DEM (reperito dalla Provincia autonoma di Bolzano) di ottenere informazioni riguardante la superficie di drenaggio del bacino e le caratteristiche di runoff. Il flusso attraverso una superficie deve essere calcolato lungo la direzione di massima pendenza. Una volta nota la direzione di flusso in ogni cella di un DEM, è possibile determinare quali e quante di esse fluiscono in una data cella.

Questa informazione è fondamentale in quanto permette di ottenere i limiti di un bacino idrografico considerabile come base per la perimetrazione delle aree di ricarica per ogni sorgente sottoposta ad indagine.

## 12.5 Inquadramento idrogeologico e idrogeochimico

### 12.5.1 Bilancio Idrogeologico

Nel corso del presente studio si è proceduto a riesaminare il bilancio idrologico effettuato nell'ambito del Progetto Preliminare, implementato attraverso dati estesi sino al 2011.

#### 12.5.1.1 Caratteristiche pluviometriche dell'area

I dati pluviometrici per le stazioni di rilevamento regionali più prossime al territorio in studio sono stati reperiti presso l'Ufficio idrografico della Provincia autonoma di Bolzano. In particolare, le stazioni utilizzate per le elaborazioni presenti in questo documento sono elencate in Tabella 12-9, mentre l'ubicazione delle stazioni è visualizzata in Figura 12-8.

Stazione Pluvio-Termometrica	Cod.	m s.l.m.	X_UTM (m)	Y_UTM (m)
Fortezza - Franzensfeste	3850	725	700940	5183893
Valles - Vals	6860	1410	700296	5191661
Bressanone - Brixen	6960	560	703889	5177222
Ponte Gardena - Waidbruck	7490	490	693721	5163281
Fiè allo Sciliar - Völs am Schlern	7560	840	692236	5154144

Tabella 12-9 – Stazioni pluvio-termometriche utilizzate per la validazione del bilancio idrogeologico.

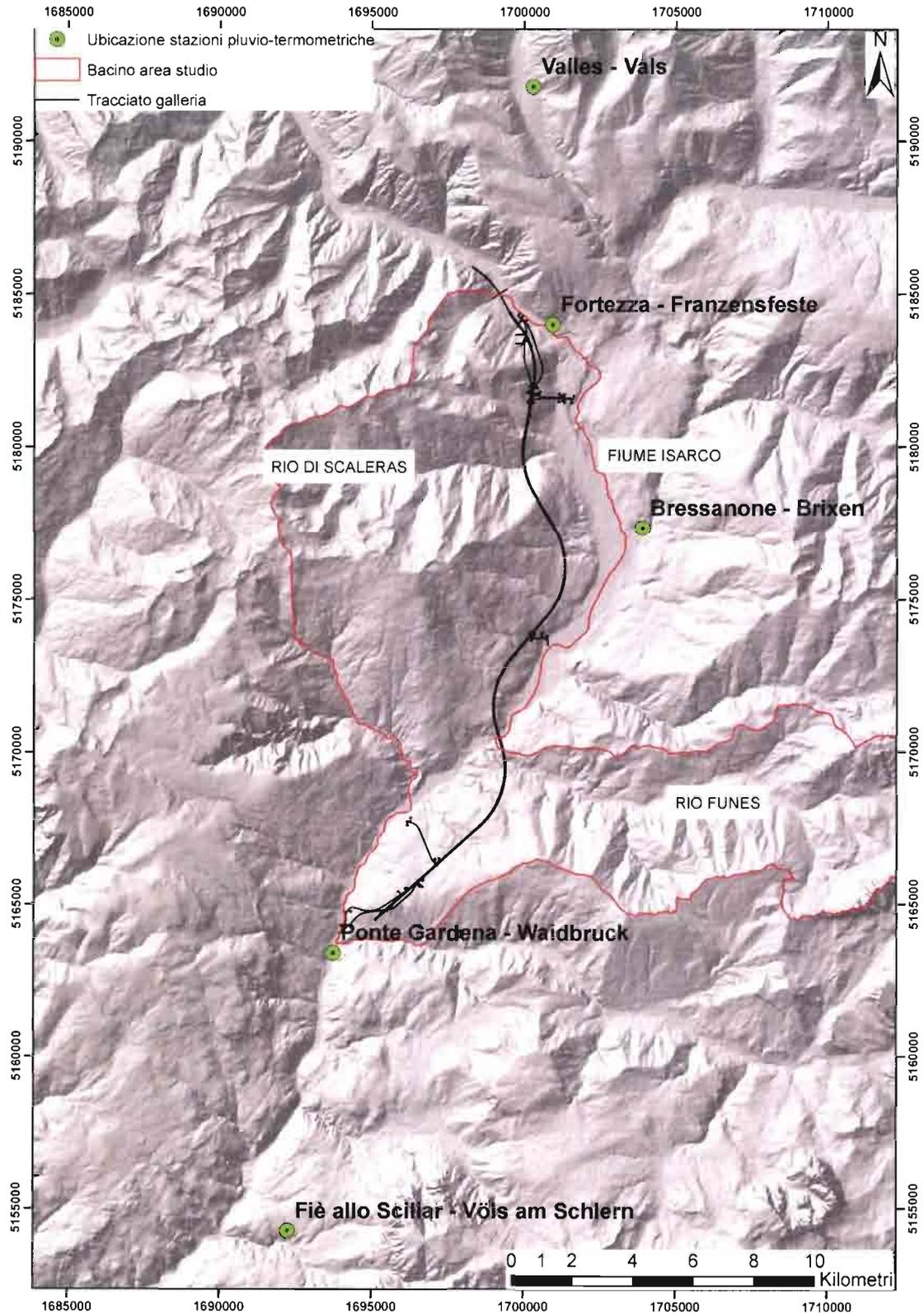


Figura 12-8 - Ubicazione delle stazioni termo-pluviometriche analizzate nell'area di studio.

Per ogni stazione di misura sono stati analizzati i dati di precipitazione e temperatura, in particolare sono stati studiati gli andamenti delle precipitazioni medie mensili per il quarantennio 1971 – 2011 (Figura 12-9) e l'andamento delle precipitazioni cumulate associate alle temperature medie minime e massime dell'area di studio.

Dal grafico relativo alla stazione di Fortezza (Figura 12-9) si nota come i periodi più piovosi medi per i quattro decenni presi in considerazione vanno da maggio ad agosto con massimi di circa 100 mm per il periodo 1991 – 2000.

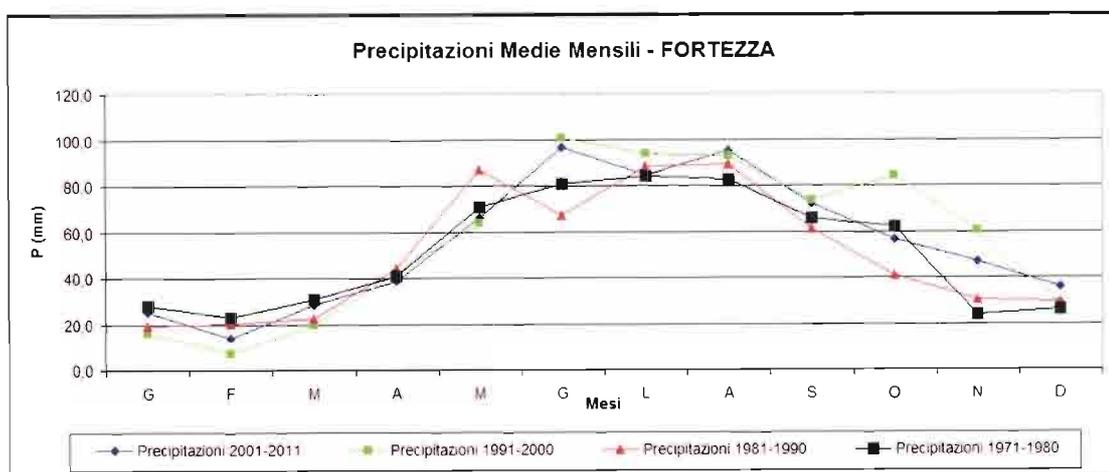


Figura 12-9 - Andamento delle precipitazioni medie mensili per il periodo 1971 – 2011.

Se invece si analizzano i singoli anni (Figura 12-10) in termini di piovosità assoluta associati alle temperature medie minime e massime si può notare una certa ciclicità nei primi trent'anni in termini di millimetri di pioggia registrata dalla stazione di misura, con massimi in corrispondenza degli anni 1979, 1987, 1996.

Invece per l'ultimo decennio preso in considerazione (2000 – 2011) si ha un aumento della quantità di pioggia registrata dalla stazione di misura con massimi per gli anni 2000 e 2008.

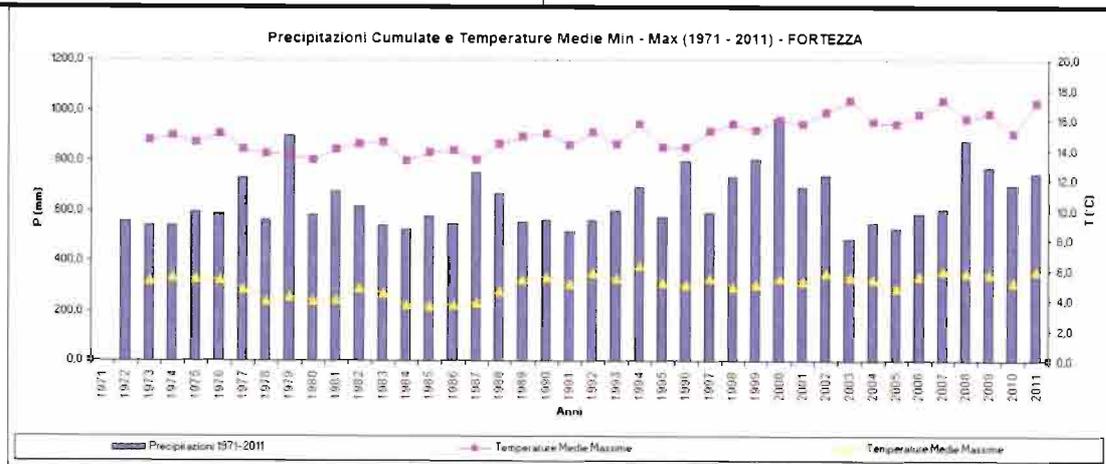


Figura 12-10 - Andamento delle precipitazioni cumulate associate alle temperature medie minime e massime per il periodo 1971 – 2011.

Le precipitazioni medie mensili registrate nella stazione di Valles (Figura 12-11) mostrano un andamento circa regolare per i periodi 1971-1980, 1991-2000 e 2001-2011 in cui si può notare come i periodi più piovosi vanno da giugno ad ottobre. Invece il periodo 1981-1990 mostra una variazione rispetto agli altri periodi, legata probabilmente all'ubicazione topografica del punto di misura che si trova ad una quota più alta (1410 metri s.l.m.).

Per quanto riguarda il grafico di Figura 12-12 non si ha una regolarità dei dati in quanto si hanno dei gap di misura dovuti probabilmente al non funzionamento della stazione di misura. L'anno più piovoso risulta essere il 2000, le medie delle temperature massime sono molto variabili rispetto alle medie minime.

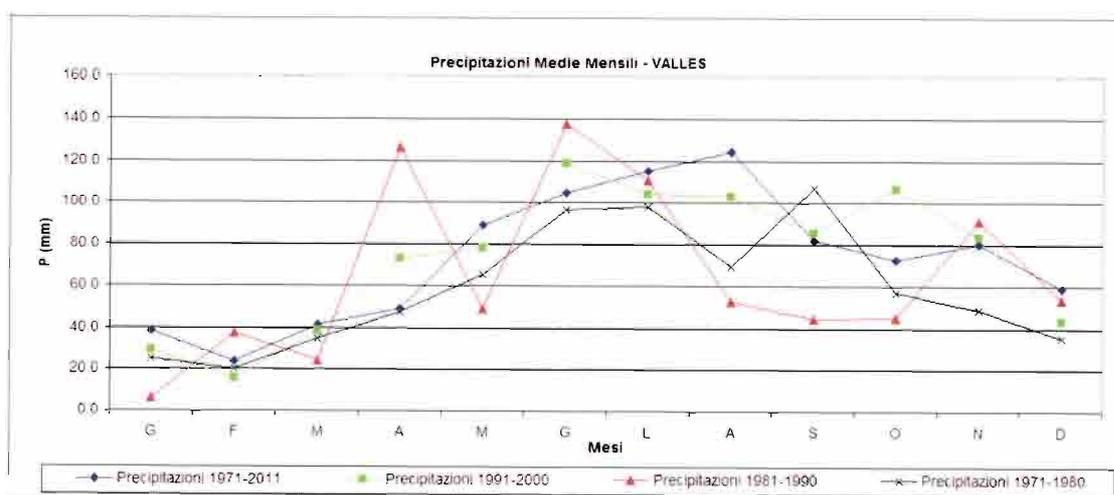


Figura 12-11 - Andamento delle precipitazioni medie mensili per il periodo 1971 – 2011.

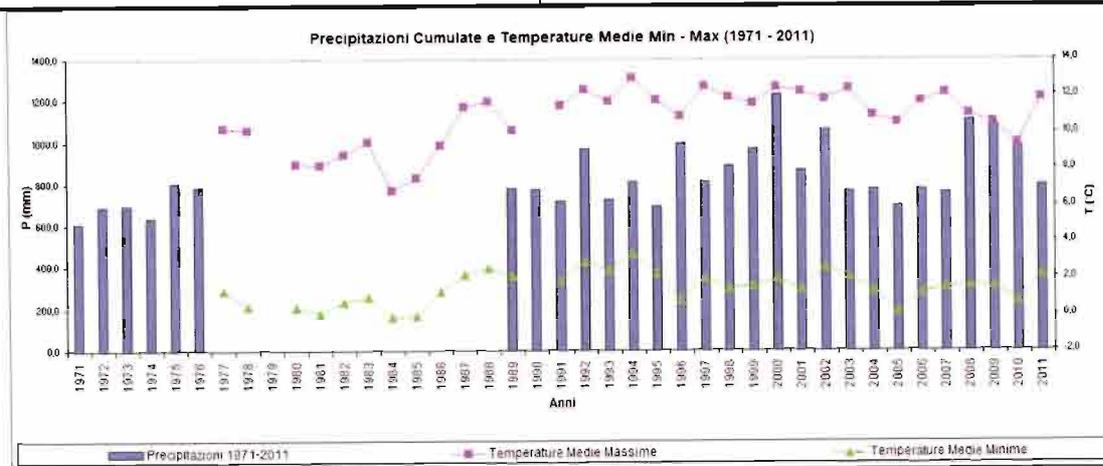


Figura 12-12 - Andamento delle precipitazioni cumulate associate alle temperature medie minime e massime per il periodo 1971 - 2011.

La stazione di Bressanone (Figura 12-13) segue un andamento regolare simile alla stazione di Fortezza (Figura 12-9) con periodi più piovosi per il periodo giugno agosto.

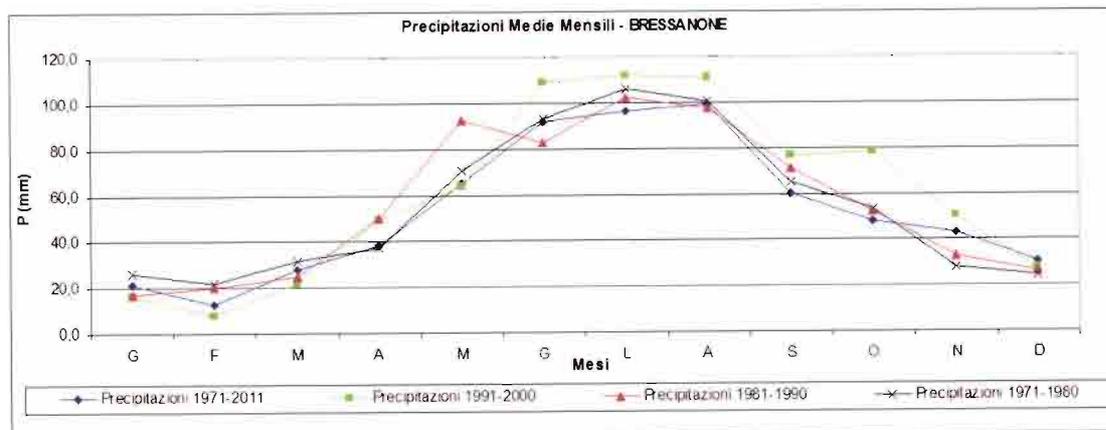


Figura 12-13 - Andamento delle precipitazioni medie mensili per il periodo 1971 - 2011.

Il grafico di Figura 12-14 mostra come i gli anni più piovosi sono il 1979, il 1987 e il 2000 mentre per quanto riguarda l'andamento delle temperature media si può notare che l'anno più freddo sia il 1980 con medie minime intorno a 0°C e massime medie intorno ai 14 °C.

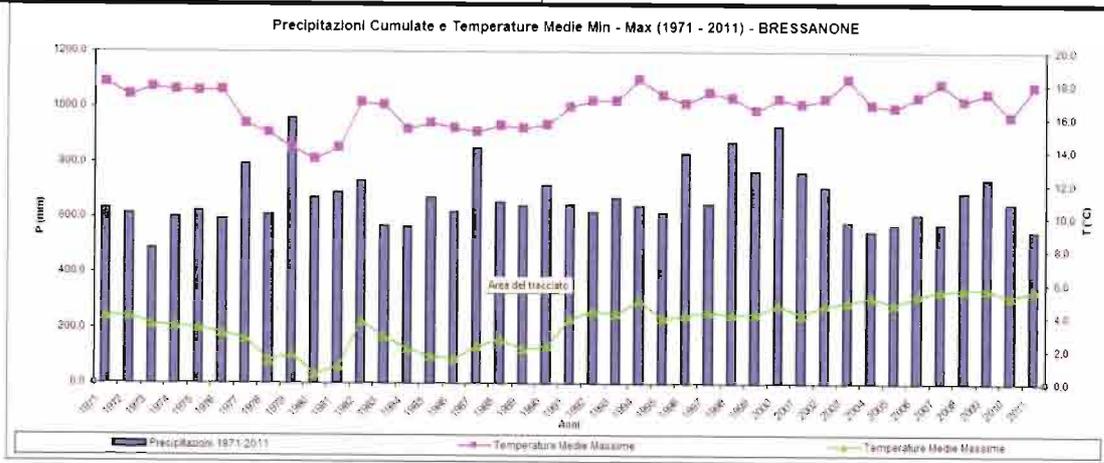


Figura 12-14 - Andamento delle precipitazioni cumulate associate alle temperature medie minime e massime per il periodo 1971 - 2011.

Le precipitazioni medie mensili per le stazioni di Ponte Gardena (Figura 12-15) e Fie-Allo-Sciliar (Figura 12-17) mostrano lo stesso andamento, con i periodi più piovosi che vanno da giugno ad agosto.

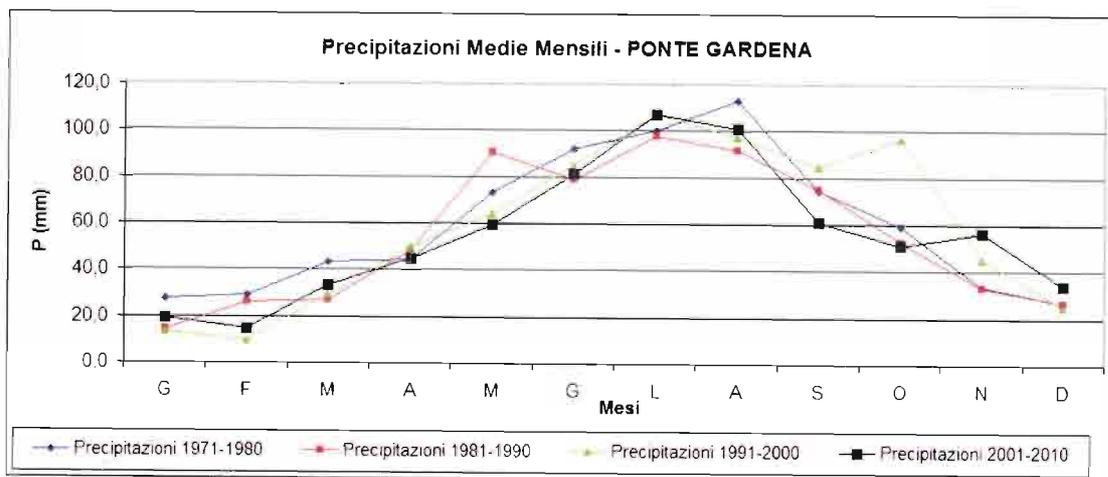


Figura 12-15 - Andamento delle precipitazioni medie mensili per il periodo 1971 - 2011 per la stazione di Ponte Gardena.

Anche i valori delle temperature medie minime e massime registrate nelle due stazioni (Figura 12-16 e Figura 12-18) mostrano lo stesso andamento mentre si ha una notevole differenza per quanto riguarda la misura della piovosità.

Nella stazione di Ponte Gardena (Figura 12-16) i valori di piovosità risultano inferiori a quelli registrati per la stazione di Fiè allo Sciliar (Figura 12-18).

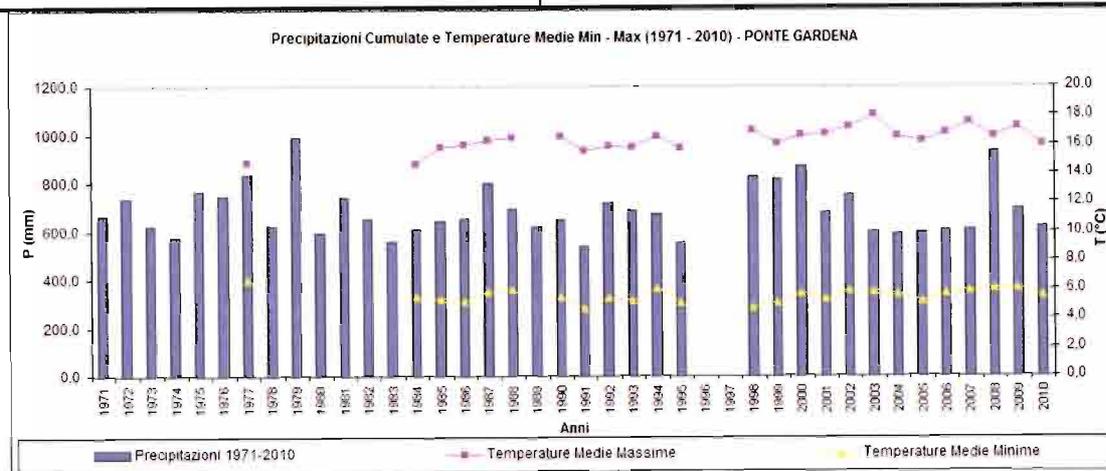


Figura 12-16 - Andamento delle precipitazioni cumulate associate alle temperature medie minime e massime per il periodo 1971 - 2011 per la stazione di Ponte Gardena.

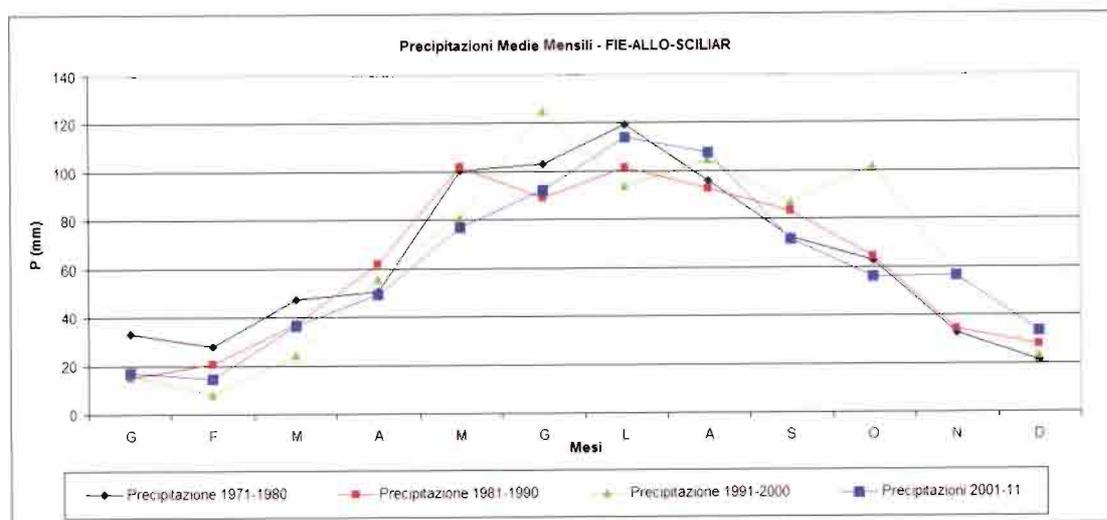


Figura 12-17 - Andamento delle precipitazioni medie mensili per il periodo 1971 - 2011 per la stazione di Fiè allo Sciliar.

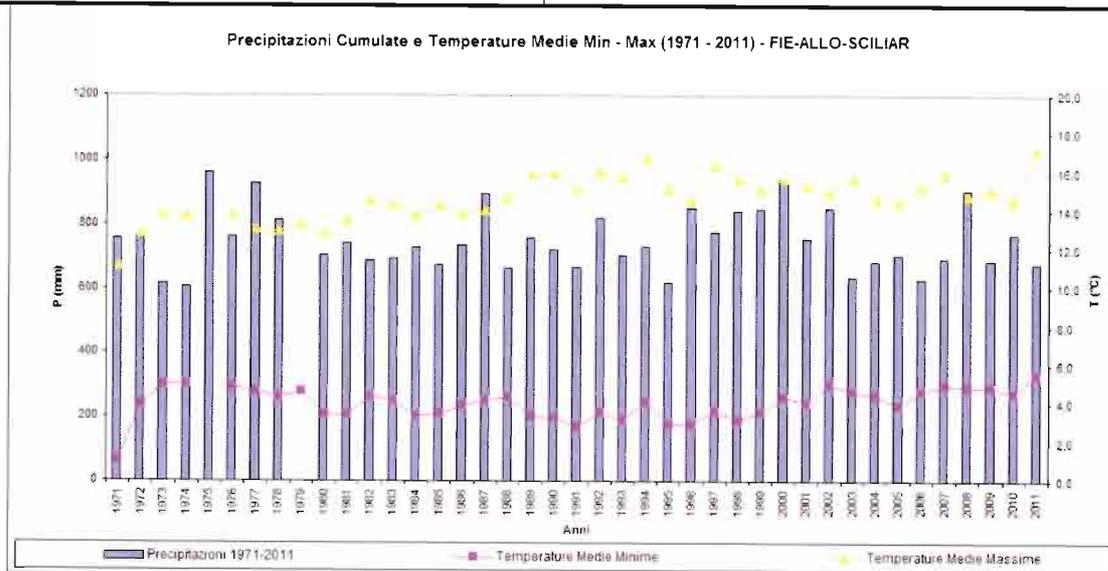


Figura 12-18 - Andamento delle precipitazioni cumulate associate alle temperature medie minime e massime per il periodo 1971 - 2011 per la stazione di Fie-Allo-Sciliar.

In generale è possibile notare come per il periodo 1971-2011 l'andamento delle piovosità si è mantenuto pressoché costante, con qualche minima variazione legata soprattutto all'ubicazione topografica della stazione di misura.

Anche la media delle temperature minime e massime rispecchiano la stagionalità della misura stessa, con qualche minima variazione legata soprattutto a qualche particolare annata in cui si sono registrate valori di temperatura più alti o più bassi rispetto alla situazione generale.

Per comprendere meglio la situazione dal punto di vista meteo climatico abbiamo concentrato l'attenzione nell'ultimo decennio considerato come più rappresentativo della situazione climatica attuale dell'area di studio.

Nelle seguenti Tabella 12-10 e Tabella 12-11 sono riportate le medie per il periodo considerato pari ad un terzo dell'anno idrologico medio, dal 2001 al 2010 compresi. Da tali tabelle si nota come il periodo più piovoso sia luglio e ottobre, mentre quello più arido sia febbraio (Tabella 12-11). L'andamento delle temperature medie annuali delle varie stazioni pluviotermometriche considerate è riportato in Tabella 12-12 - Temperature massime medie e minime medie annuali nelle stazioni considerate.

Stazione	Anno										
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2001-10
Ponte Gardena - Waidbruck	677.6	750.6	597.0	587.8	591.2	602.0	608.2	929.3	692.3	616.2	665.2
Bressanone - Brixen	763.2	710.6	580	548.8	572.4	609.6	575	689.4	737.4	649.2	643.5
Valles - Vals	867.8	1056.6	761.8	773.2	690.2	776.2	761	1105.8	1086.5	983.5	886.3
Fortezza - Franzensfeste	692.2	738	482.8	548.4	527.4	586.2	600.6	874.6	770.1	699	652.1
Fiè allo Sciliar - Völs am Schlern	754.4	851.2	635.6	682.8	704.4	629	694.8	903.2	686.3	766.8	730.8

Tabella 12-10 - Precipitazioni atmosferiche annue (cumulate annuali) nel periodo considerato.

Stazione	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Fortezza - Franzensfeste	26.1	14.9	29.6	42.3	65.2	88.6	82	97.4	63.9	54.8	51.8	35.5
Valles - Vals	39.8	24.6	42	53.1	91	96.9	116.7	126.7	75.9	71.7	87.6	60.3
Bressanone - Brixen	22.1	13.5	30	41.5	65.3	88.7	97.5	102.1	57.1	47.3	47.2	31.2
Ponte Gardena - Waidbruck	19.1	15	33.7	44.8	59.7	81.3	107.4	101.2	61	51.1	56.6	34.3
Fiè allo Sciliar - Völs am Schlern	17.9	15.2	37.9	52	76.1	85.4	117.1	109.8	68.2	54.5	61.5	35.2

Tabella 12-11 - Precipitazioni medie mensili per il periodo considerato.

Stazione	Gennaio		Febbraio		Marzo		Aprile		Maggio		Giugno		Luglio		Agosto		Settembre		Ottobre		Novembre		Dicembre		ANNO	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
Ponte Gardena - Waidbruck	4.8	-3.5	8.8	-2.1	13.6	1.6	17.7	5.7	22.3	9.6	26.3	12.9	28.1	14.4	27.0	14.1	22.0	10.3	17.2	6.8	10.1	1.6	4.6	-2.6	16.9	5.7
Bressanone - Brixen	4.6	-4.4	9	-2.7	14	0.8	18.1	4.9	23	9.1	27	12.6	28.7	13.8	27.5	13.6	22.6	9.7	17.3	6.4	9.7	1.2	4.5	-3.2	17.2	5.2
Valles - Vals	2.0	-6.6	3.1	-6.1	6.4	-3.3	10.3	0.3	15.6	4.9	20.0	8.1	21.8	9.6	20.5	9.3	15.9	5.6	11.5	2.8	5.7	-1.6	2.0	-5.8	11.2	1.4
Fortezza - Franzensfeste	3.1	-4.1	7.2	-2.2	12.6	1.1	17.2	5.1	22.3	9.5	26.5	13.0	28.8	14.4	27.3	14.1	22.0	10.2	16.2	6.6	8.5	1.5	3.0	-2.8	16.2	5.5
Fiè allo Sciliar - Völs am Schlern	3.6	-4.3	6.4	-3.2	11	0.1	15.2	3.8	20.5	8.4	24.8	12	26.6	13.4	25.3	13	20.1	9	15	5.6	8.3	0.7	3.5	-3.5	15	4.6

Tabella 12-12 - Temperature massime medie e minime medie annuali nelle stazioni considerate.

In Figura 12-19 e Figura 12-20 sono riportati gli andamenti delle precipitazioni annuali sia in termini medi, sia come medie delle distribuzioni cumulate relative alle stazioni considerate.

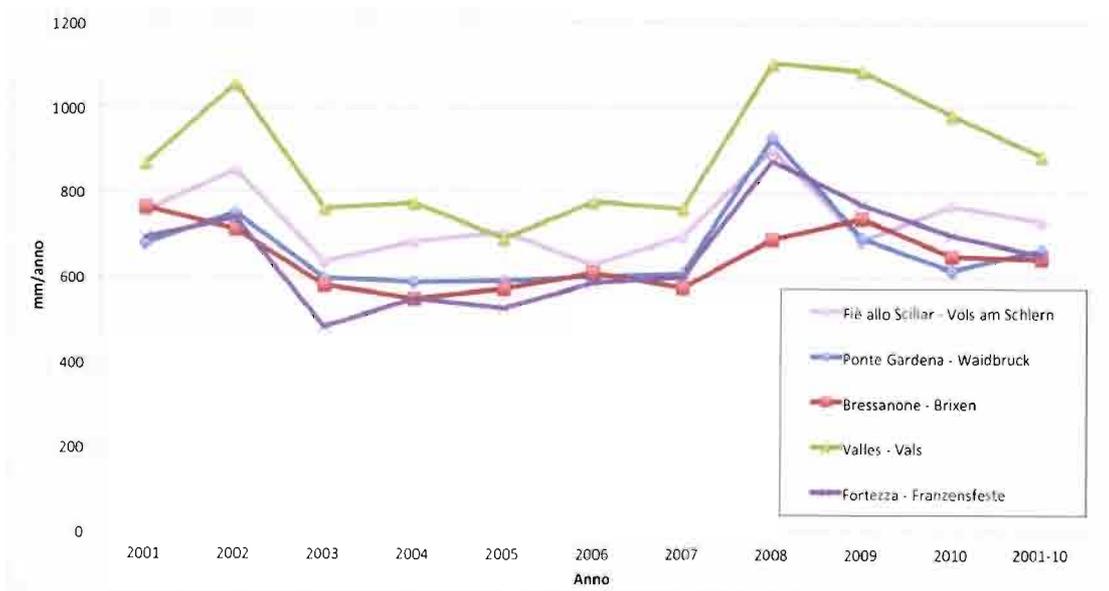


Figura 12-19 - Precipitazioni annuali relative alla media dei valori annuali cumulati delle quattro stazioni considerate.

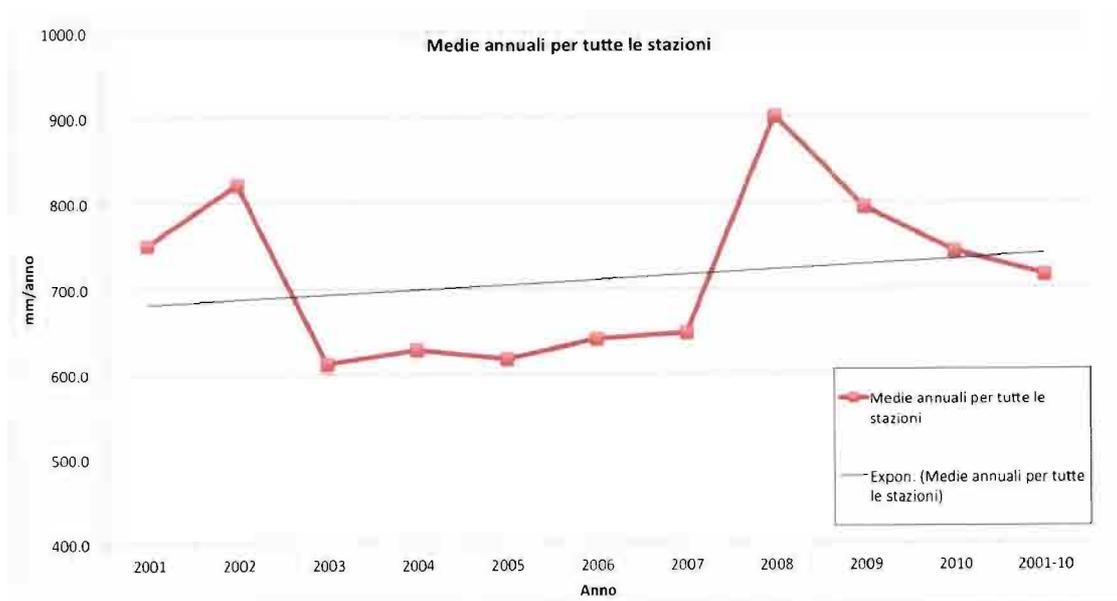


Figura 12-20 - Media delle precipitazioni annuali cumulate delle stazioni considerate, con indicazione della retta di tendenza.

Una delle metodologie per evidenziare le caratteristiche climatiche dell'area di studio è quella di Bagnouls - Gaussen che mette in relazione la temperatura media mensile e la piovosità totale mensile per ogni stazione di registrazione, tramite diagrammi detti ombrotermici. Tali diagrammi riportano in ascisse i mesi dell'anno, in ordinata di destra le precipitazioni totali mensili (in mm) e in ordinata di sinistra le temperature medie mensili in °C.

La scala relativa alle temperature è doppia rispetto a quella delle precipitazioni. Quando la curva termica è sotto a quella delle precipitazioni si ha un bilancio d'acqua positivo e quindi un periodo umido. Quando la curva termica è sopra quella pluviometrica, si ha un periodo secco con valori più elevati dell'evaporazione e della traspirazione. L'eventuale superficie di sovrapposizione mostrerebbe la durata ed anche l'intensità del periodo secco.

L'elaborazione dei dati è stata realizzata attraverso la costruzione di matrici per ogni stazione per un periodo di tempo pari a dieci anni, in particolare dal 2001 al 2010. L'assenza di incroci delle matrici ha permesso la redazione di 5 grafici ombrotermici che riportano i mesi in cui si ha un bilancio d'acqua sempre positivo ma con un calo delle precipitazioni (in ogni caso non periodi aridi). Per cui per ogni stazione prevalgono i periodi umidi, secondo Bagnouls - Gaussen. Tali grafici sono riportati di seguito, da Figura 12-21 a Figura 12-25.

Dall'esame dei diagrammi è possibile evidenziare i seguenti aspetti:

- tutti i diagrammi presentano curve simili;
- teoricamente non sono mai presenti periodi aridi nel periodo considerato, ovvero negli ultimi dieci anni, data la non sovrapposizione delle curve di piovosità e temperatura;

- le stazioni considerate sono caratterizzate da simili periodi di piovosità pari intensa a circa un mese e mezzo in piena estate.

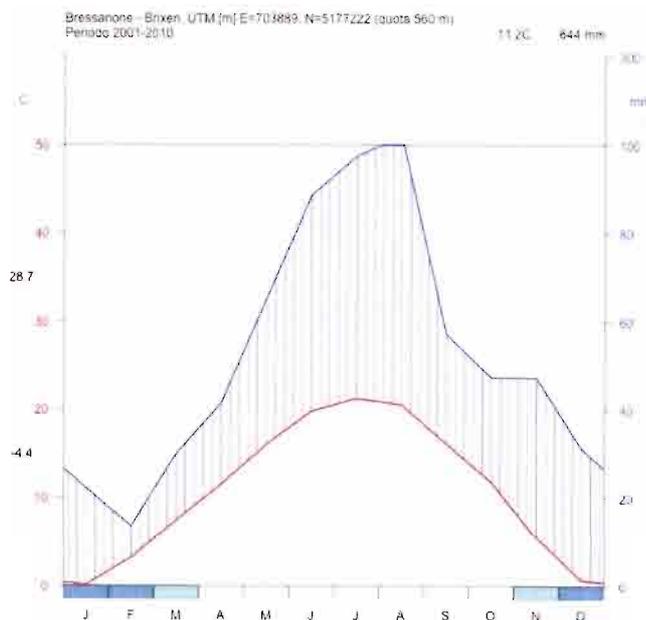


Figura 12-21 – Grafico ombrometrico per la stazione di Bressanone nel periodo 2001-2010.

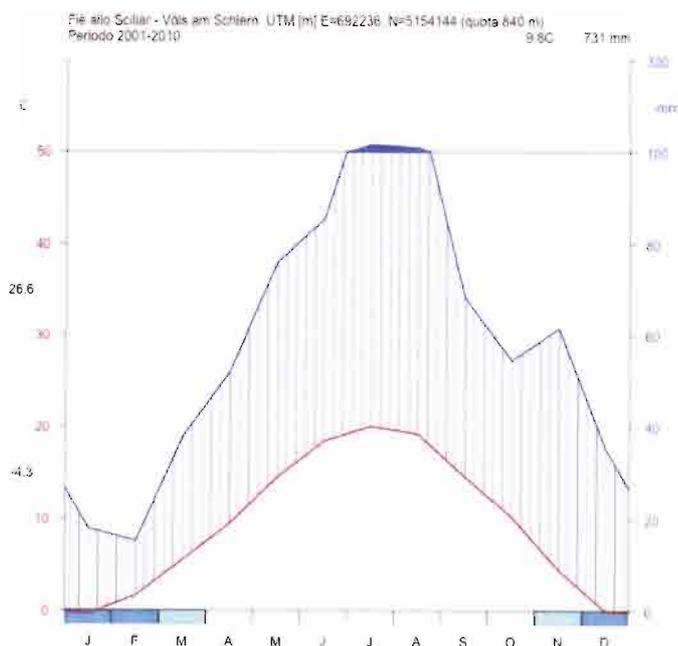


Figura 12-22 – Grafico ombrometrico per la stazione di Fiè allo Sciliar nel periodo 2001-2010.

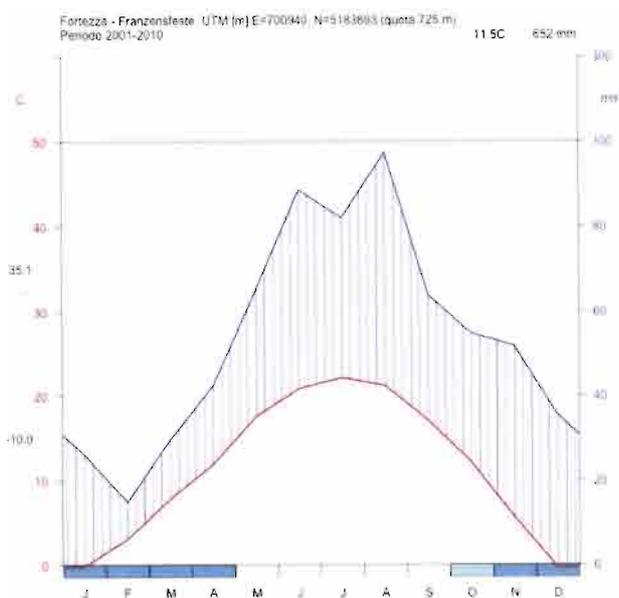


Figura 12-23 – Grafico ombrometrico per la stazione di Fortezza nel periodo 2001-2010.

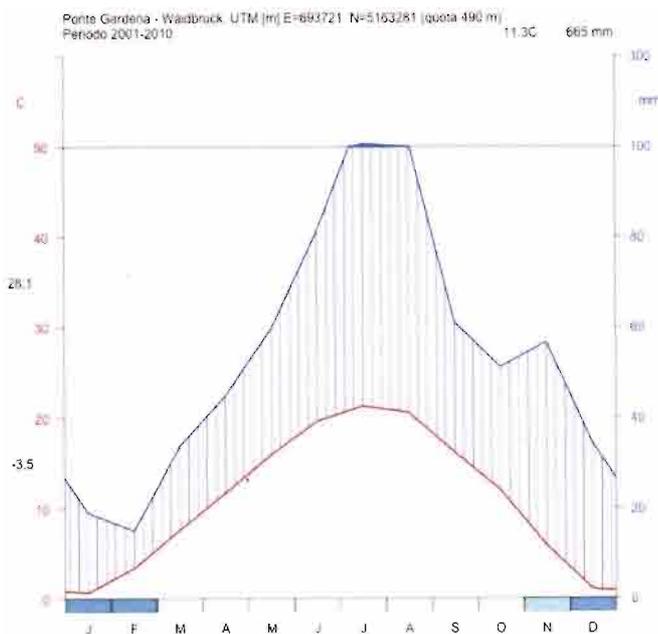


Figura 12-24 – Grafico ombrometrico per la stazione di Ponte Gardena nel periodo 2001-2010.

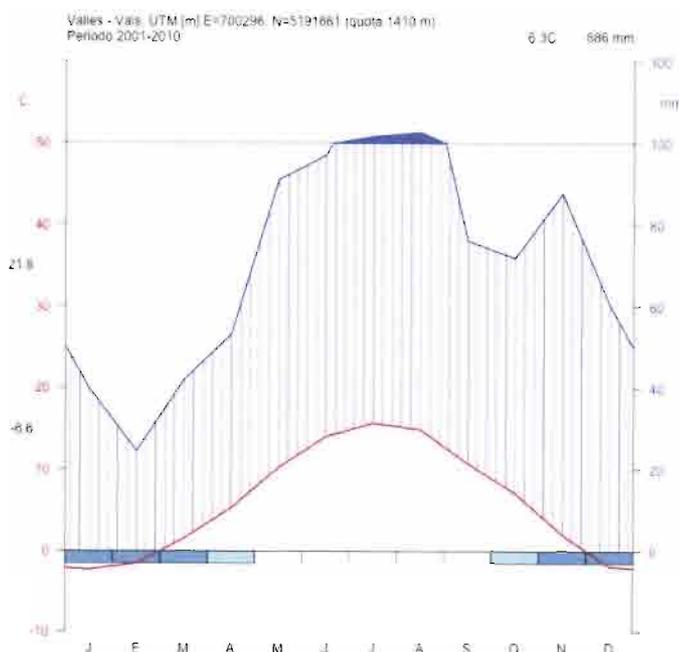


Figura 12-25 - Grafico ombrometrico per la stazione di Valles nel periodo 2001-2010.

### 12.5.1.2 Considerazioni sul bilancio idrologico

Le analisi eseguite sui dati termo-pluviometrici rappresentano elementi essenziali per la definizione degli afflussi e i deflussi necessari per l'interpretazione e l'analisi del bilancio idrologico. Lo studio delle serie storiche (1971-2000) utilizzate per la definizione dei parametri di infiltrazione efficace ed evapotraspirazione in fase di progettazione preliminare (RFI, 2003) sono state relazionate con i dati termo-pluviometrici dell'ultimo periodo (2001-2011) per capire l'evoluzione meteo climatica dell'area di studio e capire se si ha lo stesso trend evolutivo degli ultimi trent'anni.

L'analisi della serie storica 2001-2011 ha permesso di definire un andamento regolare che segue l'evoluzione della serie trentennale utilizzata negli studi pregressi, a conferma che nella suddetta area di studio l'evoluzione meteo climatica si può ritenere simile al periodo storico utilizzato per la definizione dei termini di entrata ed uscita dal sistema idrologico.

### 12.5.2 Considerazioni geochimiche

Lo scopo principale delle analisi geochimiche è stato quello di coadiuvare le considerazioni idrogeologiche riguardo la conoscenza dei circuiti idrogeologici caratterizzanti le sorgenti indagate. Si tratta di una informazione molto importante che, si tradurrà poi in uno dei parametri d'ingresso nel calcolo della vulnerabilità delle risorse idriche.

Per attuare tale scopo sono state utilizzate le indagini pregresse svolte durante la fase di progettazione preliminare, integrate dalle analisi effettuate dalla Provincia autonoma di Bolzano. I dati ottenuti per via bibliografica sono stati validati (ovvero si è accertato che le condizioni chimico-fisiche misurate durante le campagne precedenti a questo lavoro fossero ancora corrispondenti a quelle attuali) su una serie di punti, descritti nel Paragrafo 12.4.3; ciò è stato realizzato tramite la comparazione dei valori chimico-fisici da validare con quelli misurati durante la campagna di rilevamento svolta nel corso del presente studio.

### 12.5.2.1 Dati pregressi: dati relativi al Progetto Preliminare 2003-2004 e Dati della Provincia Autonoma di Bolzano

La maggior parte delle analisi effettuate è stata svolta durante lo svolgimento del progetto preliminare, svoltosi nel 2003/2004. Non essendosi svolte altre indagini idrogeochimiche successive a quelle del progetto preliminare, si rimanda a quest'ultimo per le considerazioni geochimiche di base, come i diagrammi di Schoeller (Progetto Preliminare, Allegato 1); sinteticamente si riporta che le acque analizzate sono genericamente riconducibili alla facies bicarbonato-calcica, riconducibile alla percolazione all'interno delle filladi a facies acida ed all'interno dei detriti di versante.

In questo paragrafo saranno descritte invece alcune delle caratteristiche geochimiche peculiari emerse dalle indagini preliminari e dai dati integranti riscontrati in Provincia. Caratteristica peculiare è l'elevato tenore [facendo riferimento alle concentrazioni massime ammissibili secondo le linee guida della W.H.O (World Health Organization)] in alcuni elementi chimici (Tabella 12-13).

ID Progetto	Superamenti							
	Antimonio	Arsenico	Boro	Cadmio	Ferro	Nichel	Selenio	Uranio
B_000056						X	X	X
B_000058		X						
B_000072								X
B_000214	X							
B_000301					X			
B_000615		X						
B_000616		X						
B_000617		X						
B_000628		X						
B_000630		X						
B_000635		X						
B_000636		X						
B_000640		X						
B_000647		X						
B_000651			X					
B_000654		X						
B_000761		X		X				
B_001129					X			
B_001143		X						
B_001173		X						

Tabella 12-13 –Superamenti dei limiti di legge; per l'Uranio si è fatto riferimento alle linee guida W.H.O.

Osserviamo che la maggior parte dei superamenti avviene nelle concentrazioni di Arsenico, elemento tipico dell'attività vulcanica continentale e caratteristico della zona alpina. Anche l'Antimonio, il Selenio e l'Uranio possono essere ricondotti ad interazioni con fluidi provenienti da attività vulcanica continentale. Il Nichel ed il Cadmio invece caratterizzano fluidi circolanti a contatto con rocce femiche. Queste informazioni sono state poi utilizzate per discriminare qualitativamente il punto d'acqua al quale sono associate.

### 12.5.2.1.1 Indagini isotopiche

La struttura nucleare di un atomo è definita dal numero di protoni "Z" (che definisce il numero atomico e quindi l'elemento) e dal numero di neutroni "N" (che definisce l'isotopo di quell'elemento). Per un dato atomo la somma di protoni e neutroni indica la massa atomica "A" (anche detto numero dei nucleoni), espressa dalla notazione  ${}^A_ZN_u$ .

I nuclidi che possiedono lo stesso numero di neutroni N si chiamano isotoni: essi non hanno in generale lo stesso numero di protoni (e di elettroni) e quindi appartengono ad elementi chimici diversi.

