

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino
ORDINE INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO
Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche
DOT. PAOLO CUCINO
ISCRIZIONE ALBO N. 2216

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"

RELAZIONE

05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA

A - Relazioni

Generali

Relazione idrogeologica

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO Ing. Pietro Gianvecchio		-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I B O U	1 B	E	Z Z	R G	G E 0 0 0 0	0 0 2	B

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione a seguito di completamento indagini integrative	P.Perello	18/03/2022	A.Damiano	21/03/2022	D.Buttafoco (Dolomiti)	25/03/2022	 IL PROGETTISTA A. Damiano DAMIANO GEOLOGO A.P. SEZ. A N. 456 15/12/2022
B	Emissione a seguito di istruttorie e interlocuzioni	P. Perello	01/12/2022	A.Damiano	02/12/2022	D.Buttafoco (Dolomiti)	05/12/2022	

File: IB0U1BEZZRGGE0000002B.docx

n. Elab.:

APPALTAZIONE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 1 di 189

SOMMARIO

1. PREMESSA	4
2. NORMATIVA E STRUMENTI TERRITORIALI DI RIFERIMENTO	5
3. DATI DISPONIBILI	6
3.1 DATI DI BASE.....	6
3.2 CAMPAGNE DATI IDROGEOLOGICI.....	7
4. BILANCIO IDROLOGICO	9
4.1 BACINI IDROGRAFICI	9
4.2 RACCOLTA ED ANALISI DEI DATI CLIMATICI	10
4.2.1 Precipitazioni.....	12
4.2.2 Temperature	13
4.2.3 Evapotraspirazione.....	15
4.2.4 Indice di aridità.....	17
4.3 STIMA DELL'INFILTRAZIONE	17
5. PERMEABILITÀ DELLE FORMAZIONI DELL'AREA DI PROGETTO E SUDDIVISIONE IN COMPLESSI IDROGEOLOGICI	25
5.1 CDR - COMPLESSO DETRITICO.....	35
5.2 CAL – COMPLESSO ALLUVIONALE	36
5.3 CGL - COMPLESSO GLACIALE E COLLUVIALE	37
5.4 CFL - COMPLESSO FILLADICO	39
5.5 CGC - COMPLESSO GRANODIORITICO E CORNUBIANITICO	41
5.6 CPG - COMPLESSO PORFIRICO E GABBRO-BASALTICO	43
5.7 CGN - COMPLESSO GNEISSICO	44
5.8 QUADRO DI SINTESI DEI COMPLESSI IDROGEOLOGICI NELL'AREA DI PROGETTO	45
6. RISORSE IDRICHE DELL'AREA DI PROGETTO	48
6.1 PORTATA DELLE SORGENTI	48
6.1.1 Sorgenti B_000834 e B_000835	52
6.1.2 Sorgente B_000761 Gruberwiesen	53
6.1.3 Sorgenti B_000742 e B_000745 Nockbach Mittlere e Untere	57
6.1.4 Sorgente B_000740 Mellauner Kuchl.....	58

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	2 di 189

6.1.5	Sorgente B_000789 Stollenquelle-Griesserhof.....	59
6.1.6	Sorgenti della valle del Rio Snodres: B_000919 Hinterwiesenquelle, B_000920 Quelle C, B_001114 Prarrerbrunnquelle, B_001115 Schwarzbrunnquelle, B_001116 Jörgenbrunnquelle	60
7.	GEOCHIMICA E GEOCHIMICA ISOTOPICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE.....	63
7.1	PARAMETRI CHIMICO-FISICI.....	63
7.1.1	Total Dissolved Solids (TDS)	63
7.1.2	Conducibilità elettrica specifica (Cs)	67
7.1.3	Temperatura (T)	71
7.1.4	Facies idrogeochimiche delle acque delle sorgenti.....	74
7.1.5	Indice di saturazione in calcite per le acque delle sorgenti	83
7.1.6	Facies idrogeochimiche dei piezometri.....	84
7.1.7	Facies idrogeochimiche dei pozzi.....	92
7.1.8	Facies idrogeochimiche delle acque superficiali	93
7.2	GEOCHIMICA ISOTOPICA DELLE ACQUE NELL'AREA DI PROGETTO	94
7.2.1	Isotopi stabili	95
7.2.2	Isotopi instabili	106
7.3	CONCLUSIONI SUI DATI FORNITI DALLA GEOCHIMICA E GEOCHIMICA ISOTOPICA DELLE ACQUE	114
8.	STIMA DELLE PORTATE DRENATE DALLE OPERE IN SOTTERRANEO	117
8.1	PORTATE TRANSITORIE MASSIME.....	118
8.1.1	Metodo di calcolo.....	118
8.1.2	Risultati.....	121
8.1.3	Schematizzazione dei parametri legati alle portate sui profili idrogeologici	127
8.2	PORTATE TRANSITORIE CUMULATE E PORTATE STABILIZZATE	129
8.2.1	Metodo di calcolo.....	129
8.2.2	Risultati.....	132
8.2.3	Raffronto fra portate stabilizzate e infiltrazione efficace	139
9.	VALUTAZIONE DEL GRADO DI PERICOLOSITÀ DI INTERFERENZA SULLE RISORSE IDRICHE	141
9.1	DESCRIZIONE SINTETICA DEI PRINCIPI DEL METODO DHI.....	141
9.2	RISULTATI DELLA VALUTAZIONE DI PERICOLOSITÀ DI INTERFERENZA	146
9.2.1	Sorgenti	146
9.2.2	Pozzi.....	152

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	3 di 189

9.2.3	Corsi d'acqua	153
9.2.4	Compensazioni	157
10.	ASPETTI GEOTERMICI.....	161
10.1	ANALISI DEI DATI	162
11.	ASPETTI LEGATI ALLE EMISSIONI GASSOSE	170
11.1	METANO	170
11.2	ACIDO SOLFIDRICO	171
11.3	BIOSSIDO DI CARBONIO	172
11.4	AZOTO	172
11.5	RADON.....	172
12.	CHIMISMO DELLE ACQUE E POTENZIALI CONDIZIONI DI ATTACCO CHIMICO SU CALCESTRUZZO..	175
12.1	PREMESSA E RIFERIMENTI NORMATIVI	175
12.2	CRITERI UTILIZZATI	175
12.3	DATI DISPONIBILI PER LE ACQUE DELLA ZONA DI PROGETTO	176
12.4	ANALISI DEI DATI	176
13.	BIBLIOGRAFIA.....	179
14.	APPENDICE 1 – INTERFERENZA SULLE SORGENTI.....	181
15.	APPENDICE 2 – INTERFERENZA SUI POZZI	188

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	4 di 189

1. PREMESSA

Lo studio idrogeologico di Progetto Esecutivo è stato in gran parte mutuato dallo studio di PD e integrato per le parti che richiedono un maggior dettaglio ai fini della progettazione esecutiva. L'aggiornamento dello studio idrogeologico di Progetto Esecutivo tiene conto, inoltre, dello spostamento di tracciato nel settore di Tiles rispetto alla soluzione di PD.

La soluzione progettuale cui si riferisce la presente relazione risulta infatti dalla modifica ipotizzata dall'Appaltatore con comunicazione DWI/U/22/00200/PMG/SC/DB/AR/df del 19/09/2022, confermata da Italferr con comunicazione DGPI.AGPN.PMBRVT.0162327.22.U del 16/12/2022, consistente in una traslazione di circa 340 m verso ovest del tracciato della Galleria Scaleres e derivata dall'individuazione in località Tiles di un contesto geologico diverso. Considerando i medesimi limiti di pendenza (max 12,5 ‰) e raggi di curvatura (min 2.500 metri), tale spostamento planimetrico determina un accorciamento di circa 164 metri di entrambe le canne della Galleria Scaleres ed una variazione altimetrica che si va ad esaurire nella galleria Gardena.

Lo studio è finalizzato alla ricostruzione del sistema idrogeologico interessato dall'opera. Particolare riguardo è stato posto alle condizioni di circolazione sotterranee, studiando i parametri chimico-fisici, idrochimici ed isotopici dei punti d'acqua ritenuti significativi dal punto di vista sia della risorsa pubblica sia geologico. Sono stati inoltre ricercati gli eventuali possibili effetti indotti dallo scavo delle gallerie sulle sorgenti e sulle acque superficiali. Dato il buon livello di dettaglio degli approfondimenti eseguiti in sede di Progetto Definitivo, la valutazione delle interferenze è stata sostanzialmente riconfermata, fatte salve minime revisioni, che però non interessano le principali risorse sfruttate ad uso idropotabile.

È stata altresì condotta una valutazione delle potenziali interferenze con i circuiti idrogeologici prossimi all'asse del tracciato effettuando una stima sulle eventuali portate drenate dalle gallerie.

L'area oggetto delle valutazioni idrogeologiche 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 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 Ovest essi coincidono con il limite di bacino del Fiume Isarco. Verso Est, in via del tutto teorica, i limiti dell'area da investigare corrisponderebbero con il limite di bacino del Rio Funes, che tuttavia è molto esteso e che verso est comprende un contesto del tutto estraneo a quello interessato dalle opere in progetto, costituito dalle coperture carbonatico-terrigene del Sudalpino. In questo caso l'estensione dell'area di interesse idrogeologico è stata limitata a settori in cui il substrato è costituito da litotipi simili a quelli delle opere in progettazione e in cui ragionevolmente possono estendersi effetti di drenaggio.

Dal punto di vista cartografico è stata restituita alla scala 1:25.000 una carta idrogeologica generale che comprende l'area dei suddetti bacini, una carta alla scala 1:2.500 riguardante una fascia estesa per circa 4 km a cavallo del tracciato ove sono state approfondite le conoscenze geologiche e una carta di valutazione della potenziale interferenza con i punti d'acqua superficiali (carta del DHI).

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 5 di 189

2. NORMATIVA E STRUMENTI TERRITORIALI DI RIFERIMENTO

Si riporta di seguito l'elenco delle Normative a cui si è fatto riferimento per la stesura della presente Relazione e dei siti istituzionali dove sono stati consultati i dati relativi ai dissesti per l'inquadramento geomorfologico:

- [1] Decreto Ministeriale del 14 Gennaio 2008: "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", G.U. N.29 Del 04.2.2008, Supplemento Ordinario N.30;
- [2] Circolare 2 Febbraio 2009, N. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui Al D.M. 14 Gennaio 2008;
- [3] Geoportale dell'Alto Adige – Rete Civica dell'Alto Adige – Hazard Browser (<https://maps.civis.bz.it/>).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	6 di 189

3. DATI DISPONIBILI

3.1 DATI DI BASE

Per lo sviluppo degli aspetti trattati in questo documento è stata svolta nelle precedenti fasi progettuali (2012-13) 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.

Gli enti fornitori che hanno contribuito al reperimento dei dati utili sono i seguenti:

- 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, raccolta dati inerenti alle derivazioni: ubicazione, titolari della concessione, studi per rilascio concessioni, parametri fisici;
- Ufficio Idrografico Provincia autonoma di Bolzano, raccolta dati inerenti acque superficiali;
- Laboratorio analisi acqua Provincia autonoma di Bolzano, raccolta dati relativi ad analisi chimiche riguardanti le acque di sorgenti e torrenti;
- Ufficio Tutela acque Provincia autonoma di Bolzano, raccolta dati riguardanti analisi chimiche su sorgenti;
- Ufficio Geologia - Laboratorio Prove Materiali Provincia autonoma di Bolzano, 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, Pairedorf, Gereuth, Verdignes, Gudon, Lazfons, Spelonca, Monteponte, Fraina. Raccolta dati riguardante l'ubicazione di punti d'acqua gestiti da ciascun consorzio. ASM Bressanone;
- Ufficio idrografico Provincia autonoma di Bolzano, Dati termo-pluviometrici.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 7 di 189

Nell'ambito del Progetto Definitivo i dati raccolti sono stati inseriti in una Banca Dati georiferita (BDIB - Banca Dati Indagini Brennero) all'interno della quale sono presenti circa 1400 elementi geometrici puntuali tra sorgenti, pozzi, punti torrente e sondaggi geognostici (Figura 1), archiviati con le relative informazioni selezionate.

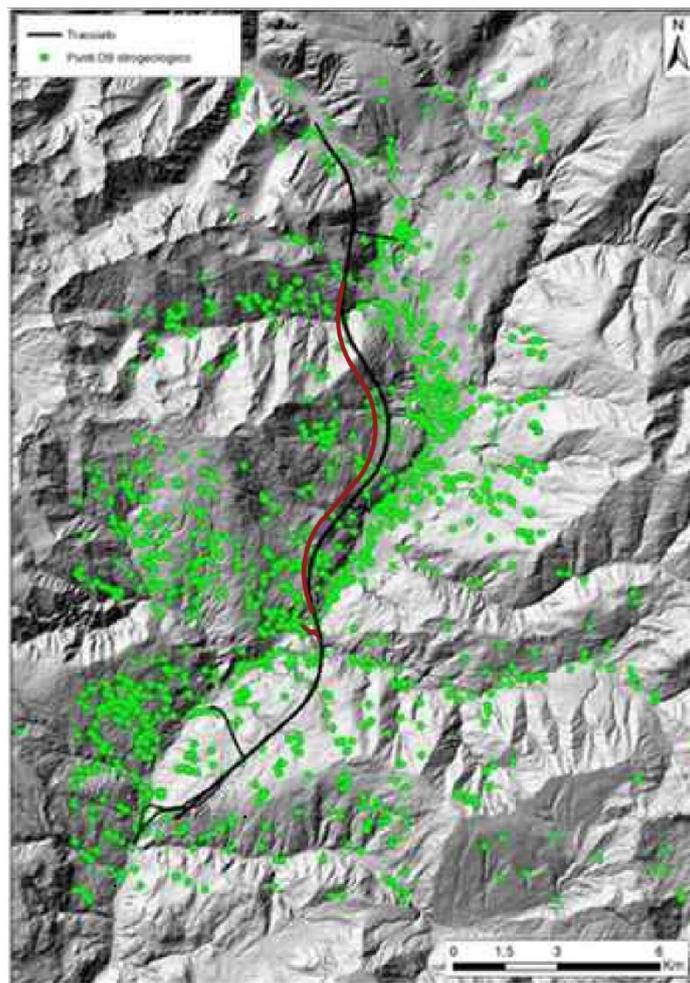


Figura 1: Distribuzione dei punti raccolti nella Banca Dati; in nero il tracciato di PD, in rosso le modifiche progettuali adottate in sede di PE.

3.2 CAMPAGNE DATI IDROGEOLOGICI

Nelle diverse fasi di progettazione sono state eseguite varie campagne idrogeologiche a cura di Italferr S.p.A., nell'ambito delle quali sono stati raccolti dati di tipo chimico-fisico, idrochimico e isotopico su una serie di punti d'acqua selezionati all'interno dell'area interessata dall'opera. Sempre a cura di Italferr S.p.A. sono stati inoltre eseguiti rilievi piezometrici su pozzi e piezometri. Una prima campagna si è svolta durante il 2012; ad essa sono seguite più articolate campagne di monitoraggio idrogeologico durante il periodo luglio 2013-giugno 2014, luglio 2015-luglio 2016. Una ulteriore fase è iniziata ad ottobre 2016 e i dati ad essa riferibili fino al marzo 2019 sono stati integrati negli elaborati di Progetto Definitivo ai fini della costruzione del modello idrogeologico di riferimento che viene sostanzialmente riconfermato nel presente documento e delle

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 8 di 189

valutazioni idrogeologiche che saranno espone nei successivi paragrafi. I vari dati relativi alle suddette campagne di monitoraggio sono raccolti in appositi elaborati del Progetto Definitivo.

Per il Progetto Esecutivo Italferr S.p.A. ha reso disponibili anche i dati successivi al marzo 2019, che arrivano fino all'aprile 2021, i quali sono in continuit  con la campagna iniziata nell'ottobre 2016.

APPALTAZIONE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 9 di 189

4. BILANCIO IDROLOGICO

Ai fini delle valutazioni inerenti alle portate drenabili da parte delle gallerie e dei conseguenti potenziali impatti, è utile disporre di dati di riferimento di massima in merito all'infiltrazione efficace che alimenta i sistemi acquiferi della zona. In fase di Progetto Esecutivo è stata approfondita la tematica relativa alla ricarica potenziale dei corpi idrici sotterranei, già affrontata in sede di PD.

In particolare, è stato elaborato un bilancio idrologico relativo all'area interessata dalle opere, con il principale obiettivo di ottenere delle stime dell'infiltrazione efficace. Tale bilancio costituisce un approfondimento rispetto a quello di PD principalmente per il fatto che alcuni parametri, inerenti ad esempio alla tipologia di copertura vegetale o di substrato roccioso, sono stati tenuti in conto ove non lo erano stati in precedenza, o comunque sono stati meglio indicizzati.

Gli elementi del bilancio idrologico che saranno trattati di seguito sono stati ottenuti attraverso metodologie convenzionali e scientificamente convalidate, applicate in ambiente GIS. La prima operazione è consistita nella delimitazione dei bacini idrografici; successivamente sono stati raccolti ed analizzati i dati meteo – climatici storici dai quali sono stati ricavati i valori di precipitazione, temperatura ed evapotraspirazione media annua. È stata quindi effettuata una ricostruzione spaziale del coefficiente di deflusso con il metodo Kennessey (1930). Dalla combinazione dei valori di piovosità e del coefficiente di deflusso è stata ottenuta la distribuzione spaziale dei valori medi di ruscellamento. In ultimo, utilizzando l'equazione standard del bilancio idrologico, per sottrazione, sono stati ricavati i valori di infiltrazione efficace nel settore di interesse.

4.1 BACINI IDROGRAFICI

Il settore di studio è ubicato nel bacino del Fiume Isarco; complessivamente il tracciato attraversa 8 sottobacini, la cui delimitazione è riportata in Figura 2. Rispetto alla delimitazione totale degli 8 sottobacini, sono state escluse porzioni della loro area. Si tenga conto, infatti, che il presente bilancio idrologico è sviluppato nell'ottica di definire l'infiltrazione potenziale sottesa dall'area di possibile influenza delle opere in sottoterraneo in progetto. A tale scopo sono state escluse dal calcolo del bilancio tutte le aree dei suddetti sottobacini che si trovano a quote inferiori a quelle delle gallerie, in quanto ovviamente da tali aree non può giungere un contributo agli afflussi in galleria, né tantomeno l'infiltrazione efficace attiva su queste aree può essere sottratta alle falde sotterranee.

Si noti che per il bacino B7, oltre alle aree poste a quote inferiori a quelle delle gallerie, sono state eliminate anche tutte le aree poste più ad est, che rientrano nel dominio delle rocce carbonatiche del settore dolomitico. Infatti, oltre ad essere aree molto distanti dal tracciato, sono anche aree che presentano un substrato carbonatico che non viene mai interessato dalle gallerie e che, per la presenza di fenomeni carsici, presenta delle permeabilità e dei tassi di infiltrazione del tutto differenti rispetto a quelli dell'area delle gallerie. Si ritiene estremamente improbabile che quantitativi significativi di acque infiltrate nel substrato carbonatico dolomitico possano essere catturate dalla zona di drenaggio delle opere in progetto.

La quota minima dell'area di bilancio è di circa 500 m, mentre la quota massima è di circa 2500 m. L'estensione areale complessiva è pari a circa 173 km².

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 10 di 189

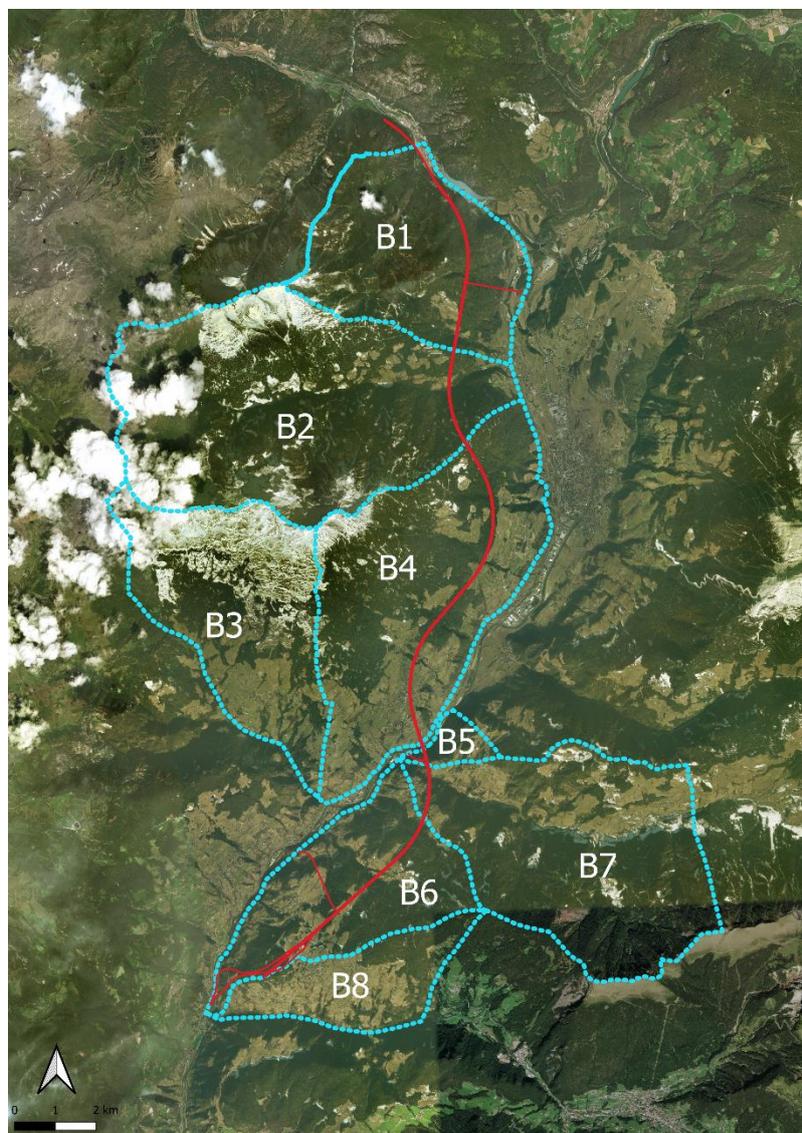


Figura 2: Perimetrazione dei bacini idrografici (in azzurro) presi in considerazione per il bilancio idrologico. In rosso il tracciato in progetto. Estratto su ortofoto Bing.

4.2 RACCOLTA ED ANALISI DEI DATI CLIMATICI

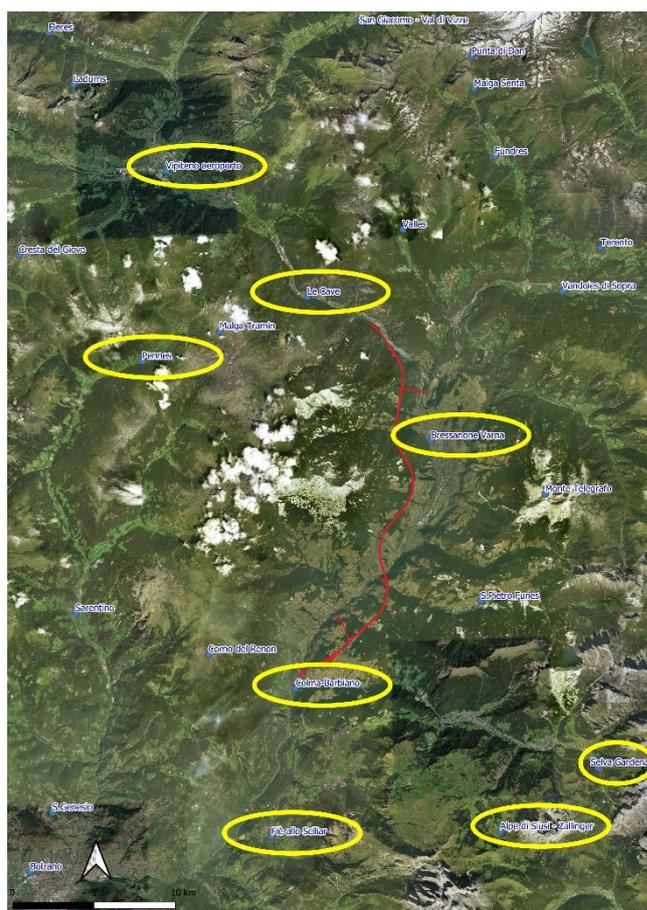
Per ricostruire il tipo climatico della zona di studio sono stati consultati i dati seguenti:

- Banca dati idrologica del geoportale della Provincia Autonoma di Bolzano (<http://geocatalogo.retecivica.bz.it/geokatalog>);
- Il Bilancio Idrologico GIS Based a scala Nazionale su griglia regolare BIGBANG: metodologia e stime. Rapporto sulla disponibilità naturale della risorsa idrica (2021) – ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale;

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 11 di 189

- Spazializzazione di dati climatici per la costruzione di indici di aridità su scala nazionale (2006). N. Gazzea. Tesi di Laurea;
- L. Fanizzi (2016) – Il bilancio idrico annuale (BIA) col metodo del coefficiente di deflusso fisiografico – Scienza e Inquinamento;
- Pistocchi & Neri (2000) – Analisi GIS-based dei fenomeni idrologici per la pianificazione territoriale.

Per la definizione dei parametri climatici sono state consultate le banche dati relative ad alcune stazioni meteorologiche specifiche (Figura 3). Le stazioni sono state definite selezionando sul geoportale della Provincia Autonoma di Bolzano, quelle che hanno a disposizione sia misure di piovosità che di temperatura; inoltre, la selezione è stata fatta anche sulla base della disponibilità di serie di monitoraggio sufficientemente lunghe da poter essere considerate rappresentative dal punto di vista statistico. La figura seguente mostra le stazioni utilizzate; la tabella associata ne riporta la quota.



Stazione	Quota (m slm)
Le Cave	840
Bressanone	590
Valles	140
Colma-Barbiano	464
Fie allo Sciliar	835
Pennes	1452
Vipiteno Aeroporto	939
Alpe di Siusi	2051
Selva Gardena	1594

Figura 3: Ubicazione delle stazioni meteorologiche: con il cerchio giallo sono indicate le stazioni utilizzate per il bilancio idrologico. In rosso il tracciato dell'opera in progetto. Estratto su ortofoto Bing. A fianco è riportata la tabella con le quote altimetriche delle stazioni.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 12 di 189

4.2.1 Precipitazioni

Alcune tra le stazioni selezionate hanno delle serie storiche di misura che partono dagli anni '20 del secolo scorso ed arrivano al 2021; per altre stazioni i dati sono disponibili solo dagli ultimi decenni. Per ciascuna stazione è stata effettuata una media delle precipitazioni cumulate annue relative al periodo di misura.

Nel diagramma di Figura 4 è riportata la correlazione tra la precipitazione media annua e la quota delle stazioni per le sole stazioni con serie di dati complete dagli anni '20 del secolo scorso ad oggi. Il diagramma di Figura 5 mostra invece la medesima correlazione per il solo decennio 2010 – 2020 e include quindi i dati di tutte le stazioni esistenti, ovvero, alle stazioni usate per costruire il diagramma di Figura 4 si aggiungono anche le stazioni che hanno dati solo a partire dal 2010. È interessante notare che, mentre la pendenza della retta che interpola i vari dati è sostanzialmente la stessa nei due casi, i valori assoluti di precipitazioni medie cumulate annue per l'ultimo decennio sono maggiori. Questa differenza è probabilmente da imputarsi agli effetti del cambiamento climatico.

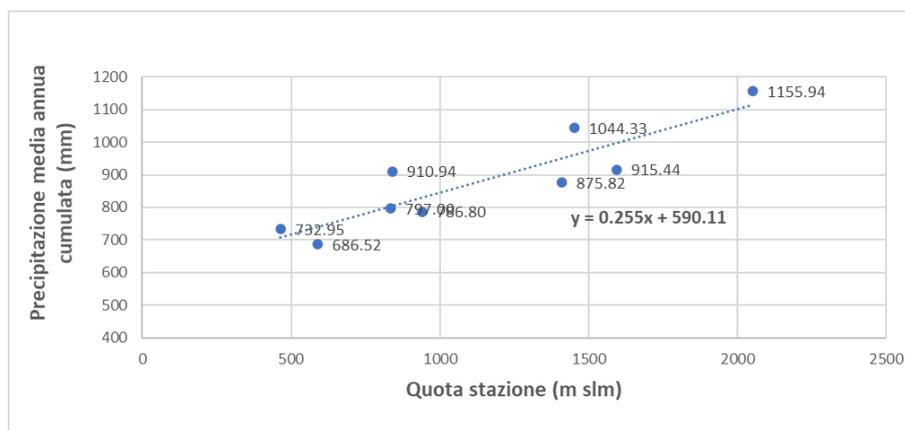


Figura 4: Grafico della piovosità media annua rispetto alle quote delle stazioni di riferimento, serie complete, tutte le stazioni.