I nuclidi con lo stesso numero di massa A si chiamano isobari, e anche in questo caso non appartengono allo stesso elemento chimico. Si dicono, infine, isotopi atomi i cui nuclei sono costituiti da uno stesso numero di protoni e da un differente numero di neutroni; essi hanno lo stesso numero di elettroni e quindi le stesse proprietà chimiche, ma avendo masse diverse hanno proprietà fisiche differenti (da ciò deriva il frazionamento isotopico descritto da UREY nel 1947). L'analisi dei contenuti isotopici risulta quindi essere una componente importante nella caratterizzazione di una risorsa idrica. I dati analizzati in questa sezione fanno riferimento a quelli ottenuti durante la fase di indagine preliminare svoltasi tra agosto 2003 e luglio 2004.

Tali dati sono riportati (per quanto riguarda i punti misurati nell'area di studio) in Tabella 12-14.

	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]				$\delta^2\text{H}$ [‰]				$^3\text{H}$ [T.U.]			
B_000919	-10.71	-10.71	-10.73	-10.82	-73.4	-73.9	-73.9	-74.6	10.42	10.3	11.42	10.54
B_000491	-10.96	-10.98	/	/	-75.3	-74.8	/	/	7.84	8.9	/	/
B_000761	-10.84	-10.7	-10.87	-10.23	-73.5	-73.3	-74.7	-77.8	7.25	7.8	8.69	7.51
B_000834	-10.95	-10.75	-10.93	-11.05	-74.7	-74.3	-74.3	-76.7	9.72	10.4	12.2	9.54
	01/08/03	01/11/03	01/04/04	01/07/04	01/08/03	01/11/03	01/04/04	01/07/04	01/08/03	01/11/03	01/04/04	01/07/04

Tabella 12-14 - Risultati analisi isotopiche; i valori di  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^2\text{H}$  sono espressi in relazione al V-SMOW.

Dall'analisi dei risultati riportati in Tabella 12-14 è possibile evidenziare, nei primi due periodi di campionamento, un differente range di variabilità delle abbondanze di  $^{18}\text{O}$  e  $^2\text{H}$ , si hanno, infatti:

- nel mese di agosto 2003, un minimo pari a -10.96 ‰ ed un massimo di -10.71 ‰ per il  $\delta^{18}\text{O}$  ed un minimo pari a -75.3 ‰ ed un massimo di -73.4 ‰ per il  $\delta^2\text{H}$ ;

- nel mese di novembre 2003, un minimo pari a -10.98 ‰ ed un massimo di -10.7 ‰ per  $\delta^{18}\text{O}$  ed un minimo pari a -74.8 ‰ ed un massimo di -73.3 ‰ per il  $\delta^2\text{H}$ ;
- nel mese di aprile 2004, un valore minimo di -10.93 ‰ ed un massimo di -10.73 ‰ per  $\delta^{18}\text{O}$  ed un minimo di -74.7 ‰ e un massimo di -73.9 ‰ per il  $\delta^2\text{H}$ .
- nel mese di luglio 2004, un valore minimo di -11.05 ‰ ed un massimo di -10.23 ‰ per  $\delta^{18}\text{O}$  ed un minimo di -77.8 ‰ e un massimo di -74.6 ‰ per il  $\delta^2\text{H}$ .

Lo stesso lo possiamo osservare da Figura 12-26, che rappresenta la proiezione su un piano cartesiano (avente come ascisse i valori di  $\delta^{18}\text{O}$  e come ordinate i  $\delta^2\text{H}$ ) delle informazioni riportate nella precedente tabella.

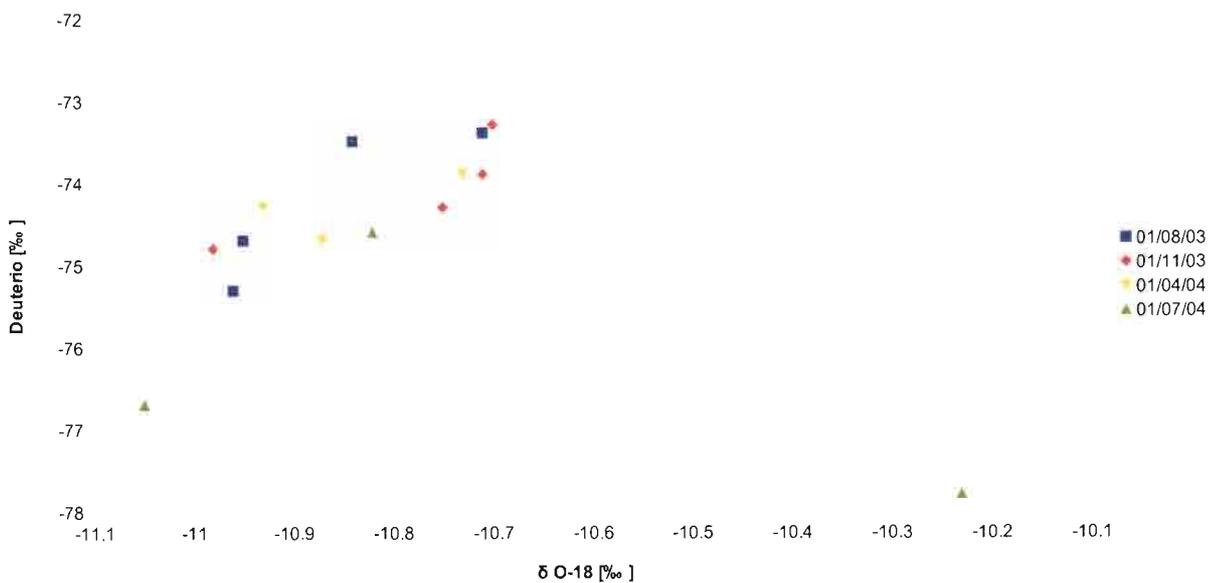
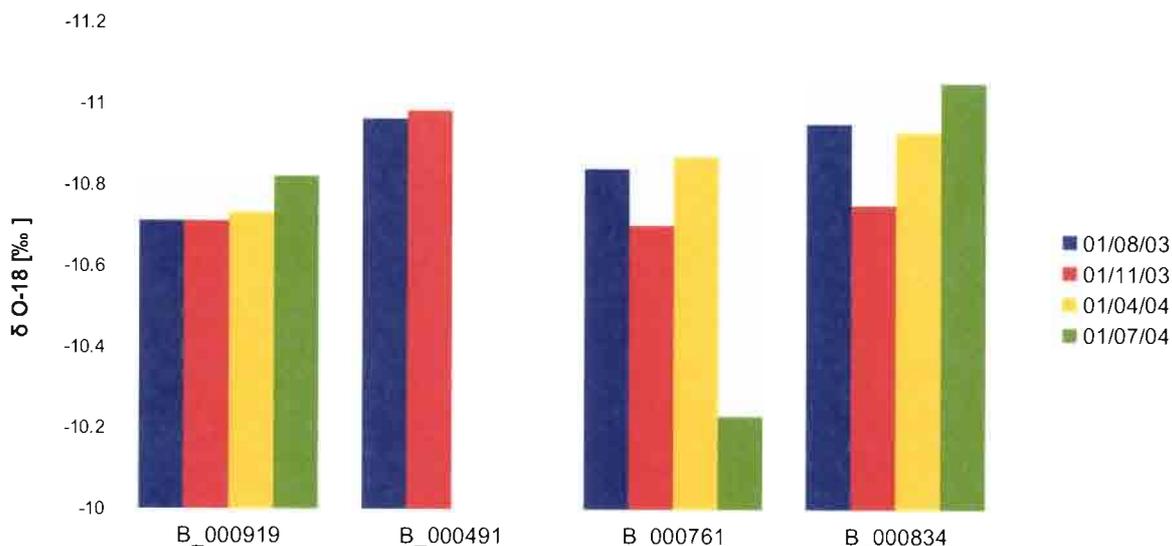


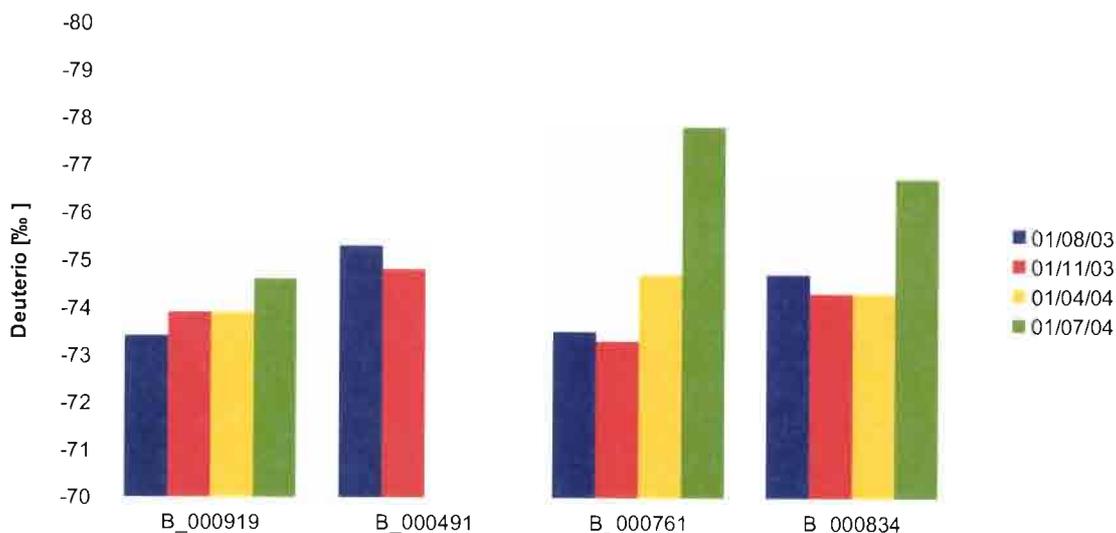
Figura 12-26 - Rappresentazione delle variazioni stagionali nel rapporto tra Deuterio e Ossigeno-18.

Appare subito evidente come ci sia un'anomalia nel punto B\_000761 durante il campionamento di luglio 2004. La spiegazione di questa anomalia non può essere determinata senza ulteriori informazioni a contorno e senza ulteriori analisi, al massimo si può ipotizzare che sia dovuta a errori di campionamento, in quanto si discosta molto dagli andamenti stagionali misurati negli altri punti, così come possiamo vedere in Figura 12-27 A e B.



Id

A)



Id

B)

Figura 12-27 - A) Variazioni stagionale dell'abbondanza di Ossigeno-18. B) Variazione stagionale dall'abbondanza di Deuterio.

Le variazioni temporali riscontrate, ad esclusione di quelle del punto B\_000761, risultano essere in linea con le variazioni climatiche stagionali, come previsto dalla teoria del frazionamento isotopico (UREY, 1947) e misurato da Gonfiantini nel 1982. Per tale motivo si è deciso di mediare i risultati ottenuti nei due anni di misure (ad esclusione del risultato del B\_000761 nel periodo di luglio 2004), ottenendo così un valore da poter comparare con

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	113 di 268

quelli presenti in bibliografia per quanto riguarda l'Italia settentrionale. In particolare in Figura 12-28 si può notare come i risultati ottenuti, e la loro retta di regressione, si accostino alla retta di regressione delle precipitazioni dell'Italia settentrionale tratta da bibliografia (Longinelli, 2003).

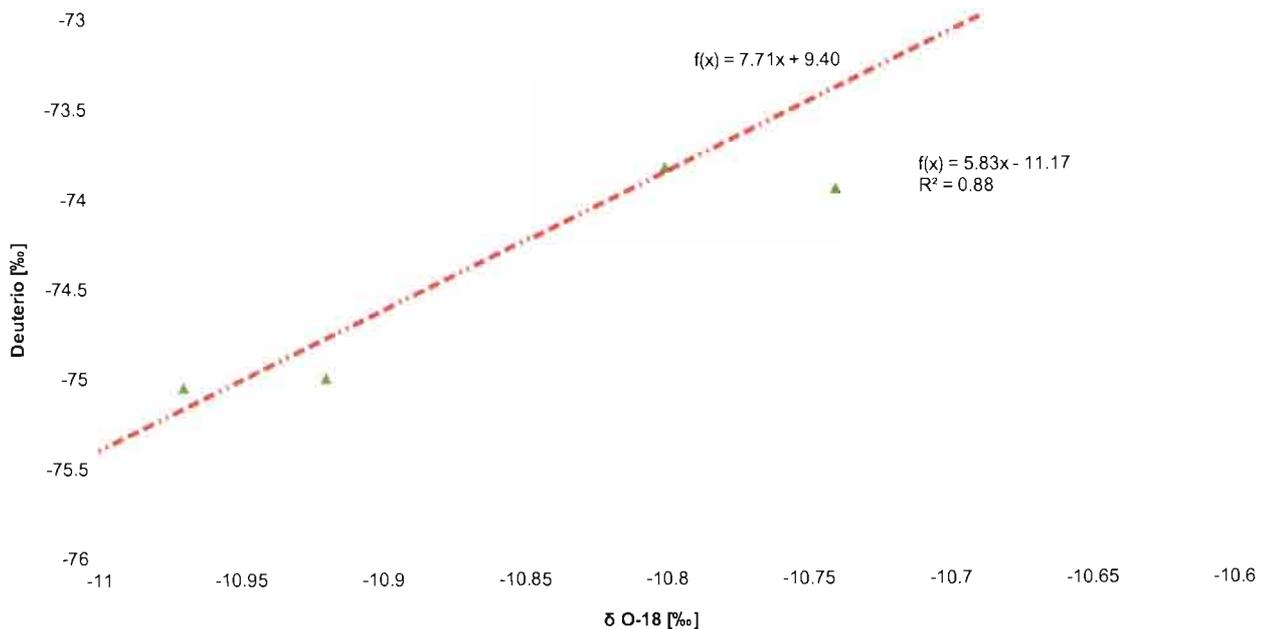


Figura 12-28 - Confronto tra la retta di regressione delle abbondanze isotopiche nelle precipitazioni dell'Italia Settentrionale (in rosso) e quella dei punti indagati nell'area di studio (in verde).

Questo lascia ipotizzare che le acque campionate abbiano la stessa natura di acque superficiali provenienti da acquiferi di detrito simili, differenziandosi solamente in base alla variazione delle quote di infiltrazione; circa 1500 m slm per i punti B\_000491 e B\_000834 e circa 1300 m slm per i punti B\_000761 e B\_000919.

Per quanto riguarda i valori di Trizio (riportati in Tabella 12-14), che ricordiamo essere l'isotopo instabile dell'Idrogeno con tempo di dimezzamento pari a 12.43 anni (Taylor, 1982), possiamo osservare come varino tra un minimo di 7.25 TU ad un massimo di 12.2 TU. In particolare possiamo apprezzare la variazione stagionale del contenuto in Trizio dalla Figura 12-29.

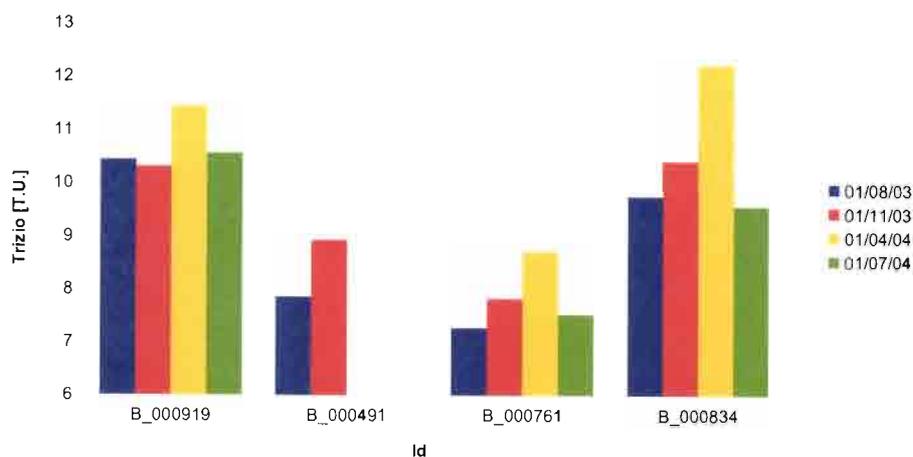


Figura 12-29 - Variazioni stagionali dei contenuti di trizio nelle sorgenti in esame.

Dalla Figura 12-29 risulta evidente un aumento nel tenore di Trizio durante il periodo primaverile, come solito avvenire nell'emisfero nord per il cosiddetto fenomeno della "Spring Leak", cioè nel passaggio di Tritio, dalla stratosfera (principale fonte di Trizio naturale) alla Troposfera dove il suo tempo di residenza, nel suddetto periodo, è soltanto di poche settimane (Gonfiantini, 1982).

Tenendo a mente il valore del contenuto di Trizio nelle acque meteoriche attuali dell'Alto Adige, ovvero 7 T.U. (da relazione preliminare), dal confronto con dati bibliografici è possibile stabilire qualitativamente l'età delle acque sulla base dell'abbondanza di  $^3\text{H}$  applicando la seguente classificazione orientativa rispetto all'origine delle acque nel sottosuolo (Mazor, 1991):

- Tritio < 0.8 TU: ricarica più antica del 1952;
- Tritio 0.8-5 TU: miscelazione di acque moderne e antiche;
- Tritio 5-15 TU: acque di ricarica recente;
- Tritio > 15-20 TU: presenza di fenomeni di contaminazione delle acque.

La datazione quantitativa di Mazor non è l'unica, infatti vari autori hanno riportato classificazioni leggermente diverse; come ad esempio la classificazione proposta da Clarke & Peter (1997) per le regioni continentali:

- Tritio < 0.8 TU: ricarica più antica del 1952;
- Tritio 0.8-4 TU: miscelazione di acque moderne e antiche;
- Tritio 5-15 TU: acque di ricarica recente (da meno di 5 anni a 10 anni);
- Tritio 15-30 TU: presenza contaminazione del "picco" termonucleare;
- Tritio > 30 TU: ricarica proveniente in prevalenza da precipitazioni avvenute negli anni '60 o negli anni '70;

- Tritio > 50 TU: ricarica degli anni '60.

In entrambe le classificazioni i valori di Trizio provenienti dai punti indagati ricadono nella categoria delle acque recenti, avvalorando ancora di più i risultati ottenuti dalle analisi del Deuterio e del  $^{18}\text{O}$ .

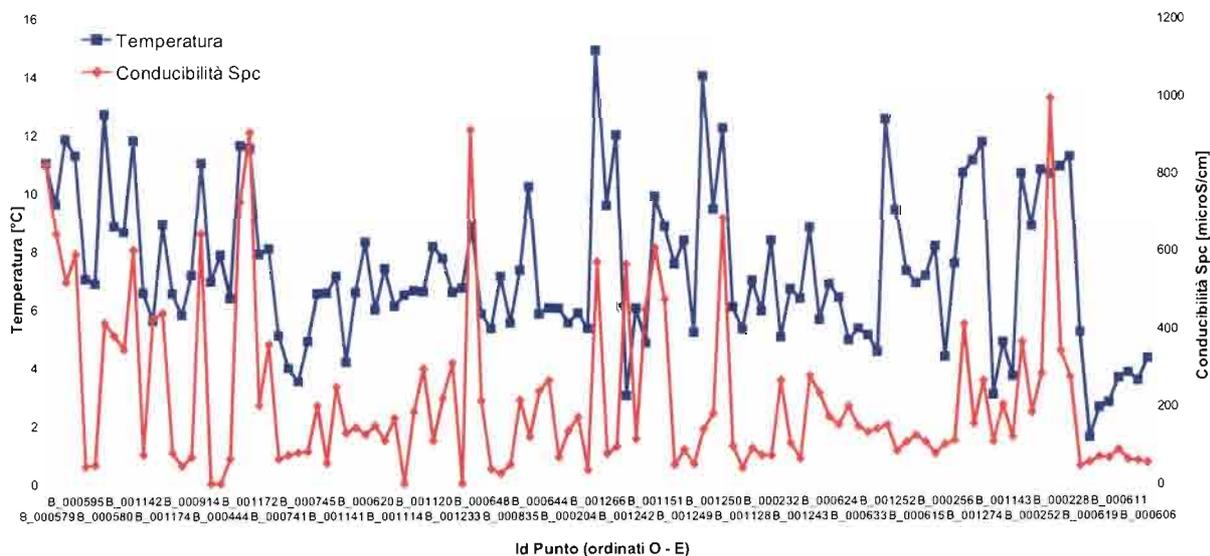
È opportuno aggiungere che le analisi isotopiche sono uno degli strumenti a disposizione per una completa valutazione della natura di un punto d'acqua e la loro valutazione va integrata, quando possibile, con altri strumenti d'indagine geochimica. Per questo motivo poiché per i punti B\_000919 e B\_000761 i dati geochimici raccolti indicherebbero che non si tratterebbe propriamente di acque di prima pioggia, tali punti sono stati riconosciuti come punti d'acqua "misti" attribuendo cioè ad essi una classificazione più cautelativa ai fini del calcolo della vulnerabilità in termini di DHI (vedi oltre).

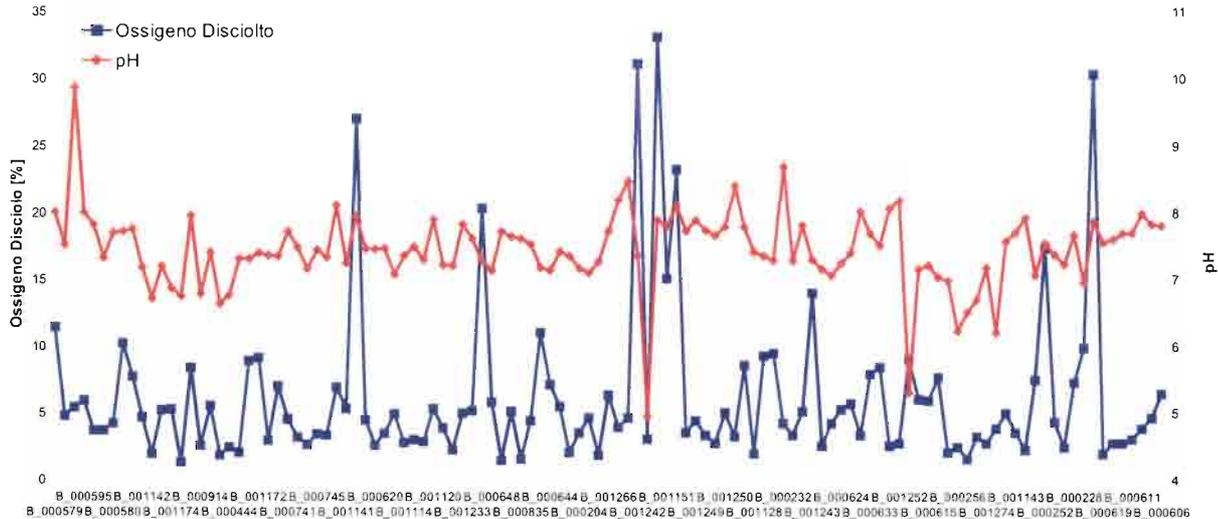
#### 12.5.2.2 Dati relativi alla campagna 2012

I dati raccolti durante la presente campagna hanno permesso di validare efficacemente i dati pregressi tramite semplice comparazione delle proprietà chimico-fisiche. È evidente che ulteriori indagini geochimiche più approfondite, che potranno essere svolte nella successiva fase progettuale potranno aumentare la sicurezza delle validazioni

Nell'ambito della campagna condotta per l'attuale fase di progetto sono state acquisite conoscenze chimico-fisiche di punti mai monitorati prima. Pur nella loro semplicità e rapidità, le analisi di tipo chimico-fisico eseguite nel periodo tra febbraio e maggio 2012, sono già in grado di rendere parzialmente conto delle principali caratteristiche idrogeologiche della zona in esame.

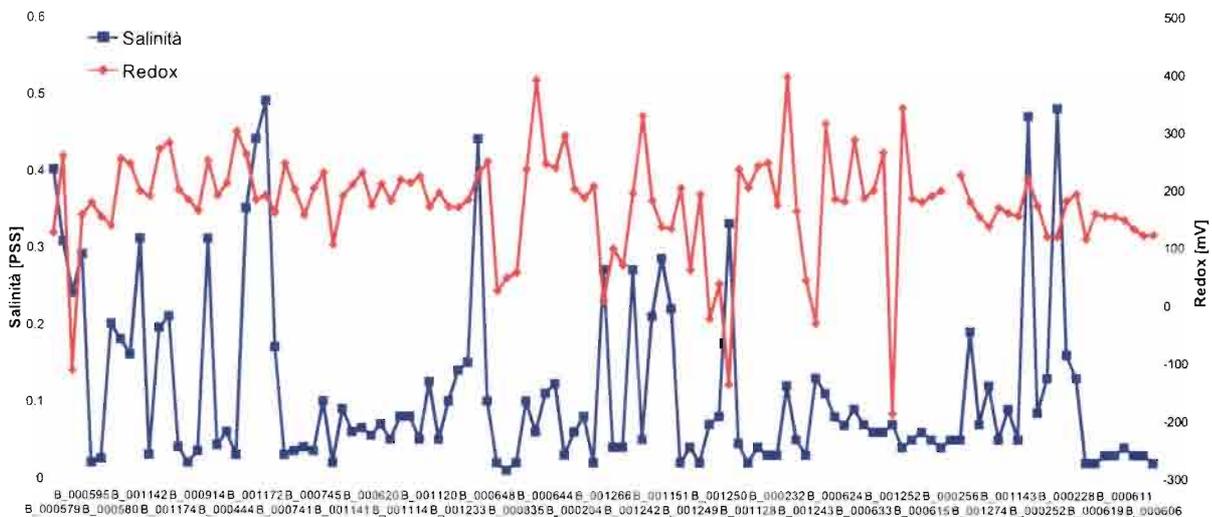
In Figura 12-30 (A, B e C) possiamo osservare i valori di temperatura, conducibilità specifica, ossigeno disciolto, pH, salinità e potenziale redox, misurati durante la campagna 2012 (e mediati nei punti misurati più di una volta) sono riportati orientandoli da Ovest verso Est.





Id Punto (ordinati O - E)

B)



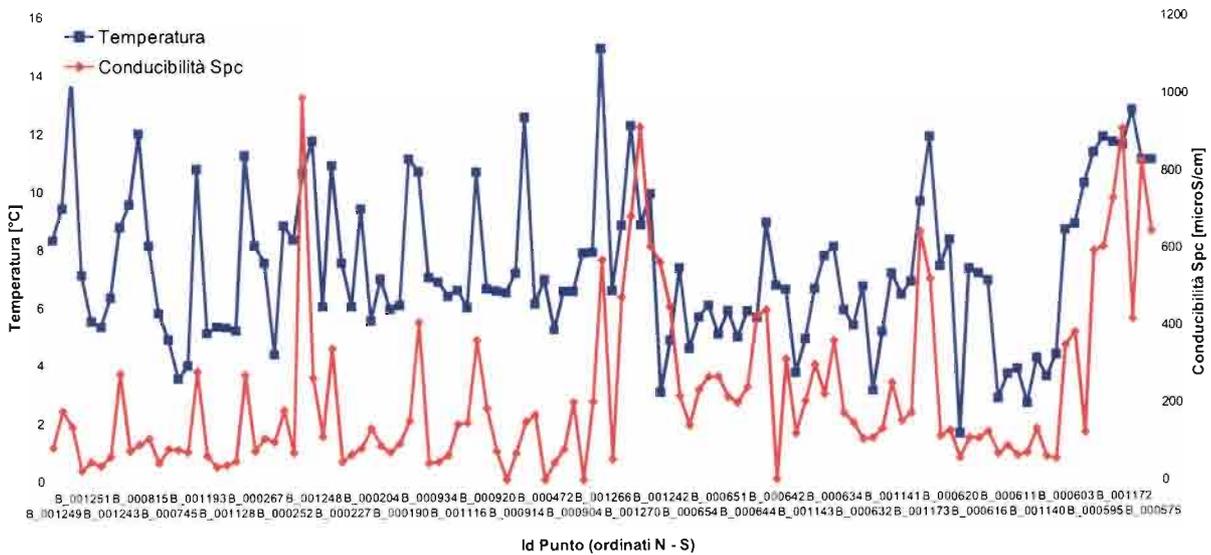
Id Punto (ordinati O - E)

C)

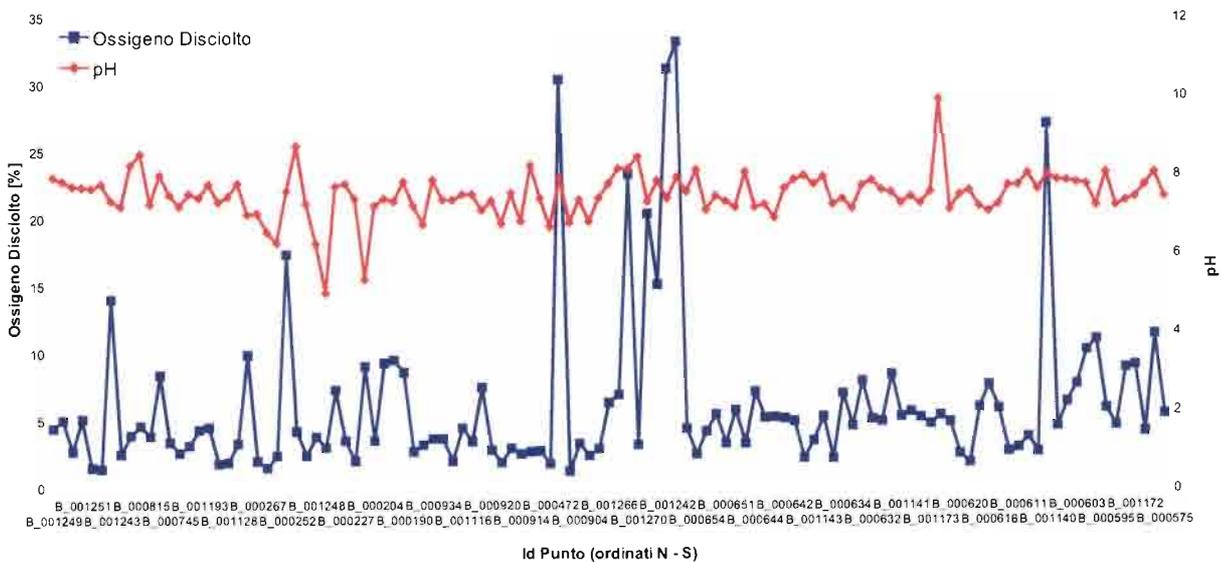
Figura 12-30 - Analisi spaziale dei dati provenienti dalla campagna 2012 orientati Ovest-Est; A) temperatura e conducibilità specifica; B) ossigeno disciolto e pH; C) salinità e potenziale di ossidoriduzione.

Si nota, come i valori generalmente abbiano un andamento costante; come unica eccezione evidente sono presenti due anomalie: nella zona centrale di tutti i grafici riportati e nella zona più ad Ovest. In tali zone s'individuano aumenti generali dei parametri di temperatura, salinità e conducibilità, mentre si nota un decremento dei valori di potenziale redox. Simili andamenti sono da ricondurre ad acque con circuiti più profondi: non a caso nella parte centrale (in senso O-E) dell'area di studio, si trovano i punti d'acqua intersecati dalla faglia di Funes, mentre nella parte più ad Ovest è situata una DGPV (Ponte Gardena). Questo indicherebbe come in tali contesti si abbia la veicolazione di acque provenienti da circuiti più profondi.

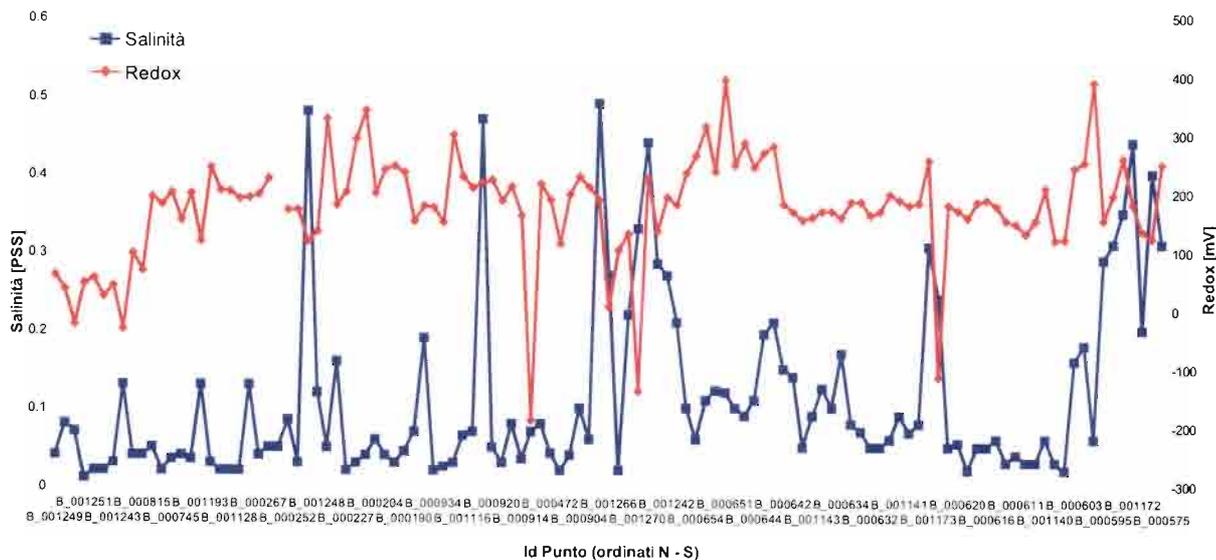
Una conferma di queste anomalie ci è data dalla Figura 12-31 (A, B e C).



A)



B)



C)

Figura 12-31 - Analisi spaziale dei dati provenienti dalla campagna 2012 orientati Nord-Sud; A) temperatura e conducibilità specifica; B) ossigeno disciolto e pH; C) salinità e potenziale di ossidoriduzione.

In queste figure osserviamo l'andamento delle proprietà chimico-fisiche (di cui discusso poco sopra) in direzione Nord – Sud. Ricontriamo, di nuovo, due zone anomale: una nella parte centrale ed una nella parte più a sud; queste zone corrispondono nuovamente con la faglia di Funes, per quanto riguarda la zona centrale, e con la DGPV, per quanto riguarda la parte più a Sud. Avvalorando quindi la tesi che le due strutture sopracitate siano importanti dal punto di vista geochimico dell'area di studio.

### 12.5.2.3 Risultati

Tutti i dati analizzati, quelli di Progetto Preliminare, quelli provenienti dai database provinciali e quelli ottenuti durante la campagna del 2012, coadiuvati ed integrati dal modello geologico sono serviti a discernere tre tipi di sorgente: superficiale, mista e profonda.

Principalmente come criterio di discernimento sono state valutate le variazioni stagionali, quando disponibili, dei parametri di Temperatura, Conducibilità Elettrica Specifica, Potenziale Redox, Portata e delle concentrazioni di vari analiti. Per una più corretta differenziazione e caratterizzazione, e dove per mancanza di informazioni non è stato possibile ricostruire le variazioni stagionali, sono stati considerati, oltre i parametri chimico-fisici precedentemente elencati e valutati su un'istantanea temporale e non su una variazione stagionale, come fattori discriminanti le concentrazioni di alcuni analiti chiave utili ad indicare la maturità geochimica di un'acqua e interferenza con fenomeni superficiali di contaminazione antropica; per maturità geochimica s'intende il grado di evoluzione che separa un'acqua con caratteristiche comparabili all'acqua piovana (teoricamente molto vicina all'acqua demineralizzata) da un'acqua fortemente mineralizzata, ricca cioè in soluti acquistati durante la sua permanenza all'interno della Geosfera. Gli analiti utili a tale fine sono stati principalmente: Solfati, composti



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	119 di 268

azotati (Ammoniacali, Nitrati e Nitriti), Fosfati, composti organici vari (Idrocarburi, Pesticidi, etc..), Litio, Stronzio, Uranio, Arsenico, Piombo, Selenio, Boro, Antimonio, Alluminio.

Le sorgenti superficiali, o di detrito, sono infatti caratterizzate da contenuti salini particolarmente bassi (e quindi conducibilità bassa) ed un andamento delle temperature piuttosto stagionale; inoltre l'emergenza di queste sorgenti è molto spesso localizzata in rotture di pendenza del versante interessato dalla sorgente.

Le acque classificate come profonde, invece, sono caratterizzate da una maggiore maturità geochimica e da una minore variabilità nel tempo. Le acque profonde solitamente emergono in corrispondenza di limiti di permeabilità come contatti tettonici (come ad esempio la Val di Funes) o importanti contatti stratigrafici.

Ovviamente le acque miste hanno caratteristiche intermedie alle altre due tipologie, rappresentando di fatto quelle acque con un'alimentazione sia superficiale che profonda in percentuali variabili.

Per una rapida consultazione dei risultati si rimanda alla Figura 12-32 e alla Tabella 12-31 tenendo presente che, in quest'ultima, le acque con valore di  $TS = 1$  sono le acque superficiali, quelle con  $TS = 2$  sono le acque classificate come profonde e quelle con  $TS = 1.7$  sono quelle classificate come miste.

A fini cautelativi, nei casi in cui, per mancanza di dati, la classificazione risultasse essere incerta, è stata sempre scelta la classe, tra le due incerte, con un  $TS$  più alto.

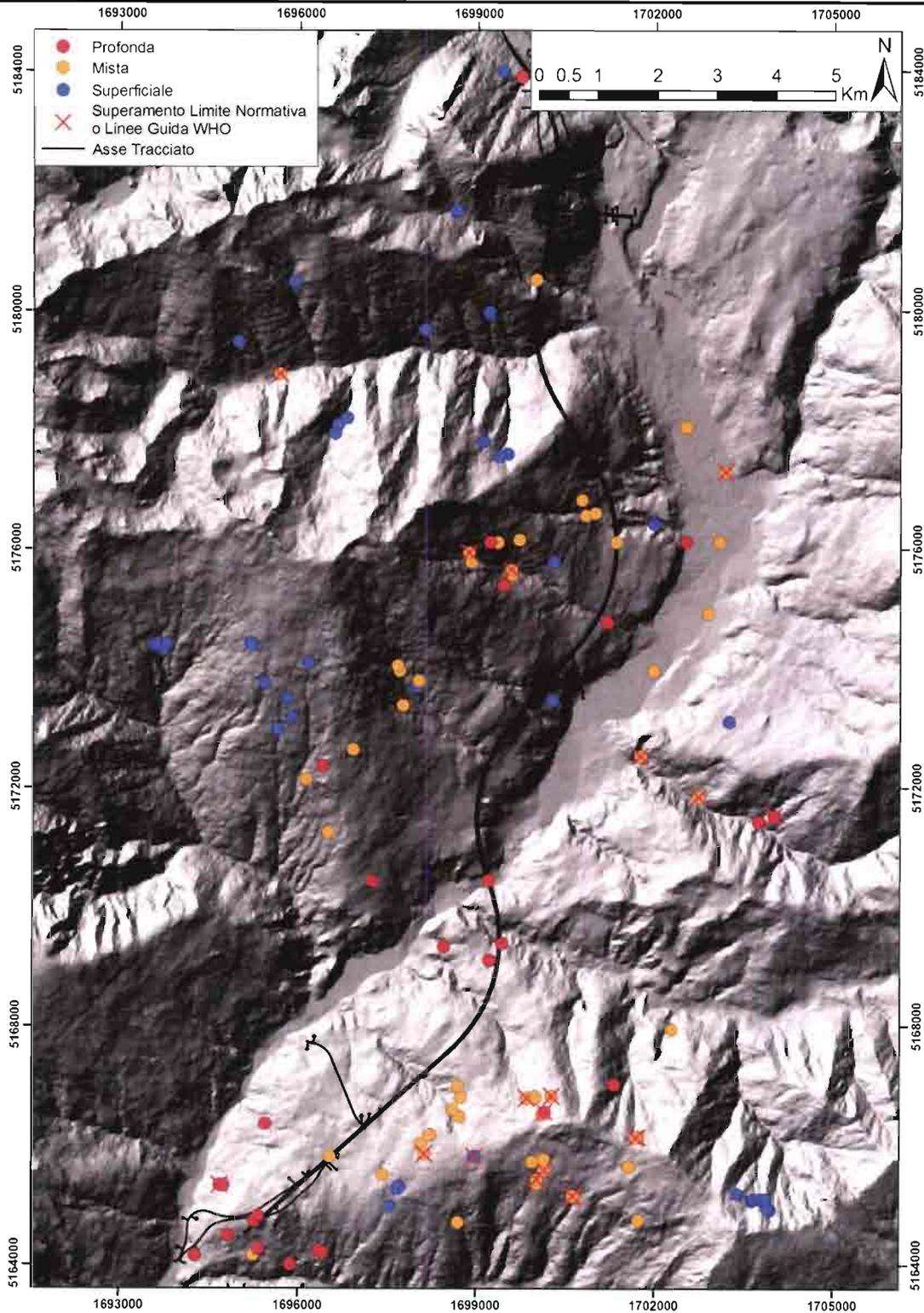


Figura 12-32 - Classificazione dei punti indagati in base alla loro natura geochimica.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	121 di 268

### 12.5.3 Stima della Conducibilità Idraulica da rilievo geomeccanico

La misura diretta della conducibilità idraulica negli ammassi rocciosi fratturati è sempre un'attività tecnicamente complessa, ne consegue la necessità di acquisire indicazioni riguardanti la conducibilità degli ammassi rocciosi almeno per via indiretta, cioè mediante stime. La definizione della conducibilità idraulica all'interno di un ammasso roccioso fratturato risulta complessa anche a causa dell'elevato numero di parametri che lo influenzano (come giacitura, persistenza, spaziatura, apertura, forma e rugosità delle discontinuità) e della variabilità degli stessi nello spazio (Clerici & Sfratato, 2008).

È possibile giungere ad una stima della conducibilità idraulica degli ammassi rocciosi eseguendo rilievi geomeccanici di dettaglio sugli affioramenti presenti, in quanto è ben noto che il comportamento idraulico di un ammasso dipende innanzi tutto dalle caratteristiche delle discontinuità che sono appunto l'oggetto principale dei rilievi geomeccanici (Clerici et alii, 1986).

Molte delle metodologie di stima della conducibilità idraulica esistenti, derivate da esperienze dirette (metodi empirici) e basate su parametri effettivamente misurabili, mirano all'identificazione dell'ammasso roccioso fratturato con un acquifero poroso equivalente (Luis, 1974). Tra le teorie di flusso che si adattano ad applicazioni pratiche è stata scelta quella documentata in molti lavori (Snow, 1969; Kiraly, 1969; Luis, 1974; Wittke, 1990; Florio, 2007; Chesnaux et alii, 2009) che esprime la velocità media di un flusso in una singola fessura, indicando soluzioni per determinare la conducibilità idraulica ( $K_r$ ) del mezzo sulla base della conoscenza della geometria del reticolo delle fessure.

Le semplificazioni del modello fisico dell'ammasso roccioso prevedono che lo stesso abbia una permeabilità della matrice trascurabile rispetto a quella dovuta al reticolo di discontinuità, che quest'ultimo sia costituito da uno o più sistemi di discontinuità infinitamente estese nell'ambito del volume della roccia, che ogni sistema comprenda discontinuità piano-parallele e lisce e che il flusso idrico avvenga in condizioni laminari e irrotazionali.

Date le precedenti ipotesi, la relazione generale tra i vettori velocità di flusso  $V$  e gradiente Idraulico  $I$  è data da:

$$V = K_r \cdot I$$

**Equazione 1 - Relazione generale tra i vettori velocità di flusso  $V$  e gradiente Idraulico  $I$**

dove  $K_r$  è la conducibilità idraulica dell'ammasso roccioso. Usando un sistema fisso di coordinate cartesiane  $x$ ,  $y$  e  $z$ , il tensore conducibilità idraulica ( $K_i$ ) di una famiglia di discontinuità può essere espresso come:

$$K_r = K_i = \begin{bmatrix} k_{1x} & 0 & 0 \\ 0 & k_{2y} & 0 \\ 0 & 0 & k_{3z} \end{bmatrix}$$

**Equazione 2 - Tensore conducibilità idraulica  $K_i$**



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	122 di 268

Dove  $K_i$  è dato dalla relazione (Snow, 1968):

$$K_i = \frac{g a^3}{12 \nu d}$$

**Equazione 3 - Equazione di Snow**

Dove:

$g$  = accelerazione di gravità [ $m/s^2$ ]

$a$  = apertura media discontinuità [m]

$\nu$  = coefficiente di viscosità cinematica [ $m^2/s$ ]

$d$  = spaziatura media discontinuità [m]

L'Equazione 3 considera la permeabilità di un ammasso roccioso, con discontinuità regolarmente spaziate e persistenti, in direzione parallela alle discontinuità della famiglia prevalente (Snow 1968), ma possiede delle ampie limitazioni di cui la più importante è che non tiene conto dell'eventualità di un flusso turbolento all'interno del reticolo delle fratture (Ufficio geologico cantonale, 1983).

La scabrosità delle pareti della frattura è influente in questo aspetto teorico, quindi l'equazione Equazione 3 è affetta da un elevato errore; ciò non toglie che può fornire un valore di permeabilità equivalente indicativo di una famiglia di discontinuità.

Per il seguente lavoro sono state considerate un totale di 39 stazioni geomeccaniche distribuite lungo l'asse principale dell'opera in progetto al fine di ottenere, per ogni affioramento rilevato, un valore teorico di conducibilità dell'ammasso roccioso ( $K_r$ ) valutando le caratteristiche di apertura media e di spaziatura media delle principali famiglie di discontinuità.

Le stazioni scelte ed i relativi parametri geometrici e di permeabilità dell'ammasso roccioso sono riportati in Tabella 12-15 mentre la Figura 12-33 riporta l'ubicazione delle stesse all'interno dell'area in oggetto.

Stazione Geomeccanica	Litologia	Kr
1N	Filladi	1,E-04
2N	Graniti	4,E-08
3N	Filladi	1,E-06
4N	Graniti	6,E-07
6N	Graniti	1,E-06
7N	Graniti	3,E-08
10N	Cornubianiti quarzose	3,E-07
11N	Cornubianiti	1,E-07
12N	Filladi	7,E-08
14N	Filladi	1,E-04
15N	Filladi	1,E-06
16N	Filladi	6,E-07
19N	Filladi	9,E-08
21N	Filladi	3,E-05
22N	Filladi	2,E-07
23N	Graniti	1,E-05
24N	Graniti	3,E-05
BR1	Filladi	3,E-07
BR2	Filladi	4,E-06
BR3	Dioriti	3,E-08
BR4	Anfiboliti	4,E-05
BR5	Anfiboliti	4,E-07
BR7	Filladi	3,E-06
BR8	Filladi	6,E-07
BR9	Filladi	2,E-06
BR11	Filladi	8,E-06
BR13	Filladi	4,E-06
BR14	Filladi	1,E-07
BR17	Filone basico di Tiso	3,E-08
BR18	Filladi	1,E-05
BR20A	Dioriti	2,E-05
BR 0B	Filladi	1,E-06
BR21	Filladi	1,E-04
BR22	Filladi	3,E-05
BR24	Filladi	1,E-06
BR25	Filladi	3,E-06
BR27	Filladi	5,E-08
BR28	Filladi	6,E-07
BR29	Dioriti	2,E-07

Tabella 12-15 - Tabella riassuntiva dei valori di permeabilità desumibile dalle stazioni geomeccaniche eseguite.

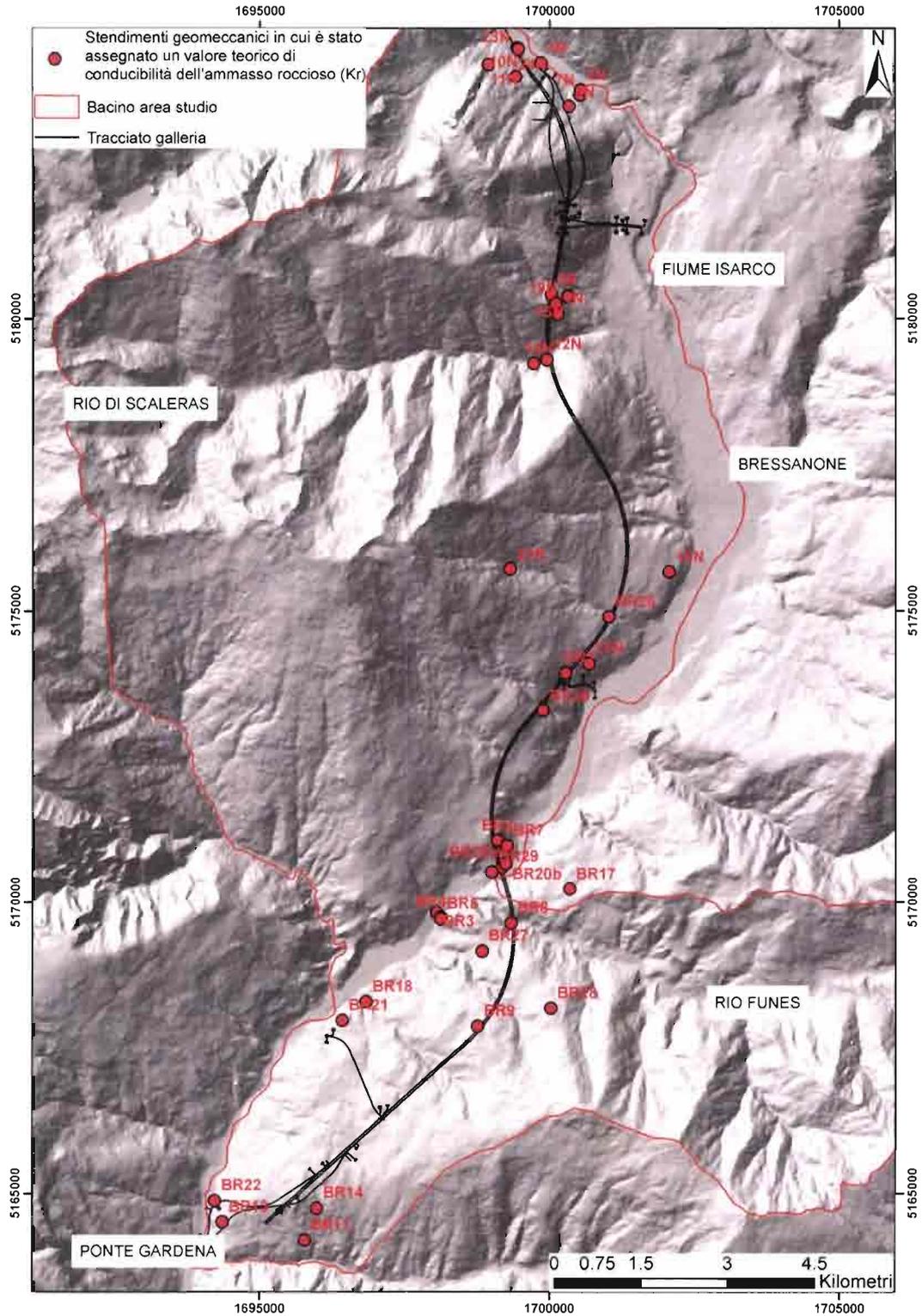


Figura 12-33 - Ubicazione spaziale delle stazioni geomeccaniche considerate nell'area di lavoro.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	125 di 268

## 12.6 Descrizione del modello idrogeologico concettuale

Lo studio eseguito ha permesso la realizzazione di una cartografia idrogeologica a scala 1:5000 e a scala 1:25000 che hanno lo scopo di rappresentare il modello idrogeologico concettuale che verrà discusso di seguito.