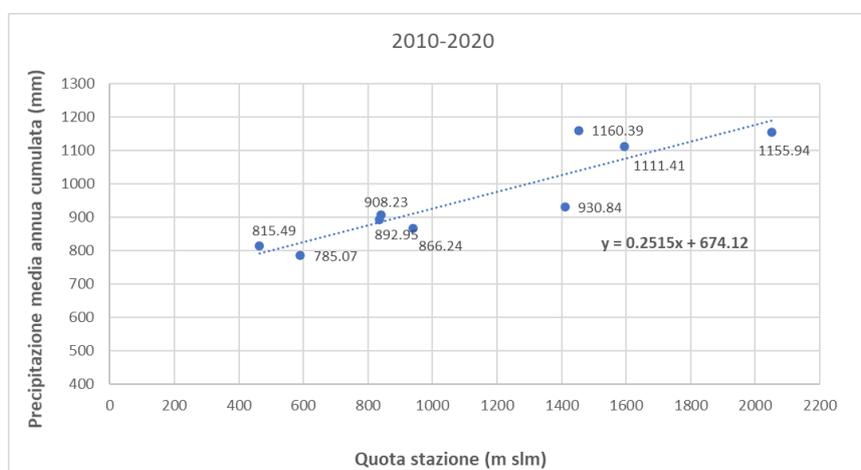


Figura 5: Grafico della piovosità media annua rispetto alle quote delle stazioni di riferimento, anni 2010 – 2020.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 13 di 189

È presumibile che il diagramma di Figura 5, relativo al periodo 2010-2020, inquadri meglio la tendenza climatica futura e pertanto sono stati utilizzati i dati in esso rappresentati.

Dai valori medi di precipitazione cumulata annua è stata quindi ricavata la relazione tra i dati di precipitazione e la quota. L'equazione della retta è la seguente:

$$y = 0.2515x + 674.12.$$

ove y rappresenta la precipitazione media annua e x la quota topografica.

La funzione ottenuta è stata utilizzata, in ambiente GIS, per ricavare la distribuzione della piovosità media alle diverse quote all'interno dei bacini idrografici. L'estrapolazione dei valori medi annui di precipitazione è riportata nella figura seguente.

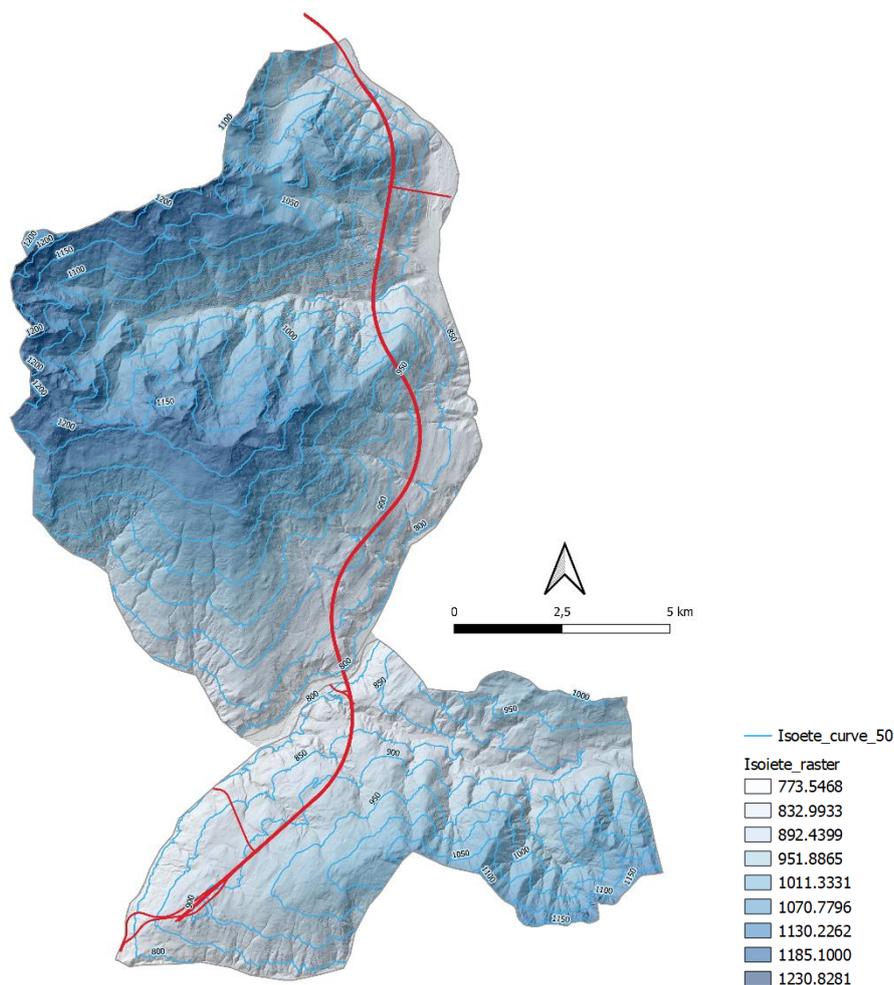


Figura 6: Carta della distribuzione della piovosità media annua con riportate le isoiete di riferimento in mm. In rosso il tracciato dell'opera in progetto.

4.2.2 Temperature

Lo stesso procedimento utilizzato per ricavare i valori delle isoiete è stato applicato per ricavare le isoterme. Per le diverse stazioni sono stati estratti i valori di temperatura media annua; utilizzando questi dati, è stato

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 14 di 189

ricavato il valore a diverse quote e, successivamente, la funzione di dipendenza tra i due parametri. Anche per le temperature sono stati riportati su diagrammi distinti i dati relativi a serie complete dagli anni '20 del secolo scorso ad oggi (Figura 7) e quelli relativi al periodo 2010-2020 (Figura 8), che sono sostanzialmente coperti da tutte le serie disponibili. Nel caso delle temperature non si osserva una differenza significativa fra i due periodi.

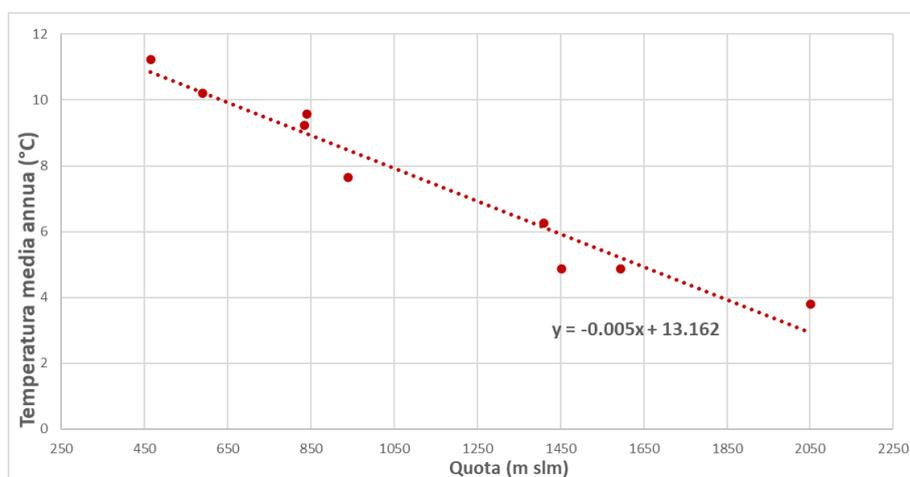


Figura 7: Grafico della temperatura media annua rispetto alle quote delle stazioni di riferimento, serie complete, tutte le stazioni.

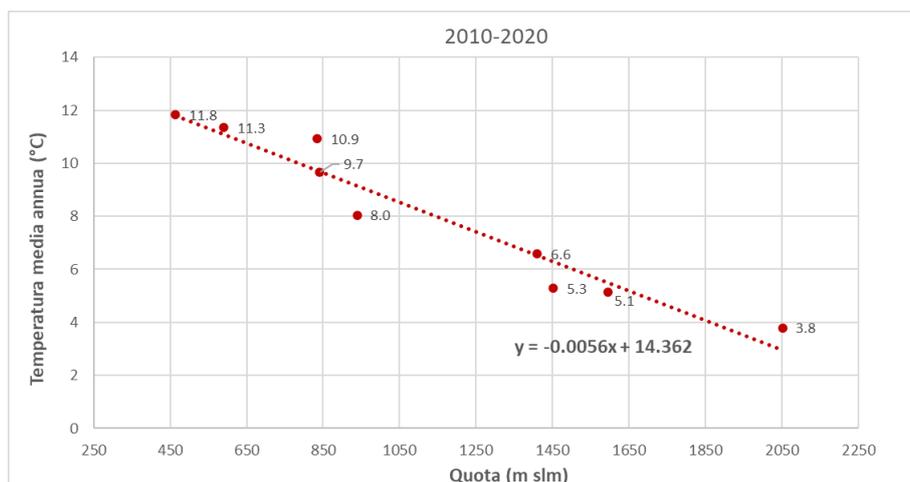


Figura 8: Grafico della temperatura media annua rispetto alle quote delle stazioni di riferimento, anni 2010 – 2020.

In ogni caso, per coerenza con i dati utilizzati per le piovosità, anche per le temperature è stato deciso di fare riferimento al periodo di tempo che va dal 2010 al 2020. L'equazione della retta di correlazione è la seguente:

$$y = -0.0056x + 14.362.$$

ove y rappresenta la temperatura media annua e x la quota topografica.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 15 di 189

Utilizzando tale equazione è stato possibile ricavare la distribuzione della temperatura media alle diverse quote all'interno dei bacini. L'estrapolazione dei valori medi annui di temperatura è stata effettuata in ambiente GIS ed il risultato ottenuto è illustrato nella figura seguente.

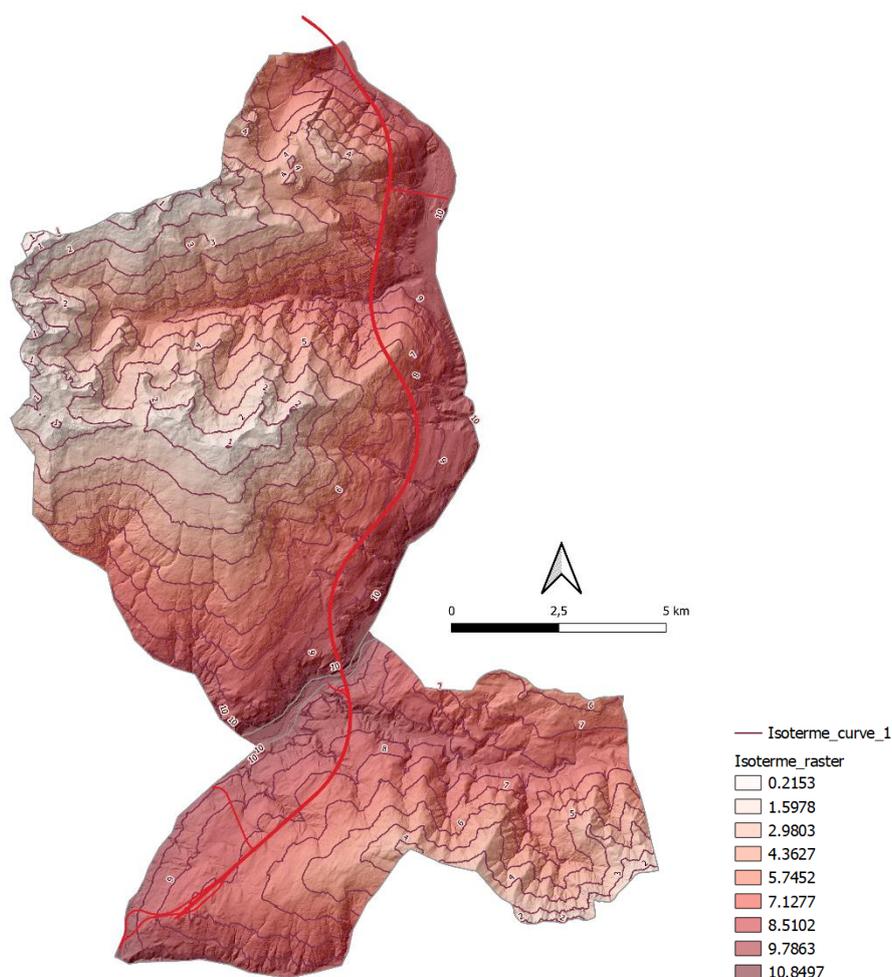


Figura 9: Carta della distribuzione della temperatura media annua con riportate le isoterme di riferimento in gradi centigradi; in rosso il tracciato dell'opera in progetto.

4.2.3 Evapotraspirazione

Il processo di evapotraspirazione è il risultato della somma di due fenomeni che normalmente si verificano su terreni vegetati: l'evaporazione dell'acqua che passa dal terreno all'atmosfera e la traspirazione, ovvero la lama d'acqua che risale al fogliame durante l'attività vegetativa (Tonini, 1959). Risulta essenziale distinguere l'evapotraspirazione potenziale da quella reale: la prima è quella che si avrebbe se il suolo fosse sempre completamente saturo, ipotesi non accettabile con un clima come quello dell'area di progetto; la seconda tiene conto della quantità d'acqua effettivamente disponibile nel terreno, in funzione delle precipitazioni e delle temperature. La formula di Turc permette di calcolare tale valore nel modo seguente:

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 16 di 189

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{f(T)^2}}} \quad (\text{mm})$$

dove:

ETR = evapotraspirazione reale [mm]

P = precipitazione media annua [mm]

T = temperatura media annua in °C

f(T) = coefficiente empirico adimensionale pari a $300+25T+0.05T^3$

Tale equazione è stata utilizzata in ambiente GIS, applicando un calcolo algebrico tra i *raster* delle precipitazioni e temperature riportati in Figura 6 e Figura 9; il risultato dell'elaborazione è illustrato nella figura sottostante.

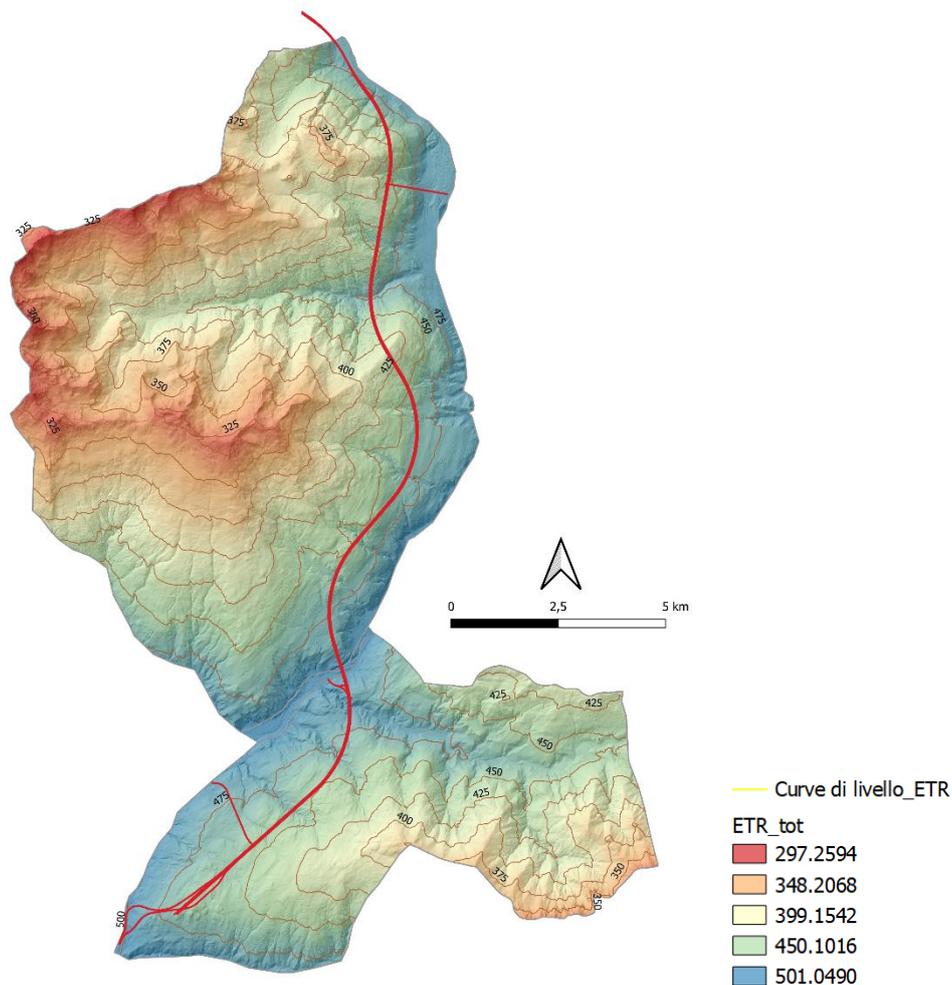


Figura 10: Distribuzione dell'evapotraspirazione; in giallo le curve con valori uguali di evapotraspirazione in millimetri/anno; in rosso il tracciato dell'opera in progetto.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 17 di 189

4.2.4 Indice di aridità

L'indice di aridità permette di sintetizzare l'andamento climatico di una data regione sulla base delle serie storiche di valori di temperatura e precipitazione registrati. In particolare, l'indice di aridità annuo (I_a) di De Martonne (1926) definisce vari gradi di umidità e di aridità in funzione della precipitazione media annua. Utilizzando questo approccio si ottiene un indice di aridità variabile tra 38 e 84 che corrisponde ad un clima di tipo da "umido" a "iperumido". Come si può osservare dalla Figura 11, la classificazione climatica emerge con buona approssimazione anche dall'analisi della spazializzazione di dati climatici per la costruzione di indici di aridità su scala nazionale (Gazzea, 2006). Il progetto ricade all'interno di un settore a clima di tipo "umido".

Il calcolo dell'indice di aridità è funzionale all'applicazione del metodo Kennessey, discusso successivamente e utilizzato per la stima dei coefficienti di ruscellamento.



Figura 11: Stralcio della carta con spazializzazione dell'indice di aridità relativo all'Italia Settentrionale tratto da Gazzea (2006); con il riquadro giallo è indicata l'area di studio.

4.3 STIMA DELL'INFILTRAZIONE

Il calcolo della lama d'acqua di precipitazioni meteoriche che cade sul bacino alimentante i sistemi di flusso, sottratta alla lama d'acqua che si perde per evapotraspirazione e per deflusso superficiale, permette di stimare la quantità d'acqua che alimenta i sistemi idraulici sotterranei nel settore dell'opera in progetto.

A livello generale, la lama d'acqua media infiltrata annualmente nel bacino è ricavata attraverso la seguente equazione standard di bilancio idrologico:

$$I_e = P - ETR - R \quad (1)$$

dove:

I_e = infiltrazione efficace media annua (mm)

P = precipitazioni medie annue (mm)

ETR= evapotraspirazione reale annua (mm)

R = deflusso superficiale medio annuo (mm) calcolato con il metodo di Kennessey (1930)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 18 di 189

I parametri di precipitazioni medie annue (P) e di evapotraspirazione reale annua (ETR) sono noti in quanto sono stati calcolati per il settore in esame e sono discussi nei paragrafi precedenti. Ai fini della stima dell'infiltrazione efficace rimane quindi unicamente da valutare il deflusso superficiale medio annuo (R).

In assenza di misure dirette della portata dei corsi d'acqua in uscita dal bacino (D), al fine di calcolare tale parametro, si è proceduto alla stima di un fattore noto come "CK" utilizzando il metodo proposto da Kennessey (1930), che, come si vedrà di seguito, permette di stimare il deflusso (R) in condizioni fisiografiche e climatiche simili a quelle che si incontrano nel settore di studio.

Il metodo Kennessey prevede di calcolare il deflusso suddividendo il territorio in aree omogenee dal punto di vista della loro acclività "A", copertura vegetale "V" e permeabilità dei terreni affioranti "K". Per ogni area vengono parametrizzati i tre aspetti chiave A, V e K secondo i coefficienti riportati in Tabella 1. La somma dei tre coefficienti fornisce il coefficiente CK di Kennessey ($CK = A + V + K$), quindi, note la precipitazione media (P) e l'evapotraspirazione (ETR), il deflusso superficiale R viene calcolato come:

$$R = CK * (P - ETR) \quad (2)$$

L'equazione (2), che nel calcolo del deflusso tiene conto anche della quota legata all'evapotraspirazione, è stata proposta in lavori recenti come Pistocchi & Neri (2000) e Fanizzi (2016).

Una corretta stima dei coefficienti fisiografici richiede di tenere in considerazione le condizioni climatiche medie dell'area in esame per mezzo dell'indice di aridità medio (I_a). Nel caso dei bacini idrografici considerati nell'analisi, l'indice di aridità risulta variabile tra 37 e 84, con un valore medio di 56. Questo valore determina che la scelta dei coefficienti di deflusso di Kennessey ricada nei valori della terza colonna della tabella seguente (Indice di aridità $I_a > 40$).

Acclività (A)		Coefficienti		
A1	A > 35%	0.22	0.26	0.30
A2	10% < A < 35%	0.12	0.16	0.20
A3	3.5% < A < 10%	0.01	0.03	0.05
A4	A < 3.5%	-	0.01	0.03
Copertura vegetale (V)		Coefficienti		
V1	Roccia nuda	0.26	0.28	0.30
V2	Pascoli	0.17	0.21	0.25
V3	Terra coltivata, boscata	0.07	0.11	0.15
V4	Bosco d'alto fusto	0.03	0.04	0.05
Permeabilità (K)		Coefficienti		
K1	Impermeabile	0.21	0.26	0.30
K2	Media	0.12	0.16	0.20
K3	Buona	0.06	0.08	0.10
K4	Elevata	0.03	0.04	0.05
Indici di aridità (I_a)		< 25	25 < > 40	> 40

Tabella 1: Coefficienti relativi al metodo Kennessey; il riquadro giallo indica i valori da utilizzare in ragione del coefficiente di deflusso stimato per la zona di progetto.

Per quanto riguarda il parametro A, il grado di acclività (in %) è stato ricavato dal DTM scaricato dal geoportale della Provincia Autonoma di Bolzano (<http://geocatalogo.retecivica.bz.it/geocatalog>) con cella 2,5x2,5m; la sua distribuzione è visibile in Figura 12.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 19 di 189

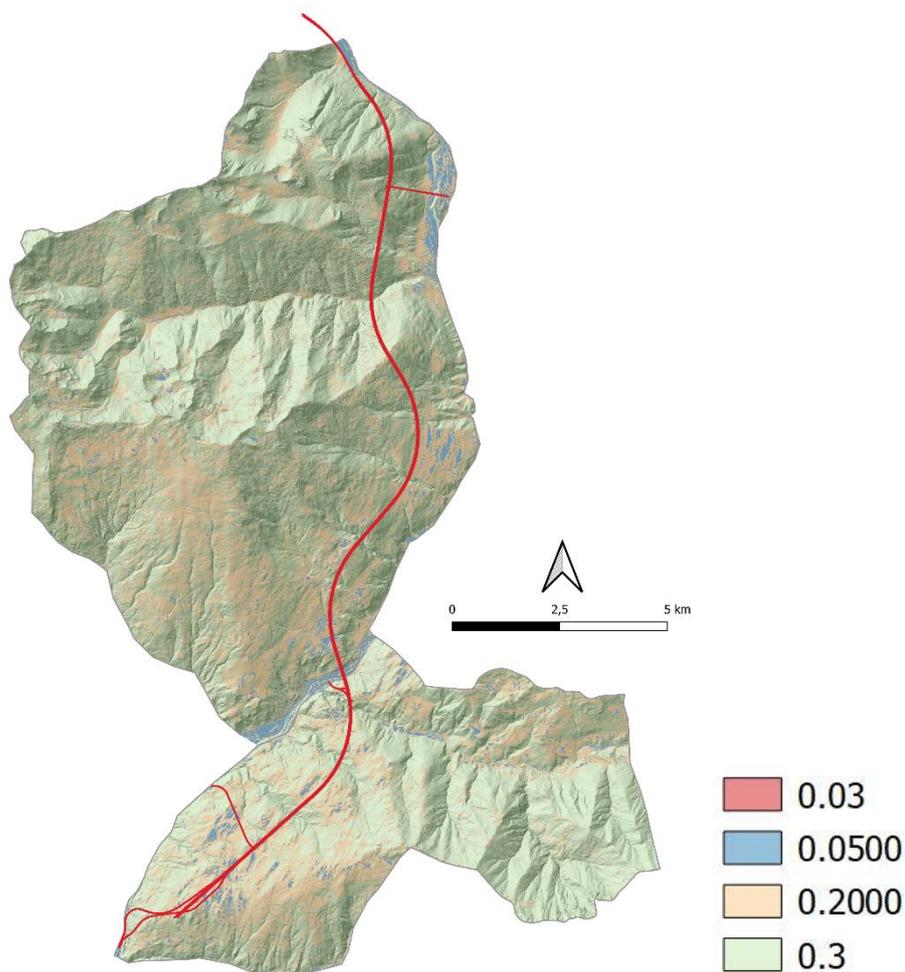


Figura 12: Distribuzione del parametro A di Kennessey, relativo alla pendenza topografica; in rosso il tracciato dell'opera in progetto.

L'uso del suolo – copertura vegetale è stato definito secondo i dati del geoportale della Provincia Autonoma di Bolzano e la distribuzione delle diverse categorie è visibile in Figura 13.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 20 di 189

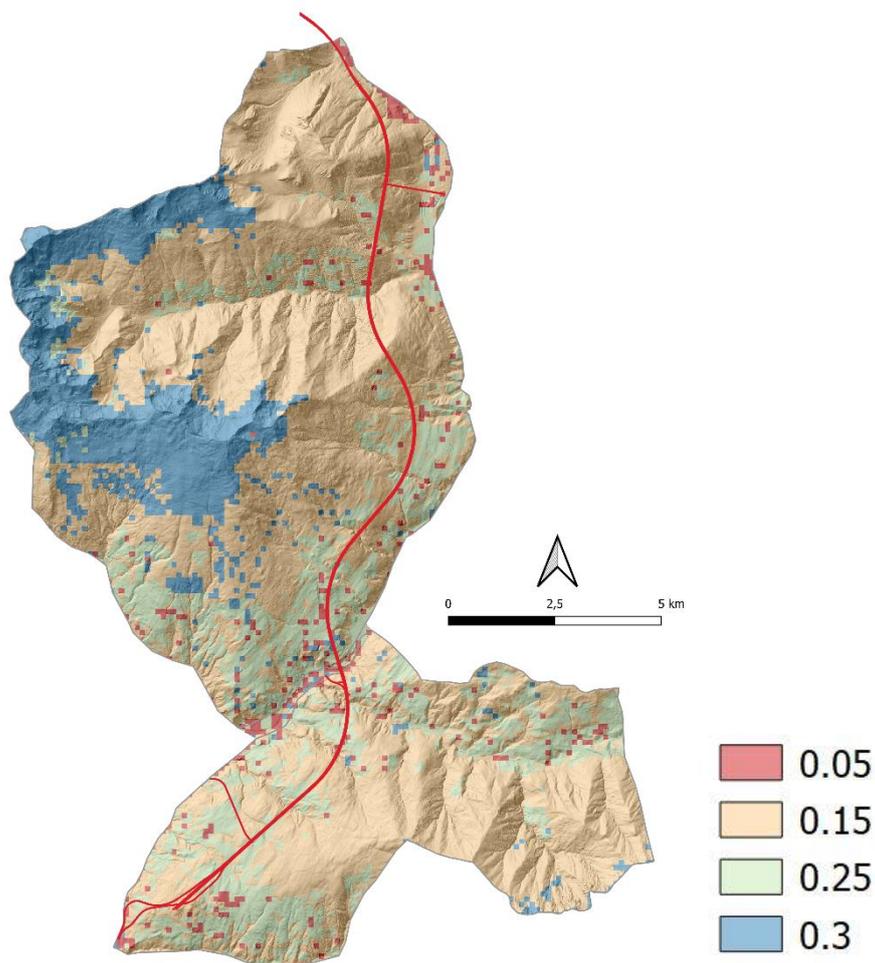


Figura 13: Distribuzione del parametro V di Kennessy, relativo all'uso del suolo – copertura vegetale; in rosso il tracciato dell'opera in progetto.