Come già accennato nel Paragrafo 12.1 l'area oggetto dello studio è stata definita cercando di delineare le possibili entrate ed uscite dal sistema utilizzando come condizioni al contorno del modello idrogeologico i due bacini idrologici più importanti interessati dal tracciato.

La stima delle aree di ricarica dell'area di studio è partita dall'assunzione che le zone di ricarica dei bacini idrogeologici coincidano con il bacino idrografico. Tale assunzione non sempre è vera, soprattutto in condizione di elevata eterogeneità del mezzo sia da un punto di vista litostratigrafico che strutturale, condizioni tuttavia non presenti o presenti solo in parte nell'area di studio, in quanto vi è, soprattutto nell'area descritta dal bacino idrografico del fiume Isarco, una netta prevalenza del complesso filladico di Bressanone. Inoltre le dislocazioni, importanti vie di veicolazione dell'acqua profonda, in questa area sottolineano, in genere, incisioni vallive ben definite e tali da costituire impluvi importanti.

Il primo bacino preso in considerazione, con limite nord il comune di Fortezza e limite sud il comune di Ponte Gardena, è parte del più vasto bacino idrologico del Fiume Isarco. In esso si distinguono i seguenti sotto bacini (vedi Fig. 43 in Par. 12.9.1.1), di rilevante importanza ai fini del corrente studio per la presenza di flussi di drenaggio preferenziali:

1. sotto bacino di Varna (nord e sud);
2. sotto bacino di Bressanone;
3. sotto bacino di Snodres;
4. sotto bacino di Laion;
5. sotto bacino di Chiusa.

Nel suddetto bacino idrogeologico il deflusso superficiale principale è svolto in direzione sud dal Fiume Isarco, che funge anche da drenaggio per le acque profonde. Gli affluenti principali scorrono alla base di una serie di valli impostate in direzione perpendicolare alla valle dell'Isarco, correlabili all'esistenza di lineamenti fragili a direzione WNW-ESE e NE-SW che generano direzioni di flusso idrico profondo.

Il primo bacino di importanza rilevante, a direzione perpendicolare rispetto il fiume Isarco, è il sotto bacino di Varna. Il deflusso principale è dato dal Rio Scaleres che raccoglie le acque superficiali e profonde di questo bacino in quanto impostato su un lineamento Est-Ovest che drena i lineamenti delle valli più piccole. In particolare tali strutture fragili sono state rilevate lungo la Val Scaleres e in alcuni casi mostrano aperture superiori ai 3 metri.

Poco più a nord della Val Scaleres, sui versanti meridionale e settentrionale del Monte Bersaglio (sotto bacino Varna nord), sono presenti alcuni lineamenti fragili e, in particolare all'altezza del paese di Fortezza, faglie dirette legate ad una fase di collasso tettono-gravitativo. Le faglie che generano degli scorrimenti preferenziali di flusso idrico profondo hanno una generale direzione N-S o NNE-SSW.



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	126 di 268

Procedendo più a sud, lungo il versante in destra idrografica del Fiume Isarco, si rinviene il sotto bacino di Bressanone: i due torrenti di drenaggio idrico superficiale, il Rio dell'Orso e il Rio di Tiles, sono anch'essi impostati su strutture di tipo fragile, facendo supporre che il flusso sia anche di tipo profondo. Geologicamente affiorano estese porzioni di filladi quarzifere con evidenti strutture deformative fragili, in particolare a est di Perara affiora una estesa faglia inversa con numerosi indicatori cinematici e faglie coniugate.

Ancora più a sud, sempre in destra idrografica del Fiume Isarco, ritroviamo un altro torrente impostato su importanti lineamenti strutturali: il Rio Snodres.

Altro importante flusso idrico superficiale è dato dal fiume Santegger e dal torrente Tina che raccolgono le acque superficiali e profonde del sotto bacino di Chiusa.

Il secondo importante bacino preso in considerazione è il bacino del Rio Funes che rappresenta il più importante flusso di drenaggio idrico superficiale dopo il fiume Isarco. Il bacino si sviluppa in sinistra idrografica rispetto al fiume Isarco e raccoglie le acque di provenienza sia superficiale che profonda dell'intera Val di Funes. Il Rio Funes si imposta su un lineamento ad importanza regionale noto come lineamento di Funes. Come già detto, il lineamento di Funes, è costituito da un'importante sovrascorrimento con vergenza NW il cui rigetto è sicuramente maggiore nella sua parte più orientale, dove tale linea mette in contatto il basamento metamorfico, al tetto, con le Dolomie triassiche a letto. Nel settore più vicino al tracciato, la linea di Funes è rappresentata da una fascia di taglio costituita da una serie di faglie inverse riconosciute nei dintorni di Gudon sino ad alcuni settori in destra idrografica del fiume Isarco.

L'importanza idrodinamica di tale lineamento appare evidente anche da un'analisi dei dati geochimici raccolti; tali dati evidenziano infatti come in quella zona siano presenti fenomeni di mescolamento tra acque superficiali e acque di natura più profonda (Paragrafo 12.5.2.2).

All'interno dei bacini esaminati sono ampiamente presenti depositi detritici quaternari costituiti da alluvioni antiche e recenti, morene, detriti di versante e depositi colluviali. Il grado di permeabilità di tali materiali è generalmente elevato e la permeabilità è di tipo primario, cioè per porosità. Solo le alluvioni antiche, pur sempre permeabili, possono mostrare una certa varietà di comportamento. Il detrito di versante solitamente caratterizza le alte quote, mentre a quote inferiori prevalgono le morene ed i depositi fluviali più o meno terrazzati. Particolarmente importanti sono i depositi alluvionali delle aree di fondovalle del Fiume Isarco che invece assumono un ruolo meno importante nelle aree di fondo valle del bacino della valle di Funes. Significativi per estensione e potenza sono anche i depositi fluvioglaciali dell'area Varna – Sciaves, dell'area a nord di Lazfons, nelle aree ad Est ed a Ovest di San Pietro nella Val di Funes.

I depositi quaternari costituiscono corpi acquiferi in grado di fungere da roccia magazzino per falde idriche. Buona parte delle sorgenti presenti all'interno della zona in studio sarebbero da classificare come sorgenti superficiali da detrito con interfaccia impermeabile rappresentata dal substrato roccioso; tuttavia in virtù di un approccio di tipo cautelativo è stato spesso considerata, seppur di minima importanza, una possibile influenza da parte di flussi più profondi. Non è da escludere che in alcuni casi le falde superficiali possano essere in contiguità con le falde idriche ospitate dai corpi acquiferi del substrato. Da un lato infatti i depositi quaternari possono saturare la parte superficiale del substrato e questo a sua volta, laddove maggiormente fratturato, può rappresentare una probabile ricarica continua delle falde superficiali.

Diversamente dai depositi detritici quaternari la conducibilità degli ammassi rocciosi del substrato è generalmente legata alla presenza di direttrici di flusso di drenaggio preferenziali, siano essi planari o lineari (faglie e orizzonti

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	127 di 268

di fratturazione). È il caso di ricordare in questa sede che i terreni del substrato presentano, nella maggior parte dei casi, una scarsa se non nulla permeabilità di tipo primario.

Il deflusso idrico sotterraneo è dunque determinato da permeabilità di tipo secondario, la cui entità è strettamente dipendente dal grado di fratturazione e dall'interconnessione dei sistemi di fratture che generano in tal senso la veicolazione delle direttrici principali del flusso.

La variabilità delle formazioni geologiche presenti nell'area in studio è stata riclassificata, in senso idrogeologico, sia tramite prove di permeabilità in situ in sondaggi geognostici, sia attraverso le valutazioni sulla permeabilità deducibili dall'analisi geomeccanica, sia grazie a dati di letteratura. Nell'area studiata sono stati individuati 12 complessi idrogeologici meglio descritti nel Paragrafo 12.6.3 e attraverso la Tabella 12-25.

Ai complessi idrogeologici è stata assegnata una codifica che ne riassume il grado di permeabilità ed il tipo di permeabilità (ad esempio: complesso 3,P; tale sigla indica un complesso con grado di conducibilità 3 e tipologia di permeabilità Primaria, per porosità. Per la classificazione del grado di conducibilità si veda Tab. 12.19).

I complessi individuati si distinguono per avere comportamento idrogeologico omogeneo, per essere caratterizzati da un tipo di permeabilità primario o secondario o tipo misto, e da un grado di permeabilità relativa che si mantiene in un campo di variazione piuttosto ristretto (Civita, 2005).

I complessi identificati durante lo sviluppo di questo lavoro sono:

- complesso a permeabilità primaria (P - Primaria), permeabilità presente nei depositi quaternari;
- complesso a permeabilità per fratturazione, non carbonatico (NCF – Non Carbonatico Fratturato): è il complesso idrogeologico maggiormente presente nell'area di studio e, soprattutto, il complesso idrogeologico che viene in prevalenza interessato dal tracciato delle gallerie;
- complesso carbonatico a permeabilità per fratturazione e carsismo (CFC - Carbonatico Fratturazione e Carsismo), presente nelle parti più ad Est della Val di Funes;
- complesso idrogeologico in depositi carbonatici permeabili per sola fratturazione (CF – Carbonatico Fratturato);
- complesso a permeabilità mista (M – Mista), con caratteristiche di permeabilità sia primaria che secondaria (corrispondente essenzialmente alle formazioni conglomeratiche di Richtofen, di Ponte Gardena e ai conglomerati e arenarie presenti soprattutto a sud della Val di Funes).

La distinzione in diversi complessi idrogeologici è stata effettuata per l'intera area denominata per semplicità "area 25 mila". Avendo a disposizione una maggiore quantità di dati si è tuttavia preferito partire dalla definizione dei complessi idrogeologici relativi alla fascia "area 5 mila" individuata dal buffer di 2000 metri precedentemente definito (Paragrafo 12.1); acquisite le informazioni che riguardano tali complessi si è passati alla definizione dei complessi idrogeologici dell'intera area in studio, ossia dell'"area 25 mila".

Di seguito vengono proposte alcune considerazioni sulle caratteristiche idrogeologiche delle formazioni geologiche attraversate dal tracciato della gallerie.



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	128 di 268

### Filladi Quarzifere

Le Filladi quarzifere di Bressanone rientrano nel complesso idrogeologico II, NCF (grado di permeabilità 2, Non Carbonatico per Fratturazione); generalmente la circolazione nelle Filladi di Bressanone si attua prevalentemente nella copertura di alterazione, di spessore ridotto, che origina, assieme alla coltre detritica quaternaria, un'unità idrogeologica con flusso sotterraneo a bassa profondità. La reazione di tipo sostanzialmente plastico alle deformazioni che hanno interessato la formazione ha infatti portato alla progressiva chiusura delle fessure col procedere della profondità (RFI 2003). Tale ipotesi viene ulteriormente avvalorata nel corso di questo lavoro; come è possibile notare dai dati delle prove di permeabilità in foro (Paragrafo 12.6.1), il grado di permeabilità ha una rilevante variabilità, con valori massimi di  $1.00E-04$  m/s in ambiti superficiali e valori minimi di  $1.00E-10$  m/s in profondità.

Altre vie di circolazione preferenziale sono date da zone a maggiore fragilità rappresentate dalle faglie e dalle fratture ipotizzate nel modello geologico di riferimento.

Le filladi interessano in maniera preponderante il tracciato della gallerie.

### Granito di Bressanone

Il corpo intrusivo di Bressanone di età permiana, rientra nel complesso idrogeologico II, NCF (grado di permeabilità 2, Non Carbonatico per Fratturazione); i valori di permeabilità riscontrati da prove in situ e dalla stima della conducibilità da rilievi geomeccanici forniscono valori massimi di  $3.00E-05$  m/s e valori minimi di  $1.00E-10$  m/s.

Come è stato già affermato nel corso della presente relazione, il bordo meridionale della massa intrusiva risulta a contatto con la formazione delle Filladi quarzifere nella quale si è sviluppato un alone termo metamorfico di particolare interesse dal punto di vista idrogeologico. L'estensione in profondità di tali zone alterate non è valutabile da osservazioni dirette, tuttavia è da prevedersi che il fenomeno possa estendersi sino a notevole profondità. L'ammasso è disarticolato da numerosi sistemi di giunti, fratture, faglie e zone cataclastiche. In tale zone è possibile che ci sia una apprezzabile permeabilità secondaria.

I graniti interessano le opere in progetto solo in un'area circoscritta a Nord, in prossimità dell'abitato di Fortezza.

### Altri litotipi

A cavallo della Val d'Isarco, circa all'altezza di Chiusa e dell'intersezione con la Val di Funes, sono presenti litotipi costituiti da dioriti, paragneiss biotitici, anfiboliti. In queste rocce, il comportamento rigido rispetto alle sollecitazioni tettoniche può creare localmente le condizioni per il realizzarsi di assetti favorevoli all'immagazzinamento e circolazione di acqua specialmente in presenza di coperture esigue (RFI, 2003).

#### 12.6.1 Dati di partenza

Per la definizione del modello idrogeologico concettuale dell'intera area sono stati incrociati tutti i dati disponibili, dalla base conoscitiva geologica e geologica-strutturale ai dati derivanti da analisi di fotogrammetria e dai rilievi geomeccanici (utilizzati per la stima della conducibilità idraulica, Paragrafo 12.5.1.2), ai dati delle analisi chimiche e dei parametri chimico – fisici (Paragrafo 12.5.2), e, ultimi ma non meno importanti, ai dati relativi ai test di

permeabilità Lugeon e Lefranc eseguiti in situ, tarati attraverso l'analisi visiva delle carote relative ai segmenti di sondaggio provati, al fine di valutarne l'affidabilità e la rappresentatività alla scala dell'ammasso.

Viene di seguito riportata la Tabella 12-16, contenente i sondaggi e le prove dirette effettuate per la determinazione dei valori di conducibilità idraulica media in foro.

Identificativo del sondaggio	Profondità di esecuzione della prova in situ (m dal p.c.)	k (m/s)	Tipo di prova	Litotipo
B2V11	5-6	1,81E-04	LEFRANC	FRANA INATTIVA
B2V11	17-18	3,30E-04	LEFRANC	FRANA INATTIVA
B2V11	34-35	1,67E-04	LEFRANC	FRANA INATTIVA
B2V11	50-51	1,55E-05	LEFRANC	FRANA INATTIVA
B2V11	65-66	1,75E-05	LEFRANC	FRANA INATTIVA
B2V11	94-99	3,33E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
B2V13	5-6	2,60E-05	LEFRANC	FRANA INATTIVA
B2V13	50-55	5,79E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
B2V13	65-70	3,61E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
BV1	18-19	3,19E-07	LEFRANC	FRANA INATTIVA
BV1	34.5-35	4,76E-06	LEFRANC	FILLADI QUARZIFERE
BV1	70-75	4,97E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
BV4p	4.5-5	7,38E-05	LEFRANC	FRANA INATTIVA
BV4p	17-18	1,22E-03	LEFRANC	FRANA INATTIVA
BV4p	34-39	5,51E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
BV5	5-5.5	6,16E-05	LEFRANC	FRANA INATTIVA
BV5	17-17.8	7,14E-05	LEFRANC	FRANA INATTIVA
BV6	10.5-11.5	4,83E-03	LEFRANC	FRANA INATTIVA
BV6	22.5-26.5	7,74E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
BV6	29-30	6,85E-06	LEFRANC	FRANA INATTIVA
C1	5-6	3,40E-05	LEFRANC	ALLUVION RECENTI
C1	15.1-16.2	3,35E-05	LEFRANC	ALLUVION RECENTI
C1	21.1-22	6,40E-05	LEFRANC	ALLUVION RECENTI
C1	32-33.1	1,70E-04	LEFRANC	ALLUVION RECENTI
C2	5-7	2,50E-06	LUGEON	GRANITO BRESSANONE
C2	19-22	9,80E-07	LUGEON	GRANITO BRESSANONE
C10	9.7-12.7	2,15E-07	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C10	24.9-27.9	1,25E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C10	39.8-42.8	7,80E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C10	60.4-63.4	1,00E-07	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C11	6-7	1,95E-05	LEFRANC	DEPOSITI FLUVIOGLACIALI
C11	13.9-14.9	8,39E-05	LEFRANC	DEPOSITI FLUVIOGLACIALI
C11	27-30	3,00E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C11	36.4-39.4	9,70E-07	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
IBL1 10 D 69RG GE 00 01 001 A 130 di 268

Identificativo del sondaggio	Profondità di esecuzione della prova in situ (m dal p.c.)	k (m/s)	Tipo di prova	Litotipo
C12	20-23	2,00E-07	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C12	40.65-43.65	1,20E-07	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C12	70-73	4,71E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C12	98.70-101.70	3,57E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C12	113-116	6,87E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C15	6-6.9	1,88E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C15	15-16	4,37E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C15	33-34	8,81E-06	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C15	45-46	2,68E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C16	7-8	9,33E-04	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C16	14-15	2,53E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C16	22.5-23.5	7,07E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C16	37-38	1,07E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C16	45-46	1,42E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C17	9-10	7,39E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C17	21-22	1,63E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C17	33-34	1,21E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C17	45-46	1,35E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C18	7.5-8.5	6,18E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C18	18-19	2,01E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C18	27-28	1,73E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C18	45-46	1,49E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C19	19-20	4,29E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C19	31.5-32.5	6,79E-06	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C19	45-46	1,79E-06	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C20	15-16	2,79E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C20	30-31	5,46E-06	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C20	46-47	1,85E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C21	7-8	1,07E-04	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C21	13.5-14.5	5,68E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C21	22.5-23.5	2,75E-05	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C21	36-37	8,29E-06	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C21	45-46	8,57E-06	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C22	12-13	5,69E-05	LEFRANC	ALLUVIONI RECENTI
C22	30-33	2,00E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C23	8-8,45	9,67E-06	LEFRANC	ALLUVIONI RECENTI
C23	15.55-18.55	2,60E-07	LUGEON	BLOCCO FILLADI
C23	20-23	2,60E-07	LUGEON	BLOCCO FILLADI
C23	34-34,6	5,20E-05	LEFRANC	ALLUVION RECENTI

Identificativo del sondaggio	Profondità di esecuzione della prova in situ (m dal p.c.)	k (m/s)	Tipo di prova	Litotipo
C25	29-34	1,05E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C25	67,3-72,3	8,22E-07	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C25	86,3-91,3	1,27E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C25	107-112	1,11E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C25	122-127	1,76E-07	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C25	132,8-137,8	2,16E-07	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C25	141,1-146,1	2,51E-07	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C26	7-7.8	3,02E-05	LEFRANC	ALLUVIONI RECENTI
C26	14.25-15	9,70E-05	LEFRANC	ALLUVIONI RECENTI
C26	20-21	1,69E-04	LEFRANC	ALLUVIONI RECENTI
C26	26.9-28	2,58E-04	LEFRANC	ALLUVIONI RECENTI
C27	7.5-8.5	3,38E-05	LEFRANC	DETRITI DI VERSANTE
C27	14.25-15	1,07E-04	LEFRANC	DETRITI DI VERSANTE
C27	22.5-25.5	3,80E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C27	28-31.25	3,30E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C27	36-39	4,00E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C28	5,1-5,8	1,51E-04	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C28	15-16	7,25E-04	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C29	5-6	1,59E-04	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C29	14-15	5,11E-06	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C3	8-9	9,66E-05	LEFRANC	ALLUVIONI RECENTI
C3	20-22.95	6,70E-06	LUGEON	GRANITO BRESSANONE
C3	29.5-32.35	2,40E-07	LUGEON	GRANITO BRESSANONE
C30	5-5,6	1,54E-04	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C30	12-13	9,50E-06	LEFRANC	ALLUVIONI ANTICHE
C4	14.5-17.5	6,48E-07	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C4	30-33	1,35E-07	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C4	47.30-50.30	8,40E-09	LUGEON	GRANITI
C4	68-71	2,85E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C4	70.5-73.5	3,99E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C4	89.75-92.75	6,24E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C4	95-98	8,10E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C4	108.2-111.2	5,30E-09	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C4	114-117	2,40E-09	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C5	12-12,5	7,00E-07	LEFRANC	FRANA INATTIVA
C5	21.1-23.1	1,39E-07	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C5	32.4-35.4	1,90E-07	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C5	41.2-44.2	2,80E-09	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C5	56.1-59.1	1,10E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE

Identificativo del sondaggio	Profondità di esecuzione della prova in situ (m dal p.c.)	k (m/s)	Tipo di prova	Litotipo
C5	70.3-73.3	1,94E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C5	91.75-94.75	2,28E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C6	18.20-21.20	9,75E-07	LUGEON	DIORITI
C6	39.6-42.6	1,60E-06	LUGEON	DIORITI
C6	47-50	4,40E-09	LUGEON	DIORITI
C6	57-60	7,36E-08	LUGEON	DIORITI
C6	70.5-73.5	5,70E-10	LUGEON	DIORITI
C7	12-13	8,14E-05	LEFRANC	ALLUVION RECENTI
C7	21-21.8	5,50E-05	LEFRANC	ALLUVION RECENTI
C7	35-36	5,62E-05	LEFRANC	ALLUVION RECENTI
C7	41-42	6,80E-05	LEFRANC	ALLUVION RECENTI
C8	12.2-15.20	3,10E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C8	22-25	1,30E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C8	34.5-37.2	9,50E-07	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C8	42-45	3,20E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
C9	12-15	1,32E-07	LUGEON	FILLADI RICCHE IN QZ
C9	33.2-36.2	3,20E-07	LUGEON	FILLADI RICCHE IN QZ
C9	61.4-64.4	1,66E-07	LUGEON	FILLADI RICCHE IN QZ
C9	89.75-92.75	2,47E-07	LUGEON	FILLADI RICCHE IN QZ
C9	126,1-129,1	4,38E-08	LUGEON	FILLADI RICCHE IN QZ
C9	138-141	3,42E-07	LUGEON	FILLADI RICCHE IN QZ
C9	141.9-144.9	5,64E-07	LUGEON	FILLADI RICCHE IN QZ
CBV13	4.6-5.2	4,88E-04	LEFRANC	TERRENO DI RIPORTO
CBV13	18.6-21.6	2,80E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
CBV13	25-28.25	2,40E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
CBV13	31-34	1,90E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
CBV13	36-38.85	1,00E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
CBV13	42-45	7,80E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
CBV13	54-57	1,80E-07	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
S12	168-173	3,00E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
S13	245-250.6	2,40E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
S13	344-350	2,00E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
S16	150-155	3,00E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
S16	169-174	6,40E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
S16	183-188	5,80E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
S2	122-127	3,60E-08	LUGEON	GRANITI
S2	169-174	8,90E-09	LUGEON	GRANITI
S2	221,7-226.7	1,60E-10	LUGEON	GRANITI
S4	149-154.65	4,90E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE

Identificativo del sondaggio	Profondità di esecuzione della prova in situ (m dal p.c.)	k (m/s)	Tipo di prova	Litotipo
S4	199-204.3	2,49E-07	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
S4	252-257	1,71E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
S7	207-211.9	3,20E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
S7	225-230.5	9,00E-09	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
S8	122-127	9,00E-09	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
S8	168.5-173.5	2,50E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
S8	187-192	6,00E-09	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
S8	222-227	8,00E-09	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
SPG1	59.3-64.3	2,40E-07	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
SPG1	107.2-112.2	1,10E-07	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
SPG1	161.1-166.1	5,00E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
SPG1	209.4-214.4	2,00E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
SPG1	275.2-280.2	4,00E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
SPG1	290-295	1,00E-08	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
V21	4.5-5	5,22E-05	LEFRANC	FRANA INATTIVA
V21	10-10.6	2,74E-04	LEFRANC	FRANA INATTIVA
V21	20-20.70	2,45E-04	LEFRANC	FRANA INATTIVA
V21	80-85	2,40E-06	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE
V21	120-125	5,90E-07	LUGEON	FILLADI QUARZIFERE

Tabella 12-16 - Test di permeabilità eseguiti in foro e valore della conducibilità idraulica alle diverse profondità di prova.

### 12.6.2 Assegnazione valori di conducibilità idraulica ai litotipi

L'assegnazione dei valori di conducibilità idraulica ai vari litotipi è stata rivolta alla definizione dei complessi idrogeologici. In prima analisi sono stati assegnati a ciascun litotipo i valori di conducibilità idraulica derivanti sia da prove dirette in foro sia da dati stimati dai rilievi geomeccanici.

In Tabella 12-17 vengono esplicitati per ciascun litotipo, la provenienza dei dati, una loro breve statistica per evidenziarne il range di variabilità, ed il valore complessivo della conducibilità idraulica tra test diretti in foro e dati di affioramento.

LITOTIPO	K (m/s)	PROVENIENZA		
		Affioramento	Sondaggio	Valori di conducibilità complessivi
Alluvioni antiche	Minimo		1,79E-06	1,79E-06
	Media		8,52E-05	8,52E-05
	Massimo		9,33E-04	9,33E-04
Alluvioni recenti	Minimo		9,67E-06	9,67E-06
	Media		8,32E-05	8,32E-05
	Massimo		2,58E-04	2,58E-04

LITOTIPO	K (m/s)	PROVENIENZA		
		Minimo	Media	Massimo
Anfiboliti	Minimo	3,00E-08		3,00E-08
	Media	1,35E-05		1,35E-05
	Massimo	4,00E-05		4,00E-05
Depositi fluvio glaciali	Minimo		1,95E-05	1,95E-05
	Media		5,17E-05	5,17E-05
	Massimo		8,39E-05	8,39E-05
Detriti di versante	Minimo		3,38E-05	3,38E-05
	Media		7,04E-05	7,04E-05
	Massimo		1,07E-04	1,07E-04
Dioriti Sistema Intrusivo Chiusa	Minimo	2,00E-07	5,70E-10	5,70E-10
	Media	2,00E-07	5,31E-07	4,76E-07
	Massimo	2,00E-07	1,60E-06	1,60E-06
Filladi quarzifere	Minimo	5,00E-08	2,40E-09	2,40E-09
	Media	1,50E-05	1,06E-06	4,75E-06
	Massimo	1,00E-04	7,74E-06	1,00E-04
Filladi quarzifere facies ricca in Qz	Minimo		4,38E-08	4,38E-08
	Media		2,59E-07	2,59E-07
	Massimo		5,64E-07	5,64E-07
Filoni basici Tiso	Minimo	3,00E-08		3,00E-08
	Media	3,00E-08		3,00E-08
	Massimo	3,00E-08		3,00E-08
Frana inattiva	Minimo		3,19E-07	3,19E-07
	Media		4,45E-04	4,45E-04
	Massimo		4,83E-03	4,83E-03
Granito di Bressanone	Minimo	3,00E-08	1,60E-10	1,60E-10
	Media	6,95E-06	1,31E-06	3,72E-06
	Massimo	3,00E-05	6,70E-06	3,00E-05
Terreno di riporto	Minimo		4,88E-04	4,88E-04
	Media		4,88E-04	4,88E-04
	Massimo		4,88E-04	4,88E-04

Tabella 12-17 – Sintesi statistica dei valori di conducibilità idraulica derivanti sia da prove dirette in foro sia da stime sulla base dell'analisi geomeccanica di superficie, in funzione del litotipo di appartenenza.

Dalla Tabella 12-17 si nota una notevole variabilità dei dati di conducibilità per il litotipo delle Dioriti (Sistema Intrusivo Chiusa) che va da un massimo di 1.60E-06 m/s ad un minimo di 5.70E-10 m/s, come anche sui Graniti di Bressanone (massimo 3.00E-05 m/s un minimo 1.60E-10 m/s) e sulle Filladi quarzifere (massimo 1.00E-04 m/s un minimo 1.00E-09 m/s), mentre vi è una variabilità molto più stretta sui restanti litotipi.

Nella Figura 12-34 è possibile visualizzare l'andamento dei valori di conducibilità idraulica in funzione della profondità e dei litotipi presenti. Dalla stessa è possibile notare come per il medesimo litotipo i valori di conducibilità diminuiscono con l'aumento della profondità.

Andamento di k in profondità in funzione dei Litotipi presenti

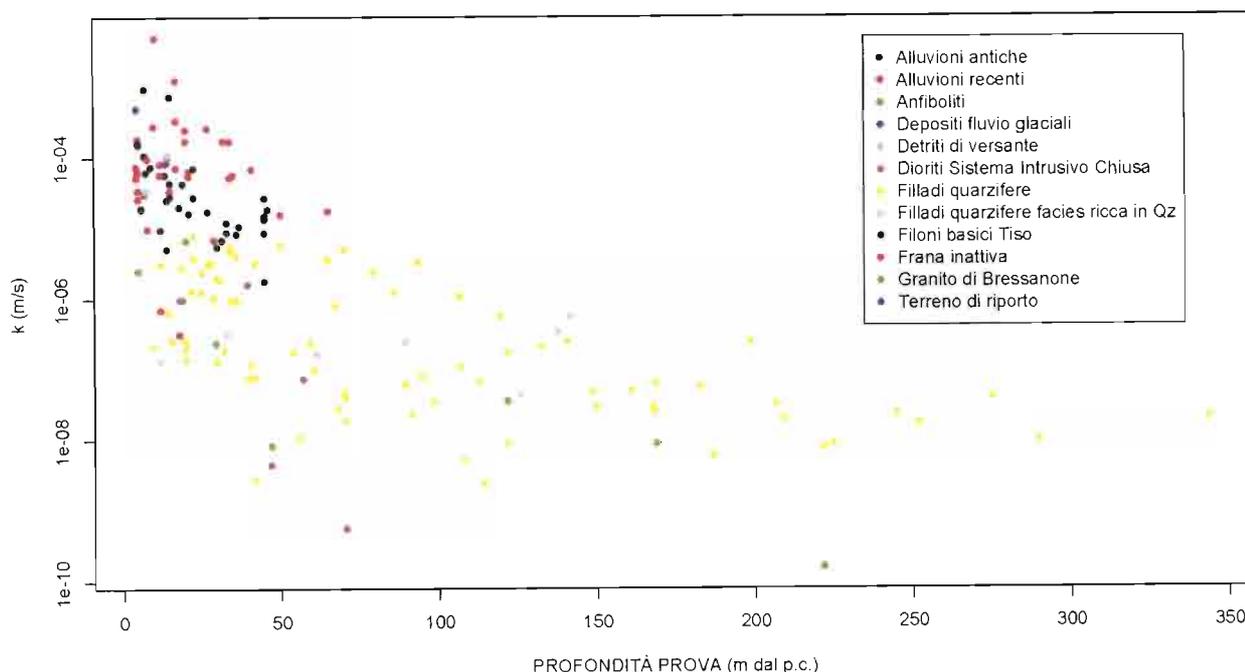


Figura 12-34 - Andamento dei valori di conducibilità idraulica in funzione della profondità nei litotipi testati.

I dati di conducibilità idraulica sono stati tradotti in termini di permeabilità relativa utilizzando, come si vedrà più avanti, 5 classi, suddivise secondo 4 tipologie di permeabilità (primaria, fratturazione, fratturazione e carsismo, mista). Nella classificazione è stata evitata la definizione “complessi idrogeologici impermeabili” accorpando il grado “impermeabile” al grado “permeabilità da bassa a molto bassa” (come proposto, ad esempio, da Ghezzi et al., 1995).

La permeabilità relativa (indipendentemente dal tipo) è comunemente utilizzata per classificare le litologie su base idrogeologica e solitamente è espressa in modo qualitativo (es.: permeabilità alta, media, bassa). Tale parametro è definito in base ad un gran numero di fattori tra cui il tipo, la frequenza e le dimensioni dei meati (fessure e/o condotti), le portate fornite dalle sorgenti, il coefficiente d'infiltrazione efficace, la densità del reticolo di drenaggio, osservazioni di campagna e dei rapporti tra i fattori stessi.

Come vedremo più avanti, l'analisi del grado di conducibilità idraulica attribuisce alle formazioni di substrato, nel territorio in esame, una conducibilità idraulica per fratturazione che varia da valori compresi da 1.00E-10 m/s a 1.00-5 m/s. Valori di permeabilità più elevati sono stati attribuiti ai depositi con permeabilità primaria in genere.

Per l'assegnazione dei gradi di permeabilità è stato deciso di utilizzare come riferimento la classificazione delle normative AFTES 1992, modificando però il numero delle classi ivi descritte da 4 a 5. Nella Tabella 12-18 viene esposto il campo di variabilità del grado di conducibilità idraulica media K secondo la classificazione AFTES 1992, che distingue 4 diverse classi di permeabilità.

GRADO	RANGE DI CONDUCEBILITÀ IDRAULICA	CONDUCEBILITÀ IDRAULICA RELATIVA
4	$K > 1E-04$	DA ALTA A MOLTO ALTA
3	$1E-06 > K > 1E-04$	DA MEDIA A ALTA
2	$1E-08 > K > 1E-06$	DA BASSA A MEDIA
1	$K < 1E-08$	DA BASSA A MOLTO BASSA

Tabella 12-18 - Descrizione dei gradi di conducibilità idraulica in relazione ai valori di K e alla conducibilità idraulica relativa secondo la normativa AFTES 1992.

In questo studio è stata dunque utilizzata una classificazione con una suddivisione più di dettaglio per tenere in considerazione gli stretti intervalli di variabilità dei valori di K misurati nei singoli litotipi. In Tabella 12-19 sono esplicitati i gradi di conducibilità idraulica relativa e i relativi intervalli di competenza utilizzati nell'ambito del presente lavoro.

GRADO	RANGE DI CONDUCEBILITÀ IDRAULICA	CONDUCEBILITÀ IDRAULICA RELATIVA
5	$K > 1E-04$	ALTA
4	$1E-05 > K > 1E-04$	MEDIO ALTA
3	$1E-06 > K > 1E-05$	MEDIA
2	$1E-08 > K > 1E-06$	MEDIO BASSA
1	$K < 1E-08$	DA BASSA A MOLTO BASSA

Tabella 12-19 - Descrizione dei gradi di conducibilità idraulica in relazione ai valori di K e alla conducibilità idraulica relativa adottati nel presente lavoro.

In particolare, la modifica è stata effettuata scorporando la classe "DA MEDIA A ALTA ( $1E-06 > K > 1E-04$ )" della normativa AFTES 1992 (Tabella 12-18) in 2 classi "MEDIA ( $1E-06 > K > 1E-05$ ) e MEDIO ALTA ( $1E-05 > K > 1E-04$ )" (Tabella 12-19); in tal modo si è ristretto il range di conducibilità delle classi 3 e 4, aumentando l'accuratezza nella classificazione dei differenti complessi idrogeologici.

Il grado di conducibilità idraulica relativa attribuito ai vari complessi idrogeologici a permeabilità secondaria è da riferirsi alla permeabilità equivalente valutata alla scala dello stesso complesso. L'ammasso roccioso fratturato alla scala macroscopica, infatti, presenta una generale anisotropia di conducibilità idraulica rappresentabile da un tensore di permeabilità equivalente. In un ambiente come quello studiato in questa sede, la conducibilità degli ammassi rocciosi è spesso legata alla presenza di direttrici di flusso di drenaggio preferenziali, siano essi planari o lineari (faglie e orizzonti di fratturazione). Il grado di permeabilità a loro attribuito deve essere inteso come la componente maggiore del tensore di permeabilità la cui direzione è coincidente con quella del sistema di discontinuità principale (BBT, 2006). Infine, è stato calcolato (Tabella 12-20), per tutti i litotipi il numero di volte che un valore di permeabilità, misurato o stimato, ricade in uno dei range di valori di conducibilità idraulica di Tabella 12-19.

Litotipo	Provenienza del valore di K	Grado di permeabilità					Totale complessivo
		1	2	3	4	5	
Alluvioni antiche	Sondaggio			8	20	6	34
Alluvioni recenti	Sondaggio			1	12	3	16
Anfiboliti	Affioramento		2		1		3
Depositi fluvio glaciali	Sondaggio				2		2
Detriti di versante	Sondaggio				1	1	2
Dioriti Sistema Intrusivo Chiusa	Affioramento		1				1
	Sondaggio	2	2	1			5
Totale		2	3	1			6
Filladi quarzifere	Affioramento		15	7	6		28
	Sondaggio	7	47	24			78
Totale		7	62	31	6		106
Filladi quarzifere facies ricca in Qz	Sondaggio		7				7
Filoni basici Tiso	Affioramento		1				1
Frana inattiva	Sondaggio		2	1	7	7	17
Granito di Bressanone	Affioramento		4	1	1		6
	Sondaggio	3	3	2			8
Totale		3	7	3	1		14
Terreno di riporto	Sondaggio					1	1

Tabella 12-20 - Assegnazione del grado di permeabilità relativa in funzione dei range di valori di conducibilità idraulica riportati in Tabella 12-19 variabili da molto basso (grado 1) a alto (grado 5) .

In tal modo è stato possibile in un primo momento assegnare statisticamente un grado di conducibilità idraulica alle varie formazioni che rientrano nella fascia relativa all'“area 5 mila” definita dal buffer di 2000 metri a lato della linea di tracciato (Tabella 12-21).

Sigla Formazionale	Formazione	Permeabilità
at	Alluvioni antiche	4
ar	Alluvioni recenti	4
df	Depositi fluvio glaciali	4
d	Detrito di versante	4
fa	Frana Attiva	4
fi	Frana inattiva	4
aa	Alluvioni attuali	5
c	Colluvio	5
α	Lave andesitiche Tiso	2
BSS	Filladi Quarzifere	2
BSSa	Filladi Quarzifere facies ricca in Qz	2
ε	Gabbri Fortezza	2

Sigla Formazionale	Formazione	Permeabilità
fb	Filoni basici di Tiso	2
ybi	Granito di Bressanone	2
p	Porfiroidi	2
sa	Anfiboliti	2
σ	Dioriti Sistema Intrusivo Chiusa	2
σ 1	Dioriti Fortezza	2
h	Terreno di riporto	5

Tabella 12-21 - Gradi di permeabilità relativa assegnati alle formazioni ricadenti all'interno dell' "area 5 mila".

In un secondo momento è stato assegnato il grado di permeabilità relativa anche alle formazioni appartenenti all'intera "area al 25mila"; ciò è stato possibile riportando a tali formazioni i valori delle formazioni sopra esposte e riclassificandone le restanti da valori di letteratura (Tabella 12-22).

Sigla Formazionale	Formazione	Permeabilità
a	Alluvioni attuali e recenti	4
ac	Arenarie e conglomerati ad elementi vulcanici.	3
α	Lave andesitiche e trachiandesitiche	2
α 1	Filoni di porfirite	2
an	Cloritoscisti	3
at	Alluvioni antiche terrazzate	4
c	Marmi saccaroidi	3
cna	Conoide alluvionale	3
cnd	Cono detritico	4
cw	Conglomerati ed arenarie	4
δ 1	Dioriti	2
d	Detrito di falda	3
ε	Gabbri	2
fc	Filladi quarzifere carboniose	2
fg	Depositi fluvio-glaciali a grossi blocchi	5
fq	Filladi quarzifere	2
fr	Frana	4
γ bi	Graniti biotitici	2
md	Morene miste a detrito	4
mgr	Micascisti granatiferi	3
mo	Morene wurmiane miste a detrito	4
mor	Morene rissiane	4
PE1	Formazione a Bellerophon	4
PE2	Arenarie di Val Gardena	3
pg	Gneiss albitici; porfiroidi	2
ρ δ v	Ignimbriti rioldacitiche	1
ρ	Ignimbriti riolitiche o quarzolattiche	1
sa	Anfiboliti epidotiche e gneiss	2

Sigla Formazionale	Formazione	Permeabilità
T1	Formazione di Werfen	2
T2	Conglomerato di Richtofen	3
T2s	Dolomia del Serla	3
T3	Formazione di Livinallongo.	2
T3s	Formazione di Wengen	3
T4	Dolomia dello Sciliar	3
t/c	Colate laviche	2
Vcg	Conglomerato di Ponte Gardena.	4
A	Filoni aplitici	1

Tabella 12-22 - Gradi di permeabilità relativa assegnati alle formazioni ricadenti all'interno dell'area 25 mila".

### 12.6.3 Complessi idrogeologici interessati e loro descrizione

La ricostruzione dei complessi idrogeologici dell'area di studio è stata necessariamente preceduta dall'elaborazione di una legenda tematica idrogeologica a partire da una riclassificazione delle informazioni contenute nello studio geologico.

In particolare, tale legenda idrogeologica, in parte riportata in Figura 12-35, si ispira al Quaderno n. 5 Carta idrogeologica d'Italia 1:50.000 - Guida al rilevamento e alla rappresentazione pubblicato da ISPRA, e presenta le simbologie necessarie per la rappresentazione della cartografia idrogeologica di base come i complessi idrogeologici e gli elementi lineari e poligonali di carattere idrogeologico (circolazione idrica sotterranea). Le litologie presenti nella carta geologica e nelle sezioni geologiche insistenti nell'area di studio sono state classificate in base al loro teorico comportamento idrodinamico, secondo una classificazione in gradi di permeabilità relativa ragionata ed elaborata utilizzando essenzialmente i dati citati nel Paragrafo 12.6.1 e nel Paragrafo 12.6.2.

Oltre al grado di permeabilità relativa, per una corretta caratterizzazione dei complessi idrogeologici, occorre definire quale tipologia di permeabilità il litotipo presenta, ossia se primaria, secondaria o mista (vedi Figura 12-35); in Tabella 12-23 e in Tabella 12-24 sono riportati per ogni formazione la permeabilità relativa e la rispettiva tipologia.

Nelle rocce che presentano permeabilità per fratturazione la circolazione avviene essenzialmente attraverso il reticolo di fessure e fratture (circolazione di tipo dispersivo). Si deve comunque ricordare che i complessi idrogeologici in roccia sono dotati di una permeabilità primaria di tipo interstiziale che, nonostante sia ordini di grandezza inferiori rispetto alla permeabilità per fratturazione e/o carsismo, può giocare un ruolo importante nel movimento di sostanze in soluzione attraverso processi diffusivi. Per tale motivo si ritiene che la terminologia "permeabilità mista" sia da applicarsi solamente a quei depositi nei quali l'ordine di grandezza della permeabilità primaria sia confrontabile con quello della secondaria.

**COMPLESSI IDROGEOLOGICI DISTINTI IN FUNZIONE DEL LORO GRADO DI PERMEABILITÀ RELATIVA**

GRADO DI PERMEABILITÀ RELATIVA	TIPO DI PERMEABILITÀ					
	PRIMARIA (per porosità)	SECONDARIA (per fratturazione e/o carsismo)		MISTA		
		Complessi Idrogeologici Carbonatici				Complessi Idrogeologici Non Carbonatici
		Permeabilità per fratturazione e carsismo	Permeabilità per fratturazione			Permeabilità per fratturazione
Alta	5	V	V	E		
Medio-alta	4	IV	IV	D		
Media	3	III	III	C	III	
Medio-bassa	2		II	B	II	
Da bassa a molto bassa	1			A	I	

Figura 12-35 - Complessi idrogeologici distinti in funzione del loro grado di permeabilità relativa.

È stato quindi assegnato un grado di conducibilità idraulica per tutti i litotipi presenti nell'intera area in studio con la rispettiva tipologia di permeabilità; di seguito sono riportate la Tabella 12-23, che descrive la permeabilità e la tipologia della stessa per le formazioni presenti nell'intera area in studio "area 25 mila", e la Tabella 12-24 che indica il grado di permeabilità e la tipologia della stessa per i litotipi presenti nell'area in studio di maggior dettaglio "area 5 mila".

Sigla Formazioni	Descrizione	Permeabilità	Tipologia
a	Alluvioni attuali e recenti	4	P
ac	Arenarie e conglomerati ad elementi vulcanici.	3	P
α	Lave andesitiche e trachiandesitiche	2	NCF
α1	Filoni di porfirite	2	NCF
an	Cloritoscisti	3	NCF
at	Alluvioni antiche terrazzate	4	P
c	Marmi saccaroidi	3	CFC
cna	Conoide alluvionale	3	P
cnd	Cono detritico	4	P
cw	Conglomerati ed arenarie	4	M
δ1	Dioriti	2	NCF
dt	Detrito di falda	3	P
ε1	Gabbri	2	NCF
fc	Filladi quarzifere carboniose	2	NCF
fg	Depositi fluvio-glaciali a grossi blocchi	5	P
fq	Filladi quarzifere	2	NCF
fr	Frana	4	P
γbi	Graniti biolitici	2	NCF
md	Morene miste a detrito	4	P

Sigla Formazioni	Descrizione	Permeabilità	Tipologia
mgr	Micascisti granatiferi	3	NCF
mo	Morene wurmiane miste a detrito	4	P
mor	Morene rissiane	4	P
PE1	Formazione a Bellerophon	4	CFC
PE2	Arenarie di Val Gardena	3	NCF
pg	Gneiss albitici; porfiroidi	2	NCF
ρδv	Ignimbriti rioldacitiche	1	NCF
ρ	Ignimbriti riolitiche o quarzolatitiche	1	NCF
sa	Anfiboliti epidotiche e gneiss	2	NCF
T1	Formazione di Werfen	2	CF
T2	Conglomerato di Richtofen	3	M
T2s	Dolomia del Serla	3	CF
T3	Formazione di Livinallongo.	2	CF
T3s	Formazione di Wengen	3	NCF
T4	Dolomia dello Sciliar	3	CF
tβc	Colate laviche	2	NCF
Vcg	Conglomerato di Ponte Gardena.	4	M
A	Filoni aplitici	1	NCF

Tabella 12-23 – Gradi di permeabilità relativa e loro tipologia; sigla e nome formazioni appartenenti all’area definita “area 25 mila”.

Sigla Formazionale	Formazione	Permeabilità	Tipologia
at	Alluvioni antiche	4	P
ar	Alluvioni recenti	4	P
df	Depositi fluvio glaciali	4	P
d	Detrito di versante	4	P
fa	Frana Attiva	4	P
fi	Frana inattiva	4	P
aa	Alluvioni attuali	5	P
c	Colluvio	5	P
h	Terreno di riporto	5	P
α	Lave andesitiche Tiso	II	NCF
BSS	Filladi Quarzifere	II	NCF
BSSa	Filladi Quarzifere facies ricca in Qz	II	NCF
ε	Gabbri Fortezza	II	NCF
fb	Filoni basici di Tiso	II	NCF
ybi	Granito di Bressanone	II	NCF
p	Porfiroidi	II	NCF
sa	Anfiboliti	II	NCF
σ	Dioriti Sistema Intrusivo Chiusa	II	NCF
σ 1	Dioriti Fortezza	II	NCF

Tabella 12-24 – Gradi di permeabilità relativa e loro tipologia; sigla e nome formazioni appartenenti all’area definita “area 5 mila”.

In Tabella 12-25 viene riportato un riepilogo dei complessi idrogeologici che caratterizzano l’intera area in studio “area 25 mila” con il numero e le formazioni presenti in ogni complesso; come è possibile vedere dalla tabella, all’interno dell’ “area 25 mila” affiorano 5 tipologie di complessi:

- Complesso a permeabilità primaria per porosità “P”, con variabilità nel grado di permeabilità dalla classe 3 alla classe 5, espresso in legenda con numero arabo;
- Complesso a permeabilità per fratturazione e carsismo in complessi carbonatici “CFC” con grado di permeabilità 3 e 4, espresso in legenda con numeri romani;
- Complesso a permeabilità per sola fratturazione in complessi carbonatici “CF” con grado di permeabilità 2 e 3, espresso in legenda con numeri romani;
- Complesso a permeabilità per fratturazione in complessi non carbonatici “NCF” con grado di permeabilità che varia da 1 a 3, espresso in legenda con numeri romani;
- Complesso a permeabilità mista “M” con grado di permeabilità da 2 a 3, espresso in legenda con lettere.

Complessi	Descrizione	Totale
3,P	Arenarie e conglomerati ad elementi vulcanici	1
	Conoide alluvionale	1
	Detrito di falda	1
3,P Totale		3
4,P	Alluvioni antiche terrazzate	1
	Alluvioni attuali e recenti	1
	Cono detritico	1
	Frana	1
	Morene miste a detrito	1
	Morene rissiane	1
	Morene wurmiane miste a detrito	1
4,P Totale		7
5,P	Depositi fluvioglaciali a grossi blocchi	1
5,P Totale		1
III,CFC	Marmi saccaroidi	1
III,CFC Totale		1
IV,CFC	Formazione a Bellerophon	1
IV,CFC Totale		1
II,CF	Formazione di Livinallongo.	1
	Formazione di Werfen	1
II,CF Totale		2
III,CF	Dolomia dello Sciliar	1
	Dolomia del Serla	1
III,CF Totale		2
I,NCF	Ignimbriti riodacitiche	1
	Filoni aplitici	1
	Ignimbriti riolitiche o quarzolitiche	1
I,NCF Totale		3
II,NCF	Anfiboliti epidotiche e gneiss	1
	Colate laviche	1
	Dioriti	1
	Filladi quarzifere	1
	Filladi quarzifere carboniose	1
	Filoni di porfirite	1
	Gabbri	1
	Gneiss albitici; porfiroidi	1
	Graniti biolitici	1
	Lave andesitiche e trachiandesitiche	1
II,NCF Totale		10
III,NCF	Arenarie di Val Gardena	1
	Cloritoscisti	1
	Micascisti granatiferi	1
III,NCF Totale		3
C,M	Conglomerato di Richtofen	1
C,M Totale		1
D,M	Conglomerati ed arenarie	1
	Conglomerato di Ponte Gardena.	1
D,M Totale		2

Tabella 12-25 - Composizione dei Complessi Idrogeologici in termini di Formazioni Geologiche per l'intera area in studio "area 25 mila".

In totale lo studio effettuato sull' "area 25 mila", ha dunque evidenziato un totale di 12 complessi idrogeologici.

In Tabella 12-26 viene riportato un riepilogo dei complessi idrogeologici che caratterizzano l' area di studio "area 5 mila", area con maggiore dettaglio sulle conoscenze, con il numero e le formazioni presenti in ogni complesso. A differenza dell'analisi effettuata per l'"area 25 mila", nell'"area 5 mila" sono presenti un minore numero di complessi idrogeologici, ma il maggiore dettaglio geologico ha permesso lo scorporo di alcune formazioni, come nel caso delle alluvioni attuali e recenti.

Complessi	Formazione	Sigla Formazionale	Totale
4,P	Alluvioni antiche	at	1
	Alluvioni recenti	ar	1
	Depositi fluvio glaciali	df	1
	Detrito di versante	Dv	1
	Frana Attiva	Fa	1
	Frana inattiva	Fi	1
Totale			6
5,P	Alluvioni attuali	Aa	1
	Colluvio	C	1
	Terreno di riporto	h	1
Totale			3
II,NCF	Anfiboliti	sa	1
	Dioriti Fortezza	σ1	1
	Dioriti Sistema Intrusivo Chiusa	σ	1
	Filladi Quarzifere	BSS	1
	Filladi Quarzifere facies ricca in Qz	BSSa	1
	Filoni basici di Tiso	fb	1
	Gabbri Fortezza	ε	1
	Granito di Bressanone	γbi	1
	Lave andesitiche Tiso	α	1
	Porfiroidi	P	1
Totale			10
Totale complessivo			19

Tabella 12-26 - Composizione dei Complessi Idrogeologici in termini di Formazioni Geologiche per l'area definita "area 5 mila".

Nell'area di studio "area 5 mila" affiorano quindi soltanto tre tipologie di complessi idrogeologici con caratteristiche idrodinamiche tipiche di rocce caratterizzate da permeabilità relativa secondaria (per fratturazione) e di rocce caratterizzate permeabilità relativa primaria, la prima appartenente alla classe II (permeabilità medio-bassa) e la seconda variabile dalla classe 4 (permeabilità medio alta) alla classe 5 (permeabilità alta).

In Figura 12-36 viene espresso in forma grafica l'andamento delle conducibilità idrauliche in funzione della profondità e del complesso idrogeologico. Osservando i dati riguardanti il complesso II NCF si deduce che la conducibilità idraulica diminuisce all'aumentare della profondità (come già visto in Fig. 12.34).

Quest'ultimo aspetto risulta particolarmente significativo in considerazione del fatto che l'opera in esame è caratterizzata da gallerie con importanti coperture: ad esempio le gallerie di linea (galleria Scaleres e galleria Gardena) presentano per circa il 90% del loro sviluppo coperture superiori ai 130 m (con valori massimi dell'ordine dei 600 m circa). Ai fini delle valutazioni idrogeologiche inerenti l'opera in esame, si è allora deciso di focalizzare l'attenzione sulle condizioni di conducibilità idraulica a quota piano ferro galleria.

Andamento di k in profondità in funzione dei Complessi Idrogeologici presenti

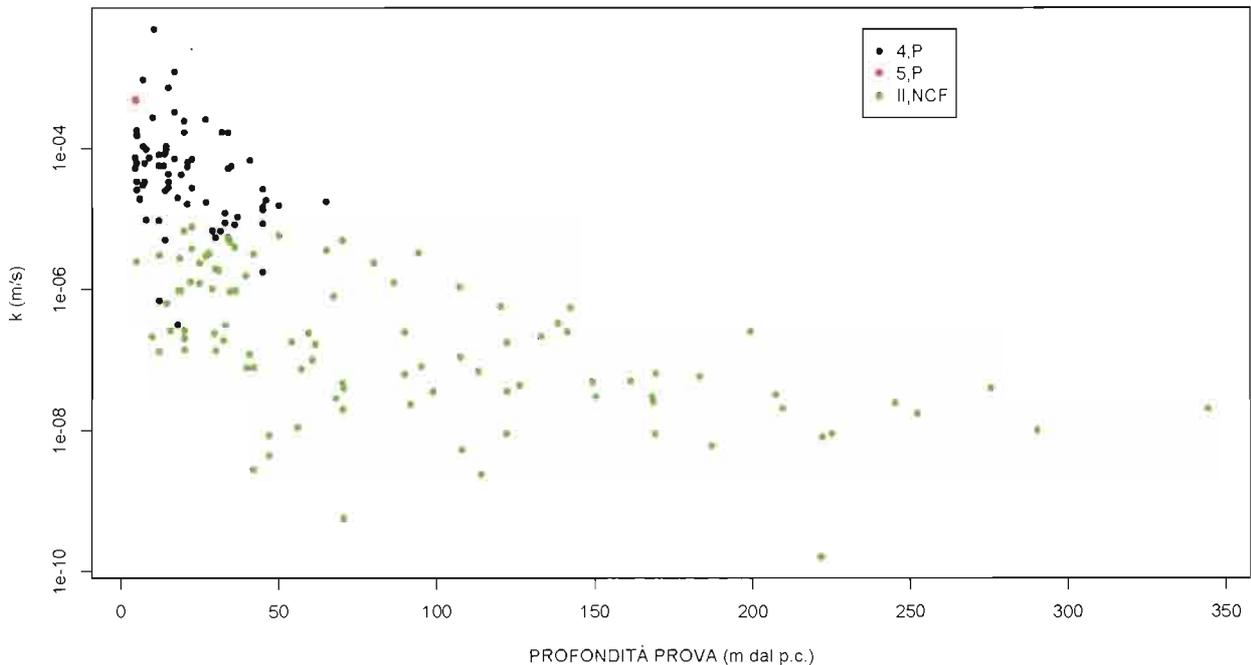


Figura 12-36 - Andamento delle conducibilità idrauliche in profondità in funzione dei Complessi idrogeologici presenti.

Come si vede in Tabella 12-27, le prove di permeabilità effettuate in prossimità della quota piano ferro delle gallerie in progetto hanno restituito valori di conducibilità idraulica che si attestano tra  $10^{-6}$  e  $10^{-10}$  m/s.

ID SOND	PROFONDITÀ PROVA	VALORE K (m/s)	LITOTIPO	DESCRIZIONE SINTETICA DA STRATIGRAFIE	GRADO PERMEABILITÀ
C2	5	2.5E-06	Granito di Bressanone	Roccia fratturata	3
C3	22.95	6.7E-06	Granito di Bressanone	Roccia fratturata	3
C4	117	2.4E-09	Filladi quarzifere	Zona di fratturazione	1
C5	70.3	1.9E-08	Filladi quarzifere	Roccia fagliata e frantumata	2
C6	73.5	5.7E-10	Dioriti Sistema Intrusivo Chiusa	Roccia fratturata	1
C8	12	3.1E-06	Filladi quarzifere	Roccia fratturata	3
C9	141	5.6E-07	Filladi quarzifere facies ricca in Qz	Roccia fratturata	2
C10	63.4	1.1E-07	Filladi quarzifere	Roccia fratturata	2
C11	30	3.0E-06	Filladi quarzifere	Roccia molto fratturata	3
C12	98.7	3.6E-08	Filladi quarzifere	Roccia fratturata	2
C25	132.7	2.2E-07	Filladi quarzifere	Roccia fratturata	2

ID SONDA	PROFONDITÀ PROVA	VALORE K (m/s)	LITOTIPO	DESCRIZIONE SINTETICA DA STRATIGRAFIE	GRADO PERMEABILITÀ
C27	28	3.3E-06	Filladi quarzifere	Roccia fratturata	3
CBV13	36	1.0E-06	Filladi quarzifere	Roccia fratturata	3
S12	173	3.0E-08	Filladi quarzifere	Roccia poco fratturata	2
S13	350	3.0E-08	Filladi quarzifere	Roccia frantumata	2
S16	188	5.8E-08	Filladi quarzifere	Roccia frantumata	2
S2	226.7	1.6E-10	Granito di Bressanone	Roccia compatta	1
S4	257	1.7E-08	Filladi quarzifere	Roccia molto fratturata	1
S7	230.5	9.0E-09	Filladi quarzifere	Roccia fratturata	1
S8	227	8.0E-09	Filladi quarzifere	Roccia compatta	1
SPG1	295	1.0E-08	Filladi quarzifere	Roccia poco fratturata	2

Tabella 12-27 – Valori di permeabilità in prossimità della quota di piano ferro gallerie con rispettivo grado di permeabilità secondo la classificazione effettuata in Tabella 12-19.

Per sintetizzare questa variabilità, anche ai fini dei calcoli analitici degli afflussi in galleria dei quali si dirà con dettaglio più avanti, si è scelto di schematizzare i valori di conducibilità idraulica relativi al piano ferro (in modo da tenere conto anche delle caratteristiche dei litotipi e dell'effetto delle coperture); sono state adottate le seguenti categorie di permeabilità (che rientrano nelle suddivisioni effettuate in tabella 12.19):

- Classe K1= permeabilità bassa;
- Classe K2= permeabilità medio-bassa;
- Classe K3= permeabilità media.

Tali classi sono associabili ai complessi idrogeologici in precedenza definiti, rientrando negli intervalli di permeabilità che caratterizzano i complessi stessi:

complesso I,NCF a permeabilità secondaria bassa = Classe K1: nel modello geologico - idrogeologico la roccia risulta non fratturata o poco fratturata (valore di K utilizzato nei calcoli analitici pari a  $10^{-9}$  m/s);

complesso II,NCF a permeabilità secondaria medio-bassa = Classe K2: nel modello geologico - idrogeologico la roccia risulta maggiormente fratturata (valore di K utilizzato nei calcoli analitici pari a  $10^{-7}$  m/s);

complesso III,NCF a permeabilità secondaria media = Classe K3: nel modello geologico - idrogeologico la roccia risulta fagliata o molto fratturata (valore di K utilizzato nei calcoli analitici pari a  $3 \cdot 10^{-6}$  m/s).

In riferimento a questo schema è stata allora ipotizzata la presenza dei tre complessi I,NCF (grado di conducibilità idraulica 1, tipologia Non Carbonatico Fratturato), II,NCF (grado di conducibilità idraulica 3, tipologia Non Carbonatico Fratturato) e III,NCF (grado di conducibilità idraulica 3, tipologia Non Carbonatico Fratturato) a piano ferro, in base allo stato di fratturazione proveniente dell'analisi fragile del modello geologico effettuato. Rimane comunque la possibilità che in profondità anche le fasce tettonizzate presentino una conducibilità idraulica ridotta dai processi di alterazione chimica che portano ad avanzati stadi di argillificazione dei fillosilicati.



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	146 di 268

Da tabella 12.27 si vede che il valore massimo di conducibilità idraulica misurato in prossimità del piano ferro è pari a  $6.7E-06$ . Tale misura è stata compiuta in prossimità dell'imbocco dell'interconnessione di Fortezza, nel sondaggio C3 e nella formazione del Granito di Bressanone, appartenente al complesso idrogeologico II, NCF ma arealmente poco rappresentata lungo il tracciato. Quindi per quanto riguarda la classe K3, è stato deciso di utilizzare nei calcoli analitici il valore di K uguale a  $3.2 \cdot 10^{-6}$  m/s, pari alla media dei valori più alti misurati a piano ferro nei sondaggi (C27, C8) eseguiti nella formazione geologica delle Filladi quarzifere, poiché essa costituisce la formazione più rappresentata nell'area di studio. Escludendo i valori di conducibilità idraulica dell'ordine di  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s (misurati nei sondaggi: C2, C3, C8, C11, C27, CBV13), considerati in parte, precedentemente nella classe K3, e mediando i valori rimanenti, si ottiene il valore di  $6.4 \cdot 10^{-8}$  m/s; tale valore, è stato approssimato cautelativamente per eccesso a  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s, ottenendo il valore scelto per la classe K2. Infine per quanto riguarda la classe K1, è stato preso in considerazione il valore più basso riscontrato nei sondaggi (valore nell'ordine del  $1 \cdot 10^{-10}$  m/s) ed è stato incrementato di un ordine di grandezza ottenendo così il valore di  $1 \cdot 10^{-9}$  m/s. Questo incremento è stato adottato per tener conto di eventuali sistemi di fratturazione minori o comunque limitati peggioramenti delle qualità dell'ammasso roccioso in profondità, non prevedibili dai sondaggi e dai rilievi di superficie.

Al fine di ottenere una distribuzione spaziale della conducibilità idraulica a quota piano ferro su tutto il profilo dell'opera suppiendo alla mancanza di dati nelle aree interposte tra i sondaggi, così da poter attribuire ad ogni "segmento" di calcolo una K necessaria alla stima degli afflussi in galleria, è stato applicato un metodo deterministico d'interpolazione spaziale denominato "poligoni di Voronoi" (detto anche tassellatura di Dirichlet), che interpola i dati di partenza costruendo una maglia continua di poligoni, al cui interno ogni localizzazione target della interpolazione assume i valori del punto misurato più vicino. Il risultato di questo metodo di interpolazione fornisce passaggi repentini di valori interpolati, assimilabili a tasselli di un mosaico. Tuttavia, questa distribuzione discreta dei valori interpolati (ovvero la mappa della K stimata) garantisce che si abbia un valore stimato uguale a quello misurato (ovvero ogni punto di misura di K a piano ferro) nei dintorni di ogni valore di partenza (il "tassello" o poligono di Voronoi).

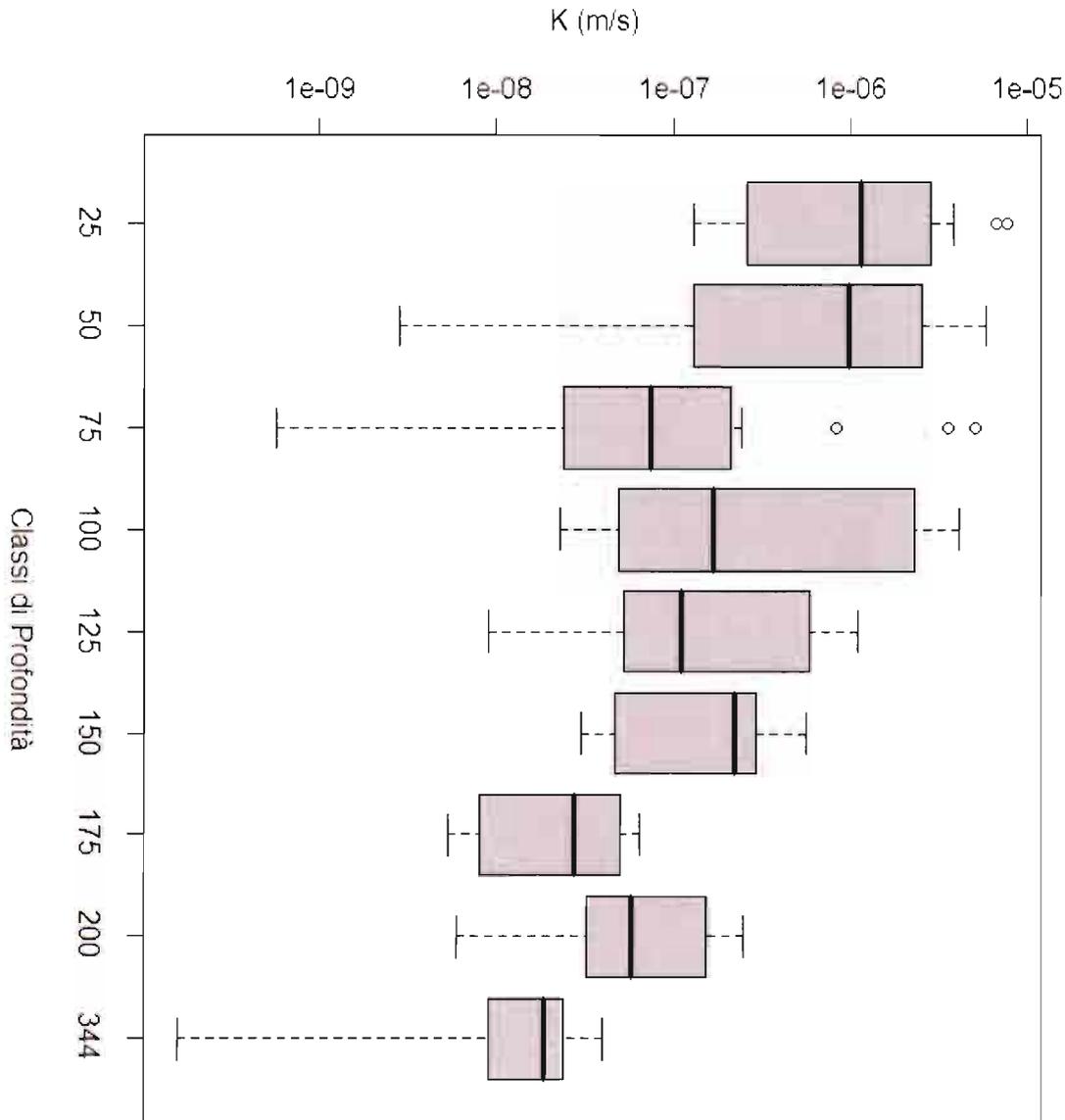
Per ottenere una migliore ricostruzione dell'andamento delle conducibilità idrauliche lungo il profilo, sono stati inseriti punti "fittizi" cui sono stati assegnati valori di conducibilità idraulica scelti empiricamente sulla base del modello geologico concettuale. In particolare, questi "nodi fittizi" sono stati inseriti nelle zone con presenza di fratture (o lineamenti) importanti, tramite l'intersezione tra le stesse ed il piano ferro galleria, non considerate dai sondaggi, al fine di aumentarne localmente (e cautelativamente) le conducibilità idrauliche; secondariamente, sono avvenute forzature in zone geologicamente integre (anch'esse prive di punti di misura diretta della conducibilità idraulica) per evitare che punti ad alta permeabilità relativamente distanti potessero influenzare con il loro valore anche le zone caratterizzate da litotipi compatti e relativamente poco permeabili. Questi elevati valori di K misurati, infatti, avrebbero prodotto poligoni di Voronoi con alti valori di K stimati anche lontano dalle aree con importanti sistemi di fratturazione a causa dell'assenza di dati misurati in tali aree caratterizzate, invece, da ammassi di buona qualità.

Per tener conto della naturale e progressiva diminuzione dei valori di K all'aumentare della profondità precedentemente dimostrata con i grafici di Figura 12.34 e Figura 12-36, è stato analizzato l'intero set di dati relativo alle prove Lugeon effettuate per stimare una profondità oltre la quale il detensionamento superficiale potesse essere ritenuto trascurabile, e quindi assumere come applicabili i valori di K interpolati a partire dalle misure a piano ferro. Tale analisi è stata affrontata differenziando le profondità delle prove secondo 8 classi regolari, con spessore di 25 metri sino a 200 metri di profondità (considerata come limite massimo dei possibili detensionamenti superficiali), ed un'ulteriore classe con i restanti dati profondi (da 200m a 344m).

Per ogni classe di profondità di sondaggio così ottenuta è stata realizzata un'analisi statistica descrittiva (Tabella 282.27a) dei dati di K ottenuti tramite prove Lugeon ad ogni profondità di sondaggio; tali dati inoltre, sono stati sintetizzati tramite box-plot e riportati in Figura . Si ricorda che i boxplot (o più precisamente box and whiskers plot, ovvero diagrammi a scatola e baffi) rappresentano la distribuzione dei dati di una variabile in termini di misure statistiche di posizione relativa. Tali grafici rappresentano il minimo ed il massimo dei valori (estremi dei baffi), ed il primo, il secondo ed il terzo quartile. In particolare, la scatola racchiude il 50% della distribuzione dei valori (distanza tra il primo ed il terzo quartile), e contiene anche l'indicazione di tendenza centrale data dal secondo quartile (ovvero la mediana). La mediana (misura di posizione relativa e parametro statistico di tendenza centrale) è stato preferito alla media in quanto parametro statisticamente più robusto ai valori estremi, ovvero quelli lontani dal centro della distribuzione. In tal senso, con la mediana (rappresentata dalla linea spessa all'interno della scatola di ogni boxplot di Figura ) si stima più accuratamente il valore della conducibilità idraulica K per ogni classe di profondità di sondaggio.

Classi di Profondità	Minimo K	Primo Quartile K	Mediana K	Media K	Terzo Quartile K	Massimo K
m	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
0 - 25	1,30E-07	2,60E-07	1,14E-06	1,97E-06	2,73E-06	7,70E-06
25 - 50	2,80E-09	1,30E-07	9,70E-07	1,54E-06	2,50E-06	5,80E-06
50 - 75	5,70E-10	2,40E-08	7,40E-08	6,89E-07	2,10E-07	5,00E-06
75 - 100	2,30E-08	5,55E-08	1,66E-07	1,14E-06	1,80E-06	4,10E-06
100 - 125	9,00E-09	5,25E-08	1,10E-07	3,55E-07	5,80E-07	1,10E-06
125 - 150	3,00E-08	4,65E-08	2,20E-07	2,13E-07	2,95E-07	5,60E-07
150 - 175	5,30E-09	1,23E-08	2,75E-08	3,04E-08	4,50E-08	6,40E-08
175 - 200	6,00E-09	3,20E-08	5,80E-08	1,05E-07	1,54E-07	2,50E-07
200 - 344	1,60E-10	9,25E-09	1,85E-08	1,80E-08	2,30E-08	4,00E-08

**Tabella 282.27a - Parametri statistici descrittivi della conducibilità idraulica K (m/s) espressi secondo le classi di profondità alle quali sono state effettuata le prove Lugeon.**



**Figura 12.36a - Boxplot delle distribuzioni dei valori di K (m/s) misurati con prove Lugeon in foro per ogni classe di profondità di sondaggio: i rettangoli grigi contengono il 50% dei dati (racchiudendo tutti i valori dal 1° quartile al 3° quartile della distribuzione), i baffi rappresentano i valori anomali (baffo inferiore: valori minori del 1° quartile; baffo superiore: valori superiori al 3° quartile), i punti isolati esterni rappresentano i valori estremi (outliers), cioè quelli ad una distanza in valore assoluto superiore ad 1.5 volte quella interquartile (ovvero la differenza tra 1° e 3° quartile), e quindi rappresentano i valori molto lontani dalla tendenza centrale (le code della distribuzione).**

Dall'osservazione di Tabella 282.27a e di Figura si nota una diminuzione progressiva della mediana (rappresentata dalla linea spessa all'interno della scatola di ogni boxplot) delle distribuzioni di K (ogni singolo boxplot) rispetto all'aumentare delle nove classi di profondità. Dal confronto dei boxplot è possibile separare i dati in due sottoinsiemi, ovvero due gruppi composti uno dalle classi 0-25 e 25-50, e l'altro dalle classi che vanno dalla

50-75 a quelle a profondità superiore. Inoltre, i valori delle mediane delle classi di profondità dei due gruppi (Tabella 28) sono differenti: il primo gruppo (classi 0-25 m e 25-50 m) mostra valori di K mediana superiori a 10-7 m/s, mentre quelli del secondo gruppo sono uguali o inferiori a 10-7 m/s. Per questo motivo è stata stimata per tutta l'area indagata la profondità di 50 m come soglia statistica per il passaggio dalle condizioni di conducibilità idraulica superficiali (ammasso roccioso più conduttivo per detensionamento superficiale) a quelle profonde (ammasso roccioso più compatto). L'applicazione di questo concetto si è riflessa nell'aumento di una categoria per le classi K1 e K2, stimate tramite la spazializzazione dei dati relativi alla quota di piano ferro, tutte le volte che lo stesso si trova a 50 m o meno dalla superficie topografica.

Lo studio sui complessi idrogeologici per l'“area 5 mila” ha quindi portato a individuare in tutto 5 complessi idrogeologici 3 dei quali, come visto in precedenza, sono affioranti e gli altri 2 sono riconosciuti attraverso le analisi condotte alle profondità del piano ferro. Di seguito l'elenco completo con il relativo grado di conducibilità idraulica attribuito alla scala del complesso:

- Complesso idrogeologico 4,P, con grado di permeabilità relativa 4 e permeabilità di tipo primario; tale complesso comprende:
  - Alluvioni antiche
  - Alluvioni recenti
  - Depositi fluvio glaciali
  - Detrito di versante
  - Frana Attiva
  - Frana inattiva
- Complesso idrogeologico 5,P, con grado di permeabilità relativa 4 e permeabilità di tipo primario; tale complesso comprende:
  - Alluvioni attuali
  - Colluvio
  - Terreno di riporto
- Complesso idrogeologico I,NCF, con grado di permeabilità relativa 1 e permeabilità di tipo secondario; tale complesso comprende tutti i litotipi a permeabilità secondaria con grado di fratturazione trascurabile.
- Complesso idrogeologico II,NCF, con grado di permeabilità relativa 2 e permeabilità di tipo secondario; tale complesso comprende tutti i litotipi a permeabilità secondaria con grado di fratturazione non trascurabile.
- Complesso idrogeologico III,NCF, con grado di permeabilità relativa 3 e permeabilità di tipo secondario; tale complesso comprende tutti i litotipi a permeabilità secondaria con significativo grado di fratturazione.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	150 di 268

#### 12.6.4 *Assetto idrico sotterraneo*

Per meglio comprendere il modello idrogeologico dell'area in studio sono stati valutati i flussi idrici sotterranei più importanti raffigurandoli nelle varie carte idrogeologiche allegata allo studio. Per la definizione dei flussi idrici di tipo sotterraneo è indispensabile effettuare una ricostruzione della superficie freaticometrica.

Per tale ricostruzione sono state effettuate alcune assunzioni:

- il corpo acquifero fratturato è stato trattato come un mezzo roccioso poroso equivalente (Equivalent Porous Medium);
- le falde ospitate in corpi acquiferi porosi sono state considerate in contiguità idraulica con le falde idriche ospitate dai corpi acquiferi fratturati del substrato.

L'elaborazione della superficie suddetta è stata effettuata tramite spazializzazione dei dati puntuali opportunamente misurati nei vari sondaggi geognostici. L'attendibilità del modello freaticometrico elaborato è chiaramente tanto maggiore quanti più punti di ricostruzione esistono in una determinata area.

Dalla superficie freaticometrica così ricostruita, coadiuvata dall'assetto strutturale fotointerpretato e verificato ove possibile in campagna, nonché dalle analisi chimiche e fisico-chimiche, è stato stimato l'andamento delle principali direttrici di flusso e la suddivisione delle stesse, così descrivibili:

- Principali direzioni legate a sistemi di flusso derivanti da complessi fratturati; la veicolazione delle acque è dettata dalle fratturazioni e dalle dislocazioni che portano a emergenze idriche caratterizzate dalla circolazione di acque più mature dal punto di vista geochimico e quindi provenienti da circuiti più profondi;
- Principali direzioni connesse a sistemi di flusso derivanti da complessi porosi; le direzioni di flusso non sono legate a fratture e/o dislocazioni ma sono legati a sistemi con permeabilità primaria legata alla porosità;
- Principali direzioni legate a sistemi di flusso ospitati in acquiferi interessati da possibili fenomeni di deformazione gravitativa profonda; flussi veicolati in aree che dal modello geologico risultano affette da verosimili detensionamenti; anche in questo caso le acque sono caratterizzate da una elevata maturità dal punto di vista geochimico e quindi provenienti da circuiti più profondi.

Nello stesso modo sono state riconosciute e classificate le aree ad emergenze diffuse come è possibile osservare nella cartografia idrogeologica allegata alla presente Relazione.

Effettuando un breve analisi dei flussi è possibile dire che nel settore settentrionale, in corrispondenza del M. Bersaglio, sul Granito di Bressanone, le direzioni principali del flusso legate a sistemi derivanti da complessi fratturati seguono la direzione verso nord-est mentre le direzioni legate a sistemi di flusso derivanti da complessi porosi seguono direzione verso sud sud-est.

Più a sud, la Val Scaleres è caratterizzata da flussi, derivanti da complessi fratturati, impostati sulle principali lineazioni che drenano le acque sotterranee verso il rio Scaleres. La porzione più a ovest del bacino del rio Scaleres (Monte dei Vitelli e dosso di Scaleres) è caratterizzata da aree a sorgenti diffuse che sono legate a flussi derivanti da complessi porosi. Nella porzione centrale del bacino, all'altezza della frazione di Scaleres, sono presenti invece aree a sorgenti diffuse legate a flussi derivanti da complessi fratturati.



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	151 di 268

La fascia si snoda all'incirca da Bressanone allo sbocco del rio Funes nel fiume Isarco è caratterizzata da flussi, sia ad estrazione profonda che derivanti da complessi porosi, che si impostano in maniera perpendicolare al fiume Isarco. In questo settore sono state riconosciute aree a sorgenti diffuse legate a complessi fratturati, sulle pendici orientali del M. Cane e nella porzione iniziale del torrente Snodres.

A nord di Lazfons, all'interno del sotto-bacino di Chiusa sono presenti delle direttrici del flusso che hanno andamento verso sud per poi successivamente ruotare ed impostarsi in direzione perpendicolare all'Isarco. In questa area sono state riconosciute aree a sorgenti diffuse derivanti da complessi porosi legati alle notevoli coperture quaternarie affioranti.

Nella Val di Funes la direzione del flusso, come già detto, è dettata dall'importante lineamento tettonico su cui è impostata la valle. Tale elemento drena verso il fiume Isarco, raccogliendo le acque che all'interno bacino di Funes fluiscono seguendo valli secondarie ad orientamento circa N-S.

Nel settore tra Fraina e Laion il flusso idrico, derivante da complessi fratturati, è nuovamente perpendicolare al fiume Isarco. Continuando verso sud, nell'area tra Ponte Gardena e Laion i flussi idrici da perpendicolari all'Isarco passano ad un andamento verso sud. Questo è dovuto ad una serie di fratture caratterizzanti quest'area che è stata interessata da deformazione gravitativa profonda. Le acque delle sorgenti sono contraddistinte da una elevata maturità dal punto di vista geochimico che fa ipotizzare un flusso più profondo.

Infine nell'area a monte della frazione di Villandro, in destra Isarco, sono state individuate zone a sorgenti diffuse che portano a giorno acque presumibilmente provenienti sia da flussi derivanti da complessi fratturati sia da flussi superficiali.

## 12.7 Valutazione rischio d'interferenza con le risorse idriche di superficie

La stima delle possibili interferenze dell'opera in progetto sulle risorse idriche di superficie è stata effettuata utilizzando una variazione (su alcuni parametri d'ingresso, esasperando le condizioni negative a vantaggio del coefficiente di sicurezza) dell'indice DHI (Drowdown Hazard Index) proposto da Dematteis nel 2001 e modificato da Torri e Dematteis nel 2007.

Questo metodo di valutazione è stato applicato a tutti i punti di cui sono stati individuati parametri chimici e chimico-fisici per poter effettuare una classificazione come descritta al Paragrafo 12.5.2; la valutazione ha riguardato non solo i punti monitorati durante questo studio, ma anche quelli monitorati nella precedente fase progettuale (e non monitorati nel 2012) e quelli monitorati dalla provincia negli anni antecedenti al 2012; in totale sono stati analizzati 126 punti d'acqua.

Per i corsi d'acqua è stata applicata una metodologia diversa, descritta nel Paragrafo 12.7.4, e sono stati studiati gli affluenti ritenuti più importanti del fiume Isarco per un totale di 13 corsi d'acqua.

È opportuno segnalare che le valutazioni presentate di seguito sono svolte, a fini cautelativi, considerando che non siano previste mitigazioni delle venute in galleria (come interventi di impermeabilizzazione del cavo).

Ai fini dell'applicazione dell'indice DHI, preliminarmente, si è provveduto ad una classificazione delle fratturazioni che sono state associate a lineamenti o elementi di campagna; sono state così distinte le seguenti categorie di fratturazione:

1. Non interseca il tracciato della galleria e non è interconnessa con altri sistemi di fratturazione
2. Non interseca il tracciato della galleria ed è interconnessa con altri sistemi di fratturazione
3. Interseca il tracciato della galleria e non è interconnessa con altri sistemi di fratturazione
4. Interseca il tracciato della galleria ed è interconnessa con altri sistemi di fratturazione

Le quattro categorie sono definite da due caratteristiche geometriche interpretate: interferenza del lineamento con il tracciato della galleria alla quota di progetto e probabile interconnessione fra differenti lineamenti tettonici o sistemi di fratturazione. Il primo criterio rappresenta un'interpretazione dell'andamento in sottterraneo dell'elemento lineare riconosciuto in superficie mediante il rilievo di campagna o l'analisi fotogrammetrica. Il secondo criterio stabilisce un'interpretazione del potenziale scambio di acqua tra sistemi di fratturazione differenti o singolarità strutturali con orientamento differente. Sulla base di questi due criteri sono state quindi definite quattro categorie di lineamenti:

1. elementi lineari che potenzialmente non interferiscono con lo scavo in sottterraneo e non presentano significative evidenze di connessione geometrica con i sistemi principali di fratturazione;
2. elementi lineari che potenzialmente non interferiscono con lo scavo in sottterraneo, comunque significativi, in quanto strutture che possono essere collegate con altri sistemi di fratturazione;
3. elementi lineari che potenzialmente interferiscono con lo scavo in sottterraneo, ma non collegati con i sistemi principali di fratturazione;
4. elementi lineari che potenzialmente interferiscono con lo scavo in sottterraneo e collegati con i sistemi principali di fratturazione.

Le quattro classi, così definite, danno conto di una crescente significatività dalla prima all'ultima categoria per il loro potenziale impatto con il tracciato della galleria in termini di trasporto idraulico nello scavo.

### **12.7.1 Valutazione rischio isterilimento sorgenti**

L'indice di isterilimento DHI è stato sviluppato inizialmente per una sua applicazione sulle sorgenti ed anche se può essere applicato anche ad altri ambiti, è proprio sulle sorgenti che trova i suoi fondamenti teorici che saranno descritti in seguito.

In generale i dati di input per il calcolo del DHI sono stati ricavati da:

- Banca dati spazializzata contenente tutte le informazioni geochimiche disponibili;
- Elaborazioni in cui sono stati utilizzati come input il tracciato della galleria e delle finestre, il DEM (Digital Elevation Model) con passo 2 m, i punti d'acqua indagati e i lineamenti riscontrati;
- Il modello idrogeologico concettuale, con le conducibilità idrauliche stimate alla profondità delle perforazioni.

	QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	153 di 268

### 12.7.2 Descrizione del metodo

Il valore di DHI viene ricavato dall'Equazione 4 riportata di seguito.

$$DHI = (PI * DT * PC * TS * ET * 100) / DHI_{max}$$

#### Equazione 4: DHI (Drawdown Hazard Index)

Dove:

- DHI = Drawdown Hazard Index;
- $DHI_{max}$  = Massimo valore teorico raggiungibile dal DHI;
- PI = Potenziale di Drenaggio;
- PC = Canali di permeabilità;
- DT, TS, ET = Vari parametri di input, di cui verranno date maggiori spiegazioni nel Paragrafo 12.7.2.1.

Come si può innanzitutto dedurre dalla precedente equazione, trattandosi di un parametro normalizzato (rispetto al suo valore massimo,  $DHI_{max}$ ) i valori di DHI andranno da 0 a 1; dove 0 rappresenta la minima possibilità di isterilimento della sorgente, mentre 1 rappresenta la possibilità massima.

Il termine PI (Potenziale di Drenaggio) rappresenta, tramite un indice percentuale, un insieme di fattori geostrutturali (FF, MK, OV e PZ, dei quali verrà detto più avanti), che per la loro natura s'influenzano reciprocamente.

La stima di come tali fattori influiscano sul valore di PI è stata effettuata tramite il metodo della matrice di interazione globale (Jiao, 1995) e utilizzando i parametri proposti da Dematteis nel 2001. È stato così ottenuto un valore percentuale di come FF, MK, OV e PZ pesino sul valore di PI (Figura 12-37) potendo così calcolare (secondo Equazione 5) il valore del Potenziale di Drenaggio.

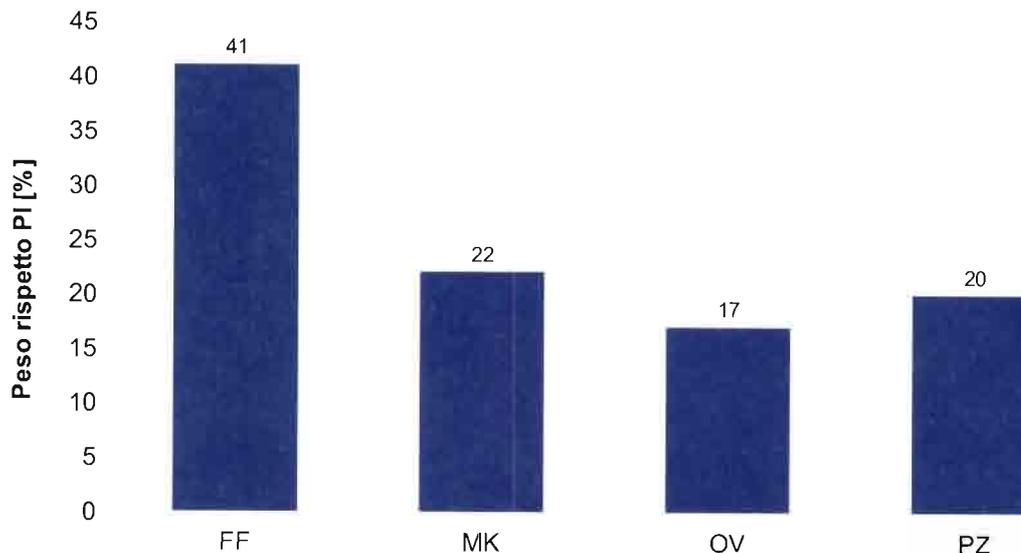


Figura 12-37 - Peso percentuale dei valori di FF, MK, OV e PZ sul parametro PI (potenziale di drenaggio).

$$PI = (41 * FF + 22 * MK + 17 * OV + 20 * PZ) / 100$$

**Equazione 5: Potenziale di drenaggio PI.**

PC (canali di permeabilità) è invece stato calcolato tramite semplice somma dei due parametri che lo compongono, e di cui si parlerà in seguito: IF\* e FD.

#### 12.7.2.1 Descrizione parametri in ingresso

Nel paragrafo seguente saranno descritti i parametri in ingresso per il calcolo del DHI e il metodo secondo il quale sono stati valutati. Per i valori attribuiti a tali parametri si faccia riferimento alla Tabella 12-31, posta alla fine di questo paragrafo.

#### FF - Frequenza fratturazione

Come è logico, la presenza di fratture, più o meno importanti, influenza la possibilità che si instaurino drenaggi maggiori all'interno dell'opera di scavo; la fratturazione è infatti il fattore principale che influenza la permeabilità all'interno di un massiccio roccioso. Per la stima del valore da attribuire a questo parametro, sono stati utilizzati i lineamenti (ciascuno dei quali è stato associato ad una frattura) interpretati dall'analisi fotogrammetrica di foto aeree e dal rilevamento geologico e geomeccanico di campagna, considerando un buffer d'influenza deciso cautelativamente sulla base di valutazioni analitiche relative allo sviluppo areale della fratturazione, in relazione alla distanza e all'importanza data al lineamento ed in base a confronti con i dati di campagna (Paragrafo 12.7); i buffer scelti sono:

- 100 m per le fratture con classificazione = 1
- 125 m per le fratture con classificazione = 2
- 150 m per le fratture con classificazione = 3
- 200 m per le fratture con classificazione = 4

#### MK - Permeabilità del massiccio

Come è facile intuire dal nome, si tratta del grado di permeabilità riscontrato nei vari complessi idrogeologici attraversati dalla galleria e dalla linea di flusso che la collega al punto d'acqua indagato. Per la valutazione di questo paragrafo si fa riferimento al modello idrogeologico (Paragrafo 12.6). In particolare, in questo caso, il valore di tale parametro è stato uguale per tutti i punti, appartenendo essi allo stesso complesso idrogeologico (II,NCF), il quale alla macroscala utilizzata per la valutazione del DHI, presenta un valore di permeabilità medio-basso.

#### OV - Spessore della copertura

Per spessore della copertura, s'intende la profondità rispetto alla superficie topografica alla quale si trova il tracciato in un determinato punto. L'importanza di questo parametro sta nel fatto che le fratture individuate sono quelle affioranti al piano campagna, ed è ben noto in letteratura che ad un aumento della profondità dal piano campagna avviene, generalmente, una chiusura delle fratture a causa dell'incremento dei carichi. Di conseguenza, è evidente, come un aumento del "seppellimento" porti tendenzialmente ad una diminuzione degli effetti drenanti. Il parametro OV è stato stimato semplicemente eseguendo una sottrazione tra le quote del DEM e le quote del piano ferro spazializzate per l'intera lunghezza del tracciato.

#### PZ - Ampiezza della zona plastica

La zona plastica è la zona di perturbazione che si forma intorno allo scavo a causa dei disturbi locali agli stress pre-esistenti. Questa fascia corrisponde ad una zona più intensamente fratturata e quindi, di solito, ad una zona a permeabilità maggiore. L'estensione della zona plastica, non è di semplice deduzione, in quanto varia a seconda del raggio della galleria, delle tecniche di scavo utilizzate e della qualità dell'ammasso roccioso. Per fini cautelativi, per lo svolgimento di questo lavoro è stata considerata un'ampiezza della zona plastica pari a 2 volte il diametro della galleria.

#### DT - Distanza dal tunnel

Si tratta della minor distanza, a fini cautelativi, tra il punto d'interesse ed il tracciato. La valutazione di questo parametro è stata realizzata in ambiente GIS, proiettando i punti d'indagine sul tracciato, e potendo così misurare sia la distanza planimetrica, che la variazione di quota. Una volta conosciuti questi due parametri per ogni punto è bastato applicare il teorema di Pitagora per ricavare la minima distanza reale che li collegava al tracciato.



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	156 di 268

### IF\* - Intersezione con faglie maggiori

Tramite questo parametro viene tenuta in considerazione la presenza di zone ad alta connettività idraulica causata dalla presenza di particolari lineamenti tettonici o da importanti zone di fratturazione. I dati di input per la valutazione di questo parametro sono stati estrapolati dal modello geologico, considerando per i lineamenti principali (intesi come faglie di livello sub-regionale) un buffer di 200 m.

### FD - Fenomeni di dissoluzione

I fenomeni di dissoluzione chimica possono aumentare notevolmente la conducibilità idraulica di formazioni e discontinuità caratterizzanti un ammasso roccioso. È proprio per considerare questo fenomeno che è stato introdotto il parametro FD. Nel caso presente però, considerando la natura e la composizione chimica delle litologie attraversate dall'opera in esame, è stato ritenuto che non vi siano fenomeni di dissoluzione.

### TS - Tipo di sorgente

Questo parametro si basa sulla distinzione tra le acque in base alla loro sola circolazione sotterranea e non al loro rapporto con l'opera in esame; in particolare, come abbiamo visto al Paragrafo 12.5.2 sono state distinte tre diverse tipologie di sorgenti: superficiale, mista e profonda. Ad ognuna delle tre classi è stato poi attribuito un valore per il calcolo del DHI. Appare opportuno segnalare che per le acque classificate come miste (TS = 1.7), non si è attribuito un valore intermedio tra quello delle acque profonde (TS = 2) e quello delle acque superficiali (TS = 1) ma un valore più alto; questo perché, data la difficoltà nel descrivere la natura di una sorgente, si è preferito in caso di dubbio assegnare un valore più cautelativo.

### ET - Effetto topografico

Si tratta di una variabile che prende in considerazione le posizioni relative dell'opera e del punto d'indagine rispetto alla morfologia del territorio, come illustrato dallo schema in Figura 12-38

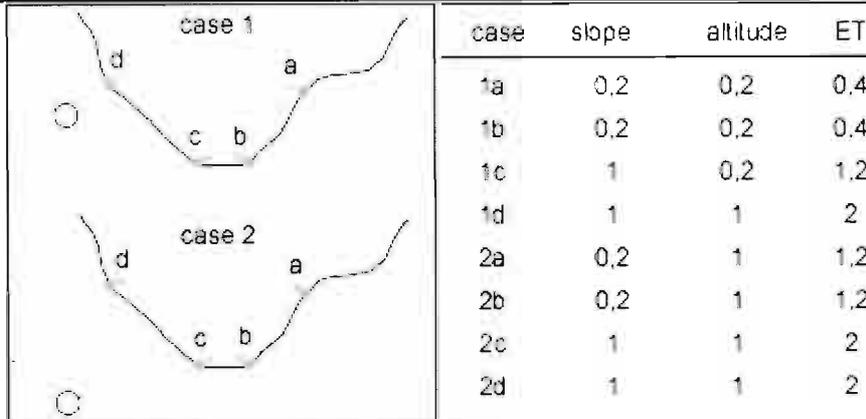


Figura 12-38 - Schema per la valutazione del parametro ET (tratto da Torri 2007).

Parametro	Descrizione	Valore Numerico
RI	FF	Frequenza Fratturazione <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1 = Fratture classe 4</li> <li>▪ 0.8 = Fratture classe 3</li> <li>▪ 0.6 = Fratture classe 2</li> <li>▪ 0.4 = Fratture classe 1</li> <li>▪ 0.1 = Assenza di fratture</li> </ul>
	MK	Permeabilità del Massiccio <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 0.9 = Permeabilità alta</li> <li>▪ 0.7 = Permeabilità medio-alta</li> <li>▪ 0.5 = Permeabilità media</li> <li>▪ 0.3 = Permeabilità medio-bassa</li> <li>▪ 0.1 = Permeabilità bassa</li> </ul>
	OV	Spessore della Copertura <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 0.9 = Copertura &lt; 50 m</li> <li>▪ 0.5 = Copertura da 50 m a 100 m</li> <li>▪ 0.3 = Copertura da 100 m a 500 m</li> <li>▪ 0.1 = Copertura &gt; 500 m</li> </ul>
	PZ	Ampiezza della Zona Plastica <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1 = Raggio ZP &gt; 2*raggio galleria</li> <li>▪ 0 = Raggio ZP &lt; 2*raggio galleria</li> </ul>
DT	Distanza dal Tunnel <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1.9 = Distanza &lt; 200 m</li> <li>▪ 1.7 = Distanza tra 200 m e 500 m</li> <li>▪ 1.5 = Distanza tra 500 m e 1000 m</li> <li>▪ 1.3 = Distanza tra 1000 m e 5000 m</li> <li>▪ 0.5 = Distanza &gt; 5000 m</li> </ul>	
PC	IF*	Intersezione con Faglie Maggiori <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1.5 = Intersezione con faglie</li> <li>▪ 1.2 = Intersezione con fratture classe 4</li> <li>▪ 1 = Nessuna intersezione</li> </ul>
	FD	Fenomeni di Dissoluzione <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 0.5 = Dissoluzione con sviluppo carsico</li> <li>▪ 0.25 = Dissoluzione senza sviluppo carsico</li> <li>▪ 0 = Assenza di dissoluzione</li> </ul>
TS	Tipo di Sorgente <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2 = Profonda</li> <li>▪ 1.7 = Mista</li> <li>▪ 1 = Superficiale</li> </ul>	
ET	Effetto Topografico <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2 = Stesso versante, quota maggiore</li> <li>▪ 1.2 = Stesso versante, quota minore/altro versante, quota maggiore</li> <li>▪ 0.4 = Altro versante, quota minore</li> </ul>	

Tabella 12-29 - Valori d'attribuzione dei parametri costituenti il DHI.

### 12.7.3 Valutazione impatto su pozzi

Il metodo del DHI permette una valutazione del rischio di isterilimento anche in opere di captazione sotterranea (pozzi), tramite le opportune considerazioni e variazioni. In tal senso come “quota di emergenza”, parametro caratteristico delle sorgenti, è stato scelto di considerare per i pozzi, il livello statico medio della superficie freaticometrica misurata in quel punto; sebbene si tratti di una semplificazione concettuale, essa è stata ritenuta comunque accettabile. Questo tipo di valutazione è stata estesa anche ad alcuni sondaggi esplorativi attrezzati con piezometro, in modo da ottenere un numero maggiore di dati per una possibile futura back-analysis.

Per i pozzi siti in depositi alluvionali o quaternari in genere, si è partiti dall'assunzione che la falda acquifera ospitata in tali depositi sia in continuità idraulica con la falda acquifera ospitata nei corpi acquiferi del substrato; è

stato così possibile valutare il rischio di isterilimento in opere di captazione sotterranea con il metodo del DHI precedentemente descritto.

Per conoscere i punti indagati e la loro valutazione di rischio all'impatto si rimanda alla Tabella 12-31 posta in paragrafo 12.7.5.

È stato calcolato anche il DHI per il pozzo B\_000587 (pozzo autostrada) sito nei depositi quaternari di copertura in prossimità delle interconnessioni di Ponte Gardena. La struttura pozzo B\_000587 si trova immediatamente a Nord del sondaggio ordinario C26, circa alla progressiva 3+150 del tracciato dell'interconnessione Ponte Gardena dispari, prima dell'inserimento in roccia dello stesso (Figura 12-39).