Infine, il grado di permeabilità delle rocce e depositi è stato definito sulla base delle valutazioni geologiche condotte in campo e degli elaborati geologico-idrogeologici di PE. La distribuzione delle diverse classi è visibile in Figura 14. Ai depositi alluvionali e detritici è stato attribuito un coefficiente K pari a 0.05, mentre alle rocce del substrato sono stati attribuiti valori variabili tra 0.2 e 0.3. Le rocce del substrato nel settore di studio, infatti, sono costituite da litologie con permeabilità in genere poco significative (ad esempio filladi, gneiss e cornubianiti).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 21 di 189

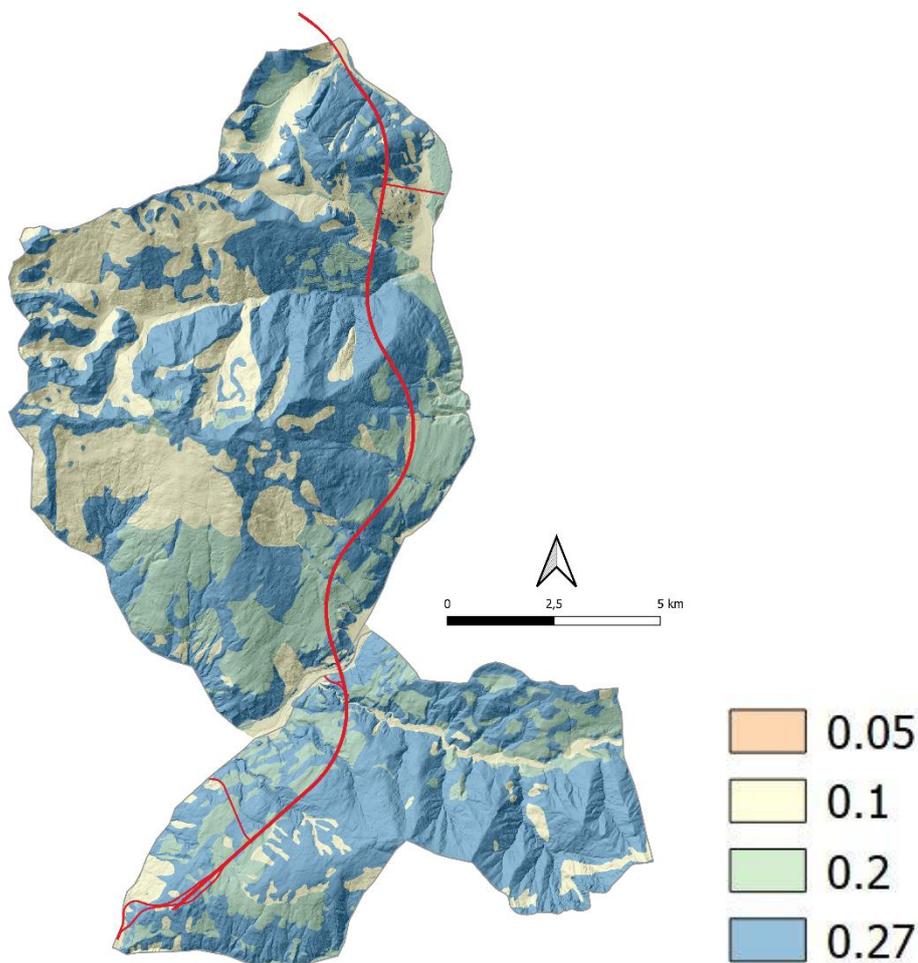


Figura 14: Distribuzione del parametro K di Kennessey, relativo alla permeabilità delle rocce e depositi superficiali; in rosso il tracciato dell'opera in progetto.

Una volta indicizzate su GIS tutte le celle dell'area di interesse per i parametri di cui alle tre precedenti figure, con la relazione (2) è stato ricavato il ruscellamento sull'area di interesse, ottenendo quindi una sua distribuzione in funzione delle condizioni locali di acclività, vegetazione e tipo di terreno.

Utilizzando le informazioni precedenti e applicando la relazione (1) è stata infine ottenuta una stima delle infiltrazioni efficaci I_e , la cui distribuzione è visibile in Figura 15.

I valori di I_e variano da un minimo di 60 mm ad un massimo di 675 mm circa; valori elevati si registrano maggiormente in corrispondenza dei bacini di Scaleres, Rio Tina e Bressanone, su versanti ad acclività media e caratterizzati da copertura detritica. Valori bassi si registrano in corrispondenza di creste ad acclività elevata con affioramento del substrato roccioso.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 22 di 189

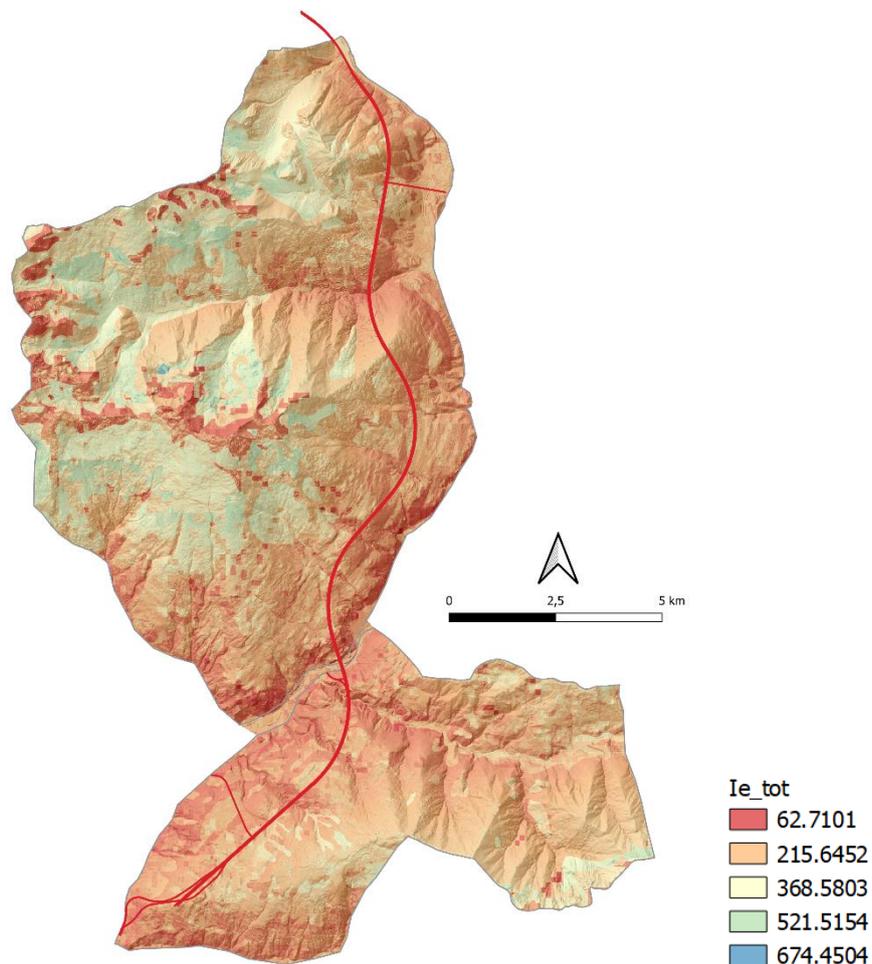


Figura 15: carta di distribuzione delle infiltrazioni efficaci medie (mm/anno). In rosso il tracciato dell'opera in progetto.

Utilizzando i valori di infiltrazione efficace la cui distribuzione è illustrata in Figura 15, è possibile fare delle valutazioni in merito sia all'infiltrazione efficace media annua sui vari bacini dell'area (perimetri in Figura 2) sia all'infiltrazione delle aree sottese dalle gallerie (Figura 16).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 23 di 189

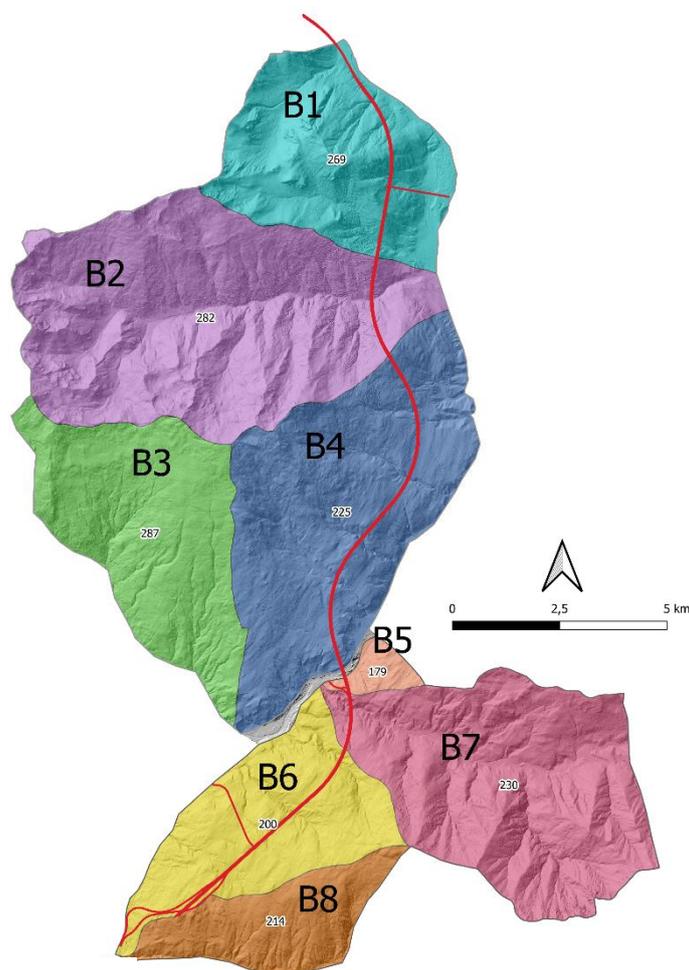


Figura 16: valori cumulati di infiltrazione (mm/anno) riferiti a ciascun sottobacino idrografico delimitato in precedenza; in rosso il tracciato in progetto.

Come si può osservare i valori di infiltrazione efficace media per i diversi bacini sono compresi fra 179 e 287 mm/anno, che corrispondono a infiltrazioni medie per chilometro quadrato comprese fra 5.7 e 9.1 l/s/km². Si tratta di tassi di infiltrazione piuttosto modesti; ciò è dovuto principalmente alla scarsa permeabilità del substrato e al suo affioramento piuttosto diffuso.

Sebbene l'area di possibile influenza del drenaggio esercitato dalle opere in sotterraneo sia difficile da stimare con esattezza, è possibile ipotizzare che essa equivalga grossomodo alla somma delle aree dei bacini idrologici sottesi dalle opere. Considerate infatti le ridotte permeabilità del substrato (cfr. capitolo 5), principale elemento interessato dagli scavi, è difficile ipotizzare che l'area di cattura delle acque sotterranee defluenti in galleria si differenzi in modo significativo dai bacini idrologici sottoattraversati. Pertanto, per avere un'idea di larga massima della risorsa idrica potenzialmente drenabile in modo stabile dalle opere in sotterraneo, si può fare riferimento alla somma delle infiltrazioni su tali bacini. Dalla sottostante tabella si deduce che l'infiltrazione complessiva disponibile per la Galleria Scaleres corrisponde a circa 960 l/s, mentre

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"
PROGETTAZIONE:		
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1BEZZ RG GE0000002 B 24 di 189	

quella disponibile per la Galleria Gardena è pari a 400 l/s circa. Complessivamente le opere in progetto sottendono quindi un bacino idrologico su cui infiltrano circa 1360 l/s.

Tali quantità sono puramente teoriche e non hanno alcuna corrispondenza diretta con quelle che saranno le effettive quantità di acqua drenate dalle gallerie, di cui si tratterà al capitolo 8 e che dipendono dalla capacità drenante dell'opera e quindi dalla permeabilità dei mezzi attraversati, dai carichi idraulici ecc. Come si vedrà le portate drenate rappresentano infatti una frazione limitata dell'infiltrazione disponibile; tuttavia, le quantità stimate attraverso il presente bilancio sono importanti come elemento di riferimento per analizzare la rispondenza alla realtà delle stime di portata eseguite e anche per valutare l'entità degli effetti indotti dal drenaggio in termini di confronto tra le quantità drenate, e quindi sottratte al sistema, e quantità disponibili.

Bacino	Galleria	I_e media [mm/anno]	Area [km ²]	I_e totale per bacino [l/s]	I_e totale per bacino [l/s/km ²]	I_e totale per area sottratta dalla_galleria [l/s]
B1	Scaleres	269	19.99	170	8.53	963
B2		282	40.73	364	8.94	
B3		287	21.81	198	9.10	
B4		225	32.23	230	7.13	
B5	Gardena	179	1.64	9	5.68	397
B6		200	16.99	108	6.34	
B7		230	29.65	216	7.29	
B8		214	9.40	64	6.79	

Tabella 2: Valori delle infiltrazioni in mm/anno ed in l/s per ogni bacino e per l'insieme dei bacini sottratti dai due gruppi di gallerie principali.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE:														
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica		<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RG</td> <td>GE0000002</td> <td>B</td> <td>25 di 189</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	25 di 189
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	25 di 189									

5. PERMEABILITÀ DELLE FORMAZIONI DELL'AREA DI PROGETTO E SUDDIVISIONE IN COMPLESSI IDROGEOLOGICI

Ai fini della definizione del modello idrogeologico di riferimento e per la stima delle portate drenate dalle opere in sotterraneo è stata valutata la conducibilità idraulica dei depositi e litotipi presenti nell'area di progetto. I principali dati utilizzati sono relativi alle risultanze di test idraulici realizzati nei diversi sondaggi eseguiti, che consistono in prove Lefranc per i mezzi porosi e prove Lugeon per i mezzi fratturati. I dati derivanti da queste prove sono riportati nelle tabelle che seguono.

Tabella 3: Sintesi delle prove di permeabilità in foro dei sondaggi della campagna 2012-13.

Sondaggio	da (m da p.c.)	a (m da p.c.)	k (m/s)	Tipo di prova	Litotipo
B2V11	5.0	6.0	1.81E-04	LEFRANC	Deposito di frana
B2V11	17.0	18.0	3.30E-04	LEFRANC	Deposito di frana
B2V11	34.0	35.0	1.67E-04	LEFRANC	Deposito di frana
B2V11	50.0	51.0	1.55E-05	LEFRANC	Deposito di frana
B2V11	65.0	66.0	1.75E-05	LEFRANC	Deposito di frana
B2V11	94.0	99.0	3.33E-06	LUGEON	Paragneiss di Laion
B2V13	5.0	6.0	2.60E-05	LEFRANC	Deposito di frana
B2V13	50.0	55.0	5.79E-06	LUGEON	Deposito di frana
B2V13	65.0	70.0	3.61E-06	LUGEON	Paragneiss di Laion
BV1	34.5	35.5	4.76E-06	LEFRANC	Deposito di frana
BV1	70.0	75.0	4.97E-06	LUGEON	Paragneiss di Laion
BV4p	4.5	5.0	7.38E-05	LEFRANC	Deposito di frana
BV4p	17.0	18.0	1.22E-03	LEFRANC	Deposito di frana
BV4p	34.0	39.0	5.51E-06	LUGEON	Deposito di frana
BV5	5.0	5.5	6.16E-05	LEFRANC	Deposito di frana
BV5	17.0	17.8	7.14E-05	LEFRANC	Deposito di frana
BV6	10.5	11.5	4.83E-03	LEFRANC	Deposito di frana
BV6	22.5	26.5	7.74E-06	LUGEON	Deposito di frana
BV6	29.0	30.0	6.85E-05	LEFRANC	Deposito di frana
C1	5.0	6.0	3.40E-05	LEFRANC	Alluvioni antiche
C1	15.1	16.2	3.35E-05	LEFRANC	Alluvioni antiche
C1	21.1	22.0	6.44E-05	LEFRANC	Alluvioni antiche
C1	32.0	33.0	1.73E-04	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
C11	6.0	7.0	1.95E-05	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
C11	13.9	14.9	8.39E-05	LEFRANC	Alluvioni antiche
C11	27.0	30.0	3.00E-06	LUGEON	Deposito di frana
C11	36.4	39.4	9.70E-07	LUGEON	Deposito di frana
C12	20.0	23.0	2.00E-07	LUGEON	Deposito di frana

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"
PROGETTAZIONE:		
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1BEZZ RG GE0000002 B 26 di 189	

Sondaggio	da (m da p.c.)	a (m da p.c.)	k (m/s)	Tipo di prova	Litotipo
C12	40.7	43.7	1.20E-07	LUGEON	Deposito di frana
C12	70.0	73.0	4.71E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
C12	98.7	101.7	3.57E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
C12	113.0	116.0	6.87E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
C15	6.0	6.9	1.88E-05	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
C15	15.0	16.0	4.37E-05	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
C15	33.0	34.0	8.81E-06	LEFRANC	Depositi deltizi
C15	45.0	46.0	2.68E-05	LEFRANC	Depositi deltizi
C16	7.0	8.0	9.33E-04	LEFRANC	Depositi deltizi
C16	14.0	15.0	2.53E-05	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
C16	22.5	23.5	7.07E-05	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
C16	37.0	38.0	1.07E-05	LEFRANC	Depositi deltizi
C16	45.0	46.0	1.42E-05	LEFRANC	Depositi deltizi
C17	9.0	10.0	7.39E-05	LEFRANC	Depositi deltizi
C17	21.0	22.0	1.63E-05	LEFRANC	Alluvioni antiche
C17	33.0	34.0	1.21E-05	LEFRANC	Alluvioni antiche
C17	45.0	46.0	1.35E-05	LEFRANC	Alluvioni antiche
C18	7.5	8.5	6.18E-05	LEFRANC	Alluvioni antiche
C18	18.0	19.0	2.01E-05	LEFRANC	Alluvioni antiche
C18	27.0	28.0	1.73E-05	LEFRANC	Alluvioni antiche
C18	45.0	46.0	1.49E-05	LEFRANC	Alluvioni antiche
C19	19.0	20.0	4.29E-05	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
C19	31.5	32.5	6.79E-06	LEFRANC	Depositi deltizi
C19	45.0	46.0	1.79E-06	LEFRANC	Depositi deltizi
C2	5.0	7.0	2.50E-06	LUGEON	Granito di Bressanone
C2	19.0	22.0	9.80E-07	LUGEON	Granito di Bressanone
C20	15.0	16.0	2.79E-05	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
C20	30.0	31.0	5.46E-06	LEFRANC	Depositi deltizi
C20	46.0	47.0	1.85E-05	LEFRANC	Depositi deltizi
C21	7.0	8.0	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	36.0	37.0	8.29E-06	LEFRANC	Depositi deltizi
C21	45.0	46.0	8.57E-06	LEFRANC	Depositi deltizi
C22	12.0	13.0	5.69E-05	LEFRANC	Alluvioni recenti
C22	30.0	33.0	2.00E-06	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
C23	8.0	8.5	9.67E-06	LEFRANC	Detrito di versante
C23	34.0	34.6	5.20E-05	LEFRANC	Detrito di versante

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE:														
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica		<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RG</td> <td>GE0000002</td> <td>B</td> <td>27 di 189</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	27 di 189
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	27 di 189									

Sondaggio	da (m da p.c.)	a (m da p.c.)	k (m/s)	Tipo di prova	Litotipo
C25	29.0	34.0	1.05E-06	LUGEON	Paragneiss di Laion
C25	67.3	72.3	8.22E-07	LUGEON	Paragneiss di Laion
C25	86.3	91.3	1.27E-06	LUGEON	Paragneiss di Laion
C25	107.0	112.0	1.11E-06	LUGEON	Paragneiss di Laion
C25	122.0	127.0	1.76E-07	LUGEON	Paragneiss di Laion
C25	132.8	137.8	2.16E-07	LUGEON	Paragneiss di Laion
C26	7.0	7.8	3.02E-05	LEFRANC	Alluvioni recenti
C26	14.3	15.0	9.70E-04	LEFRANC	Alluvioni recenti
C26	20.0	21.0	1.69E-04	LEFRANC	Alluvioni recenti
C26	26.9	28.0	2.58E-04	LEFRANC	Alluvioni recenti
C27	7.5	8.5	3.38E-05	LEFRANC	Detrito di versante
C27	14.3	15.0	1.07E-04	LEFRANC	Detrito di versante
C27	22.5	25.5	3.80E-06	LUGEON	Paragneiss di Laion
C27	28.0	31.3	3.30E-06	LUGEON	Paragneiss di Laion
C27	36.0	39.0	4.00E-06	LUGEON	Paragneiss di Laion
C28	5.1	5.8	1.51E-04	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
C28	15.0	16.0	7.25E-04	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
C29	5.0	6.0	1.59E-04	LEFRANC	Depositi deltizi
C29	14.0	15.0	5.11E-06	LEFRANC	Depositi deltizi
C3	8.0	9.0	9.66E-05	LEFRANC	Alluvioni recenti
C3	20.0	23.0	6.70E-06	LUGEON	Granito di Bressanone
C3	29.5	32.4	2.40E-07	LUGEON	Granito di Bressanone
C3	47.3	50.3	8.40E-09	LUGEON	Filladi a granato
C30	5.0	5.6	1.54E-04	LEFRANC	Alluvioni antiche
C30	12.0	13.0	9.50E-06	LEFRANC	Alluvioni antiche
C4	14.5	17.5	6.48E-07	LUGEON	Filladi a granato
C4	30.0	33.0	1.35E-07	LUGEON	Filladi a granato
C4	68.0	71.0	2.85E-08	LUGEON	Filladi a granato
C4	70.5	73.5	3.99E-08	LUGEON	Filladi a granato
C4	89.8	92.8	6.24E-08	LUGEON	Filladi a granato
C4	95.0	98.0	8.10E-08	LUGEON	Filladi a granato
C4	108.2	111.2	5.30E-09	LUGEON	Filladi a granato
C4	114.0	117.0	2.40E-09	LUGEON	Filladi a granato
C5	21.1	23.1	1.39E-07	LUGEON	Paragneiss di Laion
C5	32.4	35.4	1.90E-07	LUGEON	Paragneiss di Laion
C5	41.2	44.2	2.80E-09	LUGEON	Paragneiss di Laion
C5	56.1	59.1	1.10E-08	LUGEON	Paragneiss di Laion
C6	18.2	21.2	9.75E-07	LUGEON	Dioriti di Chiusa

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE:														
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica		<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RG</td> <td>GE0000002</td> <td>B</td> <td>28 di 189</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	28 di 189
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	28 di 189									

Sondaggio	da (m da p.c.)	a (m da p.c.)	k (m/s)	Tipo di prova	Litotipo
C6	39.6	42.6	1.60E-06	LUGEON	Dioriti di Chiusa
C6	47.0	50.0	4.40E-09	LUGEON	Dioriti di Chiusa
C6	57.0	60.0	7.36E-08	LUGEON	Dioriti di Chiusa
C6	70.5	73.5	5.70E-10	LUGEON	Dioriti di Chiusa
C7	12.0	13.0	8.14E-05	LEFRANC	Alluvioni recenti
C7	21.0	21.8	5.50E-05	LEFRANC	Alluvioni recenti
C7	35.0	36.0	5.62E-05	LEFRANC	Alluvioni recenti
C7	41.0	42.0	6.80E-05	LEFRANC	Alluvioni recenti
C8	12.2	15.2	3.10E-06	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
C8	22.0	25.0	1.30E-06	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
C8	34.5	37.2	9.50E-07	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
C8	42.0	45.0	3.20E-06	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
C9	12.0	15.0	1.32E-07	LUGEON	Porfiroidi
C9	33.2	36.2	3.20E-07	LUGEON	Porfiroidi
C9	61.4	64.4	1.66E-07	LUGEON	Porfiroidi
C9	89.8	92.8	2.47E-07	LUGEON	Porfiroidi
C9	138.0	141.0	3.42E-07	LUGEON	Porfiroidi
C9	141.9	144.9	5.64E-07	LUGEON	Porfiroidi
CBV13	4.6	5.2	4.88E-04	LEFRANC	Terreno di riporto
CBV13	18.6	21.6	2.80E-06	LUGEON	Paragneiss di Laion
CBV13	25.0	28.3	2.40E-06	LUGEON	Paragneiss di Laion
CBV13	31.0	34.0	1.90E-06	LUGEON	Paragneiss di Laion
CBV13	36.0	38.9	1.00E-06	LUGEON	Paragneiss di Laion
CBV13	42.0	45.0	7.80E-08	LUGEON	Paragneiss di Laion
CBV13	54.0	57.0	1.80E-07	LUGEON	Paragneiss di Laion
S12	168.0	173.0	3.00E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
S13	245.0	250.6	2.40E-08	LUGEON	Filladi carboniose
S13	344.0	350.0	2.00E-08	LUGEON	Filladi carboniose
S16	150.0	155.0	3.00E-08	LUGEON	Filladi
S16	169.0	174.0	6.40E-08	LUGEON	Filladi
S2	122.0	127.2	3.60E-08	LUGEON	Granito di Bressanone
S2	169.0	174.3	8.90E-09	LUGEON	Granito di Bressanone
S2	221.7	226.7	1.60E-10	LUGEON	Granito di Bressanone
S4	149.0	154.7	4.90E-08	LUGEON	Filladi a granato
S4	199.0	204.3	2.49E-07	LUGEON	Filladi a granato
S4	252.0	257.0	1.71E-08	LUGEON	Filladi a granato
S7	207.0	211.9	3.20E-08	LUGEON	Filladi a granato
S7	225.0	230.5	9.00E-09	LUGEON	Filladi a granato

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE:														
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica		<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RG</td> <td>GE0000002</td> <td>B</td> <td>29 di 189</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	29 di 189
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	29 di 189									

Sondaggio	da (m da p.c.)	a (m da p.c.)	k (m/s)	Tipo di prova	Litotipo
S8	122.0	127.0	9.00E-09	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
S8	168.5	173.5	2.50E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
S8	187.0	192.0	6.00E-09	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
S8	222.0	227.0	8.00E-09	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
SPG1	59.3	64.3	2.40E-07	LUGEON	Paragneiss di Laion
SPG1	107.2	112.2	1.10E-07	LUGEON	Paragneiss di Laion
SPG1	161.1	166.1	5.00E-08	LUGEON	Paragneiss di Laion
SPG1	209.2	214.2	2.00E-08	LUGEON	Paragneiss di Laion
SPG1	275.0	280.2	4.00E-08	LUGEON	Filladi
SPG1	290.0	295.1	1.00E-08	LUGEON	Filladi
V21	4.5	5.0	5.22E-05	LEFRANC	Deposito di frana
V21	10.0	10.6	2.74E-04	LEFRANC	Deposito di frana
V21	20.0	20.7	2.54E-04	LEFRANC	Deposito di frana
V21	80.0	85.0	2.40E-06	LUGEON	Deposito di frana
V21	120.0	125.0	5.90E-07	LUGEON	Filladi

Tabella 4: Sintesi delle prove di permeabilità in foro dei sondaggi campagna 2017-18.

Sondaggio	da (m da p.c.)	a (m da p.c.)	k (m/s)	Tipo di prova	Litotipo
BO1	3.5	4.0	2.92E-05	LEFRANC	Detrito di versante
BO1	10.5	11.0	1.49E-05	LEFRANC	Detrito di versante
BO3	29.5	30.0	2.33E-06	LEFRANC	Depositi deltizi
BO3	42.0	42.5	2.73E-06	LEFRANC	Deposito di frana
BO4	16.5	17.0	4.80E-05	LEFRANC	Detrito di versante
BO4	22.0	22.5	1.03E-05	LEFRANC	Detrito di versante
BO5	4.0	4.5	2.33E-05	LEFRANC	Detrito di versante
BO5	20.0	20.5	7.01E-05	LEFRANC	Detrito di versante
BO5	37.0	37.5	9.56E-06	LEFRANC	Depositi deltizi
EO13	15.0	20.0	1.82E-06	LUGEON	Aureola metamorfica
EO13	27.5	32.5	2.96E-06	LUGEON	Aureola metamorfica
EO13	35.0	40.0	2.96E-06	LUGEON	Dioriti di Chiusa
EO14	9.0	9.5	1.09E-04	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO14	15.0	15.5	1.04E-04	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO14	26.0	31.0	2.68E-06	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EO19	15.0	20.0	1.22E-07	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EO19	30.0	35.0	1.18E-07	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EO19	38.0	43.0	1.26E-07	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EO19	45.0	50.0	1.14E-07	LUGEON	Filladi ricche in quarzo

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"
PROGETTAZIONE:		
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1BEZZ RG GE0000002 B 30 di 189	

Tabella 4: Sintesi delle prove di permeabilità in foro dei sondaggi campagna 2017-18.

Sondaggio	da (m da p.c.)	a (m da p.c.)	k (m/s)	Tipo di prova	Litotipo
EO19	55.0	60.0	1.23E-07	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EO19	65.0	70.0	1.33E-07	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EO23	6.0	6.5	4.30E-05	LEFRANC	Detrito di versante
EO23	13.5	14.0	2.76E-04	LEFRANC	Detrito di versante
EO23	22.0	27.0	1.65E-06	LUGEON	Paragneiss di Laion
EO23	29.0	34.0	1.61E-06	LUGEON	Paragneiss di Laion
EO23	40.0	45.0	1.65E-06	LUGEON	Paragneiss di Laion
EO23	48.0	52.0	1.62E-06	LUGEON	Paragneiss di Laion
EO24	11.0	11.5	7.11E-05	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO24	19.0	19.5	2.75E-04	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO24	26.0	26.5	1.08E-04	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO25	7.5	8.0	3.74E-04	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO25	16.0	16.5	8.78E-06	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO25	23.3	23.8	4.59E-04	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO28	6.0	6.5	6.90E-06	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO28	17.0	17.5	3.86E-05	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO28	26.0	26.5	5.21E-05	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO29	6.0	6.5	5.87E-05	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO29	6.0	6.5	5.87E-05	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO29	16.0	16.5	3.11E-05	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO29	20.0	20.5	4.45E-05	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO30	12.0	17.0	2.00E-06	LUGEON	Deposito di frana
EO30	24.0	27.0	3.89E-06	LUGEON	Deposito di frana
EO30b	7.0	7.5	1.50E-05	LEFRANC	Terreno di riporto
EO30b	15.0	15.8	5.23E-06	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO30b	23.0	24.2	7.04E-06	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO31	57.0	62.0	5.26E-07	LUGEON	Filone andesitico
EO31	83.0	88.0	9.96E-07	LUGEON	Filone andesitico
EO31	95.0	100.0	4.37E-07	LUGEON	Filone andesitico
EO31	109.0	114.0	5.57E-07	LUGEON	Filone andesitico
EO32	12.0	12.9	1.38E-05	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
EO32	19.5	20.2	6.60E-06	LEFRANC	Depositi deltizi
EO32	31.0	31.7	1.26E-05	LEFRANC	Depositi deltizi
EO32	37.5	38.4	1.74E-05	LEFRANC	Depositi deltizi
EO36	6.5	7.7	3.95E-05	LEFRANC	Deposito di frana
EO36	18.2	23.2	4.74E-06	LUGEON	Deposito di frana

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"
PROGETTAZIONE:		
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1BEZZ RG GE0000002 B 31 di 189	

Tabella 4: Sintesi delle prove di permeabilità in foro dei sondaggi campagna 2017-18.

Sondaggio	da (m da p.c.)	a (m da p.c.)	k (m/s)	Tipo di prova	Litotipo
EO41	6.5	7.7	3.95E-05	LEFRANC	Deposito di frana
EO41	13.0	14.0	5.75E-05	LEFRANC	Deposito di frana
EO50	13.5	14.2	8.01E-05	LEFRANC	Alluvioni antiche
EO50	22.5	23.0	5.28E-05	LEFRANC	Alluvioni antiche
EO50	32.0	32.7	3.40E-05	LEFRANC	Alluvioni antiche
EO60	12.0	13.0	1.09E-05	LEFRANC	Depositi deltizi
EO60	29.7	31.2	4.88E-05	LEFRANC	Depositi deltizi
EO61	4.5	5.2	7.08E-05	LEFRANC	Alluvioni antiche
EO61	14.0	15.0	2.63E-05	LEFRANC	Alluvioni antiche
EO61	18.0	19.0	3.54E-05	LEFRANC	Alluvioni antiche
EO62	4.5	5.2	1.27E-05	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO62	12.0	15.0	2.29E-05	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO62	18.0	19.0	4.07E-05	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO63	16.5	17.5	2.12E-04	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
EO63	24.0	25.0	1.48E-05	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
EO64	13.0	14.0	1.59E-04	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
EO64	33.6	34.6	5.78E-05	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
EO65	13.3	14.3	1.35E-04	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
EO65	22.2	23.2	4.21E-05	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
EO66	13.3	14.3	1.80E-04	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
EO67	13.4	14.4	1.09E-04	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
EO67	29.0	30.0	1.08E-04	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
EO7	6.0	6.5	6.06E-04	LEFRANC	Alluvioni recenti
EO7	15.0	20.0	1.41E-07	LUGEON	Filladi a granato
EO7	20.0	25.0	1.37E-07	LUGEON	Filladi a granato
EO7	40.0	45.0	1.73E-07	LUGEON	Filladi a granato
EO7	60.0	65.0	1.05E-07	LUGEON	Filladi a granato
EO7	115.0	120.0	1.02E-07	LUGEON	Filladi a granato
HBH1	6	7	2.66E-05	LEFRANC	Alluvioni recenti
HBH1	19.5	21	9.99E-08	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
HBH1	28	29.5	1.05E-07	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
HBH2	16.5	18	3.84E-05	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
HBH2	24	25.5	5.66E-08	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
HBH2	30	31.6	9.57E-08	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
EP2	30.0	35.0	2.94E-08	LUGEON	Detrito di versante
EP2	64.4	69.4	2.94E-08	LUGEON	Filladi a granato

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"
PROGETTAZIONE:		
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOLGIO. IBOU 1BEZZ RG GE0000002 B 32 di 189	

Tabella 4: Sintesi delle prove di permeabilità in foro dei sondaggi campagna 2017-18.

Sondaggio	da (m da p.c.)	a (m da p.c.)	k (m/s)	Tipo di prova	Litotipo
EP2	100.0	105.0	1.80E-07	LUGEON	Filladi a granato
EP2	121.0	126.0	4.23E-08	LUGEON	Filladi a granato
EP2	145.0	150.0	9.25E-08	LUGEON	Filladi a granato
EP2	157.0	162.0	6.08E-08	LUGEON	Filladi a granato
EP2	178.0	183.0	6.64E-08	LUGEON	Filladi a granato
EP2	195.0	200.0	7.55E-08	LUGEON	Filladi a granato
EP3	37.5	42.5	6.70E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP3	76.6	81.6	2.36E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP3	120.0	125.0	1.20E-09	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP3	159.8	164.8	6.74E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP3	199.4	204.4	6.87E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP3	239.9	244.9	4.20E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP3	265.3	270.3	4.85E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP3	279.5	284.5	2.55E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP4	50.0	55.0	1.21E-07	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP4	79.6	84.6	9.68E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP4	100.7	105.7	9.38E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP4	150.8	155.8	5.50E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP4	193.0	198.0	6.47E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP4	232.3	237.3	5.81E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP4	266.5	271.5	4.50E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP4	298.4	303.4	3.44E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP4	313.2	318.2	2.98E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP4	325.7	330.7	2.62E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP6	97.0	102.0	8.20E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP6	181.0	186.0	8.76E-08	LUGEON	Filladi
EP6	249.5	254.5	7.19E-08	LUGEON	Filladi
EP6	299.9	304.9	9.86E-08	LUGEON	Filladi
EP6	338.4	343.4	9.57E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP6	399.6	404.6	8.96E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP6	422.6	427.6	5.09E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP6	479.0	484.0	4.05E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP6	515.5	520.5	3.36E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP6	566.2	571.2	6.75E-09	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP6	587.2	592.2	8.99E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP7	34.2	39.2	8.27E-08	LUGEON	Paragneiss di Laion

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE:														
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica		<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RG</td> <td>GE0000002</td> <td>B</td> <td>33 di 189</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	33 di 189
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	33 di 189									

Tabella 4: Sintesi delle prove di permeabilità in foro dei sondaggi campagna 2017-18.

Sondaggio	da (m da p.c.)	a (m da p.c.)	k (m/s)	Tipo di prova	Litotipo
EP7	69.7	74.7	8.75E-08	LUGEON	Paragneiss di Laion
EP7	104.4	109.4	9.59E-08	LUGEON	Paragneiss di Laion
EP7	137.0	142.0	9.41E-08	LUGEON	Paragneiss di Laion
EP7	173.4	178.4	9.70E-08	LUGEON	Paragneiss di Laion
EP7	190.5	195.5	1.11E-07	LUGEON	Paragneiss di Laion
EP7	233.7	238.7	1.05E-07	LUGEON	Paragneiss di Laion
EP7	271.3	276.3	8.53E-08	LUGEON	Filladi
EP7	325.3	330.3	7.21E-08	LUGEON	Filladi
EP7	359.3	364.3	6.84E-08	LUGEON	Filladi
EP7	386.3	391.3	7.36E-08	LUGEON	Filladi
EP7	407.4	412.4	9.71E-09	LUGEON	Filladi
EP8	175.5	180.5	1.46E-07	LUGEON	Deposito di frana
EP8	239.4	244.4	3.11E-08	LUGEON	Filladi a granato
EP8	279.0	284.0	8.04E-08	LUGEON	Filladi a granato
EP8	300.3	305.3	7.87E-08	LUGEON	Filladi a granato
EP8	320.3	325.3	8.57E-08	LUGEON	Filladi a granato
EP8	329.3	334.2	9.55E-08	LUGEON	Filladi a granato
EP8	349.6	354.6	9.66E-08	LUGEON	Filladi a granato
EP9	52.8	57.8	8.65E-08	LUGEON	Filladi
EP9	98.0	103.0	9.04E-08	LUGEON	Filladi
EP9	130.8	135.8	7.49E-08	LUGEON	Filladi
EP9	209.3	214.3	1.05E-07	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP9	290.0	295.0	8.64E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP9	305.0	310.0	8.55E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP9	323.0	328.0	8.31E-08	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
EP10	22.0	25.0	3.95E-06	LEFRANC	Deposito fluvio-glaciale
EP10	100.0	101.5	7.77E-06	LEFRANC	Deposito di frana
EP10	154.2	159.2	3.22E-08	LUGEON	Filladi a granato
EP10	200.0	205.0	6.02E-08	LUGEON	Filladi a granato
EP10	227.0	232.0	6.46E-08	LUGEON	Filladi a granato
EP10	245.0	250.0	6.84E-08	LUGEON	Filladi a granato
EP11	93.0	98.0	8.57E-08	LUGEON	Breccia di intrusione
EP11	123.0	128.0	7.99E-08	LUGEON	Filladi a granato
EP11	166.7	171.7	2.07E-07	LUGEON	Filladi a granato
EP11	197.7	202.7	2.23E-07	LUGEON	Filladi a granato
EP11	226.0	231.0	3.36E-08	LUGEON	Filladi a granato

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE:														
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica		<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RG</td> <td>GE0000002</td> <td>B</td> <td>34 di 189</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	34 di 189
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	34 di 189									

Tabella 5: Sintesi delle prove di permeabilità in foro dei sondaggi della campagna 2021-22.

Sondaggio	da (m da p.c.)	a (m da p.c.)	k (m/s)	Tipo di prova	Litotipo
S21/5	13	16	8.40E-07	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
S21/5	22	25	1.77E-06	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
S21/5	30	33	1.74E-06	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
S21/5	38	41	1.07E-06	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
S21/5	47	50	1.01E-06	LUGEON	Filladi ricche in quarzo
S21/7	36	37	5.45E-06	LUGEON	Paragneiss e Filladi
S21/7	38	40	5.41E-06	LUGEON	Paragneiss e Filladi
S21/12	21	23	9.39E-07	LUGEON	Paragneiss e Filladi
S21/12	27	29	1.02E-06	LUGEON	Paragneiss e Filladi
S21/12	33.5	35	6.99E-06	LUGEON	Paragneiss e Filladi
S21/6b	135	173	2,23E-07	LUGEON	Filladi ricche in quarzo

Tali dati sono stati utilizzati criticamente per definire le proprietà idrauliche di diversi complessi idrogeologici. **I complessi idrogeologici sono degli insiemi di litotipi che, sebbene possano non presentare la stessa composizione litologica, si distinguono per il medesimo tipo di permeabilità (per fratturazione o per porosità o altro) e mostrano una distribuzione della conducibilità idraulica nel medesimo intervallo di variabilità.**

L'utilizzo critico dei dati di permeabilità derivanti dai test idraulici è consistito nel fatto di tenere in considerazione che tali test, per la durata temporale molto limitata dell'impulso di carico imposto durante l'esecuzione della prova, nonché per la limitata estensione della camera di prova (generalmente di lunghezza metrica), investigano giocoforza delle porzioni di ammasso o deposito molto limitate nell'intorno del foro di indagine. In particolare, per i mezzi fratturati, come nel caso della maggior parte dei complessi dell'area in oggetto, la permeabilità presenta, a scala metrica o pluri-metrica, delle forti variabilità legate al fatto che la camera di prova possa intercettare più o meno fratture e che tali fratture risultino più o meno connesse, anche lontano dalla camera, con altre fratture più o meno permeabili. La naturale variabilità della densità di fratturazione in un ammasso roccioso a scala metrica o pluri-metrica può quindi essere all'origine, per i test idraulici di breve durata e limitata estensione della camera di prova, di determinazioni di valori di permeabilità poco realistici per stabilire il comportamento idraulico alla scala dell'ammasso, ovvero a scala decametrica e pluri-decametrica di interesse ai fini del presente lavoro. L'analisi condotta sui dati ottenuti è principalmente consistita nel valutare criticamente soprattutto i valori estremi dei test idraulici e nel tenere conto anche dello stato di fratturazione osservabile dalle carote al fine di considerare i test idraulici più o meno attendibili ai fini pratici.

Alla luce di quanto detto, di seguito vengono presentati, per ognuno dei complessi idrogeologici distinti, dei diagrammi contenenti gli esiti di tutti i test idraulici disponibili. Tuttavia, l'intervallo di variabilità che verrà

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
Relazione idrogeologica		IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B
						FOGLIO: 35 di 189

individuato a commento di questi diagrammi, non sarà necessariamente esteso ad abbracciare tutti i valori di conducibilità ottenuti dai test, proprio perché alcuni di questi non possono essere ritenuti significativi.

Per i complessi permeabili per fratturazione, sulla base dell'analisi delle carote di sondaggio, i test sono stati attribuiti a tre diversi contesti, ovvero:

- Ammasso in normale stato di fratturazione (*fractured* nei diagrammi);
- Ammasso in zona di faglia o intensa fratturazione (*faulted* nei diagrammi);
- Ammasso in condizioni alterate e detensionate per le porzioni più parietali e prossime alla superficie (*weathered* nei diagrammi).

Queste tre diverse categorie di ammasso permettono una miglior previsione degli afflussi in galleria.

5.1 CDR - COMPLESSO DETRITICO

Il complesso detritico include tutti i depositi con struttura a ciottoli e blocchi spigolosi in scarsa matrice ghiaioso-sabbiosa e con frazione limosa di entità variabile ma perlopiù modesta, caratterizzati quindi da una permeabilità generalmente piuttosto elevata. Del complesso fanno parte i depositi detritici di versante (d) e i depositi di frana inattiva (fi) e attiva (fa).

Le conducibilità idrauliche ottenute dall'interpretazione delle prove in foro sono rappresentate in Figura 17. Come si può osservare, i dati presentano una elevata dispersione su valori compresi perlopiù fra 1×10^{-6} e 1×10^{-3} m/s. I valori inferiori a 1×10^{-5} m/s risultano piuttosto anomali per terreni di questo tipo; tuttavia, essi si giustificano per la derivazione di questo complesso detritico da litotipi filladici, che sono ricchi in fillosilicati e che, quindi, quando si frammentano tendono a generare una matrice fine piuttosto abbondante.

Il complesso costituisce degli acquiferi di estensione piuttosto ridotta e aventi scarso immagazzinamento.

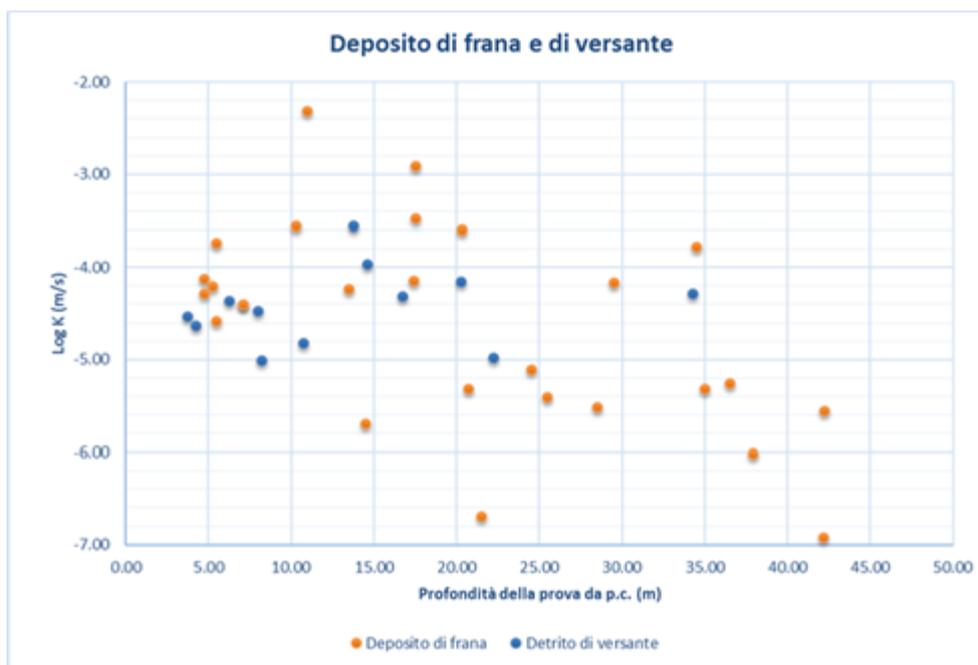


Figura 17: Grafico di distribuzione dei valori di conducibilità idraulica da test in foro in relazione alla profondità per i depositi di frana e il detrito di versante (complesso CDR).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 36 di 189

5.2 CAL – COMPLESSO ALLUVIONALE

Questo complesso è caratterizzato da una permeabilità per porosità e include i depositi alluvionali di diversa età presenti nella zona di studio (aa, at, ar). Si tratta di un complesso con permeabilità medio-alta a struttura pseudo-isotropa, localmente anisotropa per la presenza di livelli sabbiosi all'interno dei depositi a ghiaie e ciottoli con matrice ghiaiosa prevalenti.

Dai diagrammi di Figura 18 e Figura 19 emerge che nella maggior parte dei casi questi terreni presentano conducibilità idrauliche comprese fra 1×10^{-5} e 1×10^{-4} m/s, con valori massimi che possono spingersi fino a 1×10^{-3} m/s.

Il complesso costituisce i principali acquiferi in depositi porosi del fondovalle Isarco, che hanno una ottima produttività e ospitano sistemi di flusso molto attivi in equilibrio idrodinamico con il Fiume Isarco.

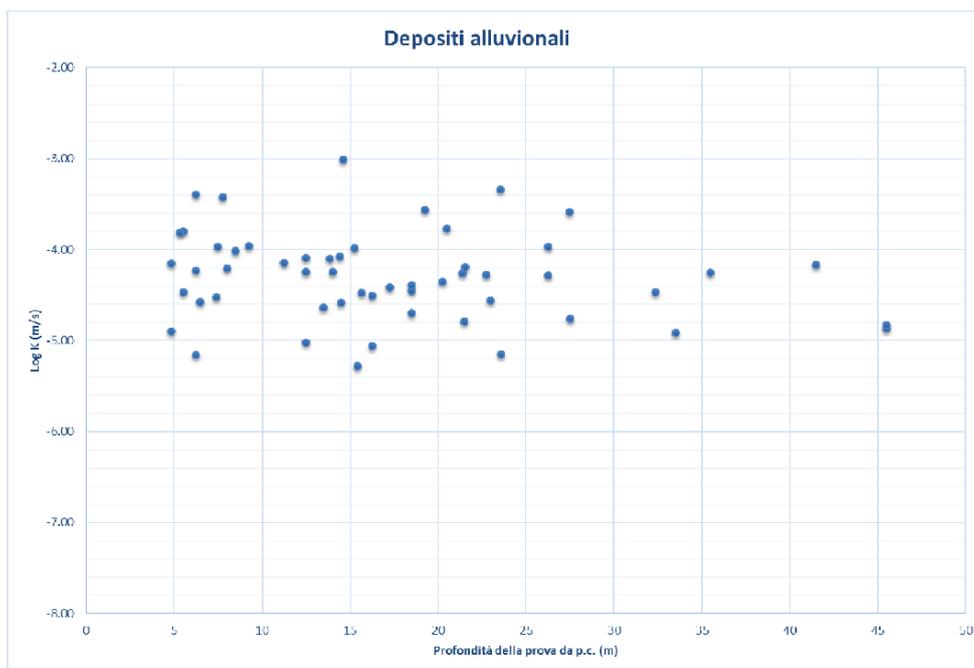


Figura 18: Grafico di distribuzione dei valori di conducibilità idraulica da test in foro in relazione alla profondità per i depositi alluvionali (complesso CAL).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica		IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	37 di 189

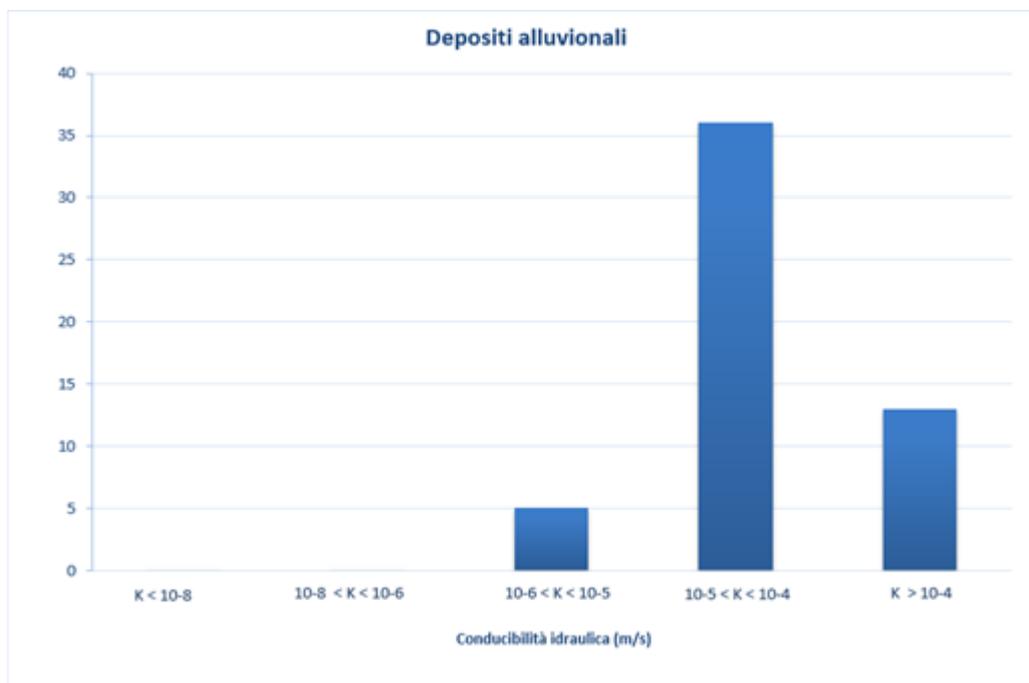


Figura 19: Grafico di frequenza dei valori di conducibilità idraulica registrati in funzione delle classi di permeabilità (depositi alluvionali; complesso CAL).

5.3 CGL - COMPLESSO GLACIALE E COLLUVIALE

I depositi di origine fluvio-glaciale e i till di ablazione (df), nonché i depositi glacio-lacustri (dlt) sono stati raggruppati nel medesimo complesso. Nell'area in questione, infatti, tutti questi depositi presentano perlopiù una componente ghiaioso-sabbiosa, ma anche frequenti livelli limosi, o comunque una componente limosa relativamente abbondante all'interno della matrice. Proprio in ragione della presenza di tale frequente frazione limosa, la loro permeabilità risulta ridotta rispetto a quella dei depositi alluvionali recenti a cui sovente somigliano per caratteristiche stratigrafiche.

I diagrammi di Figura 20 e Figura 21 mostrano come i depositi fluvio-glaciali siano caratterizzati da uno spettro di conducibilità idraulica molto grande, che va da 1×10^{-8} a 1×10^{-3} m/s. Questa ampia gamma di valori è legata alla presenza di livelli con abbondante materiale limoso intercalati o eteropici rispetto a livelli con matrice più pulita e quindi più permeabile.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	38 di 189

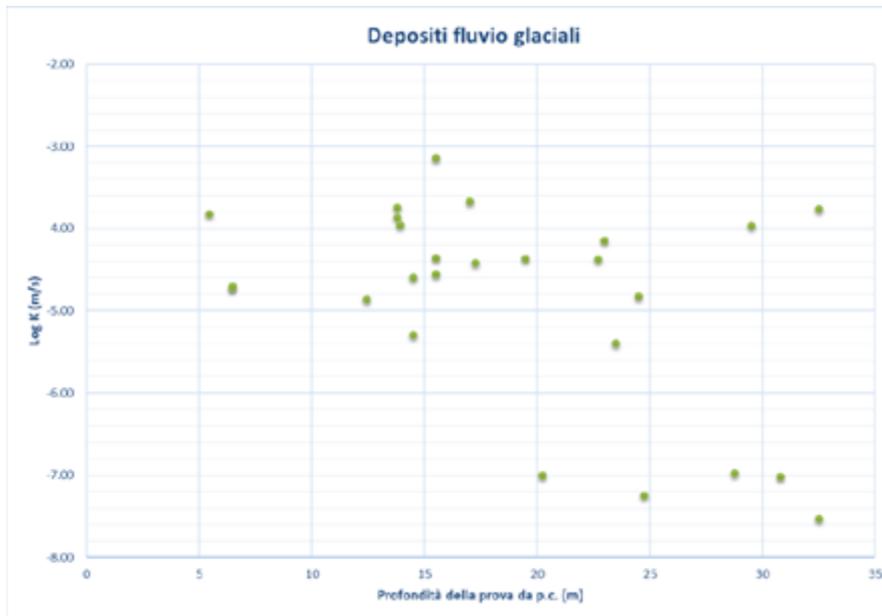


Figura 20: Grafico di distribuzione dei valori di conducibilità idraulica da test in foro in relazione alla profondità per i depositi fluvio-glaciali (complesso CGL).

Per i depositi glacio-lacustri la variabilità è minore e la conducibilità idraulica è perlopiù compresa fra 1×10^{-6} e 1×10^{-4} m/s.

Il complesso CGL costituisce acquiferi di limitata estensione, che possono ospitare sistemi di flusso locali piuttosto attivi e di buona produttività.



Figura 21: Grafico di frequenza dei valori di conducibilità idraulica registrati in funzione delle classi di permeabilità (depositi fluvio-glaciali; complesso CGL).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	39 di 189
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica							

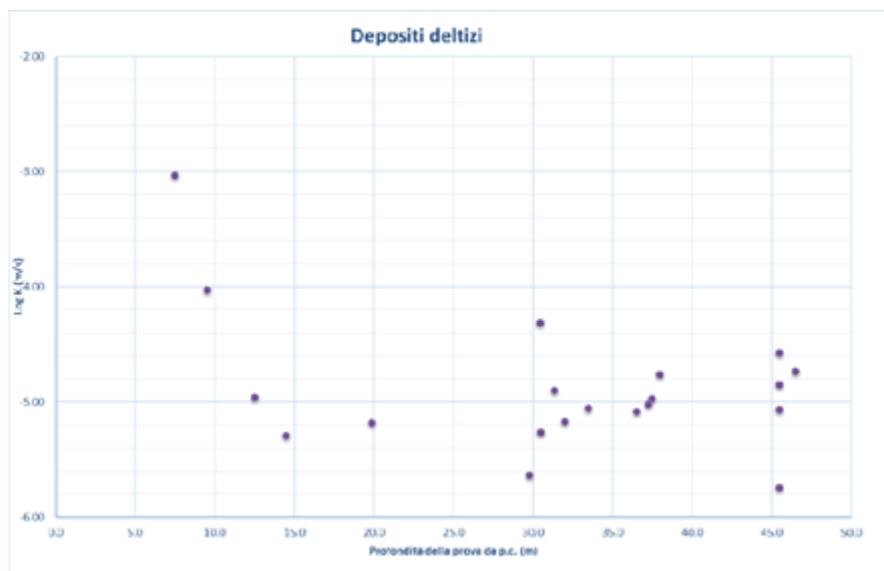


Figura 22: Grafico di distribuzione dei valori di conducibilità idraulica da test in foro in relazione alla profondità per i depositi deltizi (complesso CGL).

5.4 CFL - COMPLESSO FILLADICO

Il complesso include tutti i litotipi filladici dell'area di progetto, caratterizzati da una permeabilità perlopiù modesta e legata esclusivamente alla fratturazione. Vi appartengono le filladi a granato (BSS), le filladi ricche in quarzo (BSSa), le filladi e micascisti (BSSb), le alternanze di filladi quarzifere e filladi carboniose (BSSc).