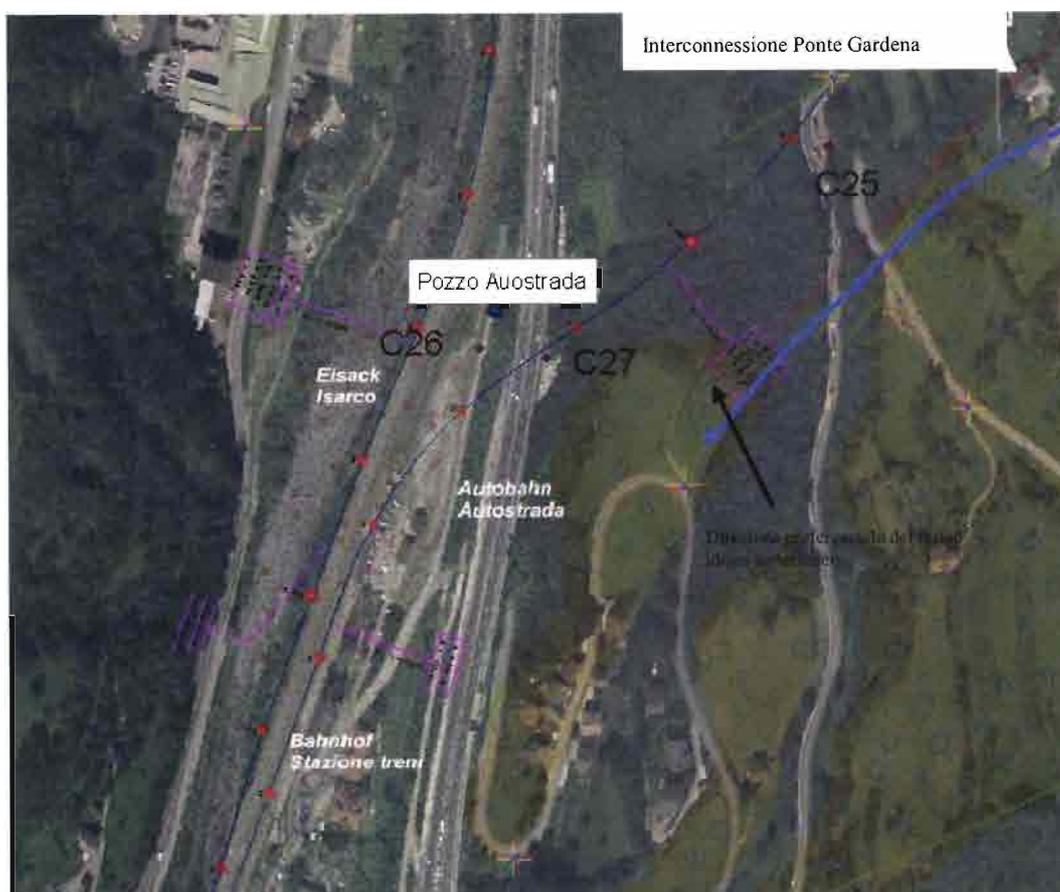


Figura 12-39 - Ubicazione del pozzo con id\_progetto B\_000587 - pozzo autostrada (in semitrasparenza le formazioni geologiche).

Secondo i dati provinciali alla pratica WSGA\_87 corrisponde lo studio idrogeologico effettuato per la realizzazione del pozzo B\_000587 (pozzo autostrada), i dati relativi alla pratica succitata sono stati inseriti nella Banca Dati Indagini Brennero BDIB come attachment. Essi riportano la relazione idrogeologica attraverso cui è possibile conoscere una serie di informazioni sul pozzo: la quota piano campagna e del boccapozzo di circa 483 metri s.l.m., la profondità di circa 32 metri e la soggiacenza pari a 23 metri. Dalla relazione non è stato possibile effettuare la caratterizzazione geochimica delle acque, per cui è stato calcolato il DHI nei diversi casi, ossia con acque di circolazione superficiali, miste o profonde. Le ultime due ipotesi sono cautelative visto che il pozzo pesca per la sua intera lunghezza nei depositi di copertura. Tutti gli altri parametri di ingresso utilizzati per il calcolo del DHI del pozzo autostrada sono quelli già citati nel paragrafo 12.7.2.1.



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	160 di 268

In Tabella 12-28a vengono esplicitati i valori dei parametri di ingresso utilizzati per il calcolo del DHI del pozzo B\_000587 ed i valori finali del DHI e del rischio isterilimento. Come è possibile notare le acque del pozzo passano da rischio alto a rischio medio e a rischio basso a seconda dall'assunzione di partenza sulla provenienza dell'acque di circolazione idrica.

Id	TS	DT	ET	PC		PI				PI	PC	DHI	Rischio
				IF	FD	FF	MK	OV	PZ	Tot	Tot		
B_000587	2	1.9	1.2	1.2	0	1	0.3	0.9	1	0.83152694	1.2	0.31	alto
B_000587	1.7	1.9	1.2	1.2	0	1	0.3	0.9	1	0.83152694	1.2	0.26	medio
B_000587	1	1.9	1.2	1.2	0	1	0.3	0.9	1	0.83152694	1.2	0.16	basso

Tabella 12-28a - Calcolo del DHI per il pozzo B\_000587 (pozzo autostrada)

Nella Tabella 12-31 (vedi oltre) è stato inserito il valore di DHI medio con l'assunzione che le acque di circolazione idrica siano miste.

#### 12.7.4 Valutazione impatto sui corsi d'acqua

In questo paragrafo viene fornita una stima qualitativa circa il rischio potenziale di impatto da parte dello scavo dei tunnel sull'idrografia superficiale nell'area di progetto. La valutazione è stata condotta tenendo in considerazione i possibili scambi tra i corsi d'acqua e i sistemi di flusso sotterranei attraverso i lineamenti riconducibili ai principali sistemi di fratturazione presenti nell'area.

La valutazione dell'impatto sui corsi d'acqua, quindi, è stata realizzata tramite l'applicazione di un metodo euristico spaziale.

In prima battuta si è effettuata una scelta dei corsi d'acqua da indagare, in base alle loro caratteristiche di regime. Sono stati, infatti, esaminati tutti i torrenti di cui erano note le portate stagionali, mentre sono stati scartati i torrenti che presentavano grosse variazioni (fino all'asciugamento) delle loro portate stagionali. Sono stati inoltre considerati i torrenti che avessero interesse per fini di produzione di energia elettrica. La Tabella 12-30 riporta i corsi d'acqua selezionati.

Corsi d'acqua studiati	Corsi d'acqua valutati
Fossa dell'Ospedale	X
Rio della Spelonca	X
Rio dell'Orso	X
Rio di Brogles	
Rio di Funes	
Rio di Gola	X
Rio di Gudon	X
Rio di Scaleres	X
Rio di Tilles	X
Rio di Verdines	
Rio Froier	
Rio Funes	X
Rio Gardena	
Rio Malga	
Rio di Predaz o Rio Molino	X

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	161 di 268
	Rio Parsait		X			
	Rio Profant					
	Rio Riol o Fosso Lutter		X			
	Rio Sicco		X			
	Rio Snodres o Serame o Voluturno		X			
	Rio Valluzza					
	S. Lutzfenn					
	Torrente Tina					

Tabella 12-30 - Elenco corsi d'acqua presi in considerazione e segnalazione di quelli su cui è stata effettuata la valutazione del rischio di isterilimento.

Le entità geometriche spaziali relative a fiumi e torrenti con portata considerevole derivante da monitoraggi pregressi, sono state selezionate a partire dal file cartografico provinciale della Provincia di Bolzano, contenente le informazioni geometriche e tabellari relative all'idrografia.

Sono state calcolate, quindi, delle fasce (buffer) attorno a tali corsi d'acqua. Tali buffer sono stati costruiti con una distanza dal corso d'acqua cartografato (grafo) pari a 15 m per lato. Tale scelta deriva essenzialmente da una considerazione cautelativa relativa all'errore di graficismo stimato della cartografia provinciale alla scala 1:10.000. In tal caso, infatti, l'errore è pari a 10 m planari, quindi è ragionevole pensare che il grafo del corso d'acqua possa avere geometria leggermente differente.

Inoltre, considerando anche l'accuratezza del modello digitale del terreno (risoluzione spaziale di 2 m) su cui si basano molte delle elaborazioni proposte in questo studio, e considerando anche l'errore in fase di fotointerpretazione durante la restituzione dei lineamenti, si assume che il tratto di corso d'acqua in connessione con i sistemi di fratturazione, possa non essere esattamente coincidente con il grafo del fiume, ma ricada piuttosto in un'area ad esso vicina. La dimensione di tale area è stata stimata pari ad una fascia di 30 m attorno al grafo del corso d'acqua (15 m per lato), derivante dalla somma dell'errore presunto dei grafi dell'idrografia, della risoluzione spaziale del modello digitale del terreno, e dell'errore della fotointerpretazione.

Una volta creati i buffer, sono stati selezionati soltanto quelli che intersecano il tracciato dell'opera ferroviaria, e quelli che sono intersecati da lineamenti che avessero classe 3 o classe 4. Come visto in precedenza (par. 12.7) i lineamenti sono stati classificati in 4 classi.

1. Non interseca il tracciato e non è interconnesso con altri lineamenti;
2. Non interseca il tracciato ma è interconnesso con altri lineamenti;
3. Interseca il tracciato ma Non è interconnesso con altri lineamenti;
4. Interseca il tracciato ed è interconnesso con altri lineamenti.

Le ultime due classi dei lineamenti (3 e 4) costituiscono i sistemi che più influenzano l'assegnazione del rischio di isterilimento dell'idrografia superficiale. Infatti, tra i corsi d'acqua selezionati, quelli che sono più a rischio sono quelli che sono attraversati da lineamenti che intersecano direttamente il tracciato, o che lo fanno tramite loro interconnessioni.

La classificazione dei corsi d'acqua in base alla valutazione dell'impatto dell'opera, quindi, è stata formulata come segue in termini di rischio:

- Alto – intersezione con lineamento di tipo 3 o 4
- Basso – intersezione con lineamenti di tipo 1 o 2

La classe intermedia (Rischio Medio) è stata accorpata alla classe di rischio maggiore (Rischio Alto) in maniera conservativa. Infatti, non si è ritenuto opportuno assegnare classi di rischio medio vista la metodologia euristica scelta per il calcolo, ossia un metodo che si basa essenzialmente su considerazioni geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche, piuttosto che su procedure analitiche o numeriche. I corsi d'acqua a Rischio Nullo sono quelli che non rispecchiano nessuno dei criteri precedenti, ovvero che non intersecano il tracciato e che non sono intersecati da lineamenti cartografati di alcun genere.

### 12.7.5 Risultati

In Tabella 12-31 sono riportati per ogni punto analizzato (126 in totale) i valori dei parametri di input misurati per il calcolo del DHI e il valore di DHI risultante.

Id	TS	DT	ET	PC		PI				PI Tot	PC Tot	DHI	Rischio
				IF	FD	FF	MK	OV	PZ				
B_000055	2	1.3	1.2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.077	Nullo
B_000056	2	1.3	1.2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.077	Nullo
B_000058	1.7	1.3	1.2	1	0	0.4	0.3	0.3	1	0.48	1	0.088	Nullo
B_000072	1.7	1.3	1.2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.066	Nullo
B_000085	1	1.3	1.2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.039	Nullo
B_000118	1.7	1.3	1.2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.066	Nullo
B_000167	1.7	1.3	0.4	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.022	Nullo
B_000228	1.7	1.3	1.2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.066	Nullo
B_000301	1.7	1.3	1.2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.066	Nullo
B_000311	1	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.1	1	0.33	1	0.058	Nullo
B_000464	1	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.064	Nullo
B_000472	1	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.064	Nullo
B_000482	1	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.064	Nullo
B_000491	1	0.5	2	1	0	0.4	0.3	0.3	1	0.48	1	0.03	Nullo
B_000494	1	0.5	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.025	Nullo
B_000495	1	0.5	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.025	Nullo
B_000496	1	0.5	2	1	0	0.4	0.3	0.3	1	0.48	1	0.03	Nullo
B_000598	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.1	1	0.33	1	0.099	Nullo
B_000600	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.1	1	0.33	1	0.099	Nullo
B_000606	1	0.5	2	1	0	0.4	0.3	0.3	1	0.48	1	0.03	Nullo
B_000607	1	0.5	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.025	Nullo
B_000610	1	0.5	2	1	0	0.4	0.3	0.3	1	0.48	1	0.03	Nullo
B_000611	1	0.5	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.025	Nullo
B_000612	1	0.5	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.025	Nullo
B_000613	1	0.5	2	1	0	0.4	0.3	0.3	1	0.48	1	0.03	Nullo
B_000619	1	0.5	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.025	Nullo
B_000620	1	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.1	1	0.33	1	0.058	Nullo
B_000622	1	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.1	1	0.33	1	0.058	Nullo
B_000624	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.1	1	0.33	1	0.099	Nullo

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	163 di 268

Id	TS	DT	ET	PC		PI				PI	PC	DHI	Rischio
				IF	FD	FF	MK	OV	PZ	Tot	Tot		
B_000628	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.1	1	0.33	1	0.099	Nullo
B_000631	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.1	1	0.33	1	0.099	Nullo
B_000633	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.1	1	0.33	1	0.099	Nullo
B_000635	1	1.3	2	1	0	0.4	0.3	0.1	1	0.45	1	0.080	Nullo
B_000642	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.1	1	0.33	1	0.099	Nullo
B_000653	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.1	1	0.33	1	0.099	Nullo
B_000654	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.1	1	0.33	1	0.099	Nullo
B_000740	1	1.3	2	1	0	0.4	0.3	0.1	1	0.45	1	0.080	Nullo
B_000787	1	0.5	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.025	Nullo
B_000798	1	1.3	2	1	0	0.4	0.3	0.3	1	0.48	1	0.086	Nullo
B_000825	1	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.064	Nullo
B_000914	1	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.064	Nullo
B_000919	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.109	Basso
B_000927	1	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.064	Nullo
B_000933	1	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.064	Nullo
B_000934	1	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.064	Nullo
B_001128	1	1.3	2	1	0	0.6	0.3	0.1	1	0.53	1	0.095	Nullo
B_001140	1	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.1	1	0.33	1	0.058	Nullo
B_001193	1.7	1.3	1.2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.066	Nullo
B_001206	2	1.3	1.2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.077	Nullo
B_001247	1	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.064	Nullo
B_000190	2	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.129	Basso
B_000204	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.109	Basso
B_000214	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.109	Basso
B_000227	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.109	Basso
B_000229	2	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.129	Basso
B_000232	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.109	Basso
B_000252	1	1.5	2	1.2	0	1	0.3	0.3	1	0.73	1.2	0.180	Basso
B_000267	1.7	1.5	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.126	Basso
B_000346	2	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.129	Basso
B_000394	2	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.129	Basso
B_000411	1.7	1.3	2	1	0	0.4	0.3	0.3	1	0.48	1	0.15	Basso
B_000444	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.109	Basso
B_000536	1.7	1.3	2	1.5	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1.5	0.164	Basso
B_000580	1.7	1.7	2	1.2	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1.2	0.171	Basso
B_000585	2	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.1	1	0.33	1	0.117	Basso
B_000615	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.109	Basso
B_000616	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.109	Basso
B_000617	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.109	Basso
B_000630	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.109	Basso
B_000632	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.109	Basso
B_000636	1.7	1.3	2	1	0	0.4	0.3	0.1	1	0.45	1	0.136	Basso
B_000640	1.7	1.3	2	1	0	0.4	0.3	0.3	1	0.48	1	0.15	Basso
B_000641	2	1.3	2	1	0	0.4	0.3	0.1	1	0.45	1	0.161	Basso
B_000644	1.7	1.3	2	1.2	0	0.1	0.3	0.1	1	0.33	1.2	0.119	Basso
B_000645	1.7	1.3	2	1	0	0.4	0.3	0.1	1	0.45	1	0.136	Basso
B_000647	2	1.3	2	1	0	0.4	0.3	0.1	1	0.45	1	0.161	Basso
B_000648	1.7	1.3	2	1.2	0	0.1	0.3	0.1	1	0.33	1.2	0.119	Basso

## RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	164 di 268

Id	TS	DT	ET	PC		PI				PI	PC	DHI	Rischio
				IF	FD	FF	MK	OV	PZ	Tot	Tot		
B_000651	1.7	1.3	2	1	0	0.6	0.3	0.1	1	0.53	1	0.161	Basso
B_000652	1.7	1.3	2	1.2	0	0.4	0.3	0.3	1	0.48	1.2	0.176	Basso
B_000656	1.7	1.5	2	1.2	0	0.1	0.3	0.1	1	0.33	1.2	0.137	Basso
B_000741	1	1.3	2	1	0	0.6	0.3	0.3	1	0.57	1	0.101	Basso
B_000742	1	1.3	2	1	0	0.6	0.3	0.3	1	0.57	1	0.101	Basso
B_000745	1	1.3	2	1	0	0.6	0.3	0.3	1	0.57	1	0.101	Basso
B_000796	1.7	1.3	2	1	0	0.4	0.3	0.3	1	0.48	1	0.147	Basso
B_000815	1	1.5	2	1	0	0.6	0.3	0.3	1	0.57	1	0.116	Basso
B_000816	1	1.5	2	1	0	0.6	0.3	0.3	1	0.57	1	0.116	Basso
B_000834	1	1.3	2	1	0	0.6	0.3	0.3	1	0.57	1	0.101	Basso
B_000835	1	1.3	2	1	0	0.6	0.3	0.3	1	0.57	1	0.101	Basso
B_000900	2	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.129	Basso
B_000904	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.109	Basso
B_000920	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.109	Basso
B_001114	1.7	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.109	Basso
B_001115	1.7	1.3	2	1	0	0.4	0.3	0.3	1	0.48	1	0.147	Basso
B_001116	1.7	1.3	2	1	0	0.4	0.3	0.3	1	0.48	1	0.147	Basso
B_001120	1.7	1.3	2	1	0	0.4	0.3	0.1	1	0.45	1	0.136	Basso
B_001141	1.7	1.3	2	1	0	0.4	0.3	0.1	1	0.45	1	0.136	Basso
B_001143	1.7	1.3	2	1	0	0.4	0.3	0.3	1	0.48	1	0.15	Basso
B_001172	2	1.3	2	1	0	0.1	0.3	0.1	1	0.33	1	0.117	Basso
B_001173	2	1.5	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.148	Basso
B_001233	1.7	1.3	2	1	0	0.4	0.3	0.1	1	0.45	1	0.136	Basso
B_001237	2	1.5	2	1	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1	0.148	Basso
B_001252	1	1.7	2	1	0	1	0.3	0.3	1	0.73	1	0.170	Basso
B_000192	1.7	1.3	2	1	0	1	0.3	0.3	1	0.73	1	0.221	Medio
B_000194	1.7	1.3	2	1	0	1	0.3	0.3	1	0.73	1	0.221	Medio
B_000260	1.7	1.7	2	1	0	0.6	0.3	0.3	1	0.57	1	0.224	Medio
B_000599	2	1.7	2	1.2	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1.2	0.202	Medio
B_000603	2	1.7	2	1.2	0	0.1	0.3	0.3	1	0.36	1.2	0.202	Medio
B_000634	1.7	1.5	2	1.2	0	1	0.3	0.1	1	0.70	1.2	0.292	Medio
B_000761	1.7	1.3	2	1	0	1	0.3	0.3	1	0.73	1	0.221	Medio
B_000838	1	1.7	2	1.2	0	1	0.3	0.3	1	0.73	1.2	0.204	Medio
B_001129	1.7	1.3	2	1	0	1	0.3	0.3	1	0.73	1	0.221	Medio
B_001142	2	1.7	2	1.2	0	0.4	0.3	0.3	1	0.48	1.2	0.271	Medio
B_001174	2	1.3	2	1.2	0	0.6	0.3	0.1	1	0.53	1.2	0.228	Medio
B_000157	2	1.7	2	1.2	0	1	0.3	0.3	1	0.73	1.2	0.408	Alto
B_000575	2	1.5	2	1.2	0	1	0.3	0.3	1	0.73	1.2	0.360	Alto
B_000579	2	1.9	2	1.2	0	1	0.3	0.9	1	0.83	1.2	0.519	Alto
B_000595	2	1.7	2	1.2	0	1	0.3	0.3	1	0.73	1.2	0.408	Alto
B_001240	2	1.5	2	1.5	0	0.6	0.3	0.3	1	0.57	1.5	0.349	Alto
B_001241	2	1.7	2	1.5	0	1	0.3	0.3	1	0.73	1.5	0.511	Alto
B_001242	2	1.7	2	1.5	0	1	0.3	0.3	1	0.73	1.5	0.511	Alto
B_001244	1.7	1.7	2	1.2	0	1	0.3	0.3	1	0.73	1.2	0.347	Alto
B_001245	2	1.7	2	1.2	0	1	0.3	0.3	1	0.73	1.2	0.408	Alto
B_001248	1.7	1.9	2	1.2	0	1	0.3	0.3	1	0.73	1.2	0.388	Alto
B_001266	2	1.9	1.2	1.2	0	1	0.3	0.9	1	0.83	1.2	0.311	Alto
B_001270	2	1.9	2	1.5	0	1	0.3	0.3	1	0.73	1.5	0.571	Alto

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA									
				LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA									
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA				COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO				
				IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	165 di 268				
Id	TS	DT	ET	PC		PI				PI	PC	DHI	Rischio
				IF	FD	FF	MK	OV	PZ	Tot	Tot		
B_000587	1.7	1.9	1.2	1.2	0	1	0.3	0.9	1	0.83	1.2	0.26	Medio

Tabella 12-31 - Parametri per il calcolo e risultati dell'indice di isterilimento (DHI).

Come possiamo osservare, i DHI risultanti sono stati suddivisi in quattro differenti classi, a seconda dei loro valori (Tabella 12-32).

Range DHI	Classe di Rischio
0 – 0.1	Nulla
0.1 – 0.2	Basso
0.2 – 0.3	Medio
0.3 – 1	Alto

Tabella 12-32 - Classi di DHI.

La scelta di questa suddivisione è variabile in funzione del contesto geologico: a fini cautelativi, le classi non sono state separate seguendo un criterio lineare, ma è stato scelto un range molto ampio per la classe di rischio più alta.

I risultati fin qui illustrati sono stati sintetizzati tramite distribuzioni di frequenza percentuale e totale numerici (Tabella 12-34, Tabella 12-36, Tabella 12-38 e Tabella 12-33, Tabella 12-35, Tabella 12-37), utilizzando la classificazione DHI come parametro discriminante (dalla trattazione dei risultati è stato escluso il valore relativo al punto d'acqua B\_000587-pozzo autostrada di cui si è detto nel paragrafo 12.7.3).

In Tabella 12-34 sono rappresentati e classificati tutti i punti considerati nel calcolo del DHI.

Rischio	%	N°
Nulla	40.0	50
Basso	41.6	52
Medio	8.8	11
Alto	9.6	12

Tabella 12-33 - Incidenze percentuali per le varie classi DHI e numero di punti ricadente all'interno di ciascuna classe.

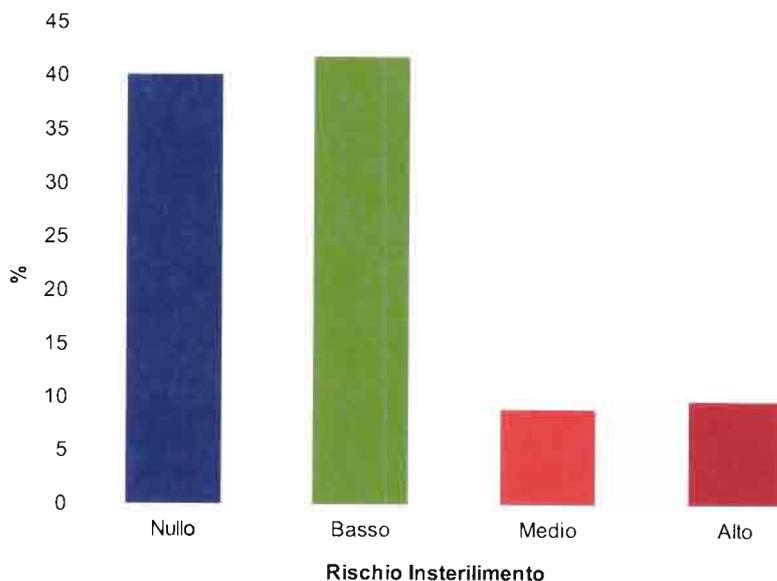


Tabella 12-34 - Distribuzione di frequenza tra le classi di DHI di tutti i punti analizzati.

Come si può osservare la maggioranza dei punti (42 %) ricade nella categoria a rischio basso, mentre un complessivo 20 % circa ricade nelle categorie a rischio medio ed alto.

Va sottolineato che fanno parte dei punti analizzati anche alcuni piezometri installati lungo il tracciato, in cui è logico che il rischio sia molto alto, ma la cui valenza ed importanza è chiaramente diversa rispetto ad un punto sorgente.

Osservando la Tabella 12-36 e la Tabella 12-35, nelle quali sono presenti solo i punti monitorati durante questo studio (in totale 102), si può notare che, dopo aver distinto tra le varie tipologie di punto analizzato (sorgente, pozzo, piezometro da sondaggio), circa la metà dei punti ricadenti nella categoria alta (ossia il 5% dei punti totali monitorati nel 2012) siano i punti appartenenti alla categoria dei piezometri di controllo.

	% Pozzi	% Piezometri	% Sorgenti
Nulla	2.91 (3)	1.94 (2)	30.1 (31)
Basso	0.97 (1)	1.94 (2)	42.72 (44)
Medio	0	0	7.77 (8)
Alto	0	4.85 (5)	6.8 (7)

Tabella 12-35 – Incidenze percentuali delle varie classi DHI in riferimento ai punti indagati (suddivisi in base alla tipologia) durante la campagna del 2012; tra parentesi è riportato il numero complessivo dei punti ricadenti in ciascuna categoria.

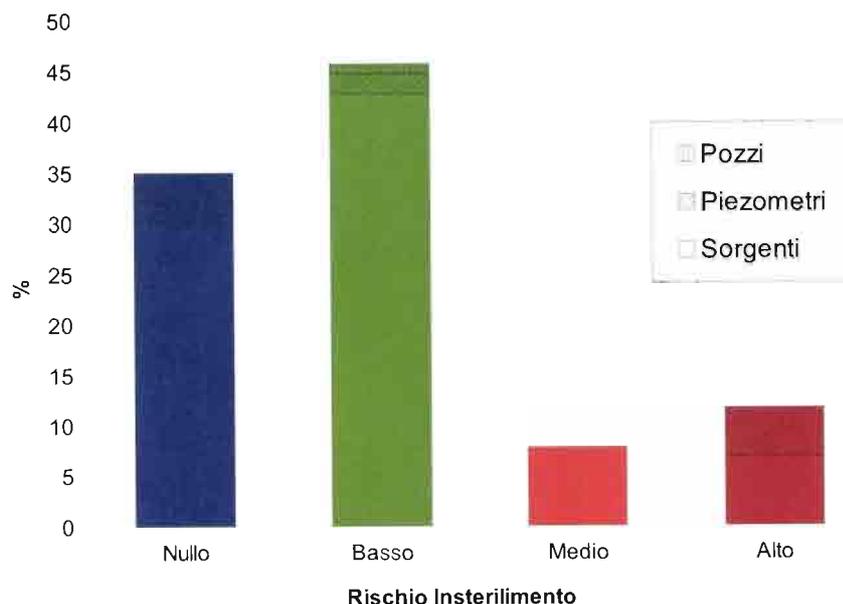


Tabella 12-36 - Distribuzione di frequenza tra le classi di DHI dei punti indagati durante la campagna 2012; suddivisi in base alla tipologia.

Si può vedere inoltre come tutti i pozzi misurati (circa il 4 % del totale) ricadano nelle categorie di rischio Nullo e Basso. Ciò è concorde con il fatto che i pozzi presenti nell'area di studio sono pozzi di fondovalle, alimentati dalle acque superficiali del fiume Isarco, risultando quindi più difficili dall'essere influenzati da fenomeni legati al tunnelling.

Infine in Tabella 12-38 e Tabella 12-37 sono rappresentati i punti rimanenti, ossia non controllati durante il 2012, ma di cui è stata comunque possibile la classificazione geochemica. Si può rilevare come la maggior parte di questi punti (87 %) siano racchiusi nelle categorie di rischio nullo (il 64 %) e basso (il 23 %). Solo il 13 % di questi punti (in totale soltanto 3 punti) ricade nella classe di rischio medio, mentre nessuno dei suddetti punti non monitorati durante questa fase di progetto ricade nella classe di rischio alto.

Rischio	%
Nulla	63.6 (14)
Basso	22.7 (5)
Medio	13.6 (3)
Alto	0

Tabella 12-37 - Percentuali classi DHI per i punti non indagati durante la campagna 2012, tra parentesi è riportato il numero complessivo dei punti appartenenti a quella categoria.

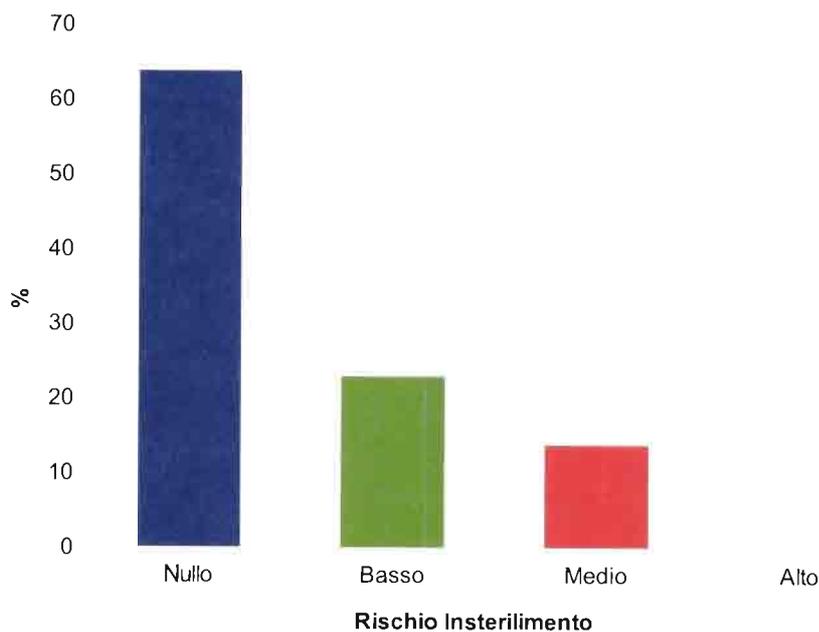


Tabella 12-38 - Distribuzione di frequenza tra le classi di DHI dei punti non indagati durante il 2012.

Un altro aspetto importante è quello della pericolosità causata dall'opera per un punto d'acqua; dove per pericolosità si intende la probabilità che un evento avvenga (stimata tramite il DHI) in relazione al danno che potrebbe provocare (stimato tramite la portata media del punto d'acqua).

Considerando quindi le portate medie dei punti d'acqua che ricadono all'interno della categoria di DHI medio ed alto rispetto al loro valore numerico di DHI, si ottiene la Tabella 12-39 nella quale si osserva come il punto che risulti a pericolo maggiore, sia il punto B\_00761. Infatti tale punto (sorgente Grüberwiese) è caratterizzato sia da una elevata portata media (oltre i 30 L/s) che da un rischio medio (DHI = 0.22).

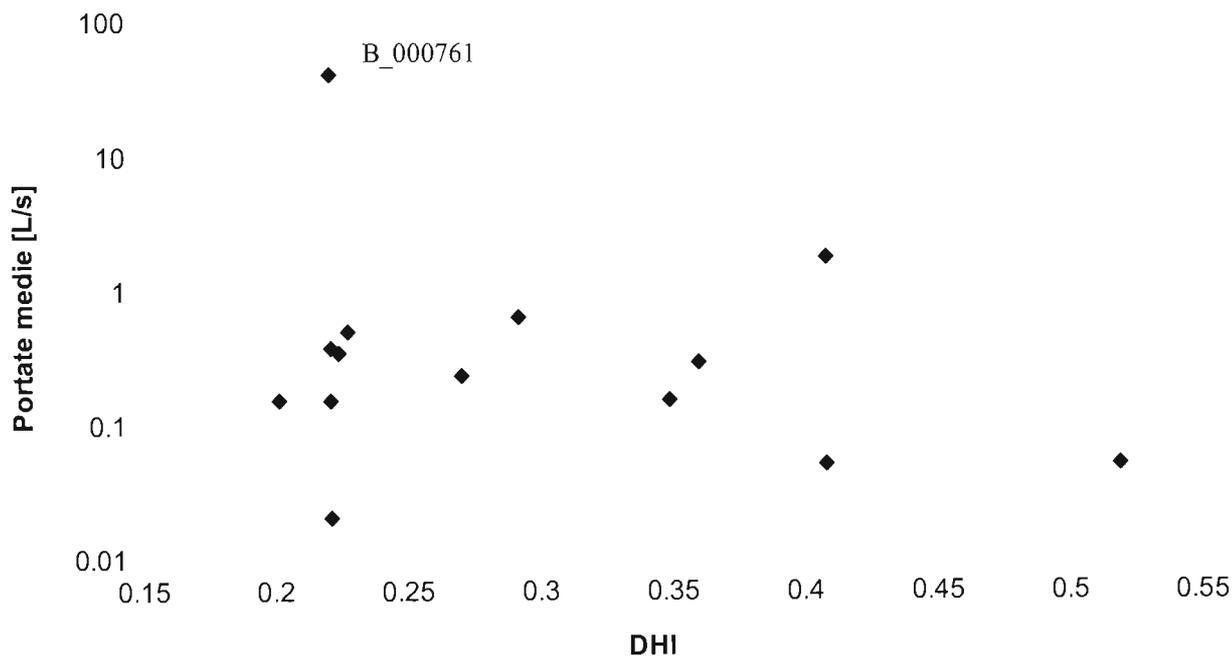


Tabella 12-39 - Comparazione tra i valori di DHI e le portate per i punti ricadenti nelle classi di rischio medio ed alto.

Si può anche valutare come la maggior parte delle sorgenti a rischio medio e alto presentino portate medie piuttosto basse (inferiori a 1 l/s); per tale motivo la pericolosità, come definita in precedenza, non risulta particolarmente elevata. In totale sono state stimate portate a rischio medio ed alto per un valore di circa 45 l/s.

Per quanto riguarda i risultati della valutazione dell'impatto sui corsi d'acqua (menzionati in Tabella 12-30), l'elenco dei torrenti ed il relativo rischio stimato è riportato nella Tabella 12-40.

Nome	Rischio
Rio di Scaleres	alto
Rio della Spelonca	alto
Rio di Tilles	alto
Rio dell'Orso	alto
Rio Snodres o Serame o Volturmo	alto
Rio di Gola	alto
Rio Sicco	alto
Rio di Funes	alto
Rio di Gudon	alto
Rio Parsait	alto
Rio Riol o Fosso Lutter	basso
Fossa dell' Ospedale	basso
Rio di Predaz o Rio Molino	basso

Tabella 12-40 - Elenco dei corsi d'acqua valutati e rischio stimato di isterilimento.

Come si evince da tale Tabella 12-40, per tre dei corsi d'acqua valutati è stato stimato un basso rischio di impatto, mentre per tutti gli altri torrenti il rischio stimato è alto. Tali corsi d'acqua sono visualizzati in Figura 12-40, in cui sono state evidenziate anche le derivazioni idriche che sono state ritenute ad alto rischio. In particolare, tali derivazioni sono state ritenute ad alto rischio qualora rispettassero le seguenti condizioni:

- Derivazioni su corsi d'acqua stimati ad alto rischio di impatto.
- Derivazioni a valle dell'intersezione del torrente con il tracciato ferroviario.

Le 26 derivazioni ad elevato rischio stimato sono elencate in Tabella 12-41:

ID_PROGETT	COMUNE	USO	QUOTA	CORP_DENOM
B_000355	Chiusa	irriguo	665	Rio dei Roveri o di Gries
B_000156	Bressanone	<Null>	760	Rio dell'Orso
B_000162	Bressanone	irriguo	790	Rio dell'Orso
B_000820	Varna	forza motrice	755	Rio della Spelonca
B_000824	Varna	irriguo	920	Rio della Spelonca
B_000639	Laion	irriguo	920	Rio di Albions
B_000353	Chiusa	irriguo a scorrimento	<Null>	Rio di Gola
B_000361	Chiusa	<Null>	580	Rio di Gola
B_000775	Varna	forza motrice	599	Rio di Scaleres
B_000778	Varna	<Null>	795	Rio di Scaleres
B_000780	Varna	<Null>	605	Rio di Scaleres
B_000782	Varna	<Null>	612	Rio di Scaleres
B_000788	Varna	idroelettrico	625	Rio di Scaleres
B_000793	Varna	forza motrice	700	Rio di Scaleres
B_000794	Varna	irriguo	720	Rio di Scaleres
B_000795	Varna	antibrina	580	Rio di Scaleres
B_000800	Varna	idroelettrico	682	Rio di Scaleres
B_000801	Varna	domestico	692	Rio di Scaleres
B_000802	Varna	idroelettrico	680	Rio di Scaleres
B_000241	Bressanone	irriguo	870	Rio di Tilles
B_000365	Chiusa	<Null>	635	Rio Sicco (Zicker B.)
B_000371	Chiusa	irriguo	630	Rio Sicco (Zicker B.)
B_000372	Chiusa	irriguo	635	Rio Sicco (Zicker B.)
B_000895	Velturmo	<Null>	870	Rio Snodres o Serame o Velturmo
B_000901	Velturmo	irriguo	875	Rio Snodres o Serame o Velturmo
B_000902	Velturmo	<Null>	880	Rio Snodres o Serame o Velturmo

Tabella 12-41 – Elenco delle derivazioni ad alto rischio stimato di isterilimento e corso d'acqua da cui derivano.





QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	172 di 268

In particolare, il numero delle derivazioni ad alto rischio stimato di impatto per ogni corso d'acqua è riportato in Tabella 12-42:

Torrente	N. derivazioni
Rio dei Roveri o di Gries	1
Rio dell'Orso	2
Rio della Spelonca	2
Rio di Albions	1
Rio di Gola	2
Rio di Scaleres	11
Rio di Tilles	1
Rio Sicco (Zicker B.)	3
Rio Snodres o Serame o Volturmo	3
<b>Totale</b>	<b>26</b>

Tabella 12-42 - Numero delle derivazioni ad alto rischio stimato di isterilimento per ogni corso d'acqua.

### 12.7.6 *Compensazione impatti*

Una volta discriminate le sorgenti a maggior rischio di isterilimento ed essere risaliti alla loro portata media, si è passati ad individuare le sorgenti (e più in generale le aree) atte a compensare un eventuale variazione delle portate suddette. Le aree (e le sorgenti) di compensazione sono state rappresentate in apposita cartografia (vedi Carta del rischio, scala 1:25000).

Il filo logico secondo il quale sono state individuate queste aree (rappresentato nel diagramma di flusso riportato in Tabella 12-43) è stato quello di individuare le sorgenti a rischio nullo o basso più prossime a quelle da compensare, tenendo conto anche delle portate medie misurate. Quando il reperimento di sorgenti classificate a rischio basso o nullo non è stato possibile, o non sufficiente a compensare le portate a rischio, sono state prese in considerazione sorgenti non classificate secondo il DHI, ma situate in corrispondenza di coltri detritiche (e quindi di probabili acquiferi superficiali locali) in modo da aver un buon margine di sicurezza riguardo la loro non vulnerabilità per effetto dell'opera in esame.

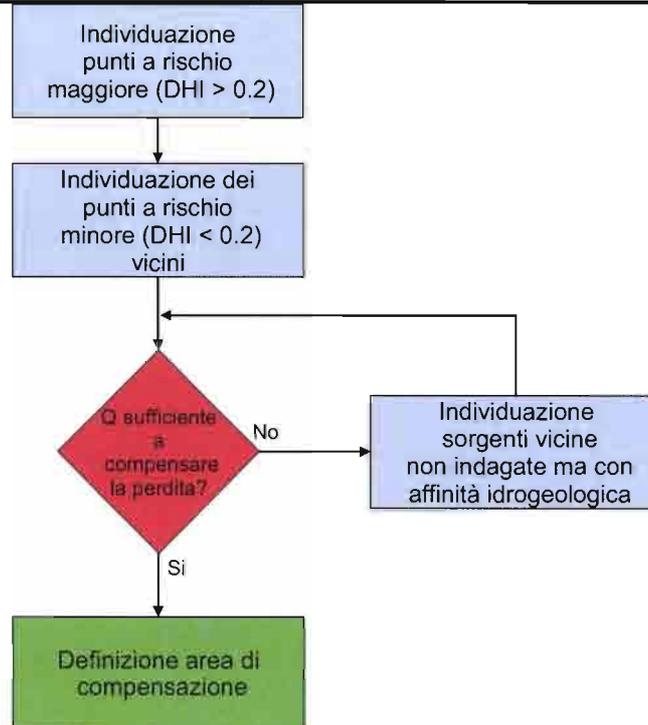


Tabella 12-43 - Diagramma di flusso rappresentante la logica di individuazione delle aree di compensazione.

Inoltre si tenga presente che per motivi di prudenza, non sono stati presi in considerazione come risorse alternative quei punti che presentavano concentrazioni di alcuni analiti superiori a quelle consigliate dal WHO (World Health Organization). In Tabella 12-44 è riportata la differenza tra le portate a rischio (stimate in eccesso) e le portate delle zone di compensazione (stimate in difetto) individuate e rappresentate nella cartografia idrogeologica. Come è osservabile si è scelto cautelativamente di lasciare un'ampia forbice (dell'ordine del 50% circa) tra le possibili perdite e le relative compensazioni individuate.

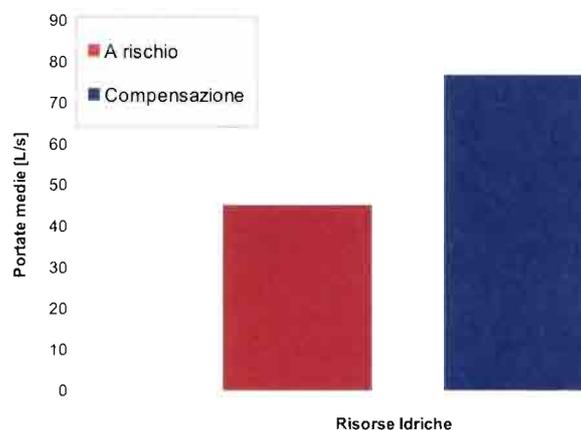


Tabella 12-44 - Comparazione tra le portate a rischio e le eventuali portate di compensazione.

## 12.8 Afflussi d'acqua in galleria

Nei seguenti paragrafi viene affrontata la tematica della valutazione degli afflussi d'acqua attesi nelle gallerie da realizzare; sono fornite le valutazioni per le portate ipotizzabili durante le fasi di scavo, ossia in regime transitorio, e per le portate stabilizzate. La valutazione delle portate attese durante lo scavo è stata eseguita tenendo in considerazione lo sviluppo plano-altimetrico delle opere senza tener conto del cronoprogramma di realizzazione delle stesse: quindi non è stata considerata nelle analisi l'influenza dell'effetto drenante che i primi scavi esercitano sui successivi. L'interazione fra le diverse opere è determinata dalla possibilità che queste drenino lo stesso sistema di flusso e dai reciproci rapporti geometrici.

Le valutazioni effettuate sono state inoltre prodotte ammettendo le opere sotterranee come totalmente drenanti, senza tener conto del metodo di scavo e di possibili interventi d'impermeabilizzazione. In tale contesto le valutazioni eseguite ovviamente rappresentano lo scenario meno favorevole, ossia quello in cui le venute in galleria sono massime.

Si deve inoltre tener conto della presenza di settori ove l'affidabilità del modello geologico e conseguentemente idrogeologico risulta minore. Anche questo fatto costituisce un elemento incidente ai fini della stima delle portate.

Nel complesso dunque le stime fornite devono essere considerate come valutazioni indicative e suscettibili di incertezze legate alla affidabilità del modello idrogeologico.

### 12.8.1 Metodologia – regime transitorio

Gli scavi delle gallerie in oggetto avverranno inizialmente in condizioni idrodinamiche non perturbate, ossia senza che sia stato indotto un effetto di drenaggio artificiale; durante il loro scavo bisognerà prevedere il drenaggio delle portate più elevate che, a seconda del contesto idrogeologico, tenderanno a decrescere in modo più o meno rapido.

Il calcolo delle portate in regime transitorio è stato effettuato per via analitica, assimilando la roccia ad un mezzo poroso equivalente (Equivalent Porous Medium), secondo la formula di Equazione 6, derivata da quella classica di Dupuit (Thiem, 1906) e simile alle funzioni suggerite da Polubarinova-Kochina (1962) e Goodman et al. (1965), che permette di quantificare la portata attesa in una galleria quando un sistema di flusso viene intercettato dallo scavo di un tunnel in un mezzo semi-infinito e con limite di ricarica imposto alla pressione atmosferica.

$$Q = \frac{2\pi K l d_z}{\ln\left(\frac{2L}{r_0}\right)}$$

**Equazione 6 - Equazione sulle portate massime transitorie.**

Nella formula (Equazione 6)  $Q$  rappresenta la portata drenata nel tunnel,  $K$  la conducibilità idraulica del complesso idrogeologico attraversato dal tunnel,  $l$  la lunghezza della parte di acquifero attraversato dal tunnel,  $r_0$  il raggio del tunnel,  $d_z$  la profondità del tunnel al di sotto del livello piezometrico iniziale in condizioni indisturbate del sistema idrogeologico e  $L$  la distanza tra il tunnel e il punto in cui l'acquifero raggiunge la zona di ricarica.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A	FOGLIO 175 di 268

Quest'ultimo parametro è stato introdotto poiché i corpi acquiferi attraversati dal tracciato del tunnel sono spesso inclinati. Se il corpo acquifero è verticale, allora  $d_z=L$ , se è inclinato  $d_z<L$  (Figura 12-41).

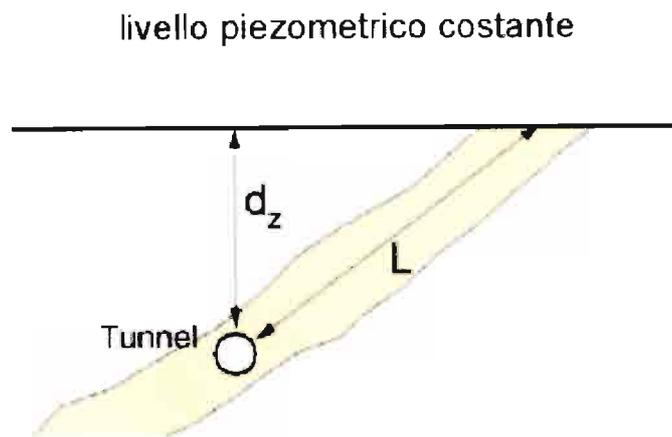


Figura 12-41 - Schema concettuale dei parametri  $d_z$  ed  $L$  di Equazione 6.

Il tipo di relazione applicata comporta delle condizioni al contorno semplificate rispetto a quelle reali (quali geometria dell'acquifero semplice, isotropia del campo di distribuzione delle permeabilità, ecc.).

Ai fini del calcolo delle portate massime transitorie, la galleria è stata suddivisa in tratte di sviluppo pari a 10 metri con caratteristiche idrogeologiche omogenee (Equivalent Porous Medium), per ciascuna delle quali viene considerato un tempo di scavo praticamente istantaneo, ipotesi accettabile in relazione ai tempi di avanzamento medi giornalieri nella realizzazione di un tunnel. Permangono in ogni caso delle semplificazioni sia rispetto alle condizioni reali in fase di scavo, sia rispetto alle condizioni standard per le quali la funzione qui utilizzata è stata ottenuta. Essa si riferisce infatti a dreni orizzontali completi, cioè che attraversano nella sua totalità un acquifero, la qual cosa non si verifica nel corso di uno scavo.

Le semplificazioni suddette appaiono tuttavia ammissibili e ampiamente cautelative in termini di valutazione delle portate giacché partono dalla condizione che ogni tratta di 10 metri sia scavata in un acquifero in condizioni idrodinamiche imperturbate; è noto invece che lo scavo di una tratta genera una perturbazione (seppur minima) dello stato idrodinamico (tipo la diminuzione del carico idraulico) della tratta che sarà scavata a seguire.

In sostanza i valori di portata che sono calcolati devono essere intesi come i valori di portata massimi che si dovrebbero riscontrare al fronte se 10 metri di galleria venissero scavati non solo istantaneamente ma anche in assenza di perturbazioni delle condizioni idrodinamiche dovute allo scavo del tratto precedente. Queste portate sono state definite come *portate massime transitorie* (BBT, 2006).

Tali portate non coincidono necessariamente con le portate di picco (Raymer, 2005). Le portate di picco possono infatti raggiungere in alcuni casi valori puntuali notevoli e non misurabili ed eludere ogni tipo di modellazione sia analitica che numerica poiché non riconducibili ad un modello poroso equivalente. Esse sono infatti legate a condizioni imprevedibili che si vengono a creare durante le operazioni di scavo (come ad esempio la

concentrazione del flusso in corrispondenza di singola frattura conseguentemente alle trasformazioni indotte dal fenomeno di plasticizzazione del cavo).

### 12.8.2 Stima afflussi

I dati ottenuti sono stati suddivisi in 5 classi di portata prevalente con occorrenza (0-70%) con possibili incrementi/diminuzioni locali stimati di una o due classi di portata rispetto alla classe prevalente (occorrenza 0-30%).

Classe di portata Q	Portate attese (l/s/10m)
1	0 - 0.16
2	0.16 - 0.4
3	4 - 2
4	2 - 10
5	10 - 20

Tabella 12-45 - Classi di portata e portate attese.

I dati ottenuti, classi di portata ed occorrenze, sono riportati nei profili idrogeologici longitudinali in asse con le gallerie e nel Paragrafo 13.1

## 12.9 Afflussi d'acqua in galleria – Regime Stazionario

### 12.9.1 Metodologia

Sulla base delle stesse premesse considerate per il calcolo delle portate in transitorio precedentemente illustrate, l'approccio matematico applicato per la risoluzione del calcolo delle portate stabilizzate è quello proposto e discusso da Ribacchi et alii (2006). Tale metodo è stato originariamente proposto da Federico (1984) sulla base di studi precedenti di Polubarinova & Kochina (1962) e di Sato (1983).

L'intero metodo si basa sull'assunzione di uno modello concettuale schematico "a scatola" (Figura 42), nel quale esiste la condizione per cui la regione di flusso intorno alla galleria di raggio  $r_g$  posta al centro del bacino sia delimitata da un basamento impermeabile, posto a profondità  $b$  sotto l'asse della galleria, e da due confini laterali, posti a distanza  $L$  dall'asse della galleria per i quali si assume la condizione di limite a flusso nullo; inoltre, su tale "scatola" inciderà una portata di infiltrazione efficace pari a  $\epsilon$ .

In queste condizioni la portata stabilizzata ad un tempo  $t$ , ovvero  $q(t)$ , può essere stimata tramite l'Equazione 7.