Il diagramma di Figura 23 mostra la distribuzione della conducibilità idraulica in funzione della profondità per i litotipi attribuiti al complesso. A livello generale dal diagramma non si individua una marcata tendenza alla diminuzione della conducibilità con la profondità, soprattutto per la presenza di una certa dispersione dei dati a basse profondità. Nei primi 50-100m dalla superficie alcuni dati attestano l'esistenza di conducibilità relativamente elevate per la presenza di fenomeni di alterazione e detensionamento. In ogni caso, considerato il numero limitato di test eseguiti a profondità superiori a 200m e una moderata tendenza di questi ultimi a collocarsi a basse conducibilità, non si può escludere che effettivamente una qualche riduzione della conducibilità con la profondità possa esistere. Tale tendenza è più evidente per gli ammassi con forte densità di fratturazione, sebbene per questi esista un minor numero di test.

La conducibilità idraulica in normale stato di fratturazione può quindi essere stimata come compresa nell'intervallo da 1×10^{-9} a $2,5 \times 10^{-7}$ m/s ca. Queste permeabilità di modesta entità sono da imputarsi soprattutto alla natura filladica dei litotipi, che determina l'esistenza di fratture poco rugose e pertanto con tendenza delle superfici a risultare aderenti e con scarsi interstizi.

Per le zone di faglia, e quindi per l'ammasso in condizioni cataclastiche o con elevata densità di fratturazione, sulla base dei dati disponibili non emergono significativi scostamenti rispetto all'ammasso in condizioni di normale stato di fratturazione. I dati esistenti sono tuttavia statisticamente meno rappresentativi rispetto a quelli per l'ammasso in normali condizioni di fratturazione, soprattutto per il fatto che nelle porzioni di roccia di faglia con maggior frammentazione i test fra packer sono difficilmente realizzabili a causa dell'instabilità del foro di sondaggio. Cautelativamente appare dunque opportuno assumere per i domini in faglia un

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 40 di 189

intervallo di permeabilità più spostato verso conducibilità maggiori. Alle zone di faglia è stata quindi attribuita una conducibilità compresa fra 1×10^{-8} m/s e 1×10^{-6} m/s. Come il protolite poco fratturato, anche le rocce di faglia presentano dunque un grado di permeabilità proporzionalmente modesto, principalmente in ragione dell'abbondanza di fillosilicati che tendono a orientarsi secondo la superficie di scorrimento, riducendo lo spessore delle zone di cataclasi e determinando la comparsa di livelli di zona di faglia scistososi e con pareti piuttosto aderenti.

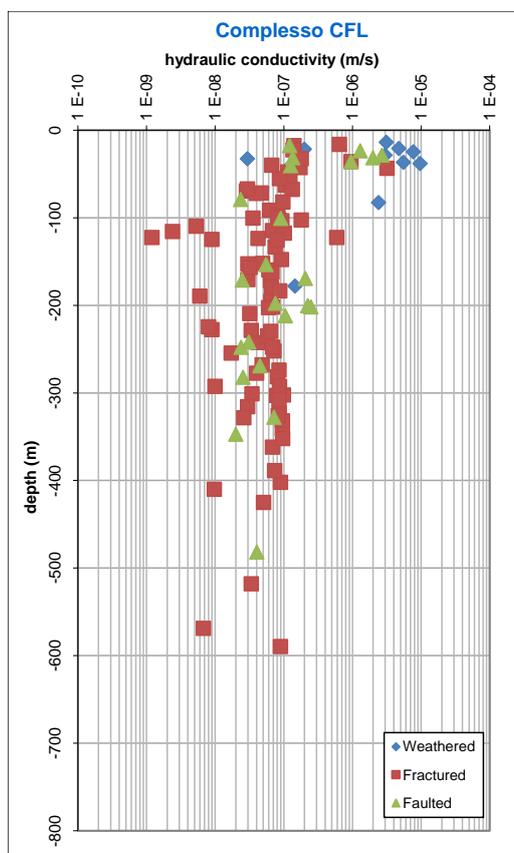


Figura 23: Diagramma che illustra la distribuzione della conducibilità idraulica in funzione della profondità sulla base dei test idraulici eseguiti nei sondaggi dell'area di progetto per il complesso CFL.

Le porzioni parietali detensionate e rilasciate dell'ammasso, per questo complesso possono mostrare incrementi della conducibilità fino a 1×10^{-5} m/s.

Se si considerano i bassi valori di conducibilità idraulica che contraddistinguono il complesso, appare evidente che esso non origina mai degli acquiferi. Al suo interno esistono dei flussi che però determinano un trasporto di massa molto limitato e caratterizzato da velocità di migrazione molto ridotte. Degli acquiferi si sviluppano soltanto in concomitanza con le porzioni detensionate dell'ammasso prossime alla superficie, oppure lungo le zone di faglia.

Nel primo caso si tratta di acquiferi locali, che si estendono su porzioni limitate di un versante vallivo e che presentano immagazzinamento e trasmissività modesti; essi possono venire interessati dalle opere in progettazione solo per le tratte all'aperto e per le tratte in galleria prossime agli imbocchi.

APPALTAZIONE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 41 di 189

Nel caso delle rocce di faglia, queste possono ospitare sistemi di flusso anche profondi con trasporto di massa di entità da modesta a moderata, comunque attivi perlopiù a livello locale, ovvero alla scala di un versante vallivo, dal momento che la permeabilità non è tale da far ipotizzare sistemi di flusso attivi su larga scala.

5.5 CGC - COMPLESSO GRANODIORITICO E CORNUBIANITICO

In questo gruppo sono stati inclusi tutti i litotipi di origine intrusiva, privi di scistosità e di composizione acida prevalente che hanno una permeabilità per fratturazione modesta, ma comunque più elevata che nei materiali filladici. Appartengono al complesso i graniti biotitici e le granodioriti del Granito di Bressanone (gbi), i graniti, dioriti e granodioriti di Tiles (GDT), le dioriti quarzifere di Chiusa (δ), le brecce di intrusione associate alle granodioriti di Tiles (BDI), i filoni andesitici e trachandesitici (α). Al medesimo complesso sono state associate anche le cornubianiti (MPC), dal momento che, pur non essendo delle rocce intrusive sono comunque rocce massicce, a struttura tendenzialmente isotropa e granoblastica a causa dei diffusi fenomeni di ricristallizzazione e blastesi a cui sono state sottoposte.

Il diagramma di Figura 24a riporta i dati di permeabilità derivanti da test idraulici eseguiti sui sondaggi dell'area di progetto. Come si può osservare il numero di test disponibile è piuttosto ridotto e non rappresentativo dal punto di vista statistico. Esso mostra una distribuzione molto ampia del campo di permeabilità, con una anomala tendenza alla rapida riduzione verso profondità maggiori. Al fine di ottenere un quadro più chiaro in merito alla permeabilità del complesso in oggetto si è fatto riferimento anche ai dati ottenuti nell'area di studio del Tunnel di Base del Brennero per i litotipi del Granito di Bressanone. Tali dati sono visibili nel diagramma di Figura 24b. In questo diagramma sono rappresentati sia dati ottenuti da test idraulici in foro su camere di prova piuttosto estese, della lunghezza di più metri (simboli blu e rossi), sia dati derivanti da stime attraverso formule chiuse (Goodman et al., 1965; Jacob & Lohman, 1952) su venute in galleria effettivamente osservate durante lo scavo del Cunicolo esplorativo Aica-Mules (box blu e rossi in figura).

I dati relativi al Tunnel di Base del Brennero presentano una tendenza, seppur non molto marcata, alla riduzione della conducibilità con la profondità, specialmente per profondità molto elevate e superiori ai 1000m. I dati indicano inoltre che le faglie nei litotipi granitoidi sono in genere più permeabili dell'ammasso roccioso in normali condizioni di fratturazione.

Il contesto geologico e morfologico a cui si riferiscono i dati del Tunnel di Base del Brennero è del tutto analogo a quello del presente progetto, poiché riguarda il settore sinistro della Valle Isarco; tali dati sono pertanto del tutto attendibili per un utilizzo anche nella zona di interesse. Inoltre, essi sono rilevanti perché includono zone di venuta poi effettivamente riscontrate durante lo scavo e per le quali è stato possibile osservare il comportamento idraulico su grande scala.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 42 di 189

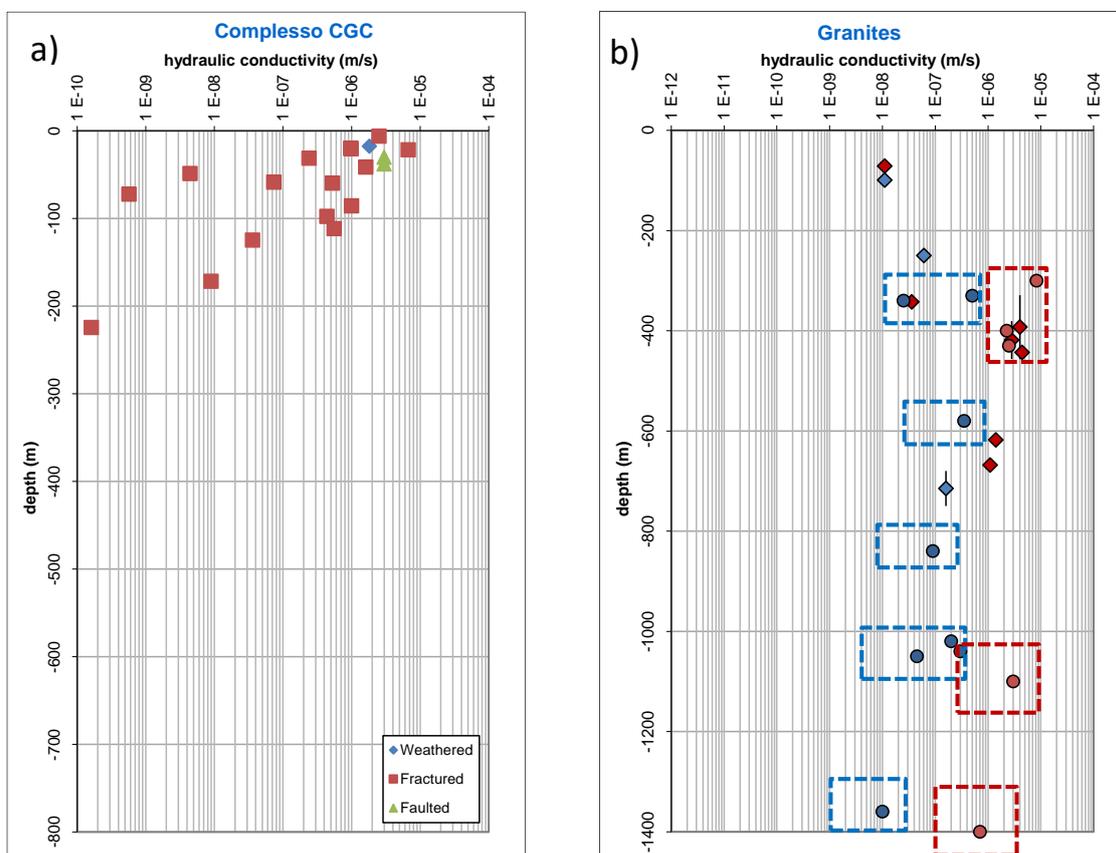


Figura 24: Diagrammi che illustrano la distribuzione della conducibilità idraulica in funzione della profondità per il complesso CGC. Il diagramma di sinistra (a) riporta i dati dei test idraulici eseguiti nei sondaggi dell'area di progetto. Il diagramma di destra (b) riporta i dati relativi ai test idraulici eseguiti sul Granito di Bressanone nei sondaggi per il progetto del Tunnel di Base del Brennero (simboli; blu=ammasso in normale stato di fratturazione, rosso=ammasso in zona di faglia); nello stesso diagramma i box tratteggiati corrispondono a intervalli di variabilità della conducibilità idraulica derivati da stime analitiche eseguite su zone di venuta reali osservate durante lo scavo del Cunicolo Aica-Mules (Dati inediti Perello et al. In pubblicazione).

Alla luce di quanto sopra, l'intervallo di variabilità della conducibilità idraulica per l'ammasso in normali condizioni di fratturazione in questo complesso è stato stimato come compreso fra 5×10^{-8} e 1×10^{-6} m/s. Tali conducibilità sono evidentemente maggiori che per il complesso precedentemente esaminato e relativamente elevate per un complesso del substrato costituito da rocce silicatiche non cataclaste. Ciò è tuttavia compatibile con il fatto che nelle rocce granitoidi le fratture presentano generalmente una maggior rugosità che nelle filladi e, non esistendo superfici di debolezza preesistenti, è presente un reticolo di fratture più maturo e connesso.

Per l'ammasso in zona di faglia, o comunque in condizioni di forte fratturazione, la maggior parte dei dati del Tunnel di Base del Brennero attestano l'esistenza di conducibilità nettamente più elevate, che possono variare fra $2,5 \times 10^{-7}$ e 1×10^{-5} m/s.

Le rocce granitoidi possono quindi costituire, anche al di fuori delle zone di faglia, degli acquiferi piuttosto estesi, seppure con modesta capacità di immagazzinamento se raffrontati a veri e propri acquiferi in mezzi porosi, rispetto ai quali la permeabilità rimane comunque bassa. All'interno di questo complesso si possono

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	43 di 189

quindi sviluppare sistemi di flusso relativamente profondi benché locali, ovvero limitati ai bacini idrologici principali; la modesta permeabilità non suggerisce la possibilità che si sviluppino sistemi di flusso su scala regionale, o che coinvolgano comunque più bacini delle valli principali o versanti opposti delle valli principali.

Diverso è il discorso per le zone di faglia che localmente possono presentare permeabilità confrontabili a quelle di un acquifero in mezzi porosi di media permeabilità. In questo caso, strutture tettoniche di persistenza pluri-chilometrica e di spessore pluri-decamentrico, possono dare origine a sistemi di flusso che coinvolgono più contesti vallivi o comunque versanti opposti di uno stesso bacino.

5.6 CPG - COMPLESSO PORFIRICO E GABBRO-BASALTICO

In questo gruppo sono stati inclusi tutti i litotipi di origine intrusiva che presentano però una scistosità più o meno marcata. Esso si caratterizza per delle proprietà intermedie fra quelle dei complessi CFL e CGC, poiché la scistosità, pur essendo presente, non sempre è pervasiva e lo stato di fratturazione solo in parte ne viene influenzato. Appartengono al complesso i porfiroidi (p) e la formazione di Gudon (FMG).

Per questo complesso è disponibile un numero molto ridotto di prove idrauliche e queste riguardano esclusivamente i porfiroidi. Gli esiti dei test sono visibili nel diagramma di Figura 25. Come si può osservare i dati riguardano porzioni piuttosto parietali dell'ammasso, sebbene non interessate da particolari fenomeni di alterazione e detensionamento; ciò dipende anche dal fatto che queste rocce non vengono mai intercettate dalla galleria sotto coperture molto elevate e pertanto esse sono state ovviamente investigate solo per profondità modeste. Date queste condizioni, l'intervallo di conducibilità idraulica di riferimento è stato basato, oltre che sui pochi dati disponibili, su stime legate alle caratteristiche litologiche e strutturali di questi litotipi. Per l'ammasso in normali condizioni di fratturazione si ipotizza che la conducibilità sia compresa fra 2×10^{-8} e 5×10^{-7} m/s. Per le rocce di faglia non esiste alcun dato, ma è possibile prevedere che la conducibilità sia superiore a quella delle filladi e inferiore a quella delle granodioriti, risultando dunque compresa fra $7,5 \times 10^{-8}$ e 1×10^{-6} m/s.

I litotipi di questo complesso costituiscono in genere dei corpi di estensione relativamente limitata, che interessano solo parte di bacini idrologici o di versanti vallivi. Pertanto, tenendo anche in considerazione la loro permeabilità non particolarmente elevata, non costituiscono dei corpi acquiferi di importanza rilevante, ma possono ospitare sistemi locali, comunque poco produttivi, di importanza secondaria.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 44 di 189

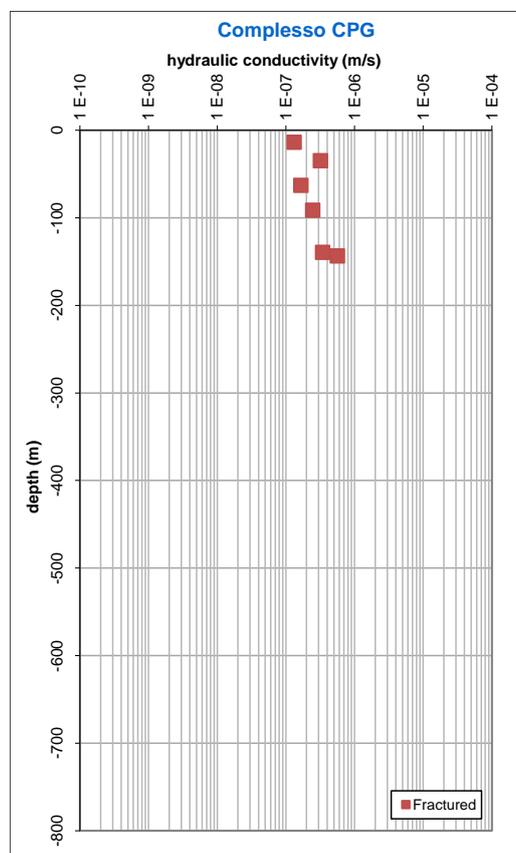


Figura 25: Diagramma che illustra la distribuzione della conducibilità idraulica in funzione della profondità sulla base dei test idraulici eseguiti nei sondaggi dell'area di progetto per il complesso CPG.

5.7 CGN - COMPLESSO GNEISSICO

A questo complesso sono stati attribuiti esclusivamente i paragneiss di Laion (PRL), che presentano caratteristiche relativamente distintive, essendo costituiti da alternanze di gneiss o quarziti prevalenti e di filladi. Il grado di permeabilità a livello metrico-pluri-metrico può quindi risultare piuttosto eterogeneo e variare in modo significativo trasversalmente alla scistosità. Il complesso presenta comunque permeabilità esclusivamente per fratturazione. La presenza di frequenti livelli filladici inibisce la possibilità di sviluppo di permeabilità significative a grande scala, poiché il reticolo di fratture presenta minor conduttività in corrispondenza di tali livelli; tuttavia, la prevalenza dei livelli gneissici e quarziticici comporta comunque la possibilità di avere permeabilità superiori a quella del complesso filladico.

I dati disponibili da prove idrauliche non sono molto numerosi e sono rappresentati nel diagramma di Figura 26, da cui si nota come i test siano ripartiti in quantità quasi equivalente tra contesti di ammasso in normale stato di fratturazione e contesti di ammasso in zona di faglia.

Sulla base del limitato numero di dati da prove idrauliche esistente e delle caratteristiche litologiche dei litotipi si può ipotizzare che in condizioni di ammasso in normale stato di fratturazione la conducibilità idraulica vari fra 5×10^{-8} e 5×10^{-7} m/s; nelle zone di faglia si possono ipotizzare conducibilità più elevate e comprese fra 1×10^{-7} e 5×10^{-6} m/s.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 45 di 189

Considerando la distribuzione dei dati di permeabilità per le prove idrauliche più prossime alla superficie si può inoltre concludere che, sia per l'ammasso che per le zone di faglia, nei primi 50m dalla superficie le conducibilità idrauliche possono raggiungere 1×10^{-5} m/s.

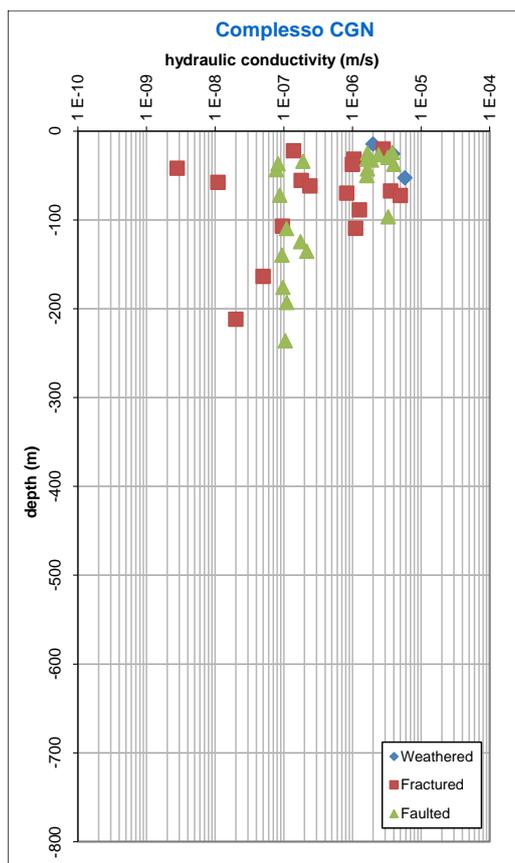


Figura 26: Diagramma che illustra la distribuzione della conducibilità idraulica in funzione della profondità sulla base dei test idraulici eseguiti nei sondaggi dell'area di progetto per il complesso CGN.

All'interno di questo complesso lo sviluppo di sistemi di flusso importanti a scala più estesa di un singolo versante vallivo è da ritenersi poco probabile quando l'ammasso si trova in condizioni di normale stato di fratturazione, dal momento che le permeabilità non raggiungono mai valori particolarmente elevati e tali da garantire la presenza di flussi molto attivi. Sistemi estesi alla scala di due versanti vallivi possono essere invece ipotizzati nel caso delle zone di faglia. In considerazione delle elevate permeabilità dell'ammasso in prossimità della superficie possono invece esistere sistemi di flusso attivi a livello locale, ovvero di limitate porzioni di un versante vallivo.

5.8 QUADRO DI SINTESI DEI COMPLESSI IDROGEOLOGICI NELL'AREA DI PROGETTO

La suddivisione in complessi idrogeologici è finalizzata a fornire una rappresentazione cartografica e su sezione dell'assetto geometrico dei corpi geologici con differente permeabilità. Il risultato di tale rappresentazione sono appunto le carte idrogeologiche in scala 1:2.500 e 1:25.000 della zona di progetto,

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	46 di 189

nonché i profili idrogeologici longitudinali alle diverse opere. Il quadro generale dei complessi idrogeologici è esemplificato dalle legende adottate per questi elaborati che sono visibili in Figura 27 e Figura 28.

COMPLESSO IDROGEOLOGICO	CFL	CGC	CPG	CGN
	Complesso filladico Substrato filladico caratterizzato da una scistosità pervasiva in cui si alternano litofacies maggiormente massive ricche in quarzo, granato e, localmente, leni eotomeriche di filadi carboniose. La permeabilità, esclusivamente per fratturazione, va da bassa a molto bassa. Il complesso costituisce acquiferi anisotropi caratterizzati da valori di permeabilità bassa o molto bassa, in aumento unicamente in corrispondenza delle zone di faglia (F).	Complesso grano-dioritico e cornubianitico Intrusioni magmatiche granitiche e granodioritiche a grana variabile da fine a grossolana, tendenzialmente massive per quanto caratterizzate localmente da un elevato grado di fratturazione. Al contatto con la roccia incassante sviluppano un'aureola di contatto costituita da cornubianiti massive a grana molto fine che solo localmente preservano la scistosità del protolito. La permeabilità, esclusivamente per fratturazione, va da bassa a molto bassa, e presenta un aumento significativo laddove l'ammasso roccioso è maggiormente fratturato e/o fagliato (F).	Complesso porfirico e gabbro-basaltico Complesso eterogeneo, costituito da rocce caratterizzate da un diverso chimismo e mineralogia ma del tutto assimilabili per tipo e grado di permeabilità. Si tratta di litotipi riferibili ad un complesso magmatico permiano che include porfiroidi, filoni andesitici, effusioni basaltiche ed è contraddistinto da valori di permeabilità variabili da bassi a molto bassi. La permeabilità, esclusivamente per fratturazione, presenta incrementi significativi in corrispondenza delle zone di faglia (F).	Complesso gneissico Substrato gneissico e quarzico tendenzialmente massivo e caratterizzato da intensa fratturazione a cui si alternano filadi quarziferi. La permeabilità, esclusivamente per fratturazione, è da bassa a molto bassa. Il complesso costituisce acquiferi anisotropi caratterizzati da maggiore permeabilità principalmente lungo le faglie (F).
UNITÀ GEOLOGICA	BSS - BSSa - BSSb - BSSc	gbi - GDT - MPC - 5 - BDI - a - VUL	p - FMG	PRL
TIPO DI PERMEABILITÀ	Porosità			
	Resurazione			
	Carsismo			
CONDUCIBILITÀ IDRAULICA (m/s)				
	10 ⁻³			
	10 ⁻⁴			
	10 ⁻⁵			
	10 ⁻⁶			
	10 ⁻⁷			
	10 ⁻⁸			
	10 ⁻⁹			
	Molto basso			

Figura 27: Legenda dei complessi idrogeologici per la cartografia idrogeologica di PE: complessi relativi al substrato pre-quadernario con permeabilità per fratturazione.

Per i complessi del substrato si nota come, nonostante siano state operate quattro distinzioni, le differenze nel grado di permeabilità non siano particolarmente rilevanti. Va tuttavia notato che in presenza di carichi idraulici significativi e superiori ai 10bar, come nel caso di molte delle tratte in galleria del presente progetto, anche differenze di mezzo ordine di grandezza possono comportare significative differenze nelle portate drenate. Per i depositi quaternari le variazioni della permeabilità sono più marcate, almeno nel caso di due complessi (CGL e CAL).

Nella cartografia idrogeologica (Figura 29) sono stati rappresentati solo i campi dei complessi in normale stato di fratturazione, mentre non sono state indicate le fasce a più elevata permeabilità nell'intorno delle zone di faglia. Le faglie risultano quindi distinte solo nella legenda, ove ne è stato individuato l'intervallo stimato di conducibilità idraulica. Nella cartografia idrogeologica sono state riportate le tracce delle faglie come da carta geologica, sottintendendo che nell'intorno di queste tracce si dovrà assumere una permeabilità incrementata, corrispondente a quella indicata in legenda.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 47 di 189

	CGL	CAL	CDR
COMPLESSO IDROGEOLOGICO	Complesso glaciale e colluviale Fanno parte di questo complesso i depositi fluvio-glaciali, glacio-lacustri e i tili di abbazione. Si tratta di depositi costituiti da blocchi di dimensione anche metrica e ciottoli decimetrici poligenici, per quanto prevalentemente di natura granitica, immersi in una matrice sabbioso-limoso. Le facies più fini sono caratterizzate da prevalenti sabbie e limi laminati. Il complesso costituisce degli acquiferi anche se di importanza relativamente modesta considerata la presenza della frazione granulometrica più fine. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da molto bassa a media.	Complesso alluvionale Comprende depositi di natura alluvionale attuale, recente e antica anche terrazzati. Si tratta di depositi costituiti da clasti polimittici, tipicamente arrotondati ed eterometrici; le dimensioni variano da blocchi pluridecimetrici a plurimetrici, a ciottoli e ghiaie immersi in una matrice sabbiosa e sabbioso-limoso. Il complesso costituisce acquiferi porosi eterogenei ed anisotropi, che in genere non costituiscono corpi idrici sotterranei di importanza significativa, ad esclusione dei depositi alluvionali attuali del Fiume Isarco. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è media.	Complesso detritico Depositati eterometrici e polimittici, prevalentemente clast-supportati, a struttura spesso caotica e clasti tendenzialmente spigolosi. La matrice, quando presente, è costituita da ghiaie sabbiose. Si tratta di depositi detritici di versante e di frana. Il complesso costituisce acquiferi porosi eterogenei ed anisotropi, che in genere non costituiscono corpi idrici sotterranei di importanza significativa ad eccezione dei depositi di frana profonda di grande estensione. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è media.
UNITÀ GEOLOGICA	df - dlt - c	aa - at - ar	d - fa - fi
TIPO DI PERMEABILITÀ	Porosità		
Fessurazione			
Carsismo			
CONDUCIBILITÀ IDRAULICA (m/s)			
10 ⁻³			
10 ⁻⁴			
10 ⁻⁵			
10 ⁻⁶			
10 ⁻⁷			
10 ⁻⁸			
10 ⁻⁹			
Molto basso			

Figura 28: Legenda dei complessi idrogeologici per la cartografia idrogeologica di PE: complessi relativi ai depositi quaternari con permeabilità per porosità.

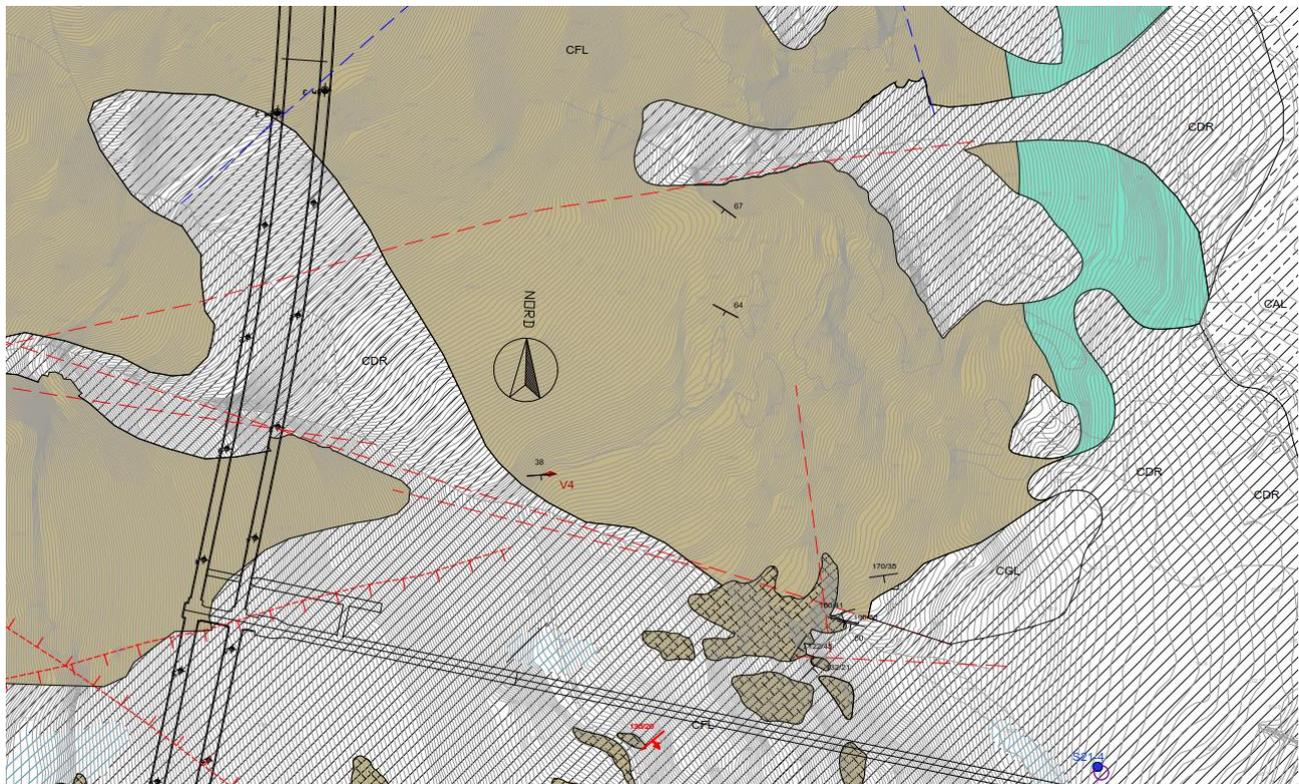


Figura 29: Stralci della carta idrogeologica in scala 1:2.500 di Progetto Esecutivo.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	48 di 189

6. RISORSE IDRICHE DELL'AREA DI PROGETTO

Nell'area di progetto, a partire dal 2013 è in atto un monitoraggio mirato dei punti d'acqua maggiormente significativi. I punti monitorati sono costituiti da sorgenti, pozzi, piezometri, corsi d'acqua e campionatori di acqua piovana. Il monitoraggio è gestito da Italferr S.p.A. e i punti monitorati sono inseriti in un database gestito dal medesimo ente, denominato Banca Dati Indagini Brennero (BDIB), che contiene tutti i dati acquisiti finora. A una serie di punti di monitoraggio iniziali, a partire da ottobre 2018, sono stati inseriti nuovi punti di interesse per i comuni della zona.

Le campagne di misura si svolgono su base circa trimestrale (fino a mensile per una serie di punti ritenuti maggiormente significativi) e prevedono le seguenti determinazioni:

- parametri chimico-fisici *in situ* attraverso misure speditive (portata, soggiacenza, temperatura, conducibilità elettrica specifica, potenziale redox, torbidità e quantità di ossigeno);
- analisi idrochimiche su campioni di acqua: elementi principali (Sodio, Potassio, Calcio, Magnesio, Cloruri, Solfati, ione Bicarbonato, Nitrati, Silice solubile) con cadenza trimestrale; elementi in traccia (Arsenico, Alluminio, Stronzio, Litio, Fosfati, Uranio, Piombo, Selenio, Boro, Antimonio, Cadmio, Ferro, Nichel) con cadenza semestrale;
- analisi isotopiche su campioni d'acqua (cadenza trimestrale per $\delta^{18}\text{O}$ e Deuterio; semestrale per Trizio).

Il monitoraggio idrogeologico ha permesso di ottenere dati su circa 270 punti d'acqua. Di seguito si andranno a presentare i dati raccolti, unitamente ad una descrizione degli stessi utile per la caratterizzazione del sistema idrogeologico. Tale descrizione riprende sostanzialmente quella già a suo tempo presentata nel rapporto geologico e idrogeologico di Progetto Definitivo (elaborato IBL11BD69RGGE0101001D), risalente a inizio 2019, che risulta ancora allo stato attuale del tutto esaustiva. Dalla data di realizzazione di tale documento non sono stati infatti inseriti nel piano di monitoraggio nuovi punti e, l'esame dei dati di monitoraggio raccolti dopo il 2019 fino a tutto il 2021 non evidenzia particolari scostamenti rispetto a quanto osservato negli anni antecedenti il 2019.

Per la valutazione delle potenziali interferenze tra l'opera e i punti d'acqua si rimanda al capitolo 9, mentre per i dati specifici sui parametri registrati durante il monitoraggio si rimanda all'elaborato IBOU1BEZZRHGE0000006A "Report monitoraggio idrogeologico 2013 -2021".

6.1 PORTATA DELLE SORGENTI

In Figura 30 è riportata la distribuzione di frequenza di tutte le emergenze (456), aventi almeno un dato di portata, includendo in questa analisi anche i dati derivati dal database provinciale (emergenze quindi non direttamente monitorate), in funzione della loro classe di portata. Nel caso di sorgenti con più dati disponibili è stato utilizzato il valore medio.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 49 di 189	

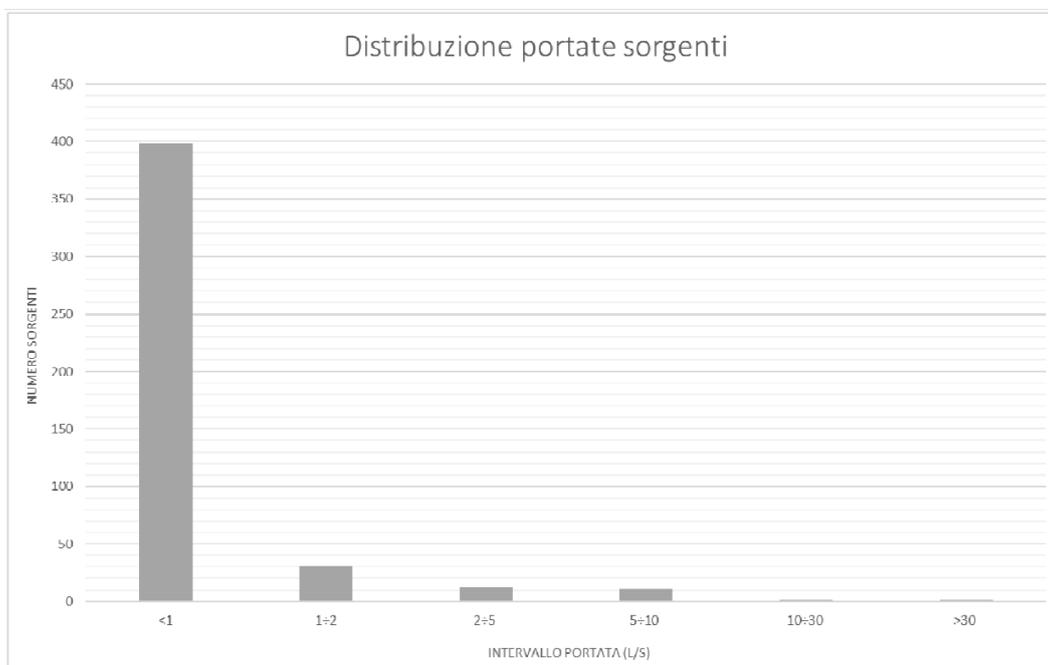


Figura 30: Istogramma delle portate medie delle sorgenti nella tratta Fortezza – Ponte Gardena.

Come si può notare dal grafico vi è una evidente predominanza di sorgenti con portate medie inferiori ad 1 l/s (87%), mentre solo il restante 13% registra portate medie superiori a tale soglia.

L'elevato numero di sorgenti con portate molto limitate è un dato che rientra nella norma per i versanti montani come quelli in esame, dal momento che in questi contesti la maggior parte delle risorse sono legate a piccoli corpi acquiferi locali che si rinvergono sui versanti e che non sono in grado di alimentare flussi significativi.

La portata di una sorgente è variabile nel tempo in funzione dell'andamento delle piogge e dell'ampiezza del bacino di alimentazione. Ai fini del problema esaminato il dato più significativo per classificare una sorgente è la portata media durante la fase di recessione. Per alcune sorgenti si dispone di campagne di misura più estese mentre per altre di campagne di misura più ridotte; in prima approssimazione si può comunque assumere che la minima portata di monitoraggio costituisca una ragionevole approssimazione della portata media in fase di recessione.

Escludendo le 22 sorgenti non perenni, di cui 5 registrate già durante il monitoraggio di Progetto Preliminare (B_001129, B_000641, B_000741, B_000900, B_000472-dx), 2 in fase di Progetto Definitivo (B_000631-3, B_000628-5), 15 durante il monitoraggio avviato dal 2013 (B_000174, B_000192-3, B_000215, B_000234, B_000579, B_000663, B_000753; B_000860, B_000985, B_001229, B_001231, B_001242, B_001450, B_001482 e B_001512), le rimanenti emergenze che fanno parte del monitoraggio hanno portate minime modeste e solamente 22 mostrano portate minime superiori ad 1 l/s.

La sorgente maggiore all'interno dell'area studiata è la B_000761 (sorgente **Gruberwiesen** in Val Scaleres, a circa 4.5 km di distanza dal tracciato), con portate che oscillano da un minimo di 20 l/s ad un massimo di 80 l/s con valori medi attorno ai 50-60 l/s.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 50 di 189

La Figura 31 mostra un'elaborazione della portata rilevata nelle sorgenti in corso di monitoraggio, differenziando il plottaggio in funzione del valore registrato. Dall'esame della figura emerge che le sorgenti con portata maggiore sono localizzate in particolar modo nella porzione nord-occidentale dell'area di studio (valli Scaleres e Spelunca). Inoltre, è possibile identificare un secondo insieme di emergenze a portata significativa nella porzione centrale del tracciato, a monte del bacino del Rio Snodres.

Una sorgente con portata media superiore ai 3 l/s è infine la B_000609 che risulta comunque piuttosto isolata e posta in corrispondenza del versante nord della Val Gardena, a circa 3.5 km dal tracciato e non direttamente in relazione con lo sviluppo dell'opera in progetto.

Oltre l'estremo orientale di Figura 31, nell'area della Val di Funes è infine localizzata la sorgente B_000542, a portata elevata (solo stimata come mediamente superiore ai 20-25 l/s poiché non direttamente misurabile). Tale sorgente risulta però ubicata a quasi 7 km dal tracciato. Perciò, data l'elevata distanza e l'approssimazione delle misure, la sorgente non verrà trattata nei successivi paragrafi relativi ai regimi di portate delle sorgenti significative.

Altra sorgente con portate medie comprese tra 3 e 5 l/s è la B_001369 nei pressi dell'Alpe di Villandro, sul versante opposto rispetto a quello di sviluppo del tracciato ed usata come punto di bianco del monitoraggio. Anche questa sorgente non verrà trattata nel seguito.

Nei successivi sottoparagrafi, partendo da nord e procedendo verso sud le principali sorgenti e gruppi di sorgenti vengono brevemente descritti e contestualizzati rispetto alla situazione geologica in cui vengono a giorno.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 51 di 189

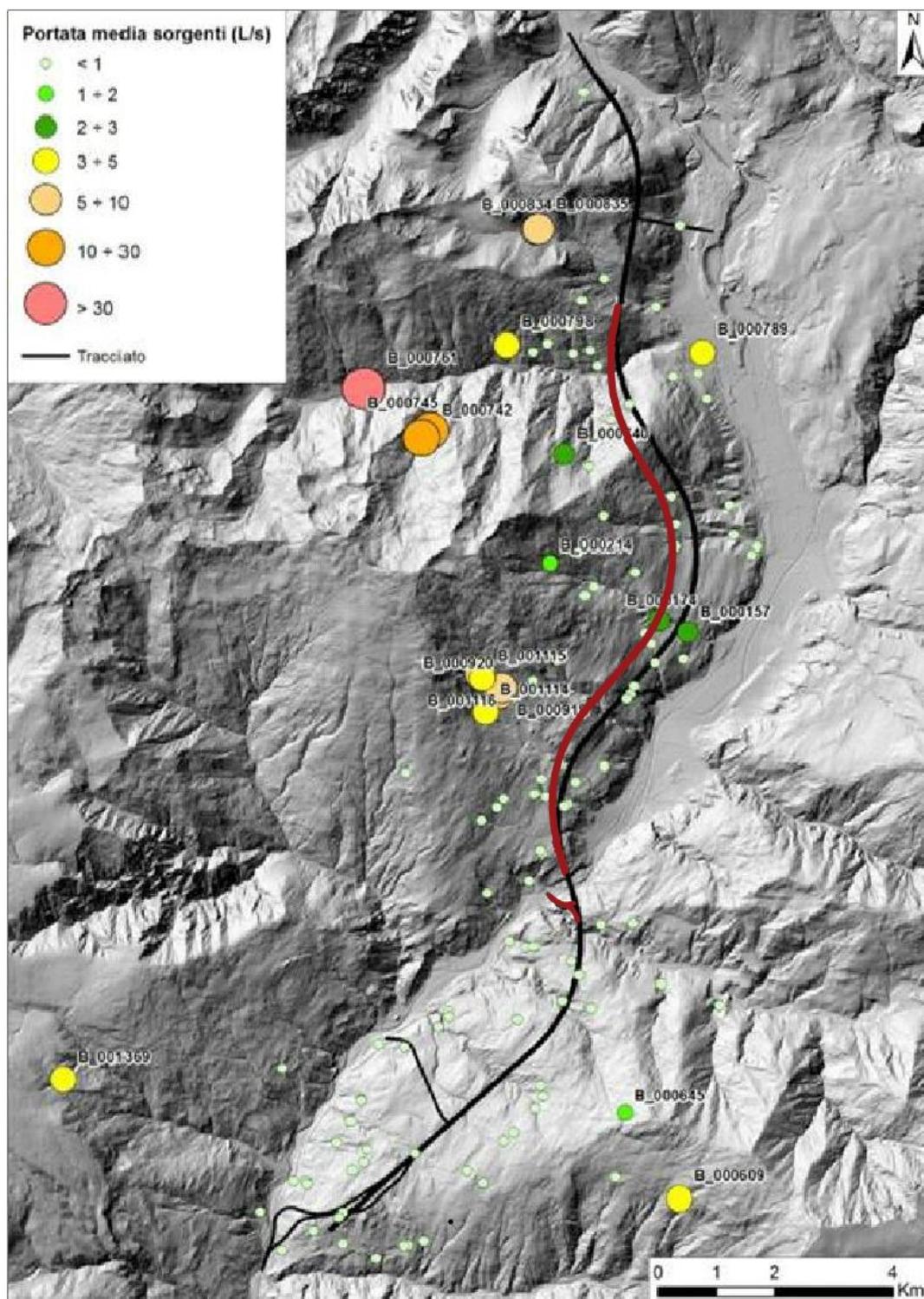


Figura 31: Rappresentazione spaziale dell'ubicazione delle sorgenti monitorate in funzione della loro portata; in nero il tracciato di PD, in rosso le varianti adottate in sede di PE.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	52 di 189

6.1.1 Sorgenti B_000834 e B_000835

Queste due sorgenti si localizzano lungo il fondovalle del Rio Spelunca a circa 1.6 km di distanza dal tracciato e presentano portate attorno ai 10 l/s. Esse vengono a giorno da depositi detritici di versante al piede del pendio sinistro orografico. Lo studio geologico ha tuttavia evidenziato che al di sotto dei depositi detritici potrebbe essere presente la terminazione meridionale di un lineamento strutturale che rappresenta l'estrema propaggine della Faglia del Rio Bianco. Il modello idrogeologico per le sorgenti non è definibile con certezza, poiché esse potrebbero costituire l'espressione di un sistema di flusso superficiale in depositi quaternari. Tuttavia, date le portate piuttosto elevate e il ridotto bacino in detriti a monte, appare poco probabile che la loro alimentazione provenga esclusivamente da infiltrazione in tali detriti. Non si possono escludere apporti anche dal corso d'acqua di fondovalle. Tuttavia, allo stesso tempo è possibile anche che parte dell'alimentazione avvenga attraverso flussi più profondi nel basamento pre-quaternario, incentivata dalla fratturazione associata con il lineamento che rappresenta la continuazione verso sud della suddetta Faglia del Rio Bianco. Per questa ragione, nonostante la presenza di estese coperture quaternarie nell'area, si ritiene che queste emergenze possano rappresentare l'espressione di un sistema di flusso misto alimentato sia da una circolazione prevalentemente superficiale sia da un sistema più profondo impostato lungo il suddetto lineamento.

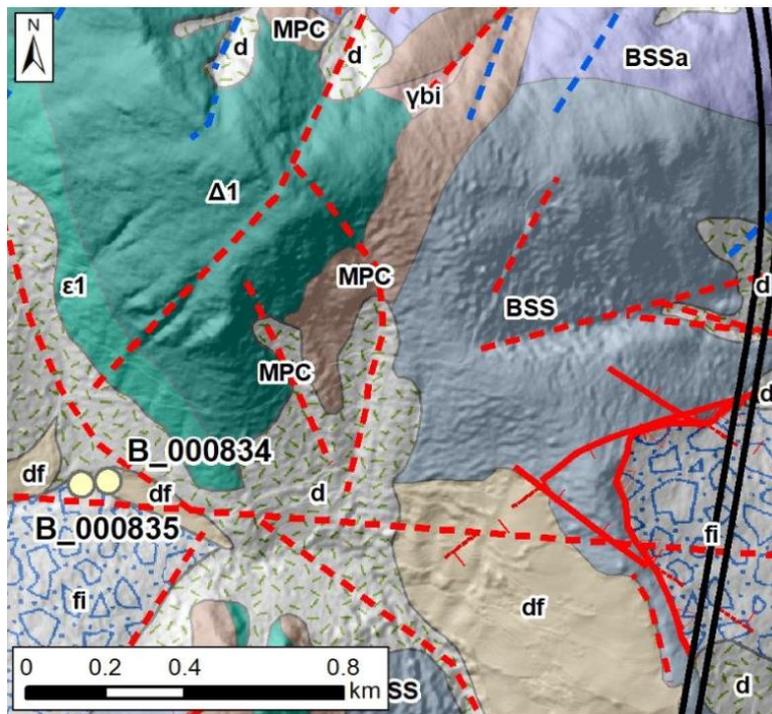


Figura 32: Ubicazione delle sorgenti B_000834 e B_000835 rispetto ai lineamenti tettonici dell'area.

Nel maggio 2018 e 2020 si notano due picchi di portata (16 l/s e 18 l/s) alla sorgente B_000834 che non vengono però replicati dalla vicina sorgente B_000835. Tale anomalia potrebbe essere legata ad un apporto parzialmente differente delle due sorgenti, forse, come già ipotizzato a un contributo da parte del corso d'acqua di fondovalle all'alimentazione della sorgente B_000834.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 53 di 189

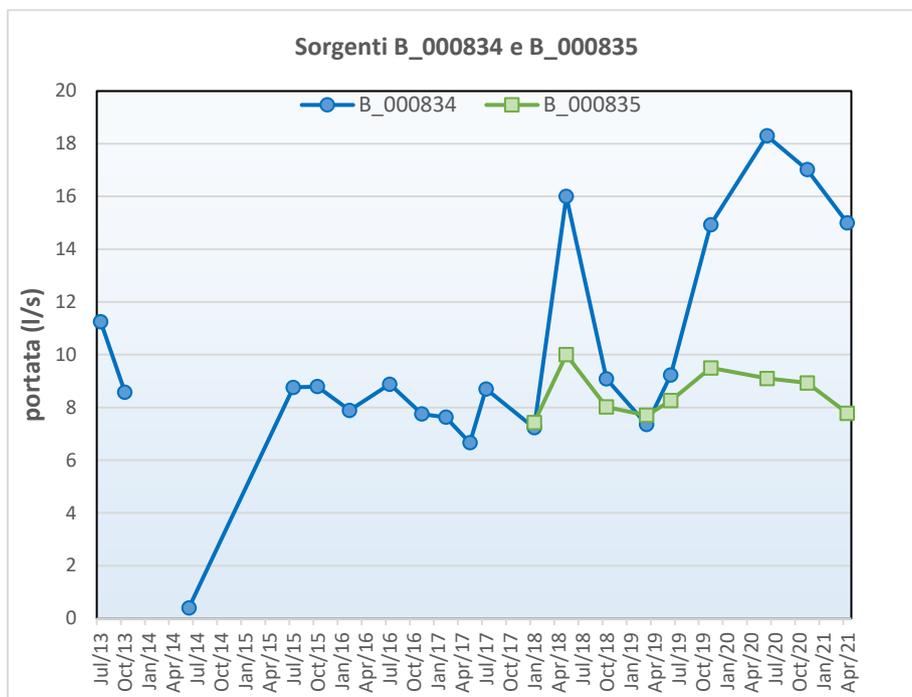


Figura 33: Dati di portata delle sorgenti B_000834 e B_000835.

6.1.2 Sorgente B_000761 Gruberwiesen

La sorgente Gruberwiesen viene a giorno nella parte medio-alta della Val Scaleres, in sponda sinistra, al piede del versante e non molto distante dal corso d'acqua di fondovalle. Si tratta della risorsa quantitativamente più importante di tutta l'area di monitoraggio, e presenta portate minime di 20 l/s.

La sorgente Gruberwiesen (Figura 34) è monitorata in continuo dal 2013, in virtù della presenza di una centrale acquedottistica posta più a valle (Figura 35), alla confluenza con le sorgenti B_000742 e B_000745, anch'esse monitorate in continuo dal 2015.

Nella Figura 36 sono stati messi a confronto i dati di monitoraggio di portate e temperature alla sorgente con i dati di piovosità per la stazione pluviometrica di Bressanone che è la stazione più vicina disponibile. Come si può osservare esiste una correlazione molto stretta fra precipitazioni e portate/temperature rilevate alla sorgente. Questo andamento dei parametri fortemente soggetto alla ciclicità stagionale fa ipotizzare che l'acquifero che alimenta la sorgente sia un acquifero superficiale, da ricercarsi nelle coltri di depositi quaternari della zona oppure nella parte più superficiale e detensionata dell'ammasso roccioso, molto permeabile.

Data la rilevanza della sorgente Gruberwiesen, è stato condotto un approfondimento nel suo intorno per raccogliere eventuali elementi aggiuntivi rispetto al monitoraggio. In Figura 37 è illustrata una carta geologica con elementi idrogeologici dell'immediato intorno della sorgente. Come si può osservare, la sorgente si trova in un contesto di conoide detritico-alluvionale terrazzata dal corso d'acqua di fondovalle. La sorgente emerge appunto alla base della scarpata di uno dei lembi di terrazzo osservabili. Più a monte i depositi di conoide

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 54 di 189

detrítico-alluvionale risultano incastonati fra depositi glaciali di spessore variabile da un metro ad alcuni metri. Il substrato pre-quadernario affiora sporadicamente.



Figura 34: Tunnel di raccolta delle acque della sorgente Gruberwiesen - B_000761.



Figura 35: Centrale acquedottistica ove vengono convogliate le acque della sorgente B_000761 e B_000742/5.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	55 di 189

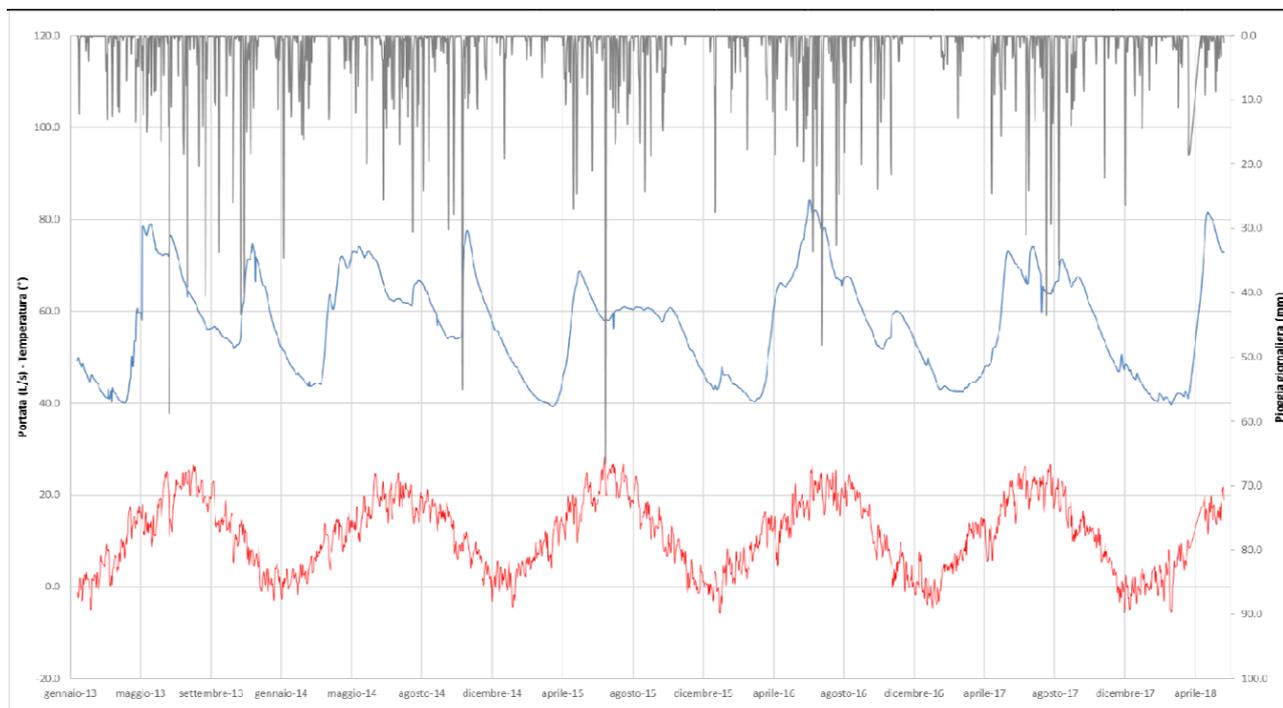


Figura 36: Grafico di correlazione piogge (in grigio in alto) - portata (in blu) - temperatura (in rosso) per la sorgente Gruberwiesen (B_000761).

Oltre alla sorgente principale il rilevamento ha messo in evidenza l'esistenza di alcune sorgenti minori, aventi portate dell'ordine di 1-2 l/s massimo. Nel corso del rilevamento sono state misurate le temperature e conducibilità delle varie sorgenti e dei corsi d'acqua della zona. I dati sono riportati nella Tabella 6. Il quadro che ne emerge è piuttosto articolato e di difficile interpretazione. Come si può osservare dalla tabella, la sorgente Gruberwiesen è il punto d'acqua avente temperatura più bassa (3°C al momento del rilevamento). Tutti gli altri punti d'acqua hanno temperature maggiori: il Rio Scaleres ha temperatura di 5 °C mentre le altre sorgenti e corsi d'acqua hanno temperature che variano da 6 a 8°C. Solo la sorgente S1, molto prossima sia alla sorgente Gruberwiesen, sia al corso d'acqua di fondovalle ha temperature confrontabili con quelle della sorgente principale (circa 3,5°C), ma ha una conducibilità quasi doppia, il che permette di escludere che, nonostante la vicinanza, i due punti non afferiscano allo stesso sistema di flusso. Le sorgenti S2, S3 e S4, che emergono più a monte della Gruberwiesen sono delle sorgenti di trabocco dell'acquifero costituito dai depositi glaciali, che emergono per la vicinanza del substrato pre-quadernario e l'assottigliamento dei depositi. Le caratteristiche di queste acque, molto diverse da quelle della Gruberwiesen, permettono di escludere che questa sia legata a circolazioni nei depositi glaciali posti lungo il versante sinistro della Val Scaleres a monte del punto di emergenza.

Allo stesso tempo la limitata estensione verso monte dei depositi detritico-alluvionali, da cui la sorgente emerge, e le differenze significative di temperatura rispetto alle acque del corso d'acqua del conoide da cui sgorga, lasciano aperto qualche dubbio anche sulla possibile origine da infiltrazioni di precipitazioni nei depositi quadernari.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 56 di 189

Anche un contributo da parte del corso d'acqua di fondovalle sembra improbabile viste le differenze di temperatura.