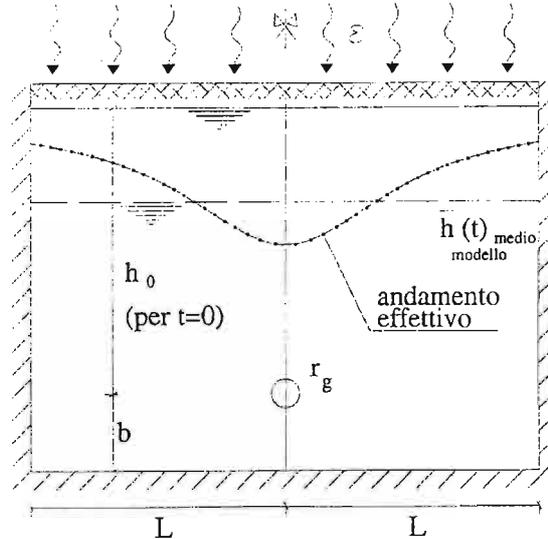


Figura 42 - Rappresentazione del modello concettuale adottato per la risoluzione del calcolo delle portate stabilizzate (Ribacchi et alii, 2006).

$$q(t) = F * k * [h(t) - r_g]$$

Equazione 7 - Calcolo delle portate stabilizzate ad un determinato tempo t.

dove:

- $q(t)$  è la portata stabilizzata [ $m^2/s$  per metro];
- $F$  è un fattore geometrico [adimensionale];
- $k$  è la conducibilità idraulica [ $m/s$ ];
- $h(t)$  è la profondità dell'opera rispetto alla superficie piezometrica stabilizzata [ $m$ ];
- $r_g$  è il raggio dell'opera in esame [ $m$ ].

Come si può facilmente osservare da una rapida analisi dimensionale, il valore di  $q(t)$  così ottenuto è espresso in unità di Lunghezza<sup>2</sup> divise per unità di Tempo, e non si tratta quindi di un'unità di portata assoluta, ma di un'unità di portata specifica (relativa quindi ad una lunghezza unitaria di tratta).

Data la disomogeneità delle condizioni a contorno dell'opera in esame, e per ottenere un valore di  $q(t)$  che rappresentasse realmente una portata, è stato calcolato un valore di  $q(t)$  per ogni tratta di 10 in modo da poter rappresentare all'interno del modello matematico di calcolo tutte le variazioni presenti nel modello idrogeologico concettuale.

Si tenga inoltre presente che in ammassi rocciosi con permeabilità relativamente basse (come nel caso di  $k$  pari a  $10^{-9}$  m/s), applicando questo modello matematico, si possono anche ottenere comportamenti anomali delle portate, come ad esempio un aumento di queste ultime (rispetto alle portate transitorie), anche in relazione ad un aumento delle quote piezometriche. Questo comportamento, sicuramente anomalo, deriva dalle assunzioni di base del



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	178 di 268

modello utilizzato, in particolare dall'assunzione che la superficie piezometrica, in presenza di infiltrazione meteorica, sia perfettamente orizzontale e costante sopra la sezione dell'opera in esame, condizione generalmente non corrispondente a quella reale (Ribacchi et alii, 2006).

Per questo motivo, e per una maggiore rappresentatività delle condizioni reali del sito, sono state imposte alcune condizioni durante il calcolo delle portate stabilizzate; queste condizioni saranno spiegate dettagliatamente nel paragrafo 12.9.1.1 e ne sarà valutata criticamente l'incidenza sulla soluzione del modello.

### 12.9.1.1 Descrizione parametri in ingresso

#### Parametro $h(t)$

Per  $h(t)$  s'intende la profondità dell'opera rispetto alla quota piezometrica stabilizzata. Tale parametro dipende dalla geometria del bacino in esame, dall'infiltrazione efficace sull'area di studio e dalla conducibilità idraulica media, secondo la seguente equazione (Equazione 8):

$$h(t_{fin}) = \frac{2L * \epsilon}{F * k}$$

**Equazione 8 - Calcolo delle altezze stabilizzate.**

Al fine di ovviare ad aberrazioni del calcolo di  $h(t)$  dovute a limiti del modello matematico utilizzato, è stata applicata la condizione che in caso di  $h(t) < 4,5$  m, ovvero minore del raggio della galleria in esame, le portate di  $q(t)$  fossero automaticamente impostate uguali a 0; senza questa costrizione, l'instaurarsi di tale condizione  $h(t) < 4,5$  m avrebbe dato come risultato portate negative (ovvero portate secondo le quali l'opera in esame invece che drenare la falda, immetterebbe nuova acqua), ovviamente irreali.

#### Parametro $F$

Si tratta di un parametro adimensionale, necessario per inserire nel modello di calcolo il fattore geometrico rappresentante la struttura dell'acquifero in relazione al modello concettuale utilizzato (modello "a scatola").

$F$  viene calcolato secondo l'Equazione 9:

$$\frac{4\pi}{F} = \ln \frac{\sinh(\pi * h_0 / L) * \sinh[\pi(h_0 + 2b) / L]}{4 \sinh(\pi * r_g / L) * \sinh(\pi b / L)}$$

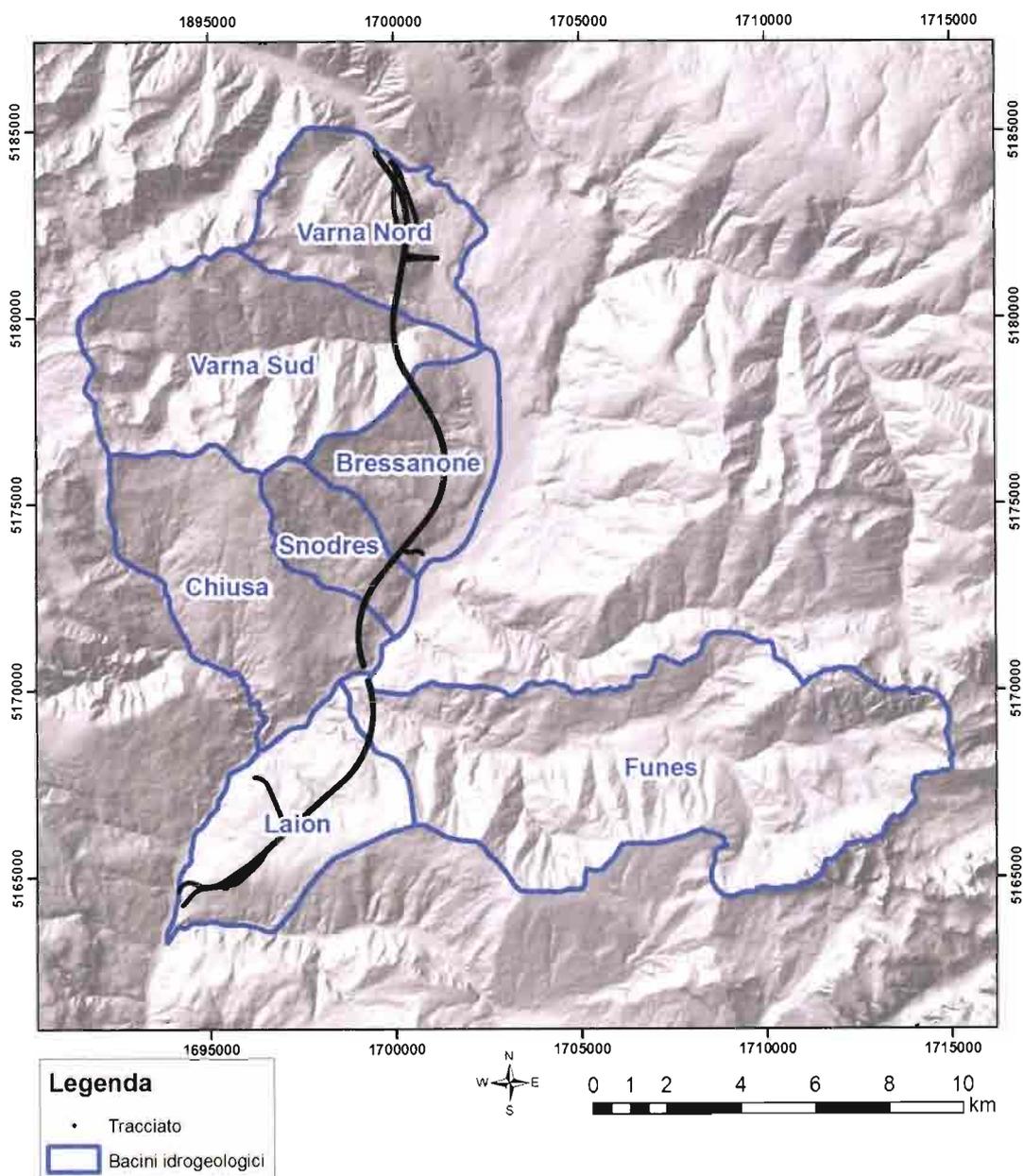
**Equazione 9 - Parametro geometrico  $F$ .**

#### Parametro $h_0$

Il parametro  $h_0$  è il parametro precedentemente definito  $d_z$ , ovvero: la profondità del tunnel al di sotto del livello piezometrico iniziale in condizioni indisturbate del sistema idrogeologico.

**Parametro L**

È l'ampiezza del semibacino su cui incide la ricarica efficace (vedi modello di riferimento in Figura 42). Per il calcolo di questo parametro sono state utilizzate le informazioni riguardanti i bacini idrologici tratti dalla relazione del Progetto Preliminare. In particolare è stata ricavata, per ogni bacino, attraverso sistemi GIS, la distanza più ampia tra la quota maggiore e la quota minore in direzione sub-parallela alle direzioni di deflusso superficiale. Il valore così individuato è stato poi dimezzato per ottenere il parametro L (Tabella 46).



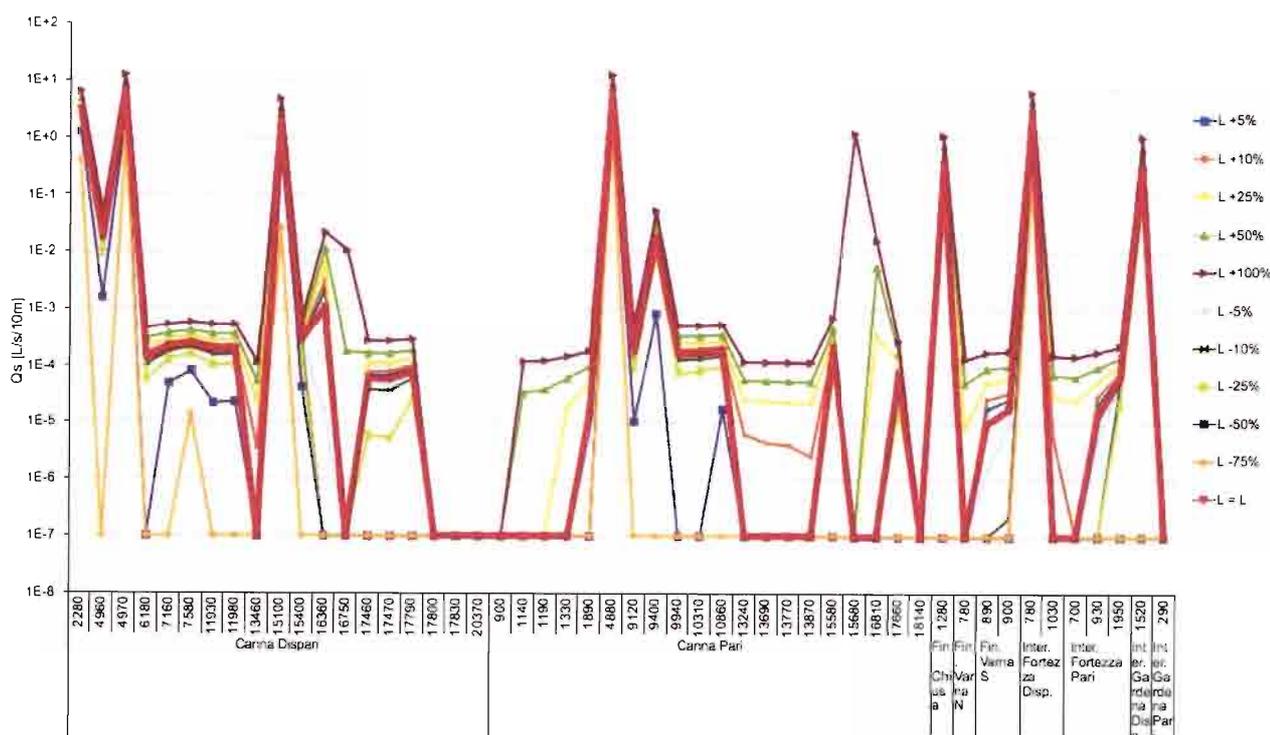
**Figura 43 - Bacini idrologici per il calcolo delle portate stabilizzate.**

Bacini Idrologici	2L (m)	L (m)
B. Bressanone	5300	2650
B. Chiusa	4200	2100
B. Funes	16600	8300
B. Laion	4000	2000
B. Snodres	5600	2800
B. Varna Nord	5500	2750
B. Varna Sud	10500	5250

**Tabella 46 – Ampiezza del bacino (2L) e semi-bacino (L) per ogni Bacino Idrologico (delimitati nel Progetto Preliminare, tranne il Bacino di Varna che è stato ulteriormente suddiviso in due sottobacini).**

Si tenga presente che il Bacino di Varna è stato suddiviso in due diversi bacini, all'altezza della progressiva 5110 della canna pari e dispari, per meglio rispettare la realtà dei deflussi di quella regione spaziale (Figura 43). Inoltre, sempre per una maggiore rappresentatività della realtà fisica, nelle zone più fratturate, alle quali era stata attribuita una conducibilità idraulica a piano ferro pari a  $3,2 \cdot 10^{-6}$  m/s, è stata attribuita una L pari alla lunghezza dell'intero bacino (quindi  $L = 2L$ ) per meglio rappresentare le acque raccolte e convogliate da fratture comunicanti.

Tale aspetto è confermato dall'analisi di sensitività del modello analitico al variare del parametro L. Questa analisi è stata condotta su un ridotto campione di 50 valori puntuali, scelti casualmente dall'intera serie di valori calcolati per ogni progressiva, per poter osservare le variazioni di portata stabilizzata  $Q_s$  in ogni singolo punto campione, come riportato in Figura 44. La scelta di considerare 50 campioni è dovuta a motivi di rappresentazione grafica (un maggior numero di campioni infatti sarebbe stato difficile da plottare e illustrare), ma è sufficientemente rappresentativo dal punto di vista statistico dell'intera popolazione.



**Figura 44 - Valutazione della variazione delle portate stabilizzate in 50 punti campione, al variare del parametro L (la linea spessa rappresenta L uguale ai valori di Figura 445, ovvero il valore utilizzato nel modello analitico).**

Dall'analisi di Figura 44 la variazione di L è poco influente nel calcolo di elevate Q stabilizzate, infatti picchi più alti del grafico generalmente non presentano variazioni di Qs. Valori medi e medio bassi di Qs, invece, aumentano o diminuiscono di un ordine di grandezza proporzionalmente al variare di L, rispettivamente pari ad un aumento o decremento del 25%, 50% e 100% della sua lunghezza originale. In ogni caso, si nota una proporzionalità diretta tra l'aumento di L e quello di Qs, molto marcata per valori bassi e medi di Qs, e appena accennata per elevati valori di Qs. Perciò, il modello matematico è fortemente sensibile al variare del parametro L, e si è preferito mantenere i valori originali di semi-lunghezza del bacino, con le eccezioni sopra descritte per le progressive a cui è stata attribuita K a piano ferro pari a  $3,2 \cdot 10^{-6}$  m/s, eccezioni che confermano invece come il modello sia poco sensibile a cambiamenti di L nel caso di portate elevate. Inoltre, la scelta di assegnare ad L il valore della semi-ampiezza massima del bacino è cautelativa nel calcolo delle Qs, in quanto le portate alte non risentono di eventuali sovrastime di tale valore, mentre i bassi valori di Qs, pur se sovrastimati utilizzando L elevati, rimangono comunque valori di portata molto bassi, quindi pressoché ininfluenti nel computo cumulativo della portata stabilizzata.

### Parametro b

È la distanza tra l'asse della galleria ed il basamento impermeabile. Si tratta di un parametro di difficile individuazione, soprattutto per modelli geologici come quello in esame dove le conducibilità idrauliche a piano ferro sono per la maggior parte dell'opera talmente basse ( $1 \cdot 10^{-9}$  m/s) da essere paragonabili a quelle tipiche di substrati praticamente impermeabili ( $1 \cdot 10^{-11}$  m/s). Nel caso oggetto di studio è stata considerata una distanza b pari a 20 volte il raggio della galleria, come suggerito da fonti bibliografiche (Ribacchi et alii, 2006), quindi è stata presa una  $b = 90$  m.

Va comunque considerato che il modello matematico non risente particolarmente delle variazioni di b, a dimostrazione di ciò è stata realizzata un'analisi di sensitività sul 10% dei punti corrispondenti a 10 m di progressiva, presi in maniera casuale su tutte le tratte. I risultati di questa analisi sono esposti in Tabella 47 - Riassunto analisi di sensitività su 556 campioni. e sintetizzati nella Figura 45.

<b>b [m]</b>		<b>12,25</b>	<b>22,5</b>	<b>45</b>	<b>60</b>	<b>90</b>	<b>135</b>	<b>180</b>	<b>270</b>	<b>360</b>	<b>450</b>	<b>900</b>
Qs tot su 556 campioni [L/s/10m]		132,9	130,1	127,2	126,0	124,5	123,2	122,4	121,6	121,3	121,1	121,9
Scarti	Media [m]	1,52E-2	1,00E-2	4,79E-3	2,71E-3	0	-2,34E-3	-3,72E-3	-5,19E-3	-5,84E-3	-6,07E-3	-4,66E-3
	Minimo [m]	-1,23E-4	0	0	0	0	-8,28E-2	-1,19E-1	-1,32E-1	-1,07E-1	-9,19E-2	-1,02E-1
	Massimo [m]	8,32E-1	5,30E-1	2,22E-1	1,18E-1	0	0	0	0	1,10E-5	3,18E-5	3,19E-1
	Somma dei quadrati [m <sup>2</sup> ]	2,15	0,90	0,19	0,06	0	0,04	0,10	0,18	0,22	0,24	0,34

**Tabella 47 - Riassunto analisi di sensitività su 556 campioni.**

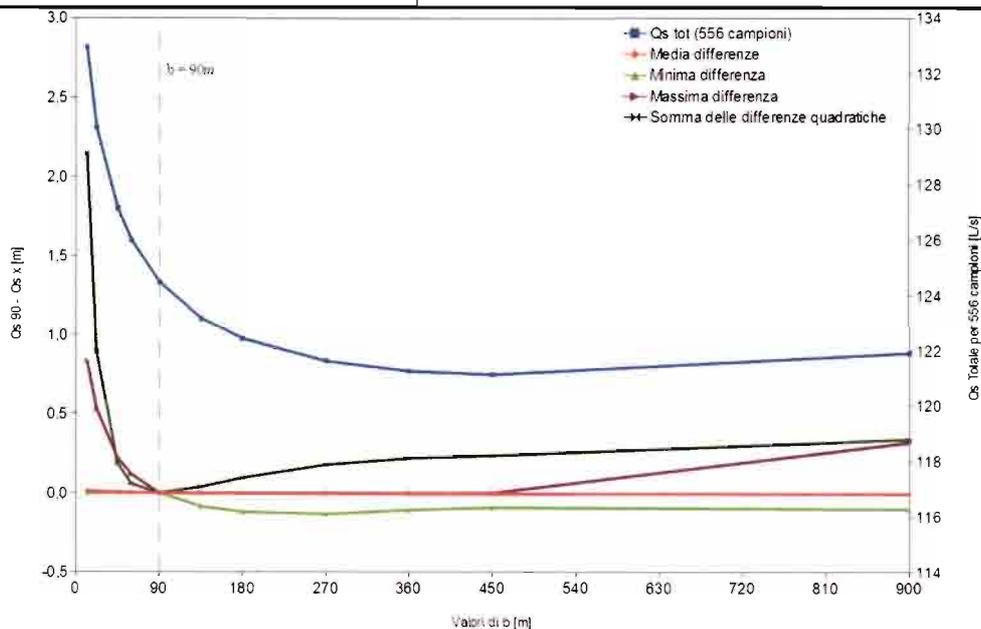
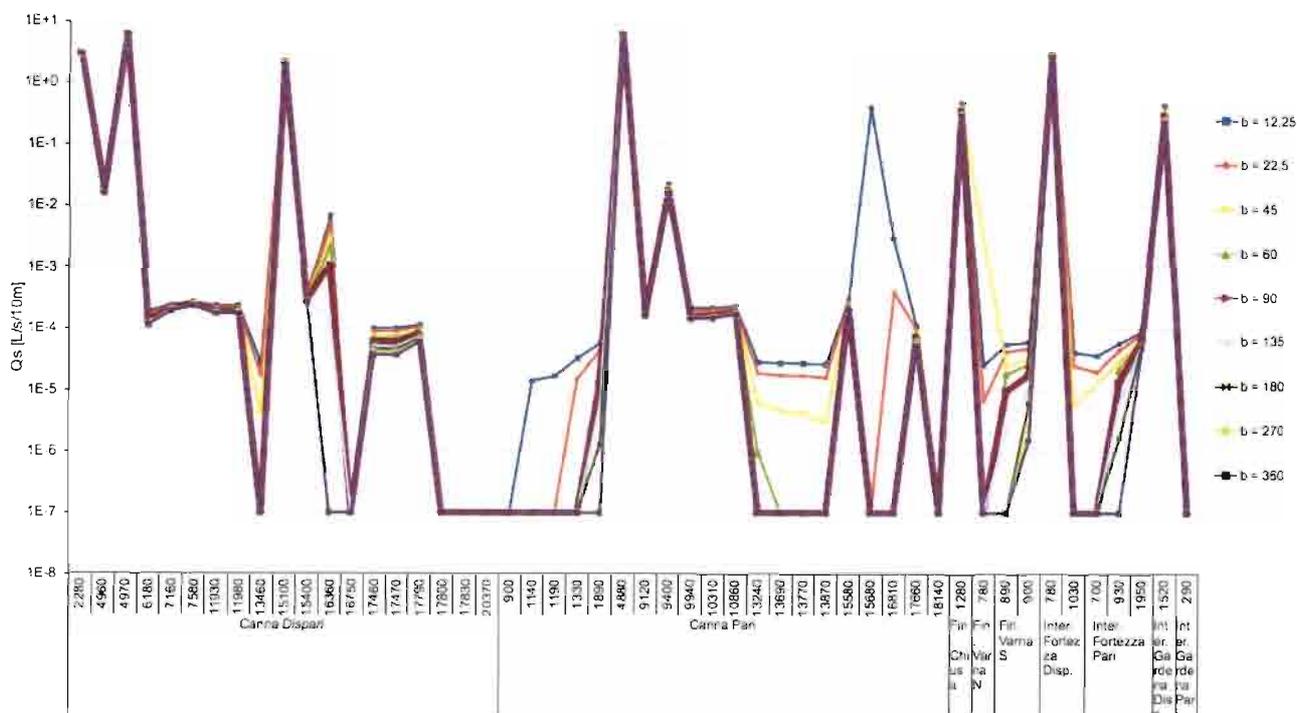


Figura 45 - Rappresentazione grafica dell'analisi di sensitività sul 10% dei campioni. Sull'asse principale delle ordinate è riportata la differenza tra le portate stabilizzate calcolate con  $b = 90$  m e quelle calcolate con  $b$  variabile; nell'asse secondaria delle ordinate è riportata la cumulata delle portate stabilizzate per i 556 campioni considerati in questa fase dell'analisi di sensitività.

Sui 556 campioni precedentemente considerati, sono stati scelti, casualmente, 50 campioni per poter osservare le variazioni di  $Q_s$  in ogni singolo punto campione, come riportato in Figura 46.



	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	183 di 268

**Figura 46 - Valutazione della variazione delle portate stabilizzate in 50 punti campione, al variare del parametro b (la linea spessa rappresenta b=90m, ovvero il valore utilizzato nel modello analitico).**

Dall'analisi di sensitività risulta quindi che il metodo matematico risente complessivamente in maniera minima delle variazioni del parametro b.

In particolare però, si possono osservare variazioni di portate stabilizzate in punti a permeabilità particolarmente bassa, variazioni che aumentano al diminuire di b (in particolare all'avvicinarsi di b al raggio della galleria); queste variazioni comunque rimangono dell'ordine di decimi di L/s/10m e solo per valori inverosimili di b.

### Parametro $\varepsilon$ - infiltrazione

Il parametro dell'infiltrazione è stato ricavato dai dati di Progetto Preliminare, opportunamente spazializzati e georiferiti per ottenere all'interno di ogni bacino idrologico di riferimento, un valore di  $\varepsilon_{media}$  pesata in base all'area del bacino d'interesse (Figura 13-).

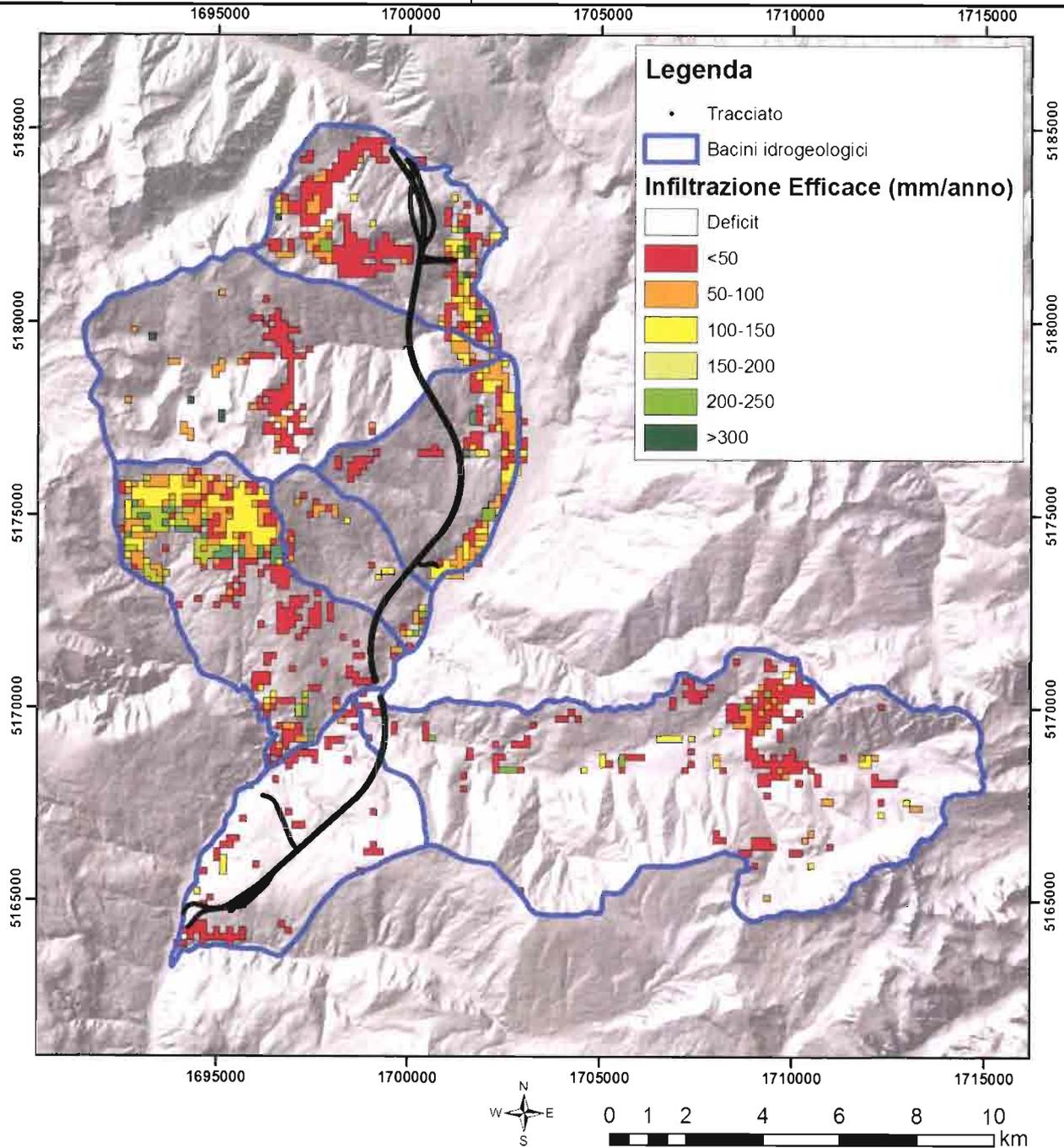


Figura 47 - Valutazione dell'infiltrazione efficace a partire dai dati del Progetto Preliminare.

I valori d'infiltrazione media per ogni bacino, sono riportati in Tabella 48.

 <b>ITOLFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	<b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A	FOGLIO 185 di 268

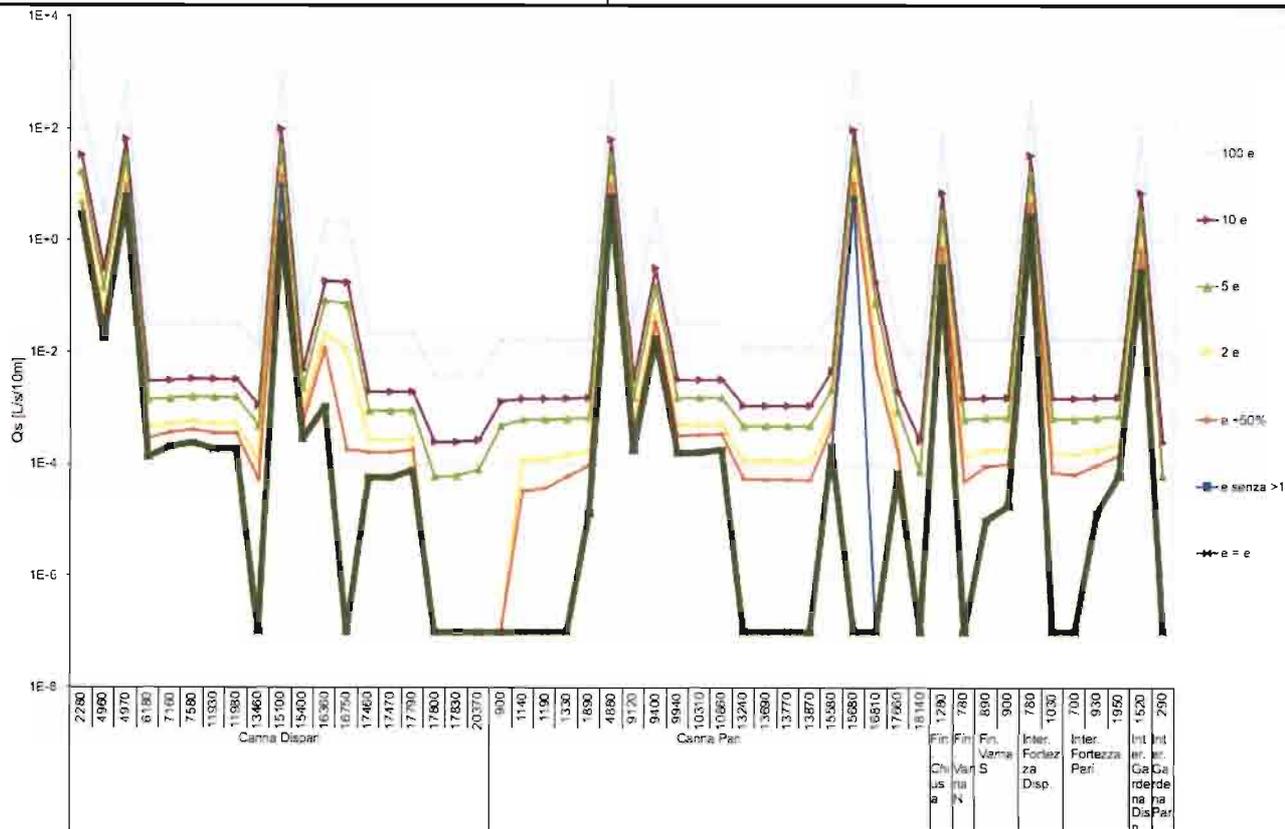
Bacini Idrologici	Infiltrazione (mm/anno)
B. Bressanone	20
B. Chiusa	37
B. Funes	4
B. Laion	3
B. Snodres	7
B. Varna Nord	10
B. Varna Sud	10

**Tabella 48 – Infiltrazione efficace media stimata per ogni bacino idrologico.**

I risultati ottenuti per ogni bacino, sono stati modificati con un fattore moltiplicativo per l'infiltrazione efficace scelto in base alla permeabilità adottata a piano ferro per ogni progressiva. Questo è stato necessario per meglio rappresentare il sistema in studio e le sue variazioni di conducibilità idraulica. Il criterio applicato è il seguente:

- $K = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s} \rightarrow \varepsilon = \varepsilon_{\text{media}} \cdot 0.01$ ;
- $K = 1 \cdot 10^{-7} \text{ m/s} \rightarrow \varepsilon = \varepsilon_{\text{media}}$ ;
- $K = 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} \rightarrow \varepsilon = \varepsilon_{\text{media}} \cdot 100$ , con la condizione che il valore massimo non sia superiore ad 1 m/anno, in rispetto delle infiltrazioni massime riscontrabili.

Sui 556 campioni precedentemente considerati, sono stati scelti, casualmente, 50 campioni per poter osservare le variazioni di  $Q_s$  in ogni singolo punto campione al variare dei valori di  $\varepsilon$ , come riportato in Figura 48.



**Figura 48 - Valutazione della variazione delle portate stabilizzate in 50 punti campione, al variare del parametro  $\epsilon$  (la linea spessa rappresenta  $\epsilon = \epsilon$ , ovvero la serie di valori di infiltrazione efficace utilizzata nel modello analitico).**

Dall'analisi di Figura 48 la variazione di  $\epsilon$  è generalmente poco influente nel calcolo di elevate  $Q_s$  stabilizzate, infatti picchi più alti del grafico di solito non presentano variazioni di  $Q_s$ . Unica eccezione è rappresentata dai valori di  $Q_s$  calcolati per la progressiva 15680 Canna Pari, in cui è evidente come il valore imposto di  $\epsilon$  uguale a 1 stimi una  $Q_s$  pari a zero, pur avendo conducibilità idraulica  $K=3,2 \cdot 10^{-6}$  m/s, mentre gli altri valori di  $\epsilon$  analizzati ("ε senza >1", "ε +50%", e superiori) sovrastimano la portata stabilizzata. Altri punti campione con caratteristiche analoghe, come ad esempio la progressiva 15100 Canna Dispari, presentano portate elevate indipendentemente dai valori assunti da  $\epsilon$ . Tuttavia, tale sovrastima per la progressiva 15680 Canna Pari effettuata con gli altri valori di  $\epsilon$  analizzati è giustificata dalla relativamente modesta altezza iniziale  $H_0$  stimata per questa progressiva ( $H_0=13$ m), aspetto questo che si ben accorda con le elevate portate  $Q_s$  dei punti campioni come la progressiva 15100 Canna Dispari non sensibili alle variazioni di  $\epsilon$  a causa della elevata altezza iniziale ( $H_0=91$ m).

Valori medi e medio bassi di  $Q_s$ , invece, aumentano o diminuiscono di uno o due ordini di grandezza proporzionalmente al variare di  $\epsilon$ , rispettivamente con valori di ("ε senza >1", "ε +50%", e superiori rispetto all'originale infiltrazione efficace).

Quindi, anche in questo caso, come riscontrato precedentemente per il parametro  $L$ , si nota una proporzionalità diretta tra l'aumento di  $\epsilon$  e quello di  $Q_s$ , molto marcata per valori bassi e medi di  $Q_s$ , e appena accennata per elevati valori di  $Q_s$ . Perciò, il modello matematico è fortemente sensibile al variare del parametro  $\epsilon$ , e si è preferito mantenere i valori di infiltrazione efficace attribuiti secondo il criterio sopra esposto, con le eccezioni sopra descritte per le progressive a cui è stata attribuita  $K$  a piano ferro pari a  $3,2 \cdot 10^{-6}$  m/s.

### 12.9.2 Commento ai risultati

Per meglio commentare ed analizzare i dati finali, vista l'elevato numero delle variabili in relazione, è stato scelto di procedere ad una disamina tramite analisi statistica descrittiva. Le tabelle esposte di seguito illustrano in maniera totale tutte le variabili considerate in ambito di analisi. I dati analizzati in questo capitolo sono i dati relativi a tutte le gallerie del progetto, scomposte in tratte di lunghezza pari a 10 m.

La Tabella 49 mostra il conteggio delle tratte per ogni valore di conducibilità idraulica in ciascuna delle opere di progetto.

Galleria	K (m/s)			TOTALE tratte
	1.00E-09	1.00E-07	3.20E-06	
Canna Dispari	1748	157	185	2090
Canna Pari	1655	155	182	1992
Finestra Albes	52	5	7	64
Finestra Chiusa	151	5	17	173
Finestra Varna Nord	75	6	5	86
Finestra Varna Sud	78	7	5	90
Interconnessione Fortezza Dispari	154	56	52	262
Interconnessione Fortezza Pari	191	28	26	245
Interconnessione Gardena dispari	270	5	31	306
Interconnessione Gardena Pari	199	7	17	223
<b>GRAN TOTALE</b>	<b>4573</b>	<b>431</b>	<b>527</b>	<b>5531</b>

Tabella 49 – Conteggio delle tratte con relativo valore di conducibilità media K.

Dunque dalla Tabella 49 è possibile osservare il numero delle tratte, per ciascuna galleria, che presenta un uguale valore di conducibilità. Esistono, quindi, per la Canna dispari 1748 tratte (10 m di lunghezza ciascuna, corrispondenti dunque ad una lunghezza totale di 17480 m) cui è stata assegnata una conducibilità idraulica  $K = 1.00E-009$  mentre 157 tratte (10 m di lunghezza ciascuna corrispondenti ad una lunghezza totale di 1570 m) cui è stata assegnata conducibilità idraulica  $K = 1.00E-007$  e 185 tratte (10 m di lunghezza ciascuna corrispondenti ad una lunghezza totale di 1850 m) cui è stata assegnata conducibilità idraulica  $K = 3.20E-006$ .

In maniera ancora più specifica la Tabella 50 mostra il conteggio delle tratte con relativo valore di conducibilità idraulica K sia in relazione all'opera di competenza sia in relazione ai Bacini idrologici. Quindi si evince che, ad esempio, delle 1748 tratte con conducibilità idraulica  $K = 1.00E-009$  della Canna Dispari, 476 ricadono nel Bacino di Bressanone, 154 nel Bacino di Chiusa, 35 nel Bacino di Funes, 400 in quello di Laion 123 nel Bacino di Snodres, 367 nel Bacino di Varna Nord e 193 nel Bacino di Varna Sud.

Galleria	Bacini							TOTALE
	B. Bressanone	B. Chiusa	B. Funes	B. Laion	B. Snodres	B. Varna Nord	B. Varna Sud	
K=1.00E-009 m/s	996	313	65	1326	249	1173	451	4573
Canna Dispari	476	154	35	400	123	367	193	1748
Canna Pari	468	159	30	306	126	308	258	1655
Finestra Albes	52							52

## RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	188 di 268

Finestra Chiusa				151				151
Finestra Varna Nord						75		75
Finestra Varna Sud						78		78
Interconnessione Fortezza Dispari						154		154
Interconnessione Fortezza Pari						191		191
Interconnessione Gardena dispari				270				270
Interconnessione Gardena Pari				199				199
K=1.00E-007 m/s	60		162	17		155	37	431
Canna Dispari	28		80			39	10	157
Canna Pari	27		82			19	27	155
Finestra Albes	5							5
Finestra Chiusa				5				5
Finestra Varna Nord						6		6
Finestra Varna Sud						7		7
Interconnessione Fortezza Dispari						56		56
Interconnessione Fortezza Pari						28		28
Interconnessione Gardena dispari				5				5
Interconnessione Gardena Pari				7				7
K=3.20E-006 m/s	80	26	101	91	40	163	26	527
Canna Dispari	37	13	51	13	21	43	7	185
Canna Pari	36	13	50	13	19	32	19	182
Finestra Albes	7							7
Finestra Chiusa				17				17
Finestra Varna Nord						5		5
Finestra Varna Sud						5		5
Interconnessione Fortezza Dispari						52		52
Interconnessione Fortezza Pari						26		26
Interconnessione Gardena dispari				31				31
Interconnessione Gardena Pari				17				17
<b>GRAN TOTALE</b>	<b>1136</b>	<b>339</b>	<b>328</b>	<b>1434</b>	<b>289</b>	<b>1491</b>	<b>514</b>	<b>5531</b>

**Tabella 50 – Conteggio delle tratte con relativo valore di K in relazione alle gallerie previste ed ai Bacini idrologici interessati (modificati da Progetto Preliminare).**

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	189 di 268

La Tabella 51, la Tabella 52 e la Tabella 53, mettono in relazione ciascuna delle opere in sotterraneo e ciascuno dei bacini idrologici (modificati da Progetto Preliminare) con i seguenti parametri: conducibilità idraulica (K), la differenza tra l'asse della galleria e l'altezza piezometrica iniziale (H0), l'infiltrazione efficace ( $\epsilon$ ), l'intervallo di ampiezza del semi-bacino idrogeologico (L). in tale opera di scavo

In riferimento alla Tabella 51, prendendo come esempio la Canna Dispari, si può dire che su un totale di 2090 tratte analizzate, il valore minimo di (H0) è pari a 1 m, quello medio è pari a 247.2 m ed il valore massimo è pari a 565 m.

Dalla Tabella 52 si possono estrapolare valori di ( $\epsilon$ ), che sempre in relazione alla Canna Dispari assunta come esempio, risultano pari a 2.98E-05 m/anno come valore minimo, 6.63E-02 m/anno come valore medio e 1.00E+00 m/anno come valore massimo; sempre dalla stessa tabella si possono estrapolare i valori del parametro (L), il cui valore minimo è 2000 m, il cui valore medio è 3565 m ed il cui valore massimo è 16600 m. Dalla Tabella 53 è possibile ricavare i valori minimi, medi e massimi del Fattore geometrico F adimensionale, che risultano ancora per la Canna Dispari rispettivamente 1, 3.77 e 244.63.

È possibile espandere le informazioni appena descritte suddividendole per ogni Bacino idrologico di interesse; quindi è possibile dire che la Canna Dispari interessa il Bacino di Bressanone dalla progressiva 7220 alla progressiva 12620 conteggiando un numero di 541 tratte. In questo intervallo i valori di (K) variano da un minimo di 1.00E-009 m/s a un massimo 3.20E-006 m/s (Tabella 51), i valori di (H0) da un minimo di 102 a un massimo di 559, con un valore medi di 221 (Tabella 51); i valori di ( $\epsilon$ ) sono: minimo 2.02E-04 m/anno, medio 6.96E-02 m/anno, massimo 1.00E+00 m/anno (Tabella 52); i valori di (L) sono: minimo 2650 m, medio 2831 m, massimo 5300 m (Tabella 52); infine i valori del fattore geometrico F risultano : minimo 2.19, medio 3.34 e massimo 4.34 (Tabella 53).

TRATTA	Progressive		n. tratte	K (m/s)		H <sub>0</sub> (m)		
	inizio	fine		Min	Max	Min	Media	Max
Canna Dispari	630	21920	2090	1E-09	3E-06	3	247,2	565
B. Bressanone	7220	12620	541	1E-09	3E-06	102	221,0	559
B. Chiusa	14070	15730	167	1E-09	3E-06	8	121,6	232
B. Funes	16140	17790	166	1E-09	3E-06	14	124,3	266
B. Laion	17800	21920	413	1E-09	3E-06	267	436,4	565
B. Snodres	12630	14060	144	1E-09	3E-06	229	249,9	272
B. Varna Nord	630	5110	449	1E-09	3E-06	3	224,5	423
B. Varna Sud	5120	7210	210	1E-09	3E-06	101	186,0	405
Canna Pari	630	20920	1992	1E-09	3E-06	4	248,4	573
B. Bressanone	7260	12560	531	1E-09	3E-06	113	233,5	573
B. Chiusa	14020	15730	172	1E-09	3E-06	4	128,9	239
B. Funes	16120	17730	162	1E-09	3E-06	6	115,7	254
B. Laion	17740	20920	319	1E-09	3E-06	252	443,7	560
B. Snodres	12570	14010	145	1E-09	3E-06	237	262,6	291
B. Varna Nord	630	4210	359	1E-09	3E-06	4	241,4	446
B. Varna Sud	4220	7250	304	1E-09	3E-06	105	209,4	427
Finestra Albes	50	680	64	1E-09	3E-06	3	97,9	224
B. Bressanone	50	680	64	1E-09	3E-06	3	97,9	224
Finestra Chiusa	80	1800	173	1E-09	3E-06	3	190,3	396
B. Laion	80	1800	173	1E-09	3E-06	3	190,3	396
Finestra Varna Nord	630	1480	86	1E-09	3E-06	3	193,7	400
B. Varna Nord	630	1480	86	1E-09	3E-06	3	193,7	400
Finestra Varna Sud	610	1500	90	1E-09	3E-06	3	185,2	398
B. Varna Nord	610	1500	90	1E-09	3E-06	3	185,2	398
Intercon. Fortezza Dispari	180	2790	262	1E-09	3E-06	3	180,8	423
B. Varna Nord	180	2790	262	1E-09	3E-06	3	180,8	423
Intercon. Fortezza Pari	310	2750	245	1E-09	3E-06	9	307,5	483
B. Varna Nord	310	2750	245	1E-09	3E-06	9	307,5	483
Intercon. Gardena dispari	0	3050	306	1E-09	3E-06	4	208,0	371
B. Laion	0	3050	306	1E-09	3E-06	4	208,0	371
Intercon. Gardena Pari	0	2220	223	1E-09	3E-06	11	155,7	321
B. Laion	0	2220	223	1E-09	3E-06	11	155,7	321

Tabella 51 – Numero delle tratte con relativo intervallo di valori di K e intervallo di differenza tra l'asse della galleria e l'altezza piezometrica iniziale (H<sub>0</sub>) in relazione alle opere in sotterraneo previste e ai Bacini idrologici interessati (modificati da Progetto Preliminare).

TRATTA	Progressive		n. tratte	ε (m/anno)			L (m)		
	inizio	fine		Min	Max	Cont.	Min	Media	Max
Canna Dispari	630	21920	2090	2,98E-05	6,63E-02	1,00E+00	2000	3565	16600
B. Bressanone	7220	12620	541	2,02E-04	6,96E-02	1,00E+00	2650	2831	5300
B. Chiusa	14070	15730	167	3,68E-04	7,82E-02	1,00E+00	2100	2263	4200
B. Funes	16140	17790	166	3,99E-05	1,24E-01	3,99E-01	8300	10450	16600
B. Laion	17800	21920	413	2,98E-05	9,41E-03	2,98E-01	2000	2063	4000
B. Snodres	12630	14060	144	6,99E-05	1,02E-01	6,99E-01	2800	3208	5600
B. Varna Nord	630	5110	449	9,65E-05	9,32E-02	9,65E-01	2750	3013	5500
B. Varna Sud	5120	7210	210	9,65E-05	3,27E-02	9,65E-01	5250	5425	10500
Canna Pari	630	20920	1992	2,98E-05	6,87E-02	1,00E+00	2000	3750	16600
B. Bressanone	7260	12560	531	2,02E-04	6,90E-02	1,00E+00	2650	2830	5300
B. Chiusa	14020	15730	172	3,68E-04	7,59E-02	1,00E+00	2100	2259	4200
B. Funes	16120	17730	162	3,99E-05	1,25E-01	3,99E-01	8300	10401	16600
B. Laion	17740	20920	319	2,98E-05	1,22E-02	2,98E-01	2000	2082	4000
B. Snodres	12570	14010	145	6,99E-05	9,16E-02	6,99E-01	2800	3167	5600
B. Varna Nord	630	4210	359	9,65E-05	8,64E-02	9,65E-01	2750	2995	5500
B. Varna Sud	4220	7250	304	9,65E-05	6,13E-02	9,65E-01	5250	5578	10500
Finestra Albes	50	680	64	2,02E-04	1,10E-01	1,00E+00	2650	2940	5300
B. Bressanone	50	680	64	2,02E-04	1,10E-01	1,00E+00	2650	2940	5300
Finestra Chiusa	80	1800	173	2,98E-05	2,93E-02	2,98E-01	2000	2197	4000
B. Laion	80	1800	173	2,98E-05	2,93E-02	2,98E-01	2000	2197	4000
Finestra Varna Nord	630	1480	86	9,65E-05	5,62E-02	9,65E-01	2750	2910	5500
B. Varna Nord	630	1480	86	9,65E-05	5,62E-02	9,65E-01	2750	2910	5500
Finestra Varna Sud	610	1500	90	9,65E-05	5,37E-02	9,65E-01	2750	2903	5500
B. Varna Nord	610	1500	90	9,65E-05	5,37E-02	9,65E-01	2750	2903	5500
Intercon. Fortezza Dispari	180	2790	262	9,65E-05	1,93E-01	9,65E-01	2750	3296	5500
B. Varna Nord	180	2790	262	9,65E-05	1,93E-01	9,65E-01	2750	3296	5500
Intercon. Fortezza Pari	310	2750	245	9,65E-05	1,03E-01	9,65E-01	2750	3042	5500
B. Varna Nord	310	2750	245	9,65E-05	1,03E-01	9,65E-01	2750	3042	5500
Intercon. Gardena dispari	0	3050	306	2,98E-05	3,02E-02	2,98E-01	2000	2203	4000
B. Laion	0	3050	306	2,98E-05	3,02E-02	2,98E-01	2000	2203	4000
Intercon. Gardena Pari	0	2220	223	2,98E-05	2,28E-02	2,98E-01	2000	2152	4000
B. Laion	0	2220	223	2,98E-05	2,28E-02	2,98E-01	2000	2152	4000

**Tabella 52 – Numero delle tratte con relativo intervallo dei valori di infiltrazione efficace (ε) e di ampiezza del semi-bacino idrogeologico (L) in relazione a ciascuna opera in sotterraneo ed ai Bacini idrologici interessati (modificati da Progetto Preliminare).**

TRATTA	Progressive		tratte	F		
	inizio	fine		Min	Media	Max
Canna Dispari	630	21920	2090	1,00	3,77	244,63
B. Bressanone	7220	12620	541	2,19	3,34	4,34
B. Chiusa	14070	15730	167	1,00	7,45	244,63
B. Funes	16140	17790	166	2,92	4,87	24,29
B. Laion	17800	21920	413	2,13	2,37	2,85
B. Snodres	12630	14060	144	2,87	2,97	3,07
B. Varna Nord	630	5110	449	1,00	4,14	75,92
B. Varna Sud	5120	7210	210	2,51	3,56	4,38
Canna Pari	630	20920	1992	1,00	3,51	47,21
B. Bressanone	7260	12560	531	2,17	3,25	4,14
B. Chiusa	14020	15730	172	1,00	4,75	28,55
B. Funes	16120	17730	162	1,00	4,86	21,24
B. Laion	17740	20920	319	2,14	2,36	2,92
B. Snodres	12570	14010	145	2,79	2,91	3,03
B. Varna Nord	630	4210	359	1,00	4,08	47,21
B. Varna Sud	4220	7250	304	2,46	3,35	4,30
Finestra Albes	50	680	64	1,00	7,28	75,70
B. Bressanone	50	680	64	1,00	7,28	75,70
Finestra Chiusa	80	1800	173	1,00	5,48	208,98
B. Laion	80	1800	173	1,00	5,48	208,98
Finestra Varna Nord	630	1480	86	1,00	4,38	21,03
B. Varna Nord	630	1480	86	1,00	4,38	21,03
Finestra Varna Sud	610	1500	90	1,00	4,26	21,03
B. Varna Nord	610	1500	90	1,00	4,26	21,03
Intercon. Fortezza Dispari	180	2790	262	1,00	5,30	229,31
B. Varna Nord	180	2790	262	1,00	5,30	229,31
Intercon. Fortezza Pari	310	2750	245	2,31	5,57	249,85
B. Varna Nord	310	2750	245	2,31	5,57	249,85
Intercon. Gardena dispari	0	3050	306	1,00	3,86	27,96
B. Laion	0	3050	306	1,00	3,86	27,96
Intercon. Gardena Pari	0	2220	223	2,65	5,49	46,26
B. Laion	0	2220	223	2,65	5,49	46,26

**Tabella 53 – Numero delle tratte con relativo intervallo di valori del fattore geometrico F (adimensionale) in relazione a ciascuna opera in sotterraneo ed ai Bacini idrologici interessati (modificati da Progetto Preliminare).**

In Tabella 54 con lo stesso criterio delle Tabelle precedenti (Tabella 51; Tabella 52; Tabella 53) sono stati messi in relazione i risultati di Q transitorie ( $Q_{trans}(l/s/10m)$ ), H stabilizzata ( $H_{Stab}(m)$ ) e Q stabilizzate ( $Q_{Stab}(l/s/10m)$ ) con ciascuna delle opere in sotterraneo e dei Bacini idrologici (modificati da Progetto Preliminare).

Per riportare un esempio simile ai precedenti dalla Tabella 54 si osserva che per la Canna Dispari, dalla progressiva 630 alla progressiva 21920, si hanno valori di Q transitorie ( $Q_{trans}(l/s/10m)$ ) minimi di 0.00039, medi di 0.75902 e massimi di 17.75166; valori di H stabilizzata ( $H_{Stab}(m)$ ) caratterizzati da un minimo 0.16835, medio di 8.73523 e massimo di 83.23820; valori di Q stabilizzate ( $Q_{Stab}(l/s/10m)$ ) caratterizzati da un minimo pari a 0, un valor medio di 0.23614 e massimo di 5.92477. Inoltre, come già visto in precedenza, questi valori sono frazionabili oltre che per opera anche per bacino idrologico in cui ricadono.

Galleria	Progressive			$Q_{trans}(L/s/10m)$			$H_{Stab}(m)$			$Q_{Stab}(L/s/10m)$		
	inizio	fine	tratte	Min	Media	Max	Min	Media	Max	Min	Media	Max
Canna Dispari	630	21920	2090	0,00039	0,75902	17,75166	0,16835	8,73523	83,23820	0,00000	0,23614	5,92477
B. Bressanone	7220	12620	541	0,00168	0,56701	9,61800	7,83583	11,93686	33,43058	0,00014	0,19686	2,90879
B. Chiusa	14070	15730	167	0,00070	0,18068	4,94513	0,34026	12,80300	83,23820	0,00000	0,08597	2,51962
B. Funes	16140	17790	166	0,00253	1,73730	9,37711	2,70087	12,06201	41,11824	0,00000	0,95060	3,73846
B. Laion	17800	21920	413	0,00351	0,52987	17,75166	1,32591	1,85673	9,99059	0,00000	0,01277	0,41563
B. Snodres	12630	14060	144	0,00311	1,58732	11,40569	4,04958	7,39108	26,80364	0,00000	0,29965	2,06491
B. Varna Nord	630	5110	449	0,00039	1,02555	14,57949	0,16835	7,92098	40,66439	0,00000	0,27843	2,99438
B. Varna Sud	5120	7210	210	0,00167	0,25312	7,86750	7,33541	10,81295	57,49576	0,00012	0,19729	5,92477
Canna Pari	630	20920	1992	0,00039	0,80904	17,35339	0,00357	9,69852	83,23820	0,00000	0,26479	5,97523
B. Bressanone	7260	12560	531	0,00181	0,60774	10,50250	8,22198	12,25772	34,91232	0,00015	0,19648	2,92799
B. Chiusa	14020	15730	172	0,00064	0,18793	5,22095	2,91575	13,13539	83,23820	0,00000	0,09149	2,51962
B. Funes	16120	17730	162	0,00251	1,72298	9,30806	2,26992	12,94349	65,59187	0,00000	0,96225	3,73675
B. Laion	17740	20920	319	0,00336	0,67509	17,35339	1,29571	1,93973	9,89468	0,00000	0,01646	0,41233
B. Snodres	12570	14010	145	0,00320	1,47010	11,76964	4,10473	7,18783	27,20189	0,00000	0,27003	2,07101
B. Varna Nord	630	4210	359	0,00039	1,04720	15,46175	0,00357	7,93560	41,71500	0,00000	0,26087	3,00376
B. Varna Sud	4220	7250	304	0,00172	0,56904	9,65231	7,47136	12,97562	63,90544	0,00013	0,37317	5,97523
Finestra Albes	50	680	64	0,00042	0,68410	7,68819	0,00449	8,71005	29,74319	0,00000	0,30119	2,85270
B. Bressanone	50	680	64	0,00042	0,68410	7,68819	0,00449	8,71005	29,74319	0,00000	0,30119	2,85270
Finestra Chiusa	80	1800	173	0,00041	1,10892	15,39905	0,01809	1,71298	9,39689	0,00000	0,03085	0,39411
B. Laion	80	1800	173	0,00041	1,10892	15,39905	0,01809	1,71298	9,39689	0,00000	0,03085	0,39411
Finestra Varna Nord	630	1480	86	0,00073	0,41325	7,18129	0,00800	6,00430	28,68783	0,00000	0,16459	2,83882
B. Varna Nord	630	1480	86	0,00073	0,41325	7,18129	0,00800	6,00430	28,68783	0,00000	0,16459	2,83882
Finestra Varna Sud	610	1500	90	0,00071	0,49833	9,03079	0,00800	6,01111	32,43024	0,00000	0,16083	2,89977
B. Varna Nord	610	1500	90	0,00071	0,49833	9,03079	0,00800	6,01111	32,43024	0,00000	0,16083	2,89977
Intercon. Fortezza Dispari	180	2790	262	0,00065	1,77294	13,81537	0,00073	9,67119	39,70980	0,00000	0,56919	2,98542
B. Varna Nord	180	2790	262	0,00065	1,77294	13,81537	0,00073	9,67119	39,70980	0,00000	0,56919	2,98542
Intercon. Fortezza Pari	310	2750	245	0,00058	1,45162	17,87388	0,01065	8,85658	44,34776	0,00000	0,27835	3,02532
B. Varna Nord	310	2750	245	0,00058	1,45162	17,87388	0,01065	8,85658	44,34776	0,00000	0,27835	3,02532
Intercon. Gardena dispari	0	3050	306	0,00047	0,93778	13,01093	0,03781	1,73002	8,71385	0,00000	0,02692	0,36572
B. Laion	0	3050	306	0,00047	0,93778	13,01093	0,03781	1,73002	8,71385	0,00000	0,02692	0,36572
Intercon. Gardena Pari	0	2220	223	0,00058	0,62414	10,67087	0,00082	1,39596	7,93582	0,00000	0,01754	0,32743
B. Laion	0	2220	223	0,00058	0,62414	10,67087	0,00082	1,39596	7,93582	0,00000	0,01754	0,32743

**Tabella 54 – Numero delle tratte con relativo intervallo di valori di Portata Transitoria ( $Q_{Trans}$ ), differenza tra l'asse della galleria e l'altezza piezometrica iniziale ( $H_0$ ), e Portata Stabilizzata ( $Q_{Stab}$ ) in relazione a ciascuna opera in sotterraneo ed ai Bacini idrologici interessati (modificati da Progetto Preliminare).**



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	194 di 268

In conclusione, la Tabella 55 sintetizza l'andamento cumulativo delle Portate Transitorie ( $Q_{trans}$ ) e delle Portate Stabilizzate ( $Q_{stab}$ ) e la loro differenza percentuale messe in relazione all'opera in sotterraneo ed al Bacino idrologico.

Per quanto concerne le gallerie Canna Dispari, Canna Pari, Finestra Albes, Finestra Varna Nord, Finestra Varna Sud, Interconnessione Fortezza dispari le variazioni percentuali fra portata transitoria e portata stabilizzata calcolata sono compresi dal 56% per la Finestra Albes al 68.9 % per la Canna Dispari. Tali valori sono in sostanziale accordo con i lavori di Looser (1998) che stabilisce su base statistica, analizzando 32 casi di gallerie una diminuzione media del 55% e di BBT (2006) che definisce su base bibliografica una stabilizzazione delle portate dopo un abbassamento del 65%.

Diversamente per la Finestra Chiusa, l'Interconnessione Fortezza pari e le interconnessioni Ponte Gardena pari e dispari, la riduzione percentuale va dall'80% dell'Interconnessione Fortezza pari al 97.9% dell'Interconnessione Ponte Gardena pari. Tali abbassamenti molto elevati sono dovuti all'interazione dei parametri di ingresso spiegati nel paragrafo 12.9.1.1; in particolare il Bacino di Laion, cui si riferiscono gli abbassamenti maggiori, presenta valori di ( $\epsilon$ ) e di (L) più bassi rispetto a tutti gli altri bacini come visibile in Tabella 46 e in Tabella 48; ciò induce un ingresso di acqua minore che si traduce in basse differenze tra l'altezza piezometrica iniziale ( $H_0$ ) e l'asse della galleria e cioè basse H stabilizzata e di conseguenza si hanno Portate stabilizzate basse.

Galleria	Q <sub>trans</sub> (l/s)	Q <sub>stab</sub> (l/s)	Abbassamento (%)
Canna Dispari	1586	494	68,9
B. Bressanone	307	107	65,3
B. Chiusa	30	14	52,4
B. Funes	288	158	45,3
B. Laion	219	5	97,6
B. Snodres	229	43	81,1
B. Varna Nord	460	125	72,9
B. Varna Sud	53	41	22,1
Canna Pari	1612	527	67,3
B. Bressanone	323	104	67,7
B. Chiusa	32	16	51,3
B. Funes	279	156	44,2
B. Laion	215	5	97,6
B. Snodres	213	39	81,6
B. Varna Nord	376	94	75,1
B. Varna Sud	173	113	34,4
Finestra Albes	44	19	56,0
B. Bressanone	44	19	56,0
Finestra Chiusa	192	5	97,2
B. Laion	192	5	97,2
Finestra Varna Nord	36	14	60,2
B. Varna Nord	36	14	60,2
Finestra Varna Sud	45	14	67,7
B. Varna Nord	45	14	67,7
Intercon. Fortezza Dispari	465	149	67,9
B. Varna Nord	465	149	67,9
Intercon. Fortezza Pari	356	68	80,8
B. Varna Nord	356	68	80,8
Intercon. Gardena dispari	287	8	97,1
B. Laion	287	8	97,1
Intercon. Gardena Pari	139	4	97,2
B. Laion	139	4	97,2
<b>GRAN TOTALE</b>	<b>4760</b>	<b>1304</b>	<b>72,6</b>

**Tabella 55 – Andamento cumulativo delle Portate Transitorie (Q<sub>Trans</sub>) e delle Portate Stabilizzate (Q<sub>stab</sub>) e rispettivo abbassamento percentuale in relazione a ciascuna opera in sotterraneo ed ai Bacini idrologici interessati (modificati da Progetto Preliminare).**

I valori forniti in Tabella 55 per l'interconnessione di Ponte Gardena Binario Pari si riferiscono al solo tratto scavato all'interno delle Filladi. È stato escluso il tratto riguardante i depositi alluvionali (circa 150 m) in corrispondenza dell'imbocco, ove le condizioni di carico idraulico (poco sopra il piano ferro) non consentivano l'applicazione della formula 6 di paragrafo 12.8.1. Stimando la portata in regime transitorio attraverso la formulazione  $Q=KS_i$  ( $K$ =conducibilità idraulica,  $S$ =sezione di flusso,  $i$ =gradiente idraulico) e associando ai suddetti depositi un valore di conducibilità idraulica pari a  $5 \cdot 10^{-4}$  m/s si ottengono valori di Portate Transitorie maggiori rispetto a tutto il resto della tratta scavata in Filladi. È opportuno tuttavia tenere presente che l'interconnessione di Ponte Gardena verrà realizzata con scavo meccanizzato a piena sezione, con TBM-EPB per l'applicazione di pressione attiva al fronte e posa in opera di rivestimento definitivo in elementi prefabbricati di calcestruzzo dotati di guarnizioni di tenuta idraulica (vedi elaborato IBL110D07RGGN0000001A) e che dunque

non si prevedono condizioni di drenaggio della falda contenuta nei suddetti depositi. In ultima analisi, si ricorda che i valori forniti sono da ritenersi come le portate in condizioni idrodinamiche imperturbate, mentre è noto che lo scavo di una tratta induce una possibile perturbazione ad esempio dovuta all'abbassamento del carico idraulico; in tale contesto può sussistere la perturbazione tra gli scavi della Canna Dispari e Canna Pari, che avverranno nel medesimo tempo; si ritiene dunque che le portate stabilizzate di circa  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  derivanti dalla somma dei valori cumulativi delle due Canne presenti in Tabella 55, possano essere sovrastimate e che una stima più ragionevole possa essere un valore intermedio tra  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 13 SINGOLARITÀ IDROGEOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO

La previsione idrogeologica si basa sulla ricostruzione geologica, sull'interpretazione fotogrammetrica e sul modello idrogeologico concettuale. Tale previsione è quindi vincolata e strettamente correlata alle ricostruzioni e interpretazioni citate che possono, come è noto, contenere un certo livello di errore.

Le interpretazioni idrogeologiche sono state sintetizzate nei profili idrogeologici sotto forma di finche che accompagnano la ricostruzione geologica e che compendiano le seguenti informazioni:

- complessi idrogeologici di superficie;
- complessi idrogeologici attesi a piano ferro;
- range di conducibilità idraulica assunto a piano ferro;
- carico idraulico stimato a quota tunnel;
- portata massima transitoria stimata ( $l/s/10m$ )
- portata massima stabilizzata stimata ( $l/s/10m$ )

I complessi idrogeologici di superficie derivano (come visto in Paragrafo 12.6.3) dalla riclassificazione delle formazioni geologiche presenti o supposte tali in affioramento.

I complessi idrogeologici attesi a piano ferro rappresentano le caratteristiche idrogeologiche delle formazioni geologiche ipotizzate a quota cavo, nonché delle zone di maggiore fragilità contrassegnate da faglie e lineamenti, ed individuano tre diversi assetti idro-strutturali corrispondenti a classi di roccia non fratturata o poco fratturata (complesso I,NCF), parzialmente fratturata (complesso II,NCF), maggiormente fratturata (complesso III,NCF).

Lo spessore assegnato alle zone indebolite dipende direttamente dal modello geo-strutturale osservato in superficie e dal tipo di lineamento (evidente e poco evidente/incerto) interpretato da analisi fotogrammetrica; in profondità sono stati riportati (come detto nel Cap. 11) non solo i lineamenti osservati in campagna, ma anche quelli foto interpretati. Sono state definite due classi relative alle dimensioni lineari della porzione di ammasso roccioso fratturato nell'intorno del lineamento osservato e/o interpretato. A cavallo dei lineamenti osservati durante il rilevamento di campagna e dei lineamenti considerati come evidenti nell'interpretazione fotogrammetrica è stato considerato uno spessore lineare di 50 metri, mentre è stato considerato uno spessore di 20 metri a cavallo dei lineamenti incerti derivanti dall'interpretazione fotogrammetrica. E' noto che la fascia di roccia danneggiata che si associa ad una discontinuità è molto variabile e dipende dalla tipologia del lineamento, dalla tipologia del movimento nel caso in cui esistano indicatori cinematici, dall'importanza del lineamento riferito alla deformazione

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	<b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A	FOGLIO 197 di 268

principale e dall'interazione con le litologie interessate alla deformazione. Le dimensioni proposte in questo lavoro derivano da valutazioni oggettive effettuate in campagna. È opportuno comunque ricordare che l'estrapolazione in profondità di tali dati di terreno e desunti da interpretazione fotogrammetrica è passibile, data la natura stessa del dato, di errori che possono essere anche significativi.

Il range di conducibilità idraulica attesa a piano ferro è chiaramente legato ai complessi idrogeologici attesi a piano ferro e classificati in termini di valori di conducibilità idraulica del mezzo (vedi Figura 13-1).



Figura 13-1 - Legenda della finca "Range di conducibilità idraulica attesa a piano ferro galleria (permeabilità per fratturazione, in m/s)"

Il carico idraulico stimato a quota tunnel è stato elaborato effettuando la spazializzazione dei dati riguardanti i rilievi di falda all'interno dei sondaggi geognostici strumentati con piezometro; l'attendibilità del modello piezometrico è tanto maggiore quanti più punti di ricostruzione esistono in una determinata area. Il carico idraulico è stato ottenuto sottraendo la quota della superficie piezometrica a quella della relativa quota del tracciato ed è stato suddiviso in sei classi di valori come è possibile vedere in Figura 13-.



Figura 13-2 – Legenda della finca "Carico idraulico stimato a quota tunnel (m)"

È opportuno evidenziare che i valori di carico idraulico sono stimati sull'astrazione che tutto l'ammasso in esame si comporti come un mezzo poroso omogeneo, distribuendo i carichi di acquiferi più o meno superficiali su tutto il corpo roccioso ed immaginando in tal modo una estensione continua entro l'area di interesse del corpo acquifero, prescindendo dunque dalla presenza di zone a circolazione nulla o molto scarsa. È secondo questo approccio che vanno letti i rilevanti carichi idraulici segnalati lungo alcune tratte, considerando inoltre che le venute di acqua nello scavo sono frutto non solo del carico idraulico ma anche delle conducibilità idrauliche, generalmente molto basse, riscontrate a piano ferro.

Per quel che riguarda la portata massima transitoria stimata (l/s per ogni 10 metri di tratta scavata) nella valutazione è stata utilizzata la metodologia descritta nel Paragrafo 12.8.1 con la suddivisione in classi di portata visibili nella Tabella 12-45. Di seguito, in Figura 13- è riportata la legenda utilizzata nei profili.

### Classe di portata prevalente occorrenza (0-70%)



+/- e +/-

Possibili incrementi/diminuzioni locali stimati di una o due classi di portata rispetto alla classe prevalente (occorrenza 0-30%)

Figura 13-3 - Legenda della finca "portata massima transitoria stimata"

Per quanto attiene alla portata massima stabilizzata stimata (l/s per ogni 10 metri di tratta scavata) è stata utilizzata la metodologia descritta nel Paragrafo 12.8.19. Di seguito è riportata la legenda utilizzata nei profili.

### Classe di portata prevalente occorrenza (0-70%)



+/- e +/-

Possibili incrementi/diminuzioni locali stimati di una o due classi di portata rispetto alla classe prevalente (occorrenza 0-30%)

Figura 13-4 - Legenda della finca "portata massima stabilizzata stimata"

Nei paragrafi seguenti saranno segnalati i settori più sensibili dal punto di vista idrogeologico per le varie opere previste dal progetto.

## 13.1 Gallerie di linea

Le maggiori criticità di tipo idrogeologico sono inerenti alle zone a più alta fragilità, individuate dallo studio geologico e legate a quei lineamenti che incontrano il tracciato a quota galleria. Queste zone appaiono infatti caratterizzate da un generale aumento della permeabilità.

Procedendo da nord verso sud, il tracciato incontra fino a progressiva 0+530 circa il complesso idrogeologico 4,P formato dai depositi alluvionali recenti, e successivamente va ad interessare il complesso idrogeologico II,NCF dato dalla massa intrusiva granitica di Bressanone il cui attraversamento non appare legato a particolari criticità idrogeologiche. Secondo la ricostruzione proposta in questa sede circa dalla progressiva 3+120 alla progressiva 3+315 (Figura 13-5) avviene l'attraversamento del contatto termometamorfico tra filladi e graniti. Ricordando che la posizione di tale contatto in profondità presenta un significativo livello di incertezza è opportuno comunque segnalare che esso rappresenta una zona di attenzione, per la prevista presenza di zone fragili che aumentano la conducibilità idraulica del modello idrogeologico. In questo settore, come in tutte le altre zone considerate critiche, è stato dunque considerato il valore più alto riscontrato nelle prove di permeabilità effettuate durante lo studio; in tali condizioni in fase di scavo potrebbero di conseguenza verificarsi afflussi significativi.

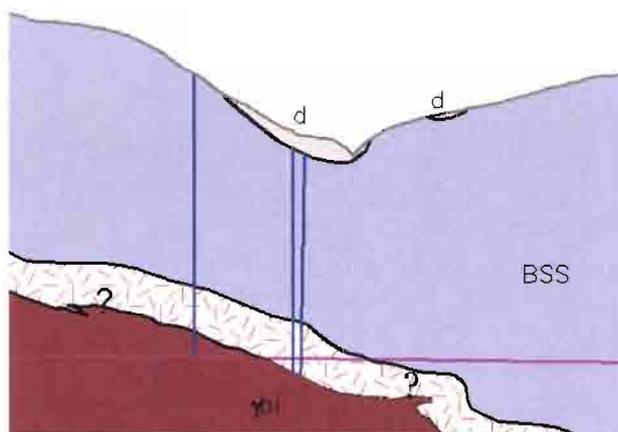
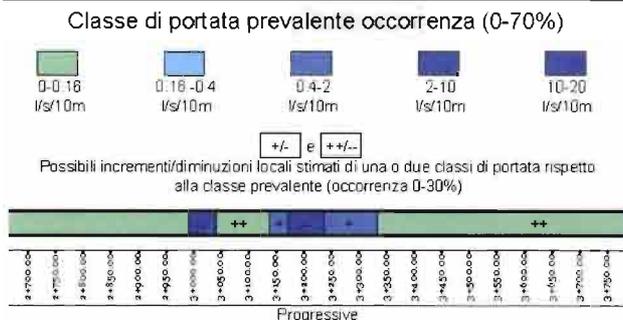


Figura 13-5 – Stralcio del profilo idrogeologico tra progressiva 3+120 e progressiva 3+315 (aureola di contatto tra i Graniti e le filladi di Bressanone, in blu lineamenti evidenti da fotogrammetria); in alto la classe di portata massima transitoria stimata.

Procedendo verso sud si segnala un'altra zona di attenzione tra progressiva 4+845 e progressiva 6+130, comprendente le valli di Spelonca e di Scaleres (Figura 13-6). Queste due valli sono particolarmente interessanti dal punto di vista idrogeologico in quanto caratterizzate da una serie di fratture sub verticali appartenenti a due sistemi principali di discontinuità; questi lineamenti sono interconnessi tra loro ed in superficie le fratture presentano aperture anche rilevanti. Il settore in questione risulta inoltre molto sensibile dal punto di vista dell'utilizzo delle sorgenti in quanto nel bacino idrogeologico definito dalla Val Scaleres sono ubicate svariate captazioni ad uso pubblico.

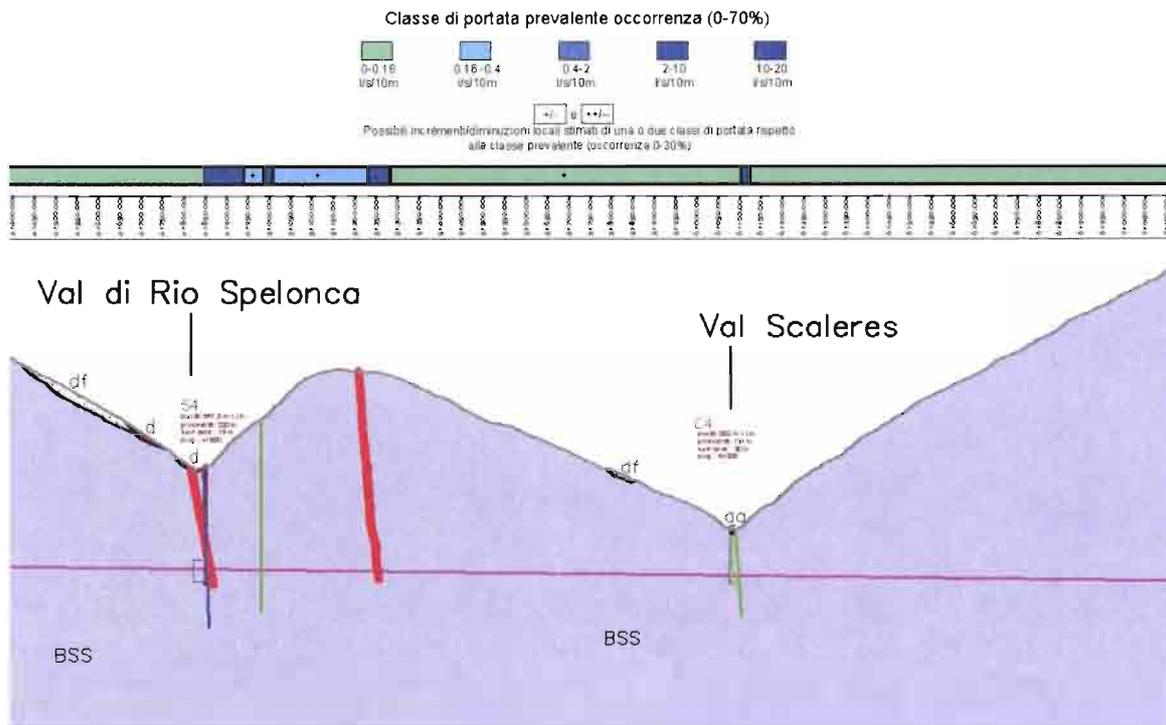


Figura 13-6 – Stralcio del profilo idrogeologico tra progressiva 4+845 e progressiva 6+130 m (in rosso faglie o fratture riconosciute in campagna, in verde lineamenti incerti da fotogrammetria, in blu lineamenti certi da fotogrammetria); in alto la finca con la classe di portata massima transitoria stimata

Dalla progressiva 9+250 alla progressiva 9+700 (Figura 13-7), nei pressi del paese di Tiles, si rinviene un settore caratterizzato da un incremento di fratturazione (fratture a direzione N120 con immersione verso NE) e da acque più mature dal punto di vista geochimico ossia provenienti da circuiti più profondi. Anche questo settore viene segnalato come zona di attenzione ove potrebbero aversi in galleria maggiori venute idriche.

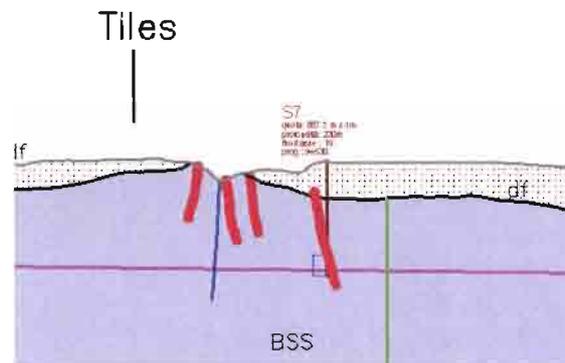
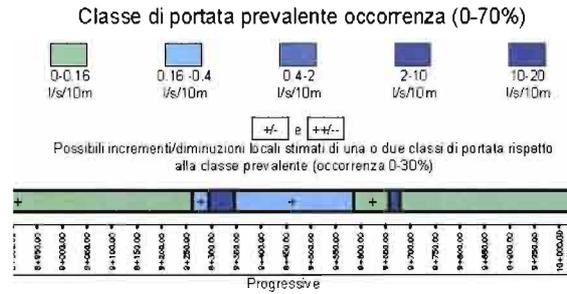


Figura 13-7 – Stralcio del profilo idrogeologico tra progressiva 9+250 e progressiva 9+700 (in rosso faglie o fratture riconosciute in campagna, in verde lineamenti incerti da fotogrammetria, in blu lineamenti certi da fotogrammetria); in alto la finca con la classe di portata massima transitoria stimata.

Prima dello sbocco in destra idrografica del fiume Isarco della Galleria Scaleres si segnala la zona, tra progressiva 15+580 e progressiva 15+750, caratterizzata dal contatto (Figura 13-8), dislocato da faglie legate a deformazione neotettonica fragile, tra le filladi del basamento metamorfico e il complesso delle meta-dioriti, ove potrebbero aversi locali incrementi delle venute in galleria.





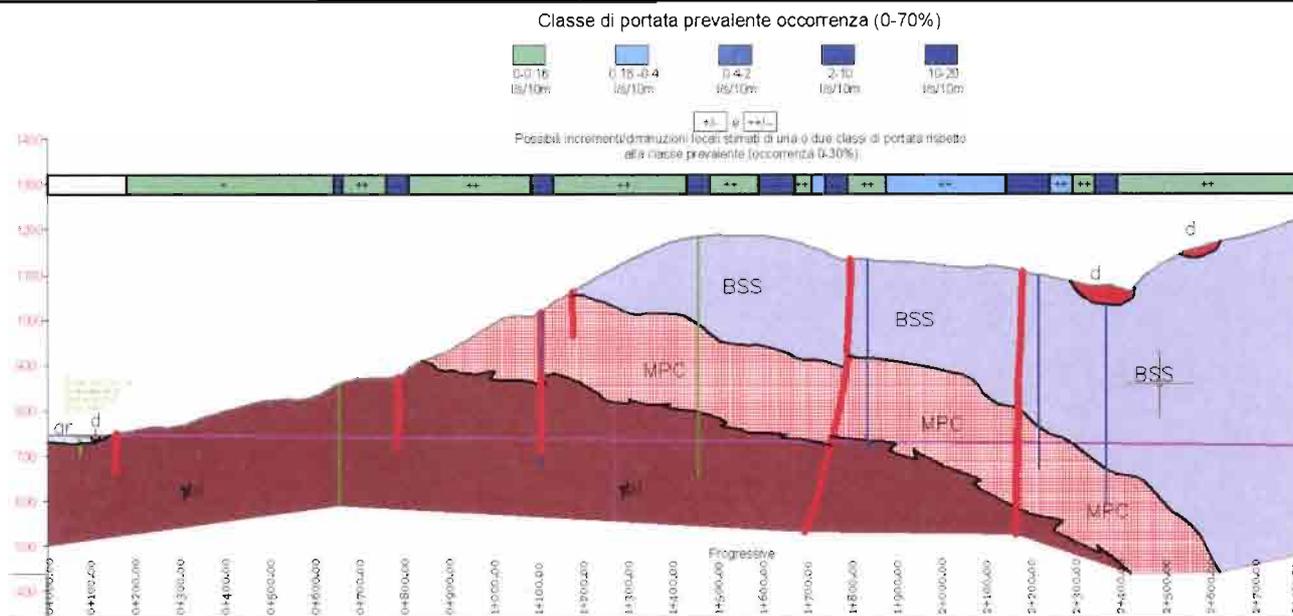


Figura 13-10 – Sezione lungo l’Interconnessione Fortezza Dispari (in rosso faglie o fratture riconosciute in campagna, in verde lineamenti incerti da fotogrammetria, in blu lineamenti certi da fotogrammetria); in alto la finca con la classe di portata massima transitoria stimata.

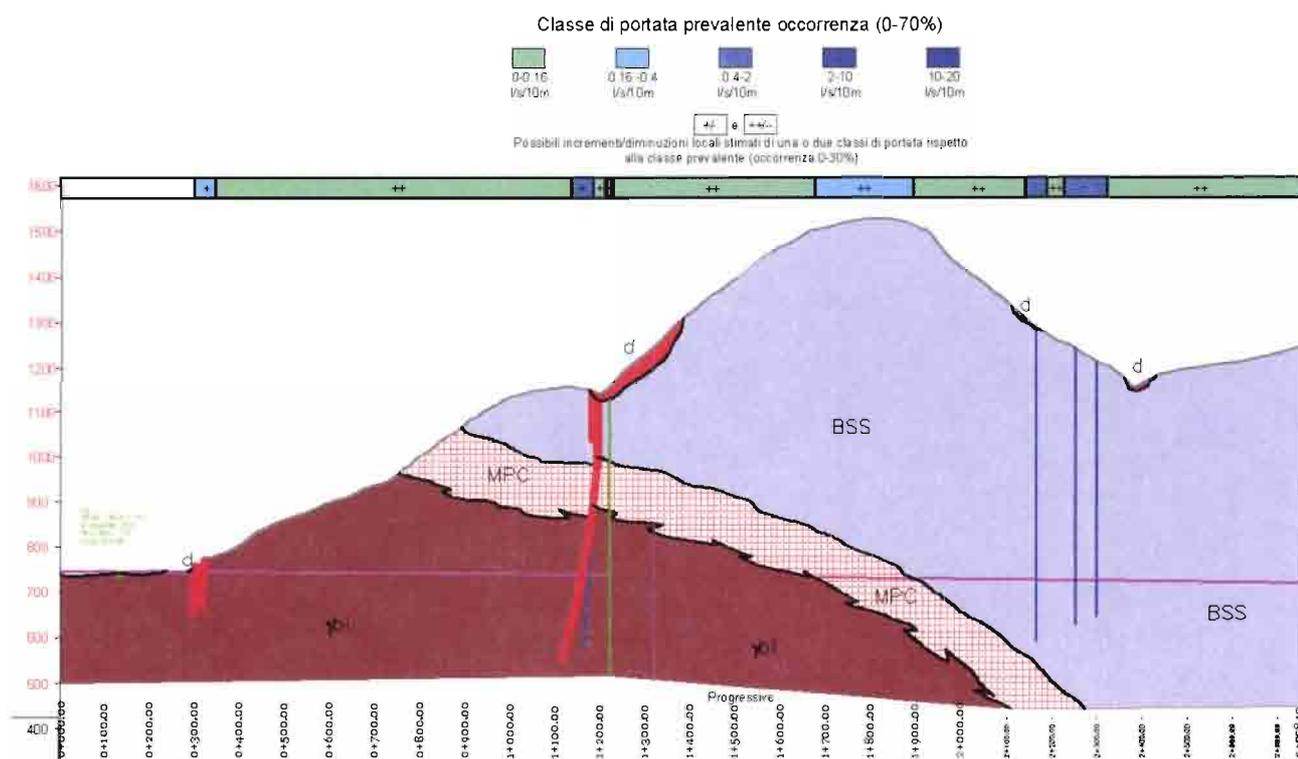


Figura 13-11 – Sezione lungo l’Interconnessione Fortezza Pari (in rosso faglie o fratture riconosciute in campagna, in verde lineamenti incerti da fotogrammetria, in blu lineamenti certi da fotogrammetria); in alto la finca con la classe di portata massima transitoria stimata.

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	205 di 268

**Interconnessioni di Ponte Gardena**

Sia l'interconnessione pari che quella dispari interessano principalmente il complesso idrogeologico II,NFC rappresentato dalle Filladi Quarzifere. A progressiva 1+500 circa per l'interconnessione dispari e 0+500 circa per l'interconnessione pari è ipotizzato l'attraversamento di un lineamento tettonico fragile inclinato verso SW di circa 50 gradi, che delimita, sempre verso SW, un'area interessata dalla deformazione gravitativa profonda di versante di Ponte Gardena. Il flusso idrico principale sembra essere in accordo con queste condizioni strutturali: prima di intercettare il suddetto lineamento tettonico la direzione principale del flusso è circa verso ovest, dopo tale lineamento la direzione di flusso è verso sud-ovest.

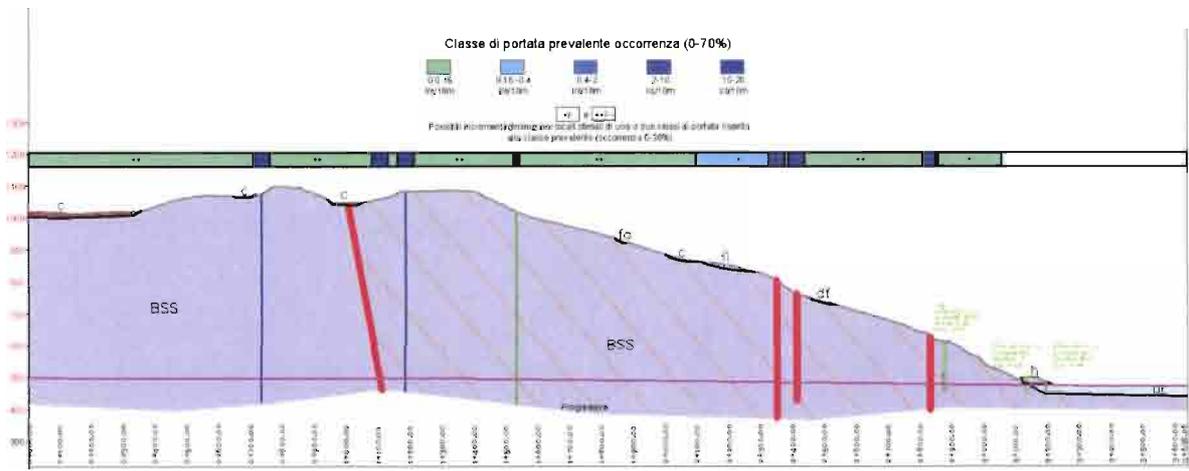


Figura 13-12 – Sezione lungo l'Interconnessione P. Gardena Dispari (in rosso faglie o fratture riconosciute in campagna, in verde lineamenti incerti da fotogrammetria, in blu lineamenti certi da fotogrammetria); in alto la finca con la classe di portata massima transitoria stimata.

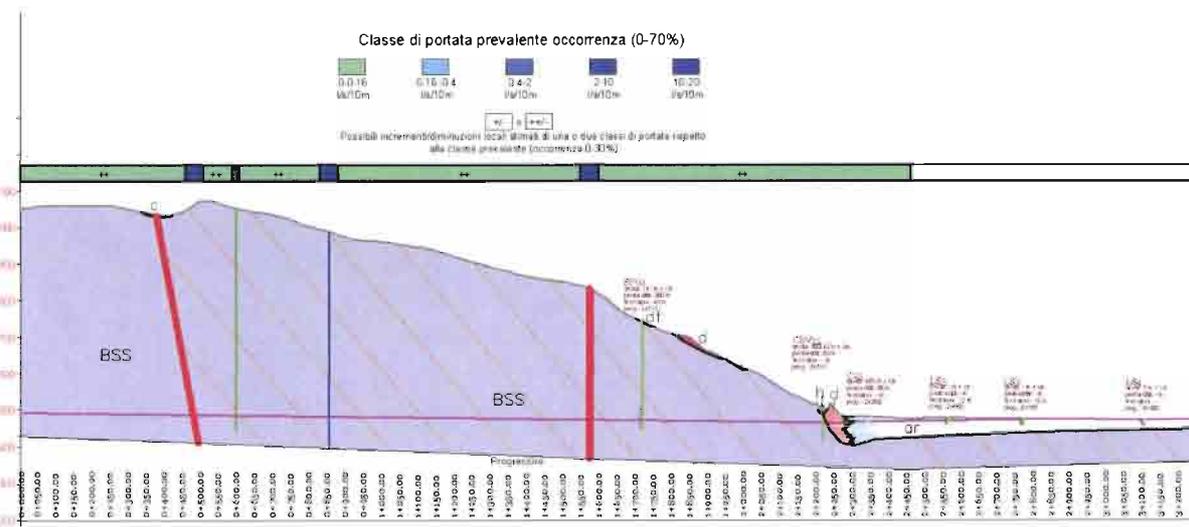


Figura 13-13 – Sezione lungo l'Interconnessione P. Gardena Pari (in rosso faglie o fratture riconosciute in campagna, in verde lineamenti incerti da fotogrammetria, in blu lineamenti certi da fotogrammetria); in alto la finca con la classe di portata massima transitoria stimata.

### 13.3 Finestre di Aica-Varna, Albes, Chiusa

#### Aica-Varna

Le finestre di Aica-Varna Nord e Sud si trovano nel settore settentrionale dell'area indagata, a nord dell'abitato di Varna, in destra idrografica del fiume Isarco all'altezza del bacino di Bressanone. Tale settore è caratterizzato, dal punto di vista idrogeologico, da due aree distinte: in quella occidentale si hanno in affioramento filladi quarzifere, quella orientale è invece caratterizzata da potenti sequenze di depositi alluvionali antichi che rientrano negli acquiferi a permeabilità primaria per porosità.

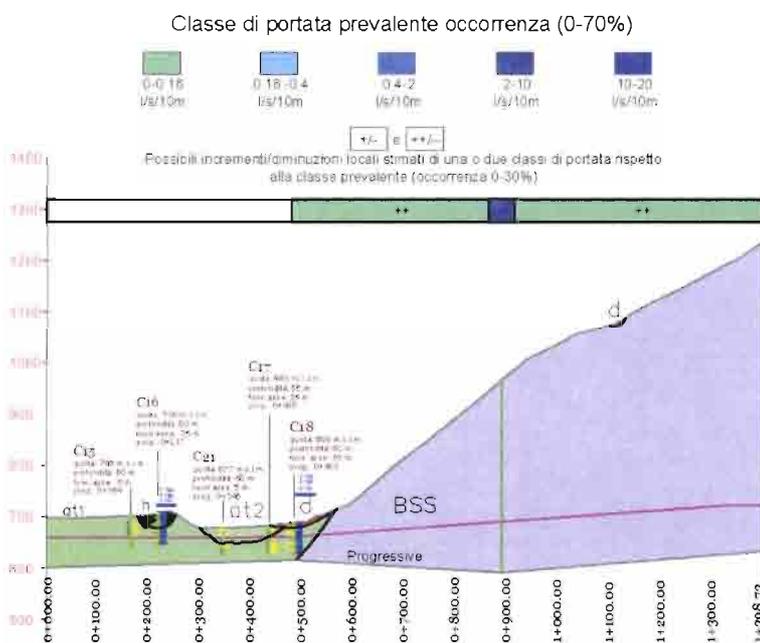


Figura 13-14 – Sezione lungo la Finestra Aica Nord (in rosso faglie o fratture riconosciute in campagna, in verde lineamenti incerti da fotogrammetria, in blu lineamenti certi da fotogrammetria); in alto la finca con la classe di portata massima transitoria stimata.

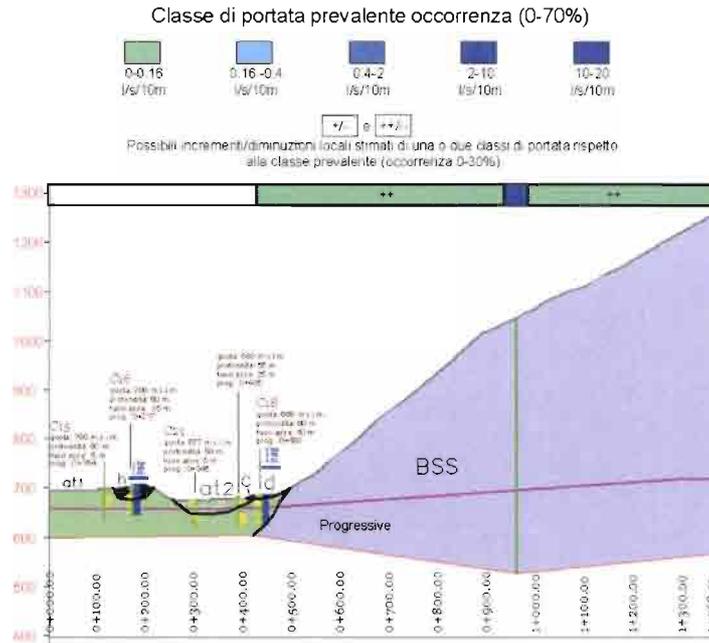


Figura 13-15 – Sezione lungo la Finestra Aica Sud (in rosso faglie o fratture riconosciute in campagna, in verde lineamenti incerti da fotogrammetria, in blu lineamenti certi da fotogrammetria); in alto la finca con la classe di portata massima transitoria stimata.

Le filladi quarzifere non sembrano essere interessate da fratture importanti (Figura 13-14 e Figura 13-15) e la falda contenuta nelle alluvioni risulta dai dati piezometrici sempre a quote inferiori a quelle di scavo.

L'acquifero fratturato composto dalle filladi sembra essere in connessione idraulica con le alluvioni di fondo valle; la direzione di flusso principale è verso Est cioè verso i depositi di fondo valle.

### Albes

La finestra di Albes si trova in destra idrografica del fiume Isarco, all'altezza dell'abitato di Albes; il tracciato interessa, a meno di un piccolo tratto in prossimità dell'imbocco, il complesso idrogeologico II,NCF e non si rinvencono particolari deformazioni fragili se non quelle rappresentate circa alla progressiva 0+240 e alla progressiva 0+520 del profilo. La direzione preferenziale del flusso è verso sud-est. In prossimità del tracciato vi sono depositi morenici anche di grosse dimensioni che localmente al contatto con le filladi danno luogo a sorgenti.

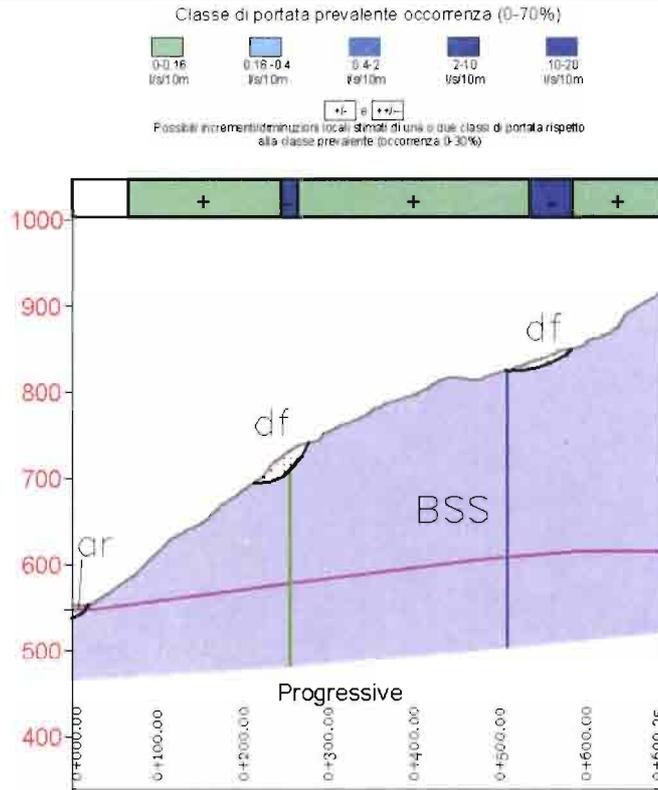


Figura 13-16 – Sezione lungo la Finestra Albes (in rosso faglie o fratture riconosciute in campagna, in verde lineamenti incerti da fotogrammetria, in blu lineamenti certi da fotogrammetria); in alto la finca con la classe di portata massima transitoria stimata.

### Chiusa

La finestra di Chiusa si trova in sinistra idrografica del fiume Isarco; la zona è caratterizzata da affioramenti di Filladi Quarzifere e quindi dalla presenza del complesso II,NCF; i sistemi di frattura più rappresentativi e pervasivi hanno una direzione media N130 e sono quelli che dirigono, all'interno del corpo acquifero fratturato, le vie preferenziali di flusso idrico verso NNW.

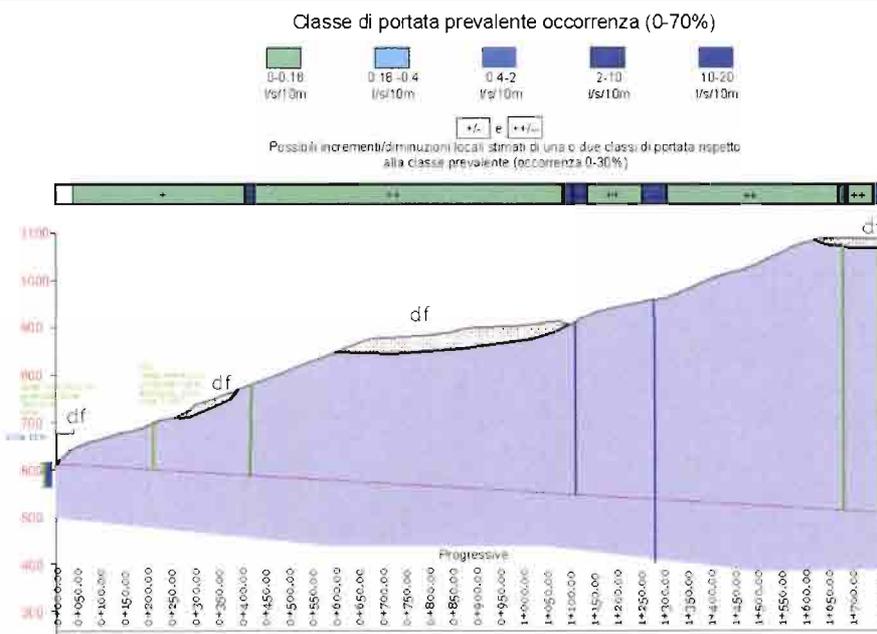


Figura 13-17 - Tracciato in progetto Finestra Chiusa (in rosso faglie o fratture riconosciute in campagna in verde lineamenti incerti da fotogrammetria, in blu lineamenti certi da fotogrammetria), in alto la Finca con la classe di portata massima stimata, in basso le progressive del tracciato.