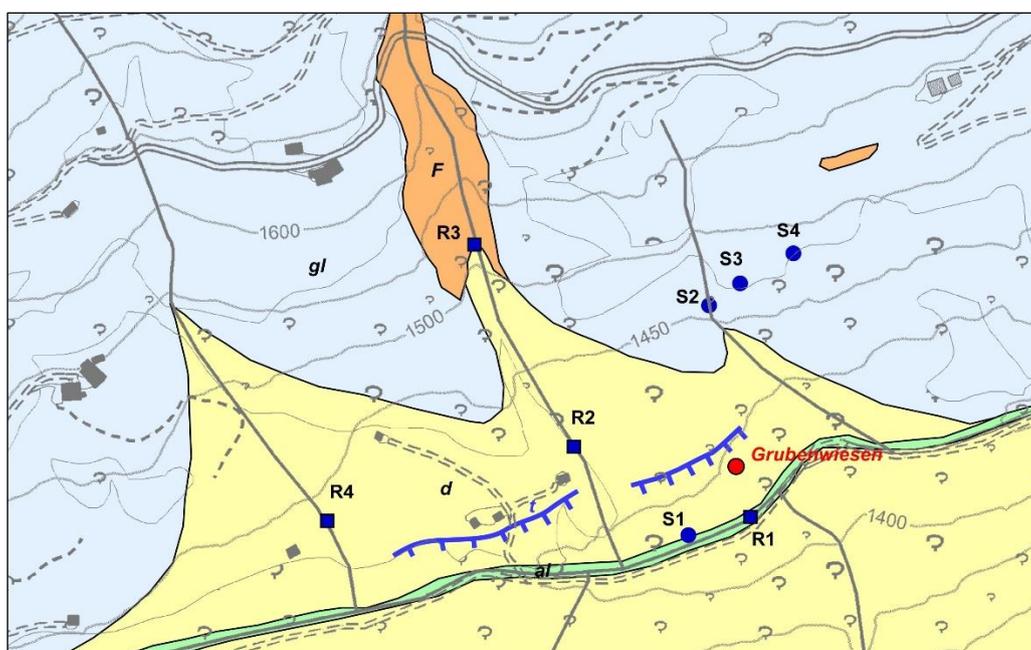


Figura 37: Dettaglio cartografico nell'immediato intorno della sorgente Gruberwiesen (B_000761); F=substrato filladico, gl=depositi glaciali, al=depositi alluvionali, d=depositi detritico-alluvionali; t=orli di terrazzo alluvionale; S=sorgenti, R=punti di misurazione corsi d'acqua.

Sorgente	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)
Gruberwiesen	3	14
S1	3,5	24
S2	8	14
S3	7	11
S4	6	11
R1 (Rio Scaleres)	5	11
R2	8	13
R3	7	13
R4	8	16

Tabella 6: Temperature e conducibilità elettriche delle sorgenti e corsi d'acqua osservabili nell'intorno della sorgente Gruberwiesen (dati al 16 settembre 2021).

In conclusione, i dati disponibili per la sorgente Gruberwiesen non sono conclusivi per stabilirne con relativa certezza un'origine. Un'alimentazione per infiltrazione nei depositi detritici di versante posti a monte non può essere esclusa, forse anche con contributi dal piccolo corso d'acqua del conoide da cui la sorgente emerge. La minor temperatura della sorgente rispetto al corso d'acqua potrebbe essere in parte giustificata dal riscaldamento di quest'ultimo a contatto con l'atmosfera. Tuttavia, come detto, il bacino imbrifero in depositi lungo il versante direttamente a monte della sorgente è piuttosto ridotto e bisognerebbe chiamare in causa anche altre zone di alimentazione. Una possibilità è che anche il versante destro della Val Scaleres,

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	57 di 189

costituito da abbondanti coltri detritiche, contribuisca con flussi che sottopasserebbero il corso d'acqua di fondovalle per emergere poco più in là in sponda sinistra.

Un'altra possibilità è che la sorgente riceva alimentazioni anche dal substrato, lungo la zona cataclastica di sovrascorrimento ipotizzata lungo il fondovalle (Figura 38). Tale ipotesi, seppur non possa essere esclusa, appare oggettivamente poco verosimile, principalmente perché circolazioni nel substrato dovrebbero originare temperature maggiori di quelle dei corsi d'acqua di superficie, essendo comunque relativamente profonde.

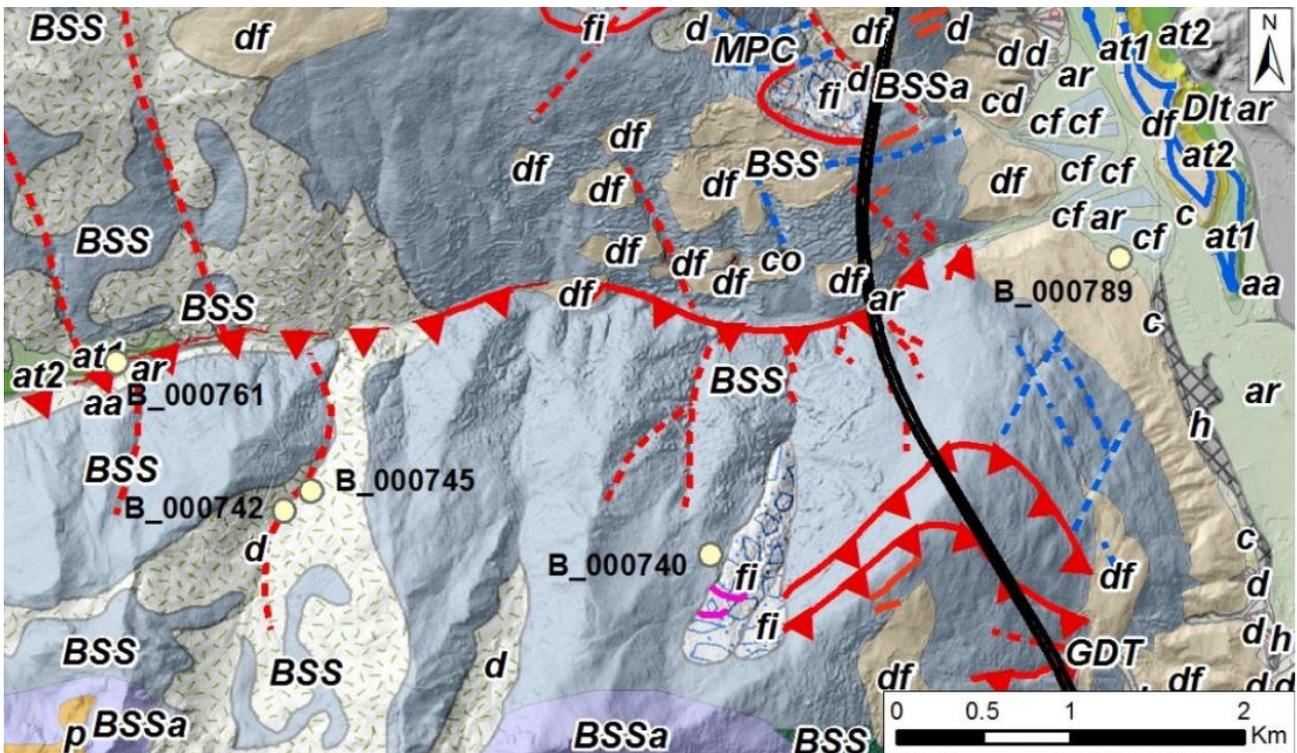


Figura 38: Ubicazione delle sorgenti significative in Val Scaleres.

6.1.3 Sorgenti B_000742 e B_000745 Nockbach Mittlere e Untere

Queste due importanti sorgenti emergono in destra orografica della Valle di Scaleres nelle parti medio-basse del versante in corrispondenza del fondo di un vallone laterale. Le portate complessive anche in questo caso sono molto elevate, nell'ordine dei 10-15 l/s per la portata minima e superiori ai 40 l/s per la portata massima.

In Figura 39 è riportato un diagramma analogo a quello già visto per la Gruberwiesen che confronta portate e temperature delle sorgenti con le precipitazioni della stazione di Bressanone. Anche in questo è evidente una netta correlazione fra le portate e la ciclicità delle precipitazioni, almeno per il periodo estivo. Il picco delle portate corrisponde al periodo primaverile, in cui si verifica lo scioglimento delle nevi. Questa situazione è indicativa di un sistema poco profondo, che reagisce rapidamente ai cambiamenti climatici. Da notare come il dato di portata delle sorgenti sia tagliato a circa 43.7 l/s, forse per l'entrata in azione di uno sfioratore o troppo pieno che limita la quantità d'acqua in entrata alla centrale. Ciò significa che la portata può aver plausibilmente toccato i 50 l/s nei periodi di massima attività idrica.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 58 di 189

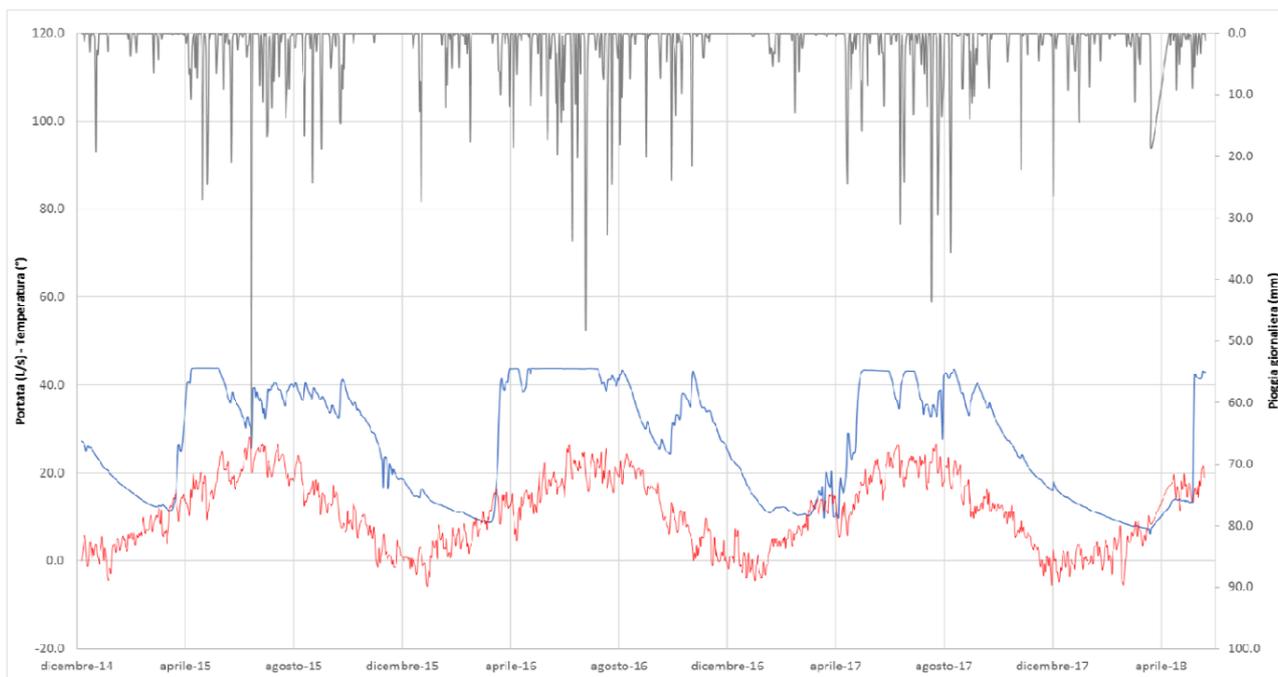


Figura 39: Grafico di correlazione piogge (in grigio in alto) - portata (in blu) - temperatura (in rosso) per le sorgenti Nockbach (B_000742 – B_000745).

Geologicamente il versante in cui vengono a giorno le sorgenti presenta delle coltri detritiche piuttosto estese e potenti. Appare dunque molto probabile che il sistema di flusso che alimenta le sorgenti si sviluppi in tali coltri e nella porzione più parietale e detensionata del substrato.

6.1.4 Sorgente B_000740 Mellauner Kuchl

Si tratta di una sorgente con portata mediamente inferiore ai 5 l/s (Figura 40), che emerge in destra orografica della Val Scaleres a mezzo versante in corrispondenza di un vallone laterale. Essa presenta una portata media di poco inferiore ai 3 l/s. Nel maggio 2018 e 2020 si sono raggiunti, come per altre emergenze, valori di picco pari a 7-8 l/s, dovuti al rapido e ingente scioglimento nivale.

Il settore di versante a monte della sorgente non è caratterizzato da potenti coltri detritiche che possano costituire significativi acquiferi in mezzi porosi. Si può pertanto ipotizzare che il sistema di flusso che alimenta la sorgente sfrutti come acquifero la porzione superficiale detensionata del substrato.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 59 di 189

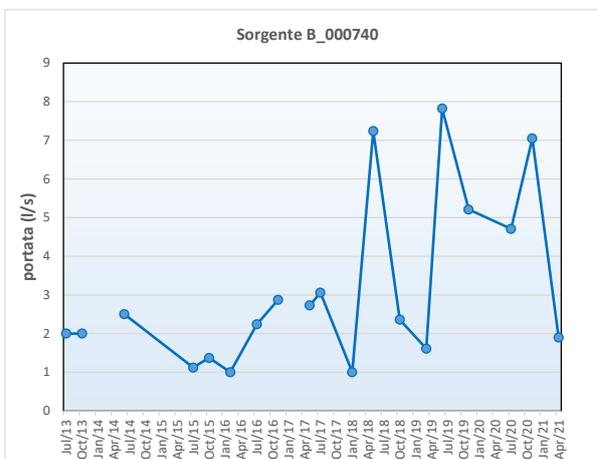


Figura 40: Opera di presa e grafico delle portate della sorgente B_000740 Mellauner Kuchl .

6.1.5 Sorgente B_000789 Stollenquelle-Griesserhof

Questa sorgente è localizzata allo sbocco della Val Scaleres sul fondovalle Isarco e presenta portate medie inferiori ai 5 l/s. Essa emerge da una galleria ed ha un regime molto variabile con portate che oscillano tra 0,8 e 5 l/s circa. Le oscillazioni di portata sembrano essere ben correlate con quelle del Rio Scaleres che le corre a fianco. Visto anche il chimismo molto prossimo a quello del rio sembra verosimile ipotizzare che si tratti di una emergenza di un sistema di flusso in comunicazione diretta con il rio attraverso i depositi detritici presenti sul versante in questo settore. Essendo il tunnel di adduzione parzialmente occluso è però impossibile definirne il proseguimento verso monte.



Figura 41: Particolare del tunnel di adduzione della sorgente B_000789 Stollenquelle-Griesserhof.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 60 di 189

6.1.6 Sorgenti della valle del Rio Snodres: B_000919 Hinterwiesenquelle, B_000920 Quelle C, B_001114 Prarrerbrunnquelle, B_001115 Schwarzbrunnquelle, B_001116 Jörgenbrunnquelle

Tutte le sorgenti di questo gruppo presentano portate piuttosto consistenti e pari ad alcuni litri per secondo. Le captazioni e i diagrammi di portata sono visibili nelle figure che seguono. Più in particolare, le sorgenti presentano le seguenti portate medie: B_000919 Hinterwiesenquelle 8.4 l/s, B_000920 Quelle 6.5 l/s, B_001114 Prarrerbrunnquelle 3.5 l/s, B_001115 Schwarzbrunnquelle 4.2 l/s, B_001116 (Jörgenbrunnquelle 5.6 l/s). Complessivamente la portata media scaricata da questo gruppo di sorgenti è quindi superiore ai 25 l/s.

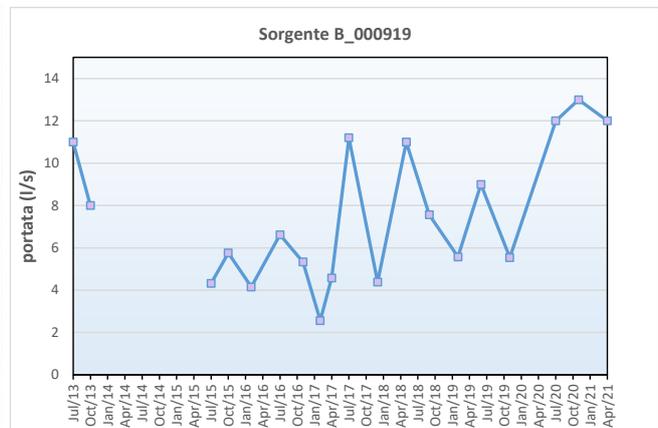


Figura 42: Opera di presa e grafico delle portate della sorgente B_000919 Hinterwiesenquelle.

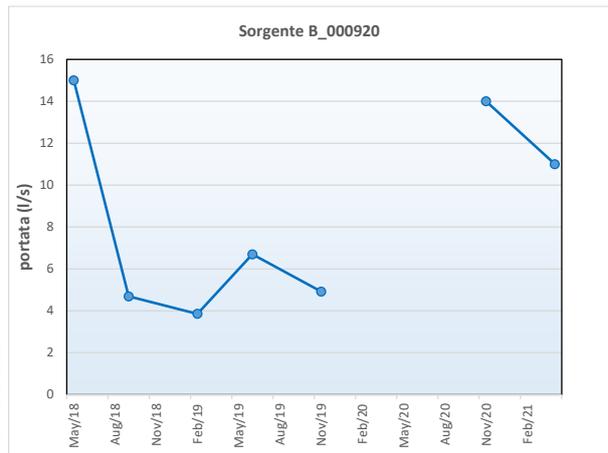


Figura 43: Opera di presa e grafico delle portate della sorgente B_000920 Quelle C.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO
PROGETTAZIONE:		
Mandataria:	Mandanti:	
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMessa LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1BEZZ RG GE0000002 B 61 di 189	

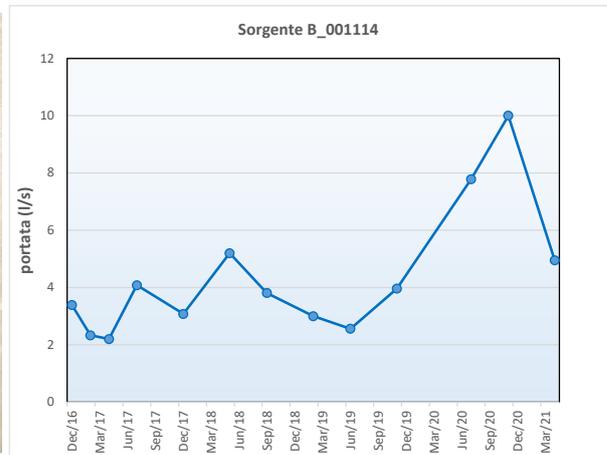


Figura 44: Opera di presa e grafico delle portate della sorgente B_001114 Prarrerbrunquelle.

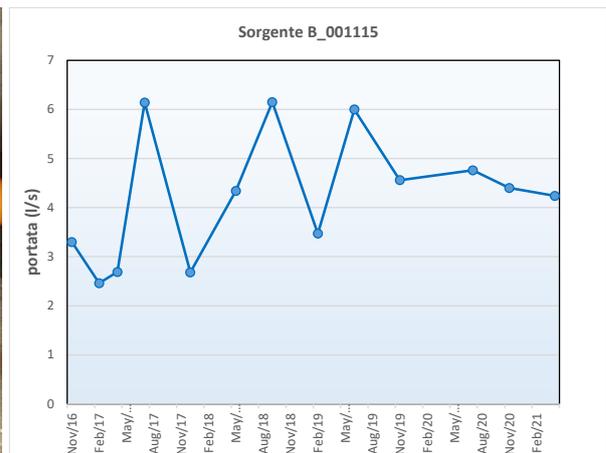


Figura 45: Opera di presa e grafico delle portate della sorgente B_001115 Schwarzbrunquelle.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 62 di 189

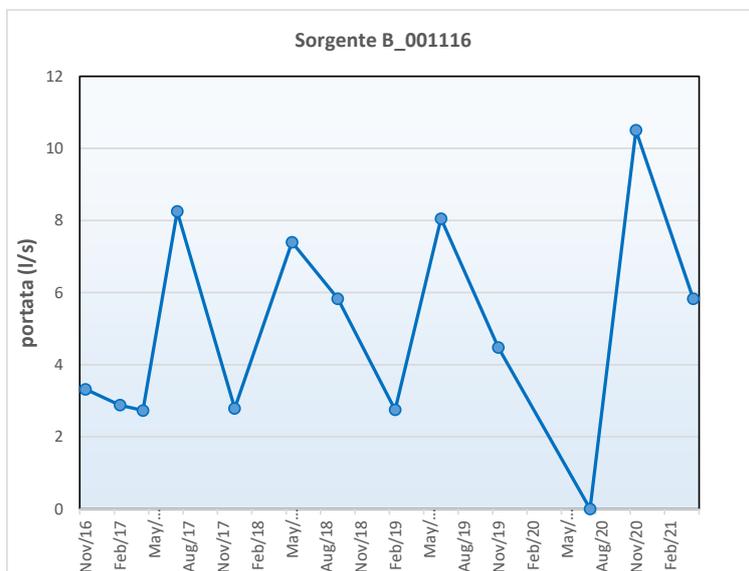


Figura 46: Grafico delle portate della sorgente B_001116 Jörgenbrunnquelle.

Tutte le sorgenti vengono a giorno in corrispondenza di coltri detritiche di versante piuttosto estese e potenti. Più in particolare le sorgenti B_000919 e B_000920 sono localizzate in sinistra orografica del Rio Snodres in settori prossimi al fondovalle; le altre sorgenti sono invece ubicate in destra e a quote sempre leggermente superiori a quelle del fondovalle. Le portate in tutti i casi oscillano in modo piuttosto marcato, indice di alimentazione rapida e superficiale. Sembra verosimile che i sistemi di flusso che le alimentano siano da mettere in relazione con circolazioni che si sviluppano nelle coltri detritiche citate e, in parte anche nelle porzioni più detensionate del substrato pre-quaternario.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	63 di 189

7. GEOCHIMICA E GEOCHIMICA ISOTOPICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE

I dati di monitoraggio idrogeologico geochimico e geochimico-isotopico permettono di ottenere delle conoscenze sulle interazioni acqua-roccia dei sistemi di flusso sotterraneo e sulle quote medie di ricarica degli acquiferi. Nel presente capitolo queste tematiche vengono trattate facendo principalmente riferimento alle medesime analisi già condotte in sede di Progetto Definitivo, che rimangono a tutt'oggi valide.

Un primo aspetto trattato è un'analisi dei solidi totali disciolti (TDS) e dei principali parametri fisici, ovvero la conducibilità elettrica specifica a 25°C e la temperatura. A valle di ciò è stata realizzata un'analisi più specifica dal punto di vista geochimico mediante i diagrammi di Piper per la definizione della facies idrochimica di appartenenza dei diversi punti d'acqua. Inoltre, come ulteriore indicatore relativo alla maturità geochimica delle acque sorgive si è considerato anche l'indice di saturazione in calcite (SI).

I dati analizzati sono quelli derivanti dalle campagne di monitoraggio svolte tra luglio 2013 e marzo 2019; i dati successivi, fino al 2021, confermano quanto dedotto da tale analisi.

7.1 PARAMETRI CHIMICO-FISICI

7.1.1 Total Dissolved Solids (TDS)

Una prima analisi è consistita nella valutazione del parametro TDS (*Total Dissolved Solids*) per le sorgenti, un parametro che esprime il grado di mineralizzazione delle acque e risulta dalla somma, in mg/l, della componente anionica e cationica e della silice (non considerata, come già detto, nei diagrammi di Piper). Tra tutti i dati disponibili sono stati scelti per il calcolo del TDS, soltanto quelli che presentavano un valore di bilancio ionico, differenza tra la somma di anioni e cationi, attendibile, vale a dire con errore inferiore a $\pm 10\%$.

L'analisi del TDS è utile per fornire una stima preliminare del grado di maturità delle acque, ovvero l'importanza del fenomeno di interazione acqua/roccia in termini di tempo. Infatti, per acque che hanno circolato in acquiferi con composizione mineralogica per grandi linee simile, a TDS maggiori dovrebbero in genere corrispondere tempi di interazione acqua-roccia più lunghi. Tale suddivisione non è comunque applicabile in modo diretto, poiché, oltre ai lunghi tempi di interazione esistono altri fattori che possono condizionare il contenuto in solidi disciolti, ovvero fenomeni di contaminazione antropica (es. sali utilizzati in periodo invernale per il disgelo della sede stradale, contaminazione da allevamenti animali ecc.), diverso grado di solubilità delle rocce del substrato (es. gessi, anidriti), fenomeni di adsorbimento in concomitanza con il transito lungo livelli argillosi. Nonostante questo, il TDS può costituire una prima utile scrematura per mettere in evidenza zone di venuta a giorno di sistemi di flusso particolari.

Nel caso del presente studio, l'analisi in questione è comunque da ritenersi attendibile in virtù delle caratteristiche litologiche piuttosto uniformi riscontrate nell'area di progetto nell'intorno del tracciato (prevalentemente rocce metamorfiche filladiche ed in subordine granitoidi). Il solo elemento di disturbo, come si vedrà, è rappresentato dai fenomeni di contaminazione per agenti antropici.

Di seguito si è ritenuto utile analizzare i valori di TDS delle sorgenti monitorate rispetto alla quota di affioramento, dal momento che nel particolare contesto vallivo di interesse si può ipotizzare che la condizione di normalità sia rappresentata da una correlazione inversa fra TDS e quota, assumendo che le sorgenti poste al piede dei versanti possano essere quelle che hanno seguito percorsi più lunghi. Gli scostamenti rispetto a questa ipotetica relazione potrebbero indicare delle anomalie locali.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 64 di 189

In Figura 47 è riportato il grafico di correlazione TDS/Quota, da cui si evidenzia un rapporto di proporzionalità inversa tra i due parametri. Solo alcune sorgenti, appositamente etichettate, mostrano degli scostamenti dalla tendenza identificata.

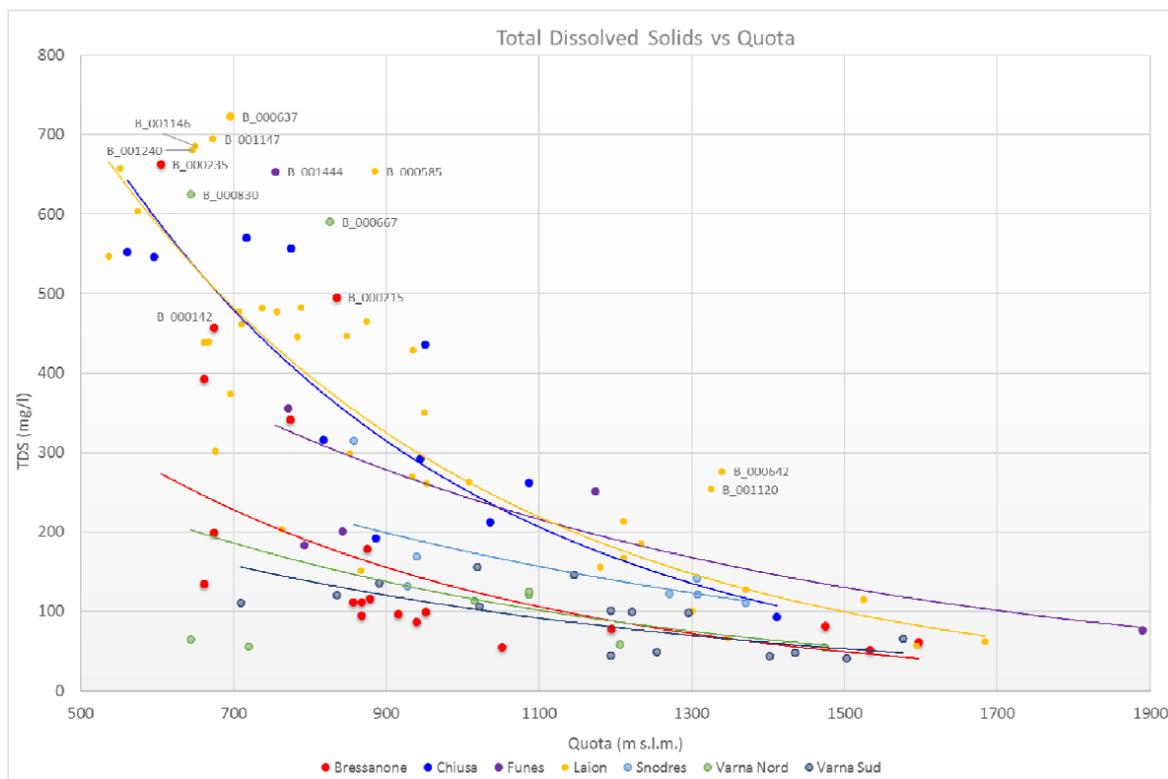


Figura 47: Relazione TDS-Quota per le sorgenti dell'area di studio (suddivisione per bacini).