## 14 INDICAZIONI RELATIVE AL SUCCESSIVO PIANO DI MONITORAGGIO

Come finora illustrato, nel corso dell'elaborazione del Progetto Definitivo è stato concepito un modello idrogeologico di riferimento che, utilizzando i dati derivanti dal monitoraggio dei punti d'acqua rilevati in questa fase progettuale, ha portato a valutare il rischio d'interferenza con le risorse idriche di superficie, sorgenti, l'impatto sui pozzi e sui corsi d'acqua significativi.

Al fine di continuare a tenere sotto controllo i punti d'acqua nel tempo e per un periodo abbastanza lungo e comunque tale da ottenere un set di dati più affidabile e continuo possibile per le successive fasi progettuali e di lavoro, si procederà a un monitoraggio finalizzato al raffinamento e consolidamento delle conoscenze relative alla circolazione idrica all'interno dell'area studiata. In sintesi si intende monitorare sia i parametri chimico – fisici che i parametri chimici delle acque e tenere sotto controllo le portate delle sorgenti.

Anche nella successiva fase di Progetto Esecutivo, sulla scorta dei dati che via via verranno analizzati e sintetizzati, si dovrà continuare il monitoraggio, a questo punto sempre più spinto.

I parametri presi in considerazione e che dovranno continuare ad essere analizzati anche nella successiva fase di Progetto, sono rappresentati da:

- Parametri chimico-fisici (portata, temperatura del punto d'acqua, temperatura dell'aria, conducibilità elettrica specifica, potenziale redox e residuo fisso)



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	210 di 268

- Elementi maggiori (Sodio, Potassio, Calcio, Magnesio, Cloruri, Solfati, ione Bicarbonato, Nitrati)
- Elementi in traccia (Arsenico, Alluminio, Stronzio, Litio, Fosfati, Uranio, Piombo, Selenio, Boro, Antimonio, Cadmio, Ferro e Nichel).

Per quel che attiene alle analisi isotopiche, si procederà a monitorare un numero di punti distribuiti all'interno l'area di studio; inoltre per avere una più corretta caratterizzazione dell'area si prevede di effettuare le analisi di  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  e  $3\text{H}$  anche su campioni di precipitazione atmosferica.



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

**LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA**

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	211 di 268

## 15 DOCUMENTAZIONE DEI PUNTI DI OSSERVAZIONE

Il seguente capitolo è costituito da una serie di illustrazioni relative a punti di osservazione effettuati durante il rilevamento geologico di campagna. Consta di osservazioni geologiche riferite ad affioramenti, litologie, strutture o fenomeni ed elementi geomorfologici e di osservazioni relative a sorgenti, manufatti e quant'altro può essere collegabile con l'idrogeologia. I punti seguenti vengono mostrati in ordine crescente; i numeri mancanti nell'ordine sono relativi ad errori dell'operatore, nell'attribuzione del numero in campagna o ad una successiva eliminazione dovuta a scarso interesse e peso scientifico dell'osservazione. Per la localizzazione geografica e geologica di questi punti, si faccia riferimento alla carta geologica a scala 1:5000, allegata alla presente relazione.

Punto n.001

Settore meridionale dell'area di studio, a nord di Ponte Gardena: veduta di una porzione di territorio in sinistra Isarco, fotografata dalla sponda opposta. Fig 5-1, probabile fronte di fenomeni geomorfologici gravitativi quiescenti; fig. 5-2, particolare della zona dei binari, a valle del viadotto, dove non sono stati rilevati elementi superficiali visibili e collegabili con le morfologie sopraccitate.



Fig. 15-1 Area con fenomeni morfologici di tipo gravitativo, viadotto A22 a nord di Ponte Gardena.



Fig. 15-2 Settore a valle del viadotto A22, nord di Ponte Gardena, nessun elemento visibile di instabilità attiva.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	213 di 268

Punto n.002

Stessa area del punto n.1 ma con leggero spostamento verso sud; nella foto si evidenziano due settori diversi quello a destra costituito da roccia ancora riconoscibile seppur fratturata, a sinistra un deposito maggiormente degradato e caotico.



Fig. 15-3 Settore a valle del viadotto A22, nord di Ponte Gardena, diversa tipologia di depositi gravitativi.

Punto n.003

Particolare della zona in frana dell'area delle foto 15-1 e 15-2; trattasi di filladi quarzifere appartenenti all'Unità di Bressanone.



Fig. 5-4 Settore a nord di Ponte Gardena, filladi quarzifere in deposito gravitativo.



Fig. 15-5 Particolare di figura 15-4 dove si evidenziano i sistemi principali di frattura.

Punto n.004

Elementi di riconoscimento delle morfologie gravitative nell'area situata a nord di Ponte Gardena; si riconoscono elementi relativi a movimenti per crollo e per scivolamento.



Fig. 15-6 Frana di crollo costituita esclusivamente da filladi quarzifere.



Fig. 15-7 Morfologie legate ad un movimento gravitativo per scivolamento: in particolare contropendenze e morfologie accidentate.

Punto n.005

Particolare di una emergenza idrica al contatto tra corpi franosi, in particolare si noti l'intervento antropico per la stabilizzazione dell'area.



Fig. 15-8 Nord di Ponte Gardena, sorgente a contatto tra corpi franosi e opera antropica di contenimento.

Punto n.007

Settore meridionale dell'area in frana a nord di Ponte Gardena; area accidentata con variazioni notevoli di pendenza e contropendenza nella zona boscata.



Fig. 15-9 Nord di Ponte Gardena, particolari elementi a supporto del rilevamento geomorfologico: contropendenza nell'area boscata.

Punto n.009

Area a nord di Ponte Gardena; questo affioramento riguarda la porzione di territorio che risulta essere più a monte delle aree in frana sino ad ora raffigurate: si evidenzia la presenza di grosse fratture a direzione NE-SW.



Fig. 15-10 Nord di Ponte Gardena, frattura ad alto angolo a direzione N40.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	217 di 268

Punto n.010

Arca interessata marginalmente da fenomeni di tipo gravitativo, in particolare da fenomeni ridotti di crollo, fratture e altri elementi minori non cartografabili.



Fig. 15-11 Nord di Ponte Gardena, piccoli crolli e affioramenti limitati di Filladi quarzifere.

Punto n.011

In questo punto si riconoscono elementi geomorfologici minori e non cartografabili, ma relativi a fenomeni quiescenti di tipo gravitativo avvenuti più a valle; si evidenzia che in tale zona vi sono dei visibili collegamenti tra tettonica fragile e morfologie gravitative.



Fig. 15-12 Nord di Ponte Gardena, piccole scarpate e contropendenze.

Punto n.012

A monte delle aree in frana rilevate a nord del paese di Ponte Gardena, sono stati rilevati alcuni elementi caratteristici delle morfologie gravitative presenti, in particolare evidenti scarpate di frana inattive con grossi cambi di pendenza.



Fig. 5-13 Nord di Ponte Gardena, cambio di pendenza da sinistra a destra a causa della formazione di scarpata di frana.

Punto n.013

Settore marginale dell'area in frana a nord di Ponte Gardena, particolare dell'area a monte con attuale sviluppo di fenomeni di crollo dovuti alla degradazione della scarpata.



Fig. 5-14 Nord di Ponte Gardena, limitati fenomeni di crollo e degradazione di versanti molto ripidi.

 <b>ITOLFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	<b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A	FOGLIO 219 di 268

Punto n.014

Questo punto di osservazione è relativo alle opere di difesa delle sponde a lato della strada (via Val Gardena) che attraversa l'area in frana a nord di Ponte Gardena; non sono evidenti movimenti o elementi di rottura di queste opere.



Fig. 15-15 Nord di Ponte Gardena, opere di difesa dei versanti all'interno dell'area in frana; non sono visibili elementi riconducibili a movimenti attuali.

Punto n.015

Area in frana a nord di Ponte Gardena, particolare di contropendenze e trincee relative ad un grosso movimento gravitativo per scivolamento.



Fig. 15-16 Nord di Ponte Gardena, contropendenza e trincea all'interno di corpo di frana.

Punto n.018

Affioramento di depositi fluvio-glaciali a sud della località di Albions, costituiti da sabbie grigie a granulometria medio-fine, con subordinati ciottoli di dimensioni anche pluridecimetriche.



Fig. 15-17 Sud di Albions, depositi fluvio-glaciali con sabbie e ciottoli .

Punto n.020

Affioramento di Filladi quarzifere con piano di faglia ad alto angolo, movimento presumibilmente orizzontale, ad ovest di Laion.

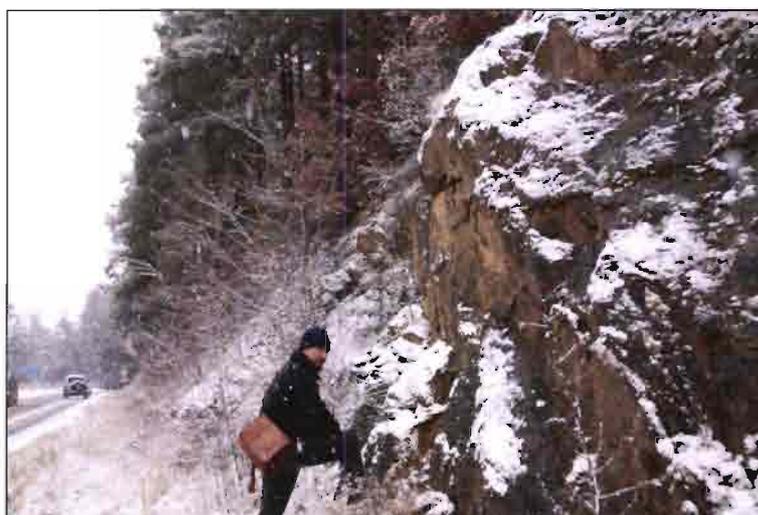


Fig. 15-18 Piano di faglia verticale.



Fig. 15-19 Particolare della breccia di faglia.

Punto n.021

Strada per Laion, Filladi quarzifere con evidenti piani di scistosità di secondo ordine.



Fig. 5-20 Piano coincidente con la scistosità di secondo ordine.

Punto n.022

Opere relative all'autostrada A22 del Brennero; in questi particolari si osservano alcuni elementi relativi a cedimenti delle infrastrutture.



Fig. 15-21 Frattura all'interno di un muro di contenimento.



Fig. 15-22 Strada di servizio sottostante alla A22, località Ponte Gardena.

Punto n.023

Sistemi principali di frattura all'interno di un affioramento di Filladi quarzifere, causa principale dell'instabilità del versante.

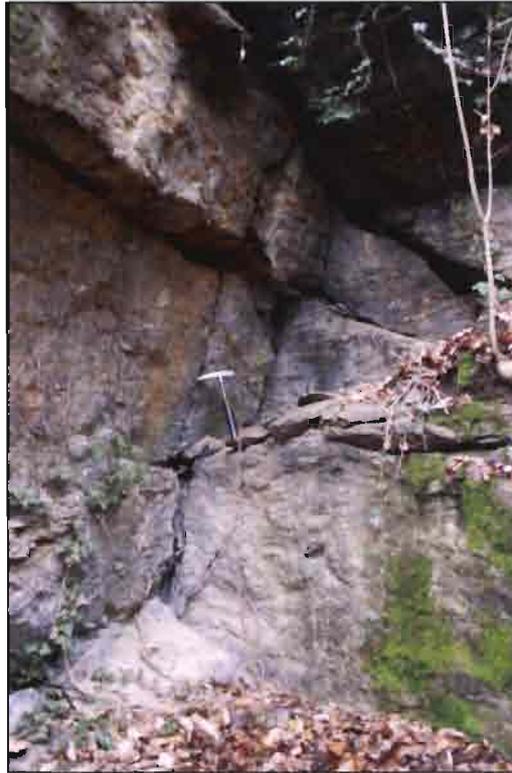


Fig. 15-23 Affioramento con 2 sistemi di frattura e scistosità a basso angolo.



Fig. 15-24 Particolare del versante instabile con rischio di crollo.

Punto n.024

Versante in sinistra idrografica del fiume Isarco, scarpata di frana attiva.



Fig. 15-25 Evidenze di scarpata di frana attiva a monte dell'autostrada A22 del Brennero.

Punto n.025

Fratture su manufatti a monte dell'autostrada A22 del Brennero.



Fig. 5-26 Particolare delle fratture sul muro di sostegno.

Punto n.026

Area franosa a nord di Ponte Gardena, zona della scarpata di frana con evidente cambio di pendenza del versante.



Fig. 15-27 Evidente scarpata di frana lungo il versante a destra della foto, a sinistra il corpo franoso.

Punto n.027

Affioramento di Filladi quarzifere con evidenti pieghe di crenulazione.



Fig. 15-28 Particolare delle pieghe, ben evidente quella che interessa il livello quarzoso in destra.

Punto n.028

Affioramento di Filladi quarzifere intensamente tettonizzate in deformazione duttile.



Fig. 15-29 Particolare delle pieghe evidenziate dagli interstrati ricchi in quarzo.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	227 di 268

Punto n.29

Affioramento di probabili porfiroidi associati alle Filladi quarzifere, ovest del paese di Laion.



Fig. 15-30 Particolare dell'apparente granulometria grossolana.

Punto n.30

Frana per crollo all'interno di ammasso roccioso costituito da Filladi quarzifere, ovest di Laion.



Fig. 15-31 Corpo di frana per crollo.

Punto n.31

Frattura di sviluppo decametrico con evidenti aperture, in alcuni settori maggiore di 20 cm, riempita da materiale misto leggermente umido.



Fig. 15-32 Particolare della frattura sub-verticale.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	<b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A	FOGLIO 229 di 268

Punto n.32

Depositi fluvioglaciali lungo la strada che da Ponte Gardena porta a Laion.



Fig. 15-33 Sabbie e conglomerati all'interno dei depositi fluvio-glaciali, parte bassa della Val Gardena.

Punto n.34

Affioramento di Filladi quarzifere con evidente piano di frattura sub-verticale



Fig. 15-34 Frattura sub-verticale, a ovest di Laion.

Punto n.35

Strada alta della Val Gardena, affioramento di Filladi quarzifere con evidenti fratture e superfici di movimento sub-verticali



Fig. 15-35 Piano di scorrimento verticale con indicatori di direzione.

Punto n.36

Affioramento di Filladi quarzifere in sinistra idrografica del fiume Isarco, all'altezza della cittadina di Chiusa.



Fig. 15-36 Particolare di pieghe di crenulazione.

Punto n.37

Affioramento caratterizzato dalla presenza di un piano di faglia sub-verticale a direzione NW-SE.

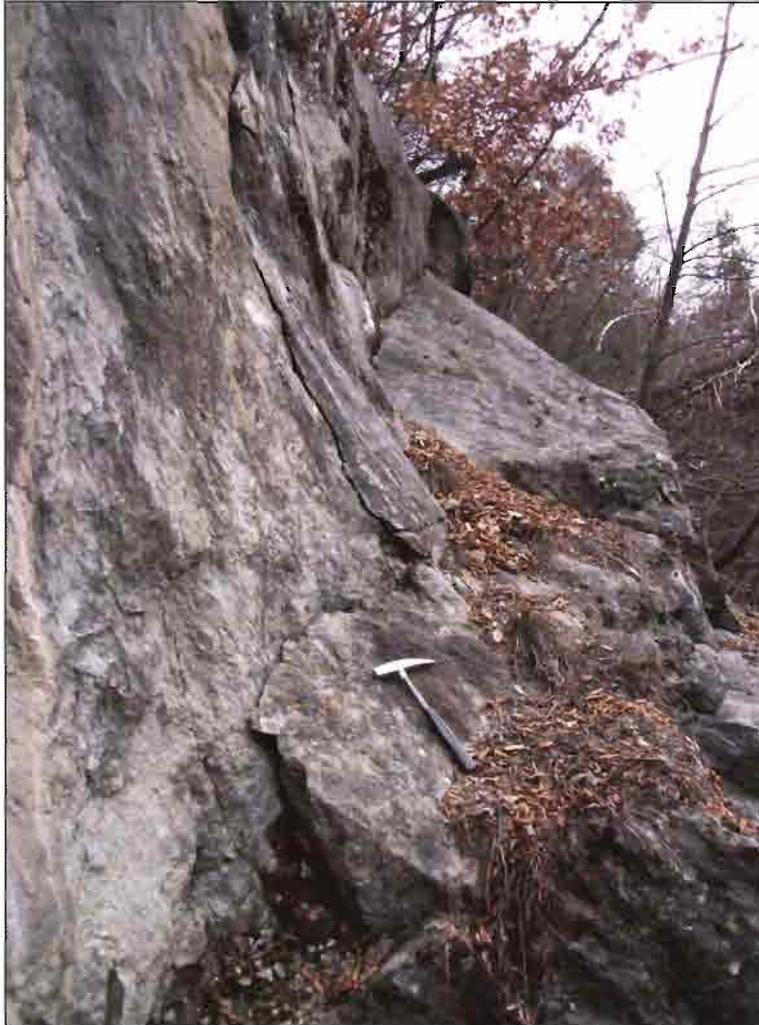


Fig. 15-37 Particolare della faglia sub-verticale e del suo sviluppo nell'affioramento.

Punto n.41

Affioramento di Filladi quarzifere a valle dell'autostrada A22 del Brennero, a nord di Ponte Gardena.



Fig. 15-38 Particolare dei due sistemi di frattura principali.

Punto n.42

Affioramento di Filladi quarzifere al limite meridionale dell'area in frana a nord di Ponte Gardena



Fig. 15-39 Particolare dei rapporti tra scistosità e fratturazione.

Punto n.43

Frana di scivolamento ad attività probabilmente quiescente, a monte del viadotto dell'autostrada A22 del Brennero.



Fig. 15-40 Particolare del corpo di frana.

Punto n.45

Affioramento di Filladi quarzifere interessate da un piano di faglia a movimento orizzontale e giacitura sub-verticale.



Fig. 15-41 Particolare della zona cataclastica.

Punto n.47

Faglia trascorrente sub verticale in destra idrografica del fiume Isarco



Fig. 15-42 Particolare del piano di movimento.



Fig. 15-43 Particolare delle brecce di faglia.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A	FOGLIO 235 di 268

Punto n.51

Affioramento di Filladi quarzifere a nord di Ponte Gardena, in evidenza la scistosità a basso angolo immergente verso destra.



Fig. 15-44 Particolare della scistosità di secondo ordine.

Punto n.52

Affioramento caratterizzato da frattura verticale aperta e riempita da depositi quaternari.



Fig. 15-45 Particolare del riempimento costituito da depositi fluvio-glaciali.

Punto n.53

Affioramento interessato da un piano di faglia inversa a est dell'abitato di Gudon; sono evidenti sia il piano di movimento che le rocce di faglia associate.

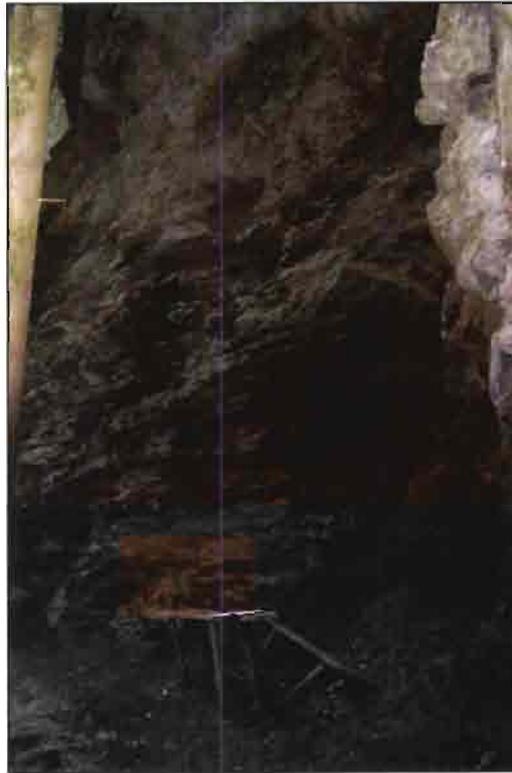


Fig. 15-46 faglia inversa all'interno delle Filladi quarzifere.



Fig. 15-47 Particolare delle breccie di faglia.

Punto n.55

Affioramento di Filladi quarzifere in sinistra idrografica della Val di Funes.



Fig. 15-48 Panoramica delle Filladi quarzifere intensamente fratturate che caratterizzano questo settore della valle.

Punto n.56

Depositi fluvio-glaciali in versante sinistro della Valle d’Isarco, all’altezza della città di Gudon



Fig. 15-49 Particolare dei depositi sabbiosi sormontati da detriti di versante.

Punto n.57

Affioramento tipico di depositi fluvio-glaciali, caratterizzato da superfici di discordanza, ciottoli di dimensioni variabili e litofacies di tipo fluviale.



Fig. 15-50 Contatto discordante entro i depositi fluvio-glaciali.

Punto n.58

Affioramento di Filladi quarzifere interessate da un sovrascorrimento a basso angolo con sviluppo di cataclasiti.



Fig. 15-51 Particolare del piano di faglia.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	239 di 268

Punto n.60

Affioramento di Anfiboliti con sviluppo di scistosità appartenenti al Basamento metamorfico ercinico.



Fig. 15-52 Affioramento di Anfiboliti, a nord del casello autostradale di Chiusa, A22 del Brennero.



Fig. 15-53 Particolare della scistosità.

Punto n.61

Affioramento di Filladi quarzifere interessate da numerosi piani di faglia inversa a medio ed alto angolo.



Fig. 15-54 Particolare di un piano di faglia inversa.

Punto n.62

Affioramento lungo la Val di Funes, di Filladi quarzifere interessate da una faglia inversa ad alto angolo.



Fig. 15-55 Particolare del piano di faglia.

Punto n.63

Affioramento di Filladi quarzifere con interstrati particolarmente ricchi in quarzo, interessati da pieghe parallele.



Fig. 15-56 Particolare delle pieghe.

Punto n.65

Affioramento di anfiboliti caratterizzato da fratturazione sub-verticale a franappoggio sul versante sinistro della Val di Funes.



Fig. 15-57 Fratture verticali sulle Anfiboliti, nord-ovest di Gudon.

Punto n.66

Bassa Val di Funes, sinistra idrografica: affioramento di Filladi quarzifere particolarmente ricca in quarzo (Paragneiss auct.)

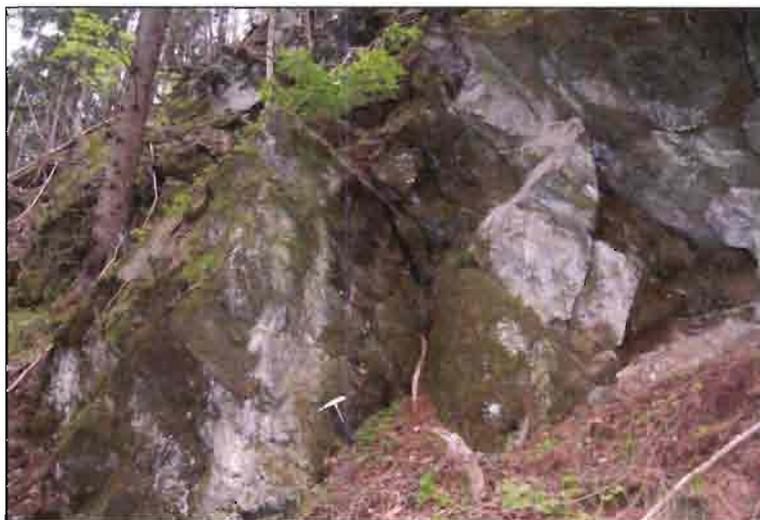


Fig. 15-58 Filladi quarzifere molto ricche in quarzo (Paragneiss), evidente la scistosità e almeno due sistemi di frattura principali.

Punto n.67

Affioramento in sinistra idrografica della bassa Val di Funes, trattasi di Filladi quarzifere intensamente tettonizzate e interessate da una faglia inversa. Sono stati rilevati numerosi indicatori cinematici che indicano una generale spinta verso NW.



Fig. 15-59 Particolare della intensa tettonizzazione nell'affioramento di filladi.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	<b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	243 di 268

Punto n.68

Affioramento di anfiboliti su versante instabile; i sistemi di frattura sono la causa principali dei crolli rilevati.



Fig. 15-60 Paramassi parzialmente deformato da frana di crollo su anfiboliti erciniche.

Punto n.69

Affioramento lungo la strada più occidentale che dalla Val di Funes porta a Tiso; trattasi di vulcaniti riconducibili ai filoni basici del Gruppo Vulcanico Atesino, magmatismo permiano.



Fig. 15-61 Filoni basici di Tiso.

Punto n.70

Affioramento lungo la strada che porta a Tiso passando per l'abitato di Nave; trattasi di Filladi quarzifere intensamente deformate, si evidenziano pieghe e piani di faglia inversi a trasporto verso NW.



Fig. 15-62 Filladi quarzifere deformate in regime semi-duttile.



Fig. 15-63 Particolare di una struttura a piega-faglia con senso di trasporto verso sinistra (NW).

Punto n.71

Affioramento lungo la strada che collega Nave a Tiso; trattasi di contatto termometamorfico tra i filoni basici permiani (rocce più scure in basso a destra) e le rocce incassanti costituite da Filladi quarzifere. Si evidenzia la presenza di piccoli rigetti verticali al centro dell'affioramento.



Fig. 5-64 Particolare delle faglie minori che rigettano il contatto tra le due rocce.

Punto n.7

Affioramento di lave andesitiche e livelli conglomeratici del complesso vulcanico atesino.



Fig. 5-65 Particolare della stratificazione all'interno delle facies più grossolane.

Punto n.77

Affioramento di depositi fluvio-glaciali lungo la strada che porta a Snodres di Sopra; si evidenziano la presenza di grossi clasti sospesi nella matrice sabbioso-conglomeratica



Fig. 15-66 Depositi fluvio-glaciali stratificati.

Punto n.78

Affioramento di Granito nel settore settentrionale dell'area rilevata (sud-ovest di Fortezza); si nota una evidente frattura molto inclinata che presenta numerosi indicatori cinematici riferibili ad un tipo di movimento orizzontale.

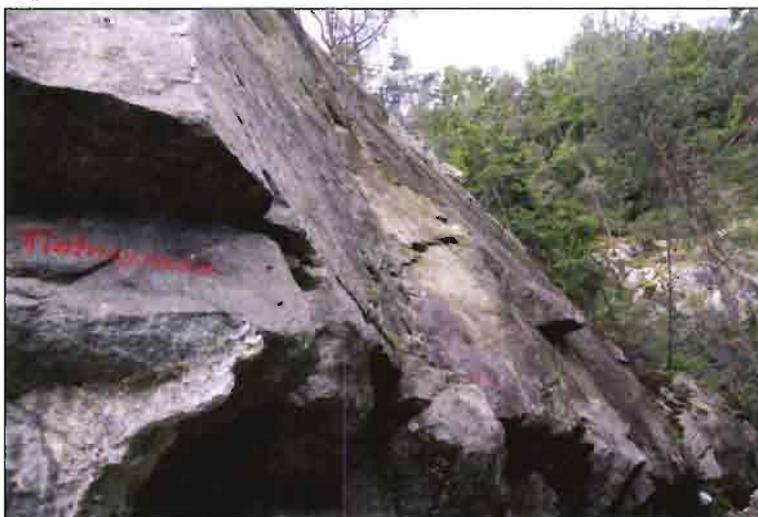


Fig. 15-67 Faglia trascorrente su affioramento di graniti permiani.



Fig. 15-68 Particolare dei gradini di faglia affioranti.

Punto n.79

Zona a est del paese di Fortezza; trattasi di una grossa frattura sub-verticale a direzione NNE-SSW, attraverso la quale passano detriti di versante trasportati in fase di piena.



Fig. 5-69 Particolare dei detriti di versante rimaneggiati e trasportati dal torrente.

Punto n.80

Affioramento di granito lungo la linea ferroviaria; si evidenziano i due sistemi di frattura principali.



Fig. 5-70 Granito di Bressanone con sistemi di frattura molto ben strutturati e visibili.

Punto n.81

Area in destra idrografica della Valle dell'Isarco, Fortezza: deposito detritico da colata rapida che insiste sull'abitato.



Fig. 5-71 Particolare delle difese di versante

Punto n.82

Affioramento lungo la strada che collega il paese di Fortezza alla Valle di Riol in destra idrografica dell'Isarco; trattasi di rocce filladiche che hanno subito un metamorfismo di contatto con i graniti sottostanti (qui non affioranti)



Fig. 15-72 Particolare di un piano di frattura sub-verticale.

Punto n.83

Valle di Riol, complessa ed estesa frana di crollo e, parzialmente di scivolamento all'interno di materiale prevalentemente granitico.



Fig. 15-73 Particolare dei blocchi all'interno della frana.

Punto n.84

Settore settentrionale della città di Bressanone, depositi alluvionali antichi costituiti da sabbie e, nella parte alta da sabbie ghiaiose.

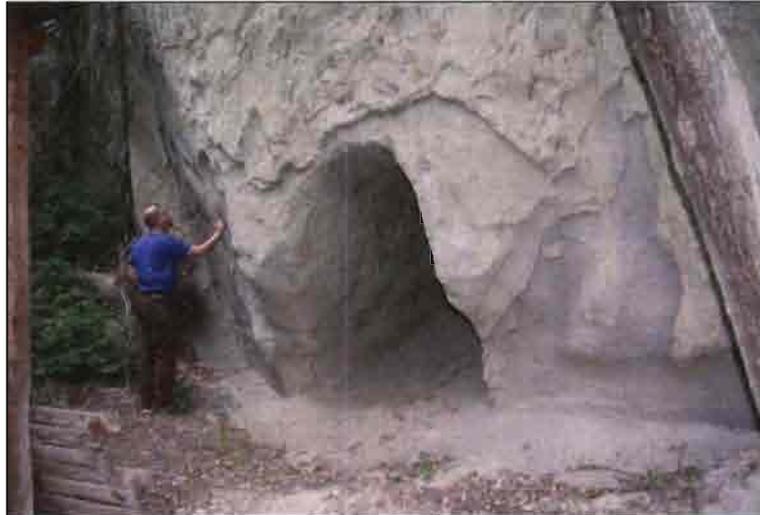


Fig. 15-74 Alluvioni antiche dell'Isarco, particolare della facies sabbiosa basale.

Punto n.85

Alluvioni antiche dell'Isarco, depositi alluvionali sabbiosi misti a ghiaia in proporzioni variabili lateralmente e verticalmente.



Fig. 15-75 Val Riga, cava nelle alluvioni antiche del fiume Isarco.

Punto n.86

Affioramento di Filladi quarzifere attraversate da sistemi di frattura aperti e pervasivi.



Fig. 15-76 Particolare dei sistemi continui e ripetuti all'interno dell'ammasso roccioso.

Punto n.87

Affioramento di granito permiano a nord del lago di Varna; si evidenzia l'esistenza di un fitto sistema di frattura a basso angolo.



Fig. 15-77 Granito di Bressanone a nord del lago di Varna, con sistema di fratture a basso angolo molto fitte.

Punto n.88

Val Scaleres, affioramento di Filladi quarzifere interessate da una grossa frattura sub-verticale a direzione NW-SE.



Fig. 15-78 Particolare del cuneo roccioso creato dalla presenza di due sistemi di frattura a dimensione pluridecimetrica.

Punto n.89

Affioramento di Gabbri appartenenti al sistema magmatico di Bressanone a ovest del Monte Bersagli;, si evidenzia una intensa tettonizzazione di tipo fragile.



Fig. 5-79 Affioramento di Gabbri permiani.

Punto n.90

Affioramento di Filladi quarzifere lungo la strada che porta da Varna a Spelunca, si evidenzia la presenza di una grossa trincea con apertura di circa 4 metri, corrispondente ad un lineamento di tipo fragile a direzione NE-SW.



Fig. 15-80 Trincea da tettonica su Filladi quarzifere.

Punto n.91

Probabile faglia diretta su Filladi quarzifere a sud di Spelunca.



Fig. 15-81 Particolare del piano di faglia che interessa l'affioramento di Filladi.

Punto n.93

Affioramento lungo la statale che collega Chiusa a Bressanone; trattasi di dioriti erciniche con inclusi costituiti da materiale filladico.



Fig. 15-82 Clasti di Filladi inglobati nelle dioriti.

Punto n.94

Torrente sotto la chiesa di Tiles, affioramento di Filladi quarzifere caratterizzate da numerose fratture di dimensioni decametriche.

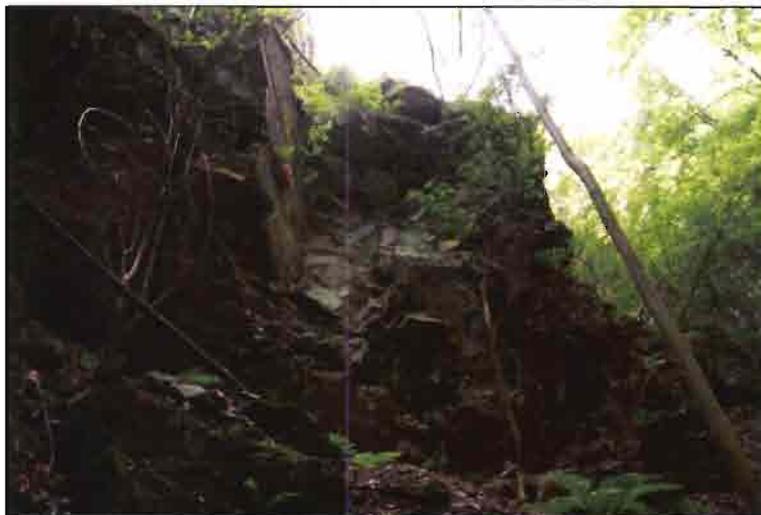


Fig. 15-83. Particolare di una frattura a direzione NE-SW

Punto n.96

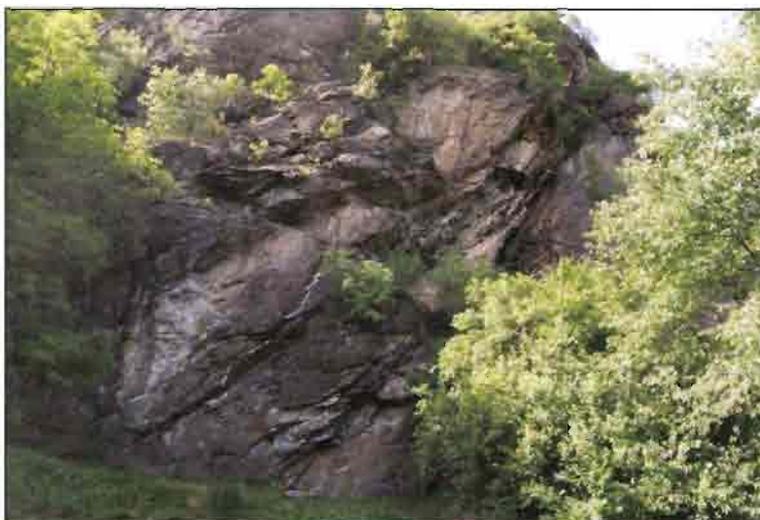
Affioramento in cava lungo la strada che collega Chiusa a Bressanone, trattasi di dioriti erciniche con un intenso sviluppo di tettonica fragile.



Fig. 5-84. Particolare di una faglia sub-verticale a movimento indeterminato.

Punto n.97

Località La Mara, Bressanone: affioramento di Filladi quarzifere interessato da un evidente sistema di faglie inverse.



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	<b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A	FOGLIO 256 di 268

Fig. 15-85 . Piani di faglia inversa.

Punto n.98

Val di Arzvental, frattura aperta di almeno due metri su affioramenti di Filladi quarzifere.



Fig. 5-86 Frattura sub-verticali di dimensioni metriche.

Punto n.99

Affioramento di dioriti permiane sulla cima del Monte Bersaglio, sono stati evidenziati numerosi sistemi di frattura, regolari e pervasivi.



Fig. 15-87. Dioriti del Monte Bersaglio

Punto n.100

Monte Bersaglio, affioramento di dioriti permiane con fratture beanti.



Fig. 15-88. Dioriti del Monte Bersaglio, particolare dell'apertura decimetrica della fratture presenti.

Punto n.101

Versante settentrionale del Monte Bersaglio, contatto tra Filladi quarzifere e granito.



Fig. 15-89 Contatto tra filladi (a sinistra) e granito (a destra).

Punto n.102

Contatto tettonico ad alto angolo, filladi quarzifere sul versante settentrionale del Monte del Bersaglio.

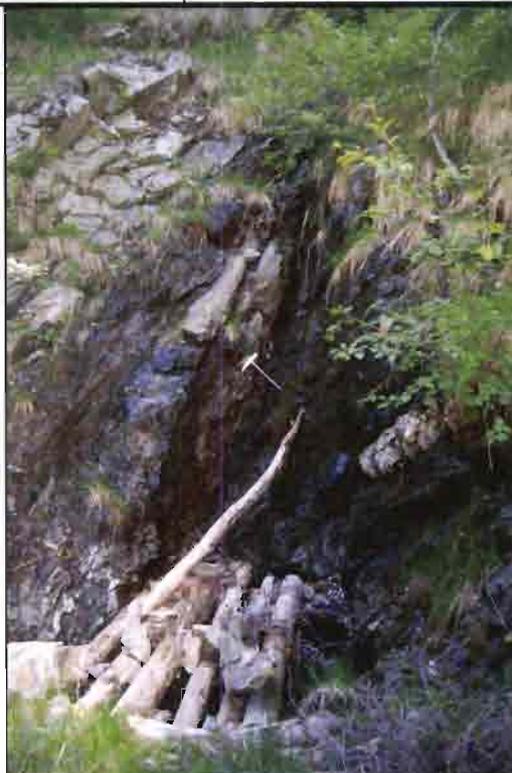


Fig. 15-90 Particolare del contatto tettonico fragile con fuoriuscita di acqua.

Punto n.103

Versante settentrionale del Monte Bersaglio, contatto tettonico a basso angolo che rigetta il contatto tra Dioriti permiane e Filladi quarzifere.



Fig. 15-91 Particolare del rigetto metrico al contatto filladi-diorite.

Punto n.104

Probabile faglia diretta di dimensioni chilometriche che rigetta il contatto esistente tra rocce magmatiche permiane e filladi quarziti.



Fig. 15-92 Parete verticale coincidente con una probabile faglia diretta a direzione NE-SW.

Punto n.105

Probabile faglia diretta all'interno delle Filladi quarzifere a direzione NE-SW, versante settentrionale del Monte Bersaglio.



Fig. 15-93 Faglia diretta su Filladi quarzifere, particolare della zona cataclastica.

Punto n.106

Lago artificiale di Fortezza, versante in sinistra idrografica, affioramento di granito attraversato da una evidente trincea, collegata ad una frattura di dimensioni pluri-decametriche.



Fig. 15-94 Frattura su affioramento di Graniti, Lago di Fortezza.

Punto n.107

Settore ovest della città di Bressanone, frattura decametrica all'interno delle Filladi di Bressanone.



Fig. 5-95 Frattura sub verticale su Filladi quarzifere.

## 16 BIBLIOGRAFIA SOMMARIA

AA.VV. Anisotropie et heterogeneite dr la permeabilite dans les calcaires dissure. Ecl.Geol. Eelv, 62: 613–658

ARPAT (2005). Linee guida per il monitoraggio delle acque sotterranee. A cura di Cristina Conti ed Elisabetta Pezzatini.

Atzeni P., Ceri S., Paraboschi S. & Torlone R. (2009). Basi di Dati: Modelli e linguaggi di interrogazione. McGraw-Hill, Italy.

Avanzini M., Bargossi G.M., Borsato A., Castiglioni G.B., Cucato M., Morelli C., Prosser G. & Sapelza A. (2007) – Note illustrative della carta geologica d'Italia 1:50.000.foglio 026 "Appiano ". Servizio Geologico d'Italia - APAT, 184 pp.

Bargossi G. M, Mair V., Marocchi M., Morelli C., Moretti A. & Piccin G. (2007) - A mega volcano-tectonic collapse between Bolzano and Trento during the Lower Permian. MinPet 2007 Abstracts. Mitt. Osterr. Miner. Ges. 153: 34.

Bargossi, G.M. and Rottura, A. and Vernia, L. and Visonà, D. and Tranne, C.A. (1998), Guida all'escursione sul distretto vulcanico Atesino e sulle plutoniti di Bressanone-Chiusa e Cima d'Asta. Memorie della Società Geologica Italiana, v. 53, pp. 23-41.

BBT (2005). Cartografia geologica/Tettonica strutturale/Idrologia-Geochemica, Indagini geognostiche, Analisi bibliografica sui dati idrogeologici di tunnel già scavati.

BBT (2006). Progetto definitivo Galleria di base del Brennero, Progettazione tecnica, Rapporto di idrogeologia.

Bear, J., (1993). Modeling Flow and Contaminant Transport in Fractured Rock Aquifers. Development of Hydraulic Engineering, vol. 4, P. Novak (editor), Elsevier Applied Science, Oxford, England.

Borsi S., Del Moro A. & Ferrara G. (1972), Età radiometriche delle rocce intrusive del Massiccio di Bressanone-Ivigna-Monte Croce (Alto Adige), Boll. Soc. Geol. Ital. V.91, 387-406.

Chesnaux R., Allen D. & S. J. (2009). Regional fracture network permeability using outcrop scale measurements. Engineering geology, 108



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	265 di 268

Civita, M. (2005). Idrogeologia applicata e ambientale. Milano, Italia: Casa Editrice Ambrosiana.

CLARKE I.D. & PETER F. (1997). Environmental Isotopes in Hydrogeology. Lewis.

Clerici A. , Griffini L. & Pozzi R. (1986) – Note sull’impiego della Geomechanics Classification di Z. T. Bieniawski. Atti Congr. Intern. S.I.G. “Grandi Opere Sotterranee”, 2: 530-537, Firenze.

Clerici A., Sfratato F. (2008) - Stima della conducibilità idraulica in ammassi rocciosi - Italian Journal of Engineering Geology and Environment, Special Issue 1: 67 – 75.

Dal Piazz G.V. & Martin S. (1998), Evoluzione litosferica e magmatismo nel dominio Austro-Sudalpino dall’orogenesi varisica al rifting mesozoico. Mem. Soc. Geol. It. V 53, pp 43-62.

Decreto legislativo n. 152 (2006)

Decreto legislativo n. 31 (2001)

Demattcis, A., Kalamaras, G., Eusebio, A. (2001). “A systems approach for evaluating springs drawdown due to tunnelling”, AITES-ITA 2001 World Tunnel Congress, Milano, Italy 10-13 june, II, pp. 257-264.

EEC (2007). Directive 2007/2/CE of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an INfrastructure for SPatial InfoRmation in the European Community (INSPIRE). Technical report, Comunità Europea.

ESRI (2004). ArcGIS 9 - Managing ArcSDE. ESRI, USA.

ESRI (2007). ArcGIS/ArcInfo 9.3 Desktop Help, ESRI, USA. ESRI, USA.

Federico, F. (1984). Il processo di drenaggio da una galleria in avanzamento. R. I. G., 4, 191-208.

Florio M. (2007). Analisi sperimentale dei meccanismi di infiltrazione di acque superficiali in acquiferi carbonatici fratturati dell’Italia meridionale. Tesi di Dottorato, Università’ degli studi di Napoli Federico

Ghezzi, G., Ghezzi, R., Muti, A. (1995) – Carta idrogeologica della Pianura di Piombino. In: La scienza della Terra nell’area della provincia di Livorno a sud del Fiume Cecina. C.N.R., Università di Siena Provincia di Livorno, C.I.G.R.I., Parco archeo-minerario di S. Silvestro. Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno, Suppl. n.2 al vol. 13.

Gonfiantini R. (1982). La composizione isotopica delle precipitazioni. Rendiconti Società Italiana di Mineralogia e Petrografia, 38 (3): 1175–1187.

Goodman R.E., Moye D., Schalkwyk A., Javandel I. 1965. Groundwater inflows during tunnel driving. Geol Soc. America Publication - Engineering Geology, V. 2, p.39-56.

IUGS Sub-commission on the systematic of the igneous rocks (1973), Classification and nomenclature of plutonic rocks, Neus Jahrb. Mineral, Mh., 149-164.

Jiao Y., (1995). Formalizing the systems approach to rock engineering. Ph.D thesis, Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London.

Longinelli A. & Selmo E. (2003). Isotopic composition of precipitation in Italy: a first overall map. Journal of Hydrology, 270 (1): 75–88.

Looser M. (1998). Valorisation des ressources en eaux souterraines par les tunnels. Tesi post-dottorato, Università la Sapienza di Roma.

Luis C. (1974). Introduction a l'idraulique de roches. Bull. B.R.G.M.

Mari, G.M., Motteran, G., Scalise, A.R., Terribili, D., Zattini, N. (1995). Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000. Guida al rilevamento e alla rappresentazione. Quaderni serie III, v. 5, Serv. Geolog. Naz., ISPRA. Roma, 30 pp.

Mazor E. (1991). Applied chemical and isotopic groundwater hydrology. Open University Press.

Meli S. (1994) - I porfiroidi sudalpini delle Alpi Orientali: studio petrografico-geochimico. Ph. D. Thesis, unpublished, University of Padova, Italy, 298 pp.

Meli S. (1995) - Porphyroids in the eastern Southalpine basement: a petrographic and geochemical study. Ph. D. Thesis, University of Padova, Italy, Plinius, 13: 139-144.

Penck A. & Brockner E. (1909) - Die Alpe in Eiszeitalter, vol. III. Tauschnitz ed., Lipsia.

Polubarinova-Kochina, P. Ya. (1962). Theory of ground water movement. Princeton University Press.



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 69RG	GE 00 01 001	A	267 di 268

Raymer, J.H. (2005). Groundwater inflow into hard rock tunnels: a new look at inflow equations. Proceedings of: "Rapid Excavation in Tunneling – RETC", 457-468.

RFI (2003). Progetto preliminare Potenziamento Asse Ferroviario Monaco – Verona, Accesso sud alla galleria di base del Brennero, Quadruplicamento della linea Fortezza – Verona, Relazione idrogeologica idrologica.

Ribacchi, R., Graziani, A., Boldini, D. (2006). Previsione degli afflussi d'acqua in galleria e influenza sull'ambiente. Capitolo 6, pag. 143-199.

Rottura A., Bargossi G.M., Caggianelli A., Del Moro A., Visonà D. & Tranne C.A. (1998), Origin and significance of the Permian high-K calc-alkaline magmatism in the central-eastern Southern Alps, Italy. *Lithos* 45 329–348.

Rovida A., Camassi C., Gasperini P., Stucchi M. (a cura di) (2011). CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>

Sassi F.P. & Zirpoli G. (1989) - The lithostratigraphic sequence in the Southalpine basement of the Eastern Alps. In: F.P. Sassi and A. Zanferrari (eds.), Pre- Variscan and Variscan events in the Alpine-Mediterranean Belts: Stratigraphic Correlatioll Forms. *Rend. Soc. Geol. Ital.*, 12: 397-402.

Sassi F.P., Cesare B., Mazzoli C., Peruzzo L., Sassi R. & Spiess R. (2004) - The cristalline basements of the Italian eastern Alps: a review of metamorphic features. *Per. Mineral.*, Special Issue 2: A showcase of the Italian research in metamorphic petrology, 73: 23-42.

Sato, K. (1983). Hydraulic character of discharge hydrograph for tunnelling. *Soils & Found.* 23, 4, 27-33.

Schaltegger U & Brack P. (2007), Crustal-scale magmatic systems during intracontinental strike-slip tectonics: U, Pb and Hf isotopic constraints from Permian magmatic rocks of the Southern Alps. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* 96:1131–1151.

Snow D. (1969). Anisotropic permeability of fractured media. *Water resources*, pp. 1273–1289. Kiraly L. (1969).

Taylor C.B. & Roether W. (1982). A uniform scale for reporting low-level tritium measurements in water. *The International Journal of Applied Radiation and Isotopes*, 33 (5): 377 – 382.

Thiem, G. (1906). Hydrologische Methoden. Gebhardt. Leipzig. Cited in Kruseman and de Ridder, 1991.

Torri, R., Dematteis, A., Delle Piane, L. (2007) "Drawdown hazard of springs and wells in tunneling: predictive model and Verification". Proc. XXXV IAH Congress, Groundwater and Ecosystems, Lisbon 17-21 Sept. 2007, 10 pp.

Ufficio geologico cantonale B. (1983). Permeabilita' delle rocce - Rapporto interno N. 15. Technical report, Dipartimento dell'economia pubblica - Sezione bonifiche fondiari e catasto.

UNESCO (1970). Leyenda internacional para mapas hidrogeologicos. Decenio Hidrologico Internacional. Paris.

UREY H. (1947). The thermodynamic properties of isotopic substances. Journal of Chemical Society, 1947: 562-581.

Vecoli M., Dieni L, Sassi F. & Servais T. (2008) - Cambrian Acritarcs from the Col di Foglia (Agordo) southalpine metamorphic basement, Italian Eastern Alps: the oldest biostratigraphic record in the alps. Rend. Lincei, 19: 45-55.

Visonà D., Alberti F., Stefani C. & Stenico L. (1987), Le plutoniti di Chiusa, Dosso Lives e Luson: una serie calcicalcina ercinica nelle Alpi-Orientali. Mem. Sc. Geol., v 39, pp. 85-99.

Walter & Lieth (1960) - Klimadiagramm Weltatlas. G. Fischer, Jena

Wittke W. (1990). Rock mechanics. Springer-Verlag

### Pagine Web

[http://geoportale.lamma.rete.toscana.it/bd\\_geo/index.html](http://geoportale.lamma.rete.toscana.it/bd_geo/index.html)

<http://www.rete.toscana.it/sett/territorio/carto/repertorio/geoscopio.htm>

[http://www.regione.toscana.it/regione/export/RT/sitoRT/Contenuti/sezioni/ambiente\\_territorio/geografia\\_geologia/rubriche/piani\\_progetti/visualizza\\_asset.html\\_745035570.html](http://www.regione.toscana.it/regione/export/RT/sitoRT/Contenuti/sezioni/ambiente_territorio/geografia_geologia/rubriche/piani_progetti/visualizza_asset.html_745035570.html)

<http://www.provincia.bz.it/informatica/cartografia/maps-webgis.asp>