In Figura 48 è mostrata invece la distribuzione di frequenza dei valori di TDS per le medesime emergenze. Si nota che le sorgenti appartenenti alle prime due classi (TDS < 200 mg/L) rappresentano circa il 60% del totale della distribuzione. Ciò indica dunque un grado di mineralizzazione generalmente non molto elevato.

In Figura 49 è visibile la distribuzione nell'area di progetto delle varie sorgenti suddivise per classi di TDS. I valori di TDS più bassi, in accordo con il grafico di Figura 47, si riscontrano alle quote più elevate, ove le sorgenti sono alimentate da flussi molto rapidi e di breve sviluppo attraverso la porzione più superficiale del substrato o entro i depositi quaternari.

Scendendo di quota si registra invece un aumento dei gradi di mineralizzazione che segue le curve esponenziali presentate in Figura 47. Plottando i valori di TDS separatamente per i singoli bacini si nota, attraverso le rispettive linee di tendenza, come i gradi di mineralizzazione maggiori si riscontrino nei bacini meridionali di Chiusa, Laion e in parte Funes. Procedendo verso nord si registra una progressiva diminuzione dei TDS, che vede il suo minimo nei bacini di Varna nord e sud. Poiché dal punto di vista litologico in questi bacini il substrato non presenta significative differenze composizionali, è possibile che la variabilità areale del TDS sia da ricondursi alla differente composizione dei depositi glaciali, presenti un po' ovunque nella zona. Nel settore sud tali depositi potrebbero presentare una composizione con maggior contenuto di elementi carbonatici, in grado rilasciare nelle acque un maggior contenuto di ioni disciolti in tempi brevi.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 65 di 189	

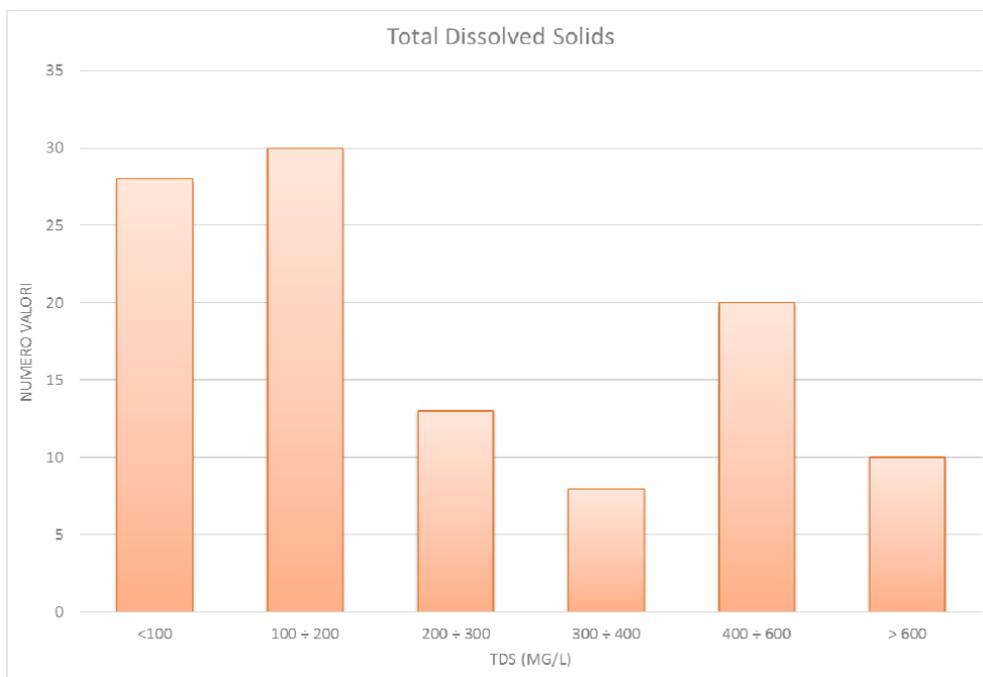


Figura 48: Distribuzione di frequenza dei valori di TDS.

Nonostante queste differenze si nota una generale tendenza alla diminuzione dei gradi di mineralizzazione con la quota in tutti i bacini analizzati. Da questo trend si discostano alcune sorgenti ubicate in aree circoscritte.

Questo comportamento si verifica infatti in corrispondenza delle aree poste tra la confluenza delle valli Gardena e Isarco (zona Laion – Ponte Gardena) e lungo lo stesso versante sinistro della Valle Isarco fino circa alla confluenza con la Val di Funes. Quest'area è caratterizzata dalla presenza di sorgenti, fra quelle monitorate, aventi gradi di mineralizzazione generalmente più evoluti rispetto alla media.

Nell'area di Laion e Ponte Gardena gradi di mineralizzazione più alti della norma si osservano per le sorgenti B_000637, B_000621, B_000585, che hanno tutte portate piuttosto basse (inferiori a 0.3-0.5 L/s). Nel primo caso, gli alti contenuti in cloruri e nitrati suggeriscono che l'elevato TDS sia da mettere in relazione a contaminazioni da liquami animali; per la sorgente B_000621 non si dispone di dati ma si possono ipotizzare origini analoghe della elevata mineralizzazione. Nel caso della sorgente B_000585 gli anomali contenuti in potassio oltre che in cloruri e sodio lasciano aperto qualche dubbio in merito ad una sola origine dell'anomalia per contaminazioni da sali per il disgelo stradale; il cloruro di potassio non è infatti uno dei sali più comunemente utilizzati per il disgelo stradale. Questa sorgente potrebbe rappresentare un'emergenza di un sistema con tempi di interazione acqua/roccia prolungati.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 66 di 189

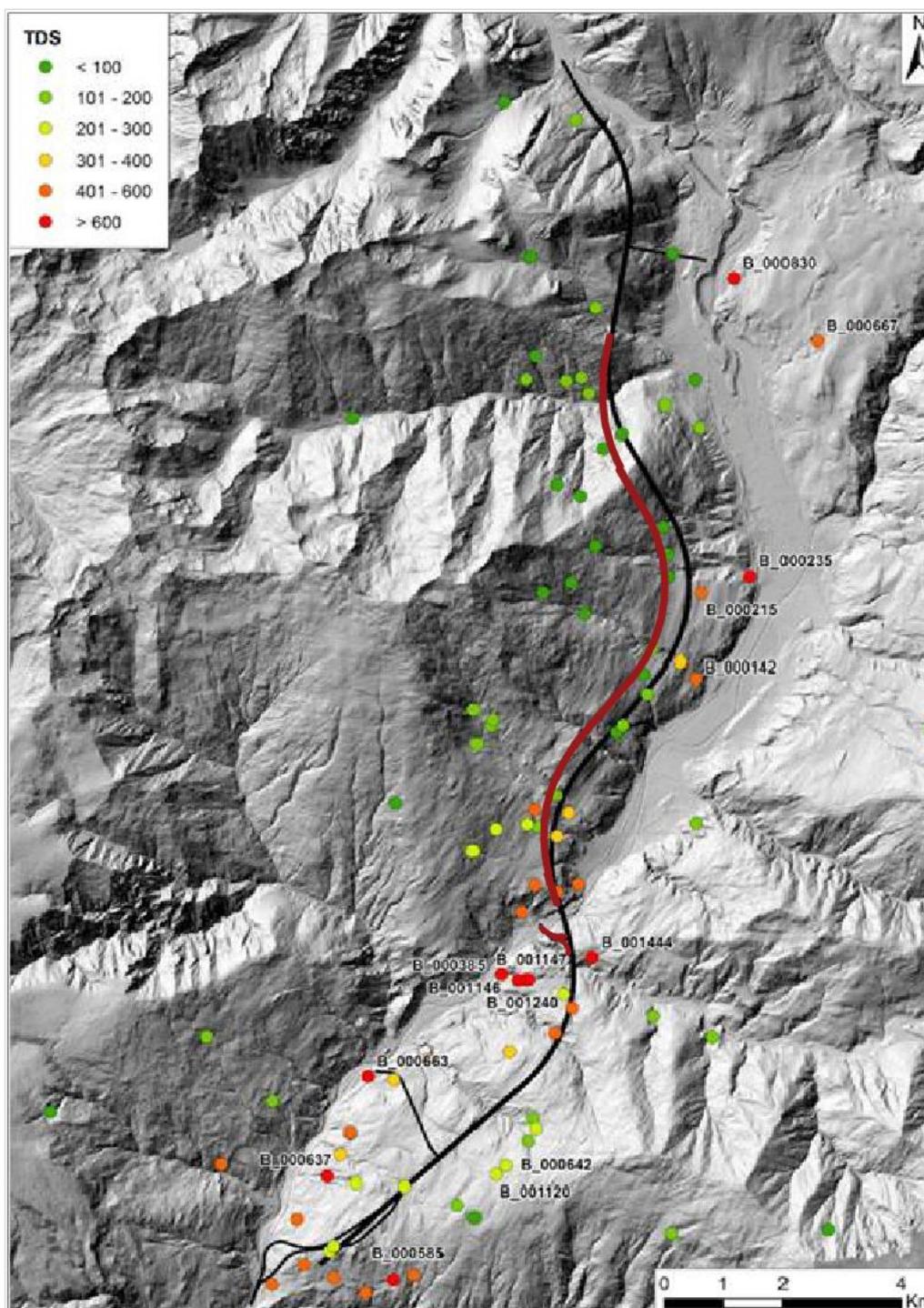


Figura 49: Distribuzione planimetrica delle sorgenti in funzione del valore di TDS; in nero il tracciato di PD, in rosso le varianti adottate in sede di PE.

Sempre nel bacino di Laion le sorgenti B_000642 e B_001120 mostrano valori di TDS più elevati della media in relazione alle quote (circa 1320-1340 m.s.l.m.), accompagnati da un'assenza o comunque ridotta presenza

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 67 di 189

di depositi quaternari nelle vicinanze. Ciò potrebbe indicare una possibile origine più complessa dei fluidi alimentatori.

Proseguendo verso nord si incontrano altre sorgenti con valori di TDS elevati, tra cui i punti B_001146, B_001147, B_001240 e B_001513 posti quasi alla confluenza con la Val di Funes. Tutte queste sorgenti presentano valori molto elevati in cloruri e nitrati, il che indica probabili contaminazioni da liquami animali; gli elevati TDS non dovrebbero quindi essere correlati con tempi lunghi di interazione con il serbatoio idrogeologico.

Sempre nei pressi della confluenza con la Val di Funes si localizza anche la sorgente B_001444 che presenta valori attorno ai 650 mg/L. In questo caso non si ravvisano particolari fenomeni di inquinamento; l'elevata salinità potrebbe invece essere da mettere in relazione all'impronta solfato-bicarbonato-calcica di queste acque, che indicherebbe la dissoluzione di rocce carbonatico-evaporitiche. In ogni caso per questo sistema sono possibili origini da circolazioni relativamente profonde nel substrato roccioso oppure in depositi alluvionali contenenti rocce carbonatico-evaporitiche.

Un'altra area caratterizzata dalla presenza di sorgenti con gradi di mineralizzazione evoluti (B_000142, B_000215 e B_000235) è quella compresa tra il Rio dell'Orso a sud e il Rio Tiles a nord, in corrispondenza del ripiano morfologico sul quale sorge l'omonimo abitato di Tiles. Tutte queste sorgenti, e in particolare le ultime due, presentano contenuti molto elevati di cloruri e nitrati, indice di fenomeni di contaminazione da liquami animali, alla quale è presumibilmente da imputare l'elevato TDS.

L'ultima area è quella ove si localizzano le sorgenti B_000667 e B_000830, a NE di Bressanone, che presentano elevati valori di TDS. Ancora una volta si tratta di emergenze con concentrazioni molto elevate di cloruri e nitrati; pertanto, l'elevato TDS è sicuramente da mettere in relazione con fenomeni di contaminazione.

7.1.2 Conducibilità elettrica specifica (Cs)

Così come fatto per i solidi disciolti è possibile eseguire un'analisi dei flussi idrogeologici basata sui valori di conducibilità elettrica specifica a 25°C.

In Figura 50 si riporta la correlazione esponenziale inversa esistente tra i valori di conducibilità specifica e la quota. Come per il TDS, che è un parametro di fatto generalmente correlabile con la conducibilità, si notano valori di conducibilità sempre più bassi approssimandosi alle quote più alte, caratterizzate da sorgenti alimentate da flussi generalmente meno evoluti. In particolare, suddividendo nuovamente l'analisi sulla base dei sottobacini di appartenenza, si notano curve di tendenza con quote mediamente più elevate per i bacini di Laion, Chiusa e Funes, localizzati sul versante sinistro della Valle Isarco, a sud di Bressanone. I bacini di Bressanone e Snodres mostrano valori di conducibilità intermedi tra i tre bacini meridionali e quelli più settentrionali di Varna Nord e Sud, in cui i gradi di mineralizzazione risultano generalmente molto bassi. La ragione per tale distribuzione è presumibilmente da reperirsi nelle caratteristiche dei depositi glaciali, come per il TDS.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	68 di 189

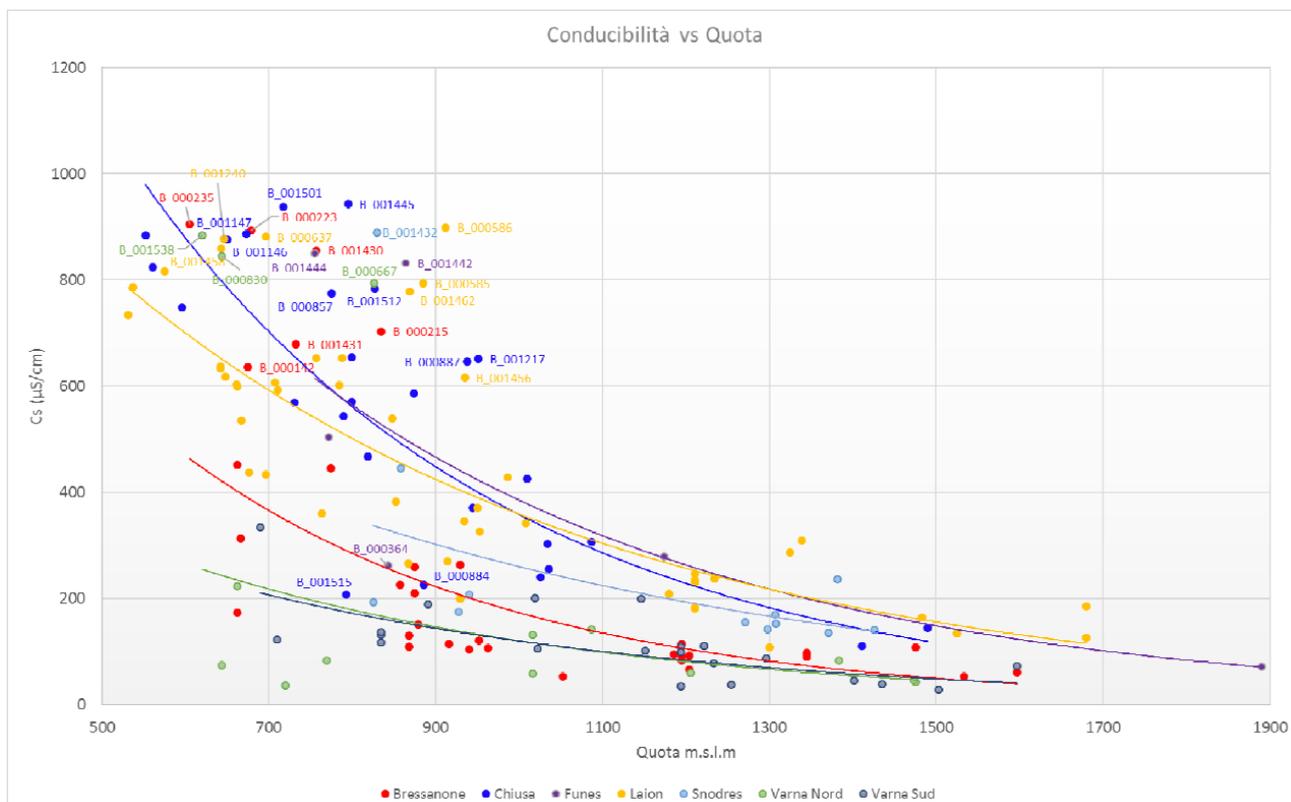


Figura 50: Rapporto conducibilità specifica – quota per le sorgenti analizzate.

In Figura 51 è invece rappresentata la distribuzione di frequenza dei valori di conducibilità. Si può notare come le sorgenti che mostrano conducibilità basse (< 200 µS/cm) rappresentino oltre il 40% di tutte le emergenze monitorate.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 69 di 189

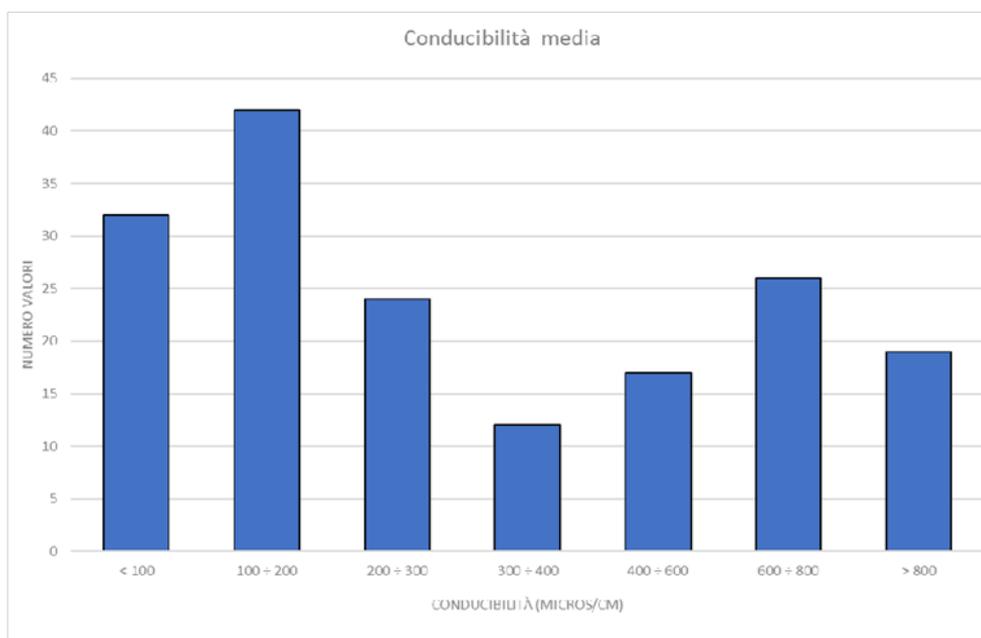


Figura 51: Distribuzione dei valori di conducibilità specifica.

In Figura 52 è visibile la distribuzione nell'area di progetto delle varie sorgenti suddivise per classi di conducibilità, da cui si possono nuovamente individuare una serie di zone caratterizzate da conducibilità maggiori rispetto alla media in corrispondenza dell'area Laion – Ponte Gardena e lungo tutto il versante sinistro della Valle Isarco, tra le confluenze con la Val Gardena a sud e la Val di Funes a nord.

Nell'area di Laion, oltre a quelle precedentemente segnalate per l'elevato TDS, sono da segnalare tra le nuove sorgenti la B_000586, B_001456, B_001458 e B_001462. Esse sono tutte relativamente prossime le une alle altre e sono ubicate a valle di settori fortemente antropizzati o di sedi stradali importanti; l'unica sorgente per cui si dispone di dati geochimici è la B_001456, che presenta elevati valori di cloruri e nitrati indicanti contaminazione da liquami animali. Sembra alquanto probabile che analoghe problematiche valgano per le altre sorgenti vicine per le quali non si dispone di analisi.

Si ritrovano poi le sorgenti con elevato TDS dell'area di Tiles precedentemente descritte, con l'aggiunta delle emergenze B_000223, B_001430 e B_001431. Per queste sorgenti, in assenza di analisi chimiche non risulta realistico fare ipotesi in merito alle motivazioni per la conducibilità superiore alla media. Il contesto in cui le sorgenti si collocano (zone di pascolo e zone poste a valle di centri abitati e strade) suggerisce però sempre la medesima origine da inquinamento antropico o animale.

Nel bacino di Snodres si segnala l'elevata conducibilità specifica (890 $\mu\text{S}/\text{cm}$) della sorgente B_001432, posta al limitare di un terrazzo fluvioglaciale che borda la Valle Isarco. È dunque probabile che tali elevati valori di conducibilità siano attribuibili, vista la scarsa portata (< 0.2 L/s), ad una circolazione prevalentemente impostata nei depositi quaternari superficiali posti a monte con contaminazioni antropico-animale.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 70 di 189

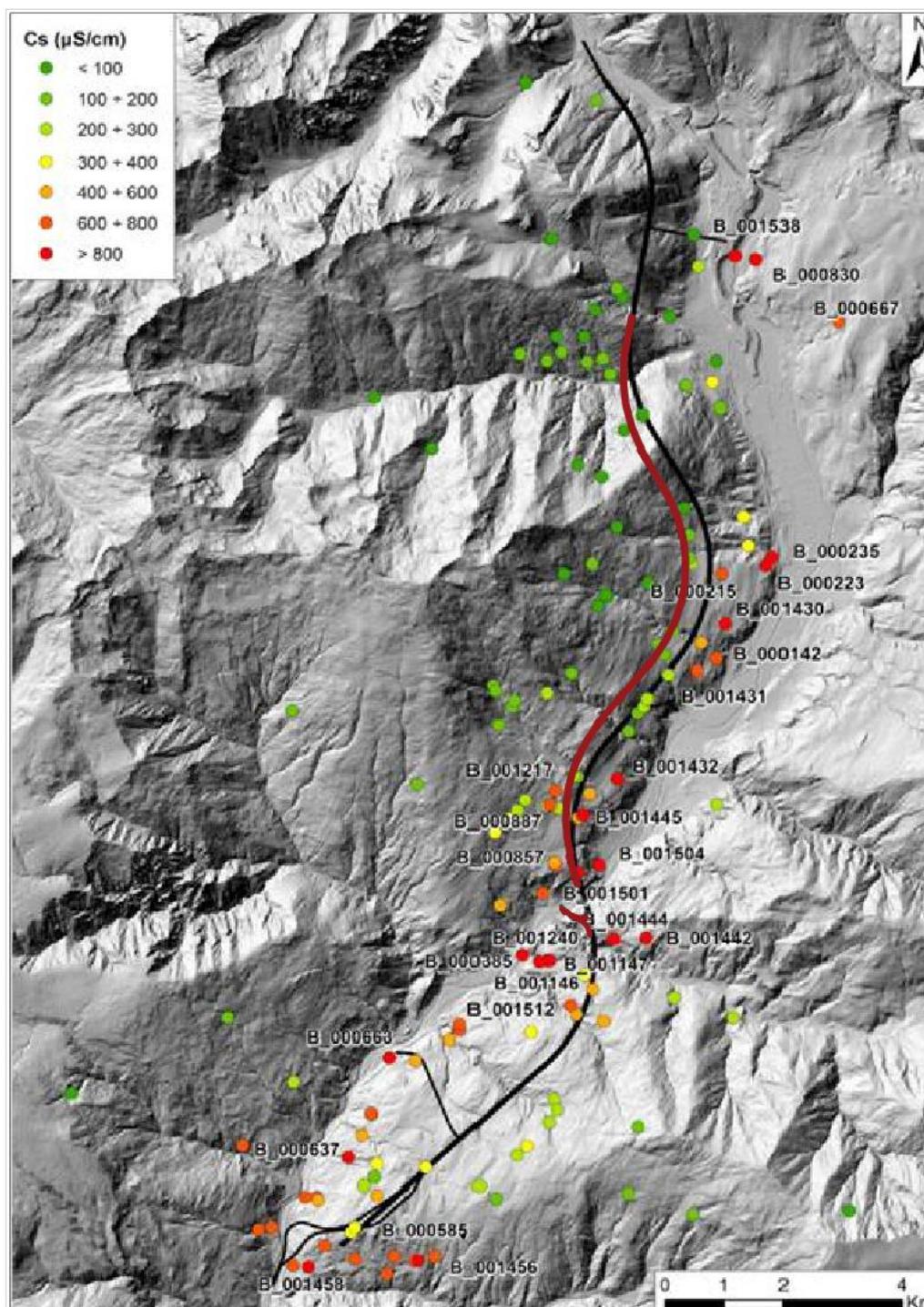


Figura 52: Localizzazione delle emergenze in funzione della loro conducibilità; in nero il tracciato di PD, in rosso le varianti adottate in sede di PE.

Nel bacino di Varna Nord si rinvennero nuovamente le sorgenti localizzate a nordest dell'abitato di Bressanone (B_000667 e B_000830), già trattate nel paragrafo relativo al TDS e comunque non ricadenti

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	71 di 189

direttamente nell'area di interesse, con l'aggiunta dell'emergenza B_001538 a sud di Hinterrigger, in destra Isarco.

In questo caso si può anche notare la presenza di due sorgenti (B_000857 e B_000887), localizzate nella porzione centrale dell'area di studio, caratterizzate da conducibilità superiori ai 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e accompagnate da un gruppo di emergenze (indicate in giallo in Figura 52) con valori di conducibilità medio alti (tra 200 e 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Anche in questo caso, in corrispondenza di tali emergenze, si nota la presenza di un'estesa copertura quaternaria, principalmente caratterizzata da depositi di origine fluvio-glaciale entro cui è probabile scorrono i flussi idrici sotterranei che tendono, vista l'eterogeneità del deposito, a caricarsi di ioni in soluzione (soprattutto carbonati). Le portate risultano molto limitate, con picchi massimi alla sorgente B_000857 di circa 0.5 L/s. La sorgente B_000857, per la quale si dispone di analisi chimica è caratterizzata da concentrazioni in cloruri molto elevate, non accompagnate tuttavia da elevati contenuti in nitrati. Sembra probabile che ciò possa indicare contaminazioni da sali per il disgelo del manto stradale, come anche testimoniato da valori piuttosto elevati di sodio e potassio. Un'origine mista per interazione con rocce silicatiche non può comunque essere esclusa con certezza.

Tra le nuove sorgenti entrate a far parte del monitoraggio da ottobre 2018, sempre nel bacino di Chiusa, si segnala la presenza di altre emergenze con valori di conducibilità elevata ($> 600 \mu\text{S}/\text{cm}$) che sono B_001217, B_001445, B_001501 e B_001512. Ancora una volta per le sorgenti di questo gruppo di cui si dispone di analisi chimica si osservano concentrazioni estremamente elevate in cloruri correlate spesso con il sodio, talora anche con i nitrati, che lasciano supporre una contaminazione da sali per il disgelo e in alcuni casi da liquami di origine animale.

Nello stesso bacino bassi valori di Cs, in relazione alla quota e all'andamento medio, si registrano invece alle sorgenti B_000884 e B_001515. Discorso analogo vale per la sorgente B_000364 in Val di Funes, appartenente all'omonimo bacino.

7.1.3 Temperatura (T)

Un'ulteriore analisi ha riguardato i valori di temperatura medi, che possono fornire indicazioni sulle caratteristiche delle acque. Anche in questo caso si può considerare come condizione normale quella in cui esiste una proporzionalità di tipo inverso rispetto alla quota. La distribuzione per le sorgenti della zona di progetto è visibile in Figura 53. Per fornire una visione omogenea dei valori di temperatura medi sono state escluse dal plottaggio quelle sorgenti che presentano un unico dato, influenzato quindi dalla stagionalità della misura.

La distribuzione dei punti, nonostante una certa dispersione, si allinea in effetti lungo una retta a pendenza negativa. Ai fini del reperimento di eventuali emergenze relative a sistemi di flusso profondi, che sono gli elementi di maggior rilievo ai fini del presente lavoro, sono interessanti le sorgenti che si discostano verso l'alto in modo più evidente rispetto alla retta di regressione ottenuta. Si tratta in questo caso delle sorgenti (da quella a scostamento maggiore): B_000830, B_001431, B_001462, B_001430, B_001432, B_001530, B000575.

Per la maggior parte di queste emergenze, sulla base di precedenti considerazioni su TDS, Cs e concentrazione di cloruri e nitrati è stata riscontrata una evidente contaminazione da attività antropiche. Il fatto che esse presentino temperature più elevate della norma lascia aperto qualche dubbio su una loro possibile origine

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 72 di 189

anche da circolazioni più lunghe e profonde nel substrato silicatico, tuttavia tale evenienza, pur non potendo essere esclusa, rimane poco probabile.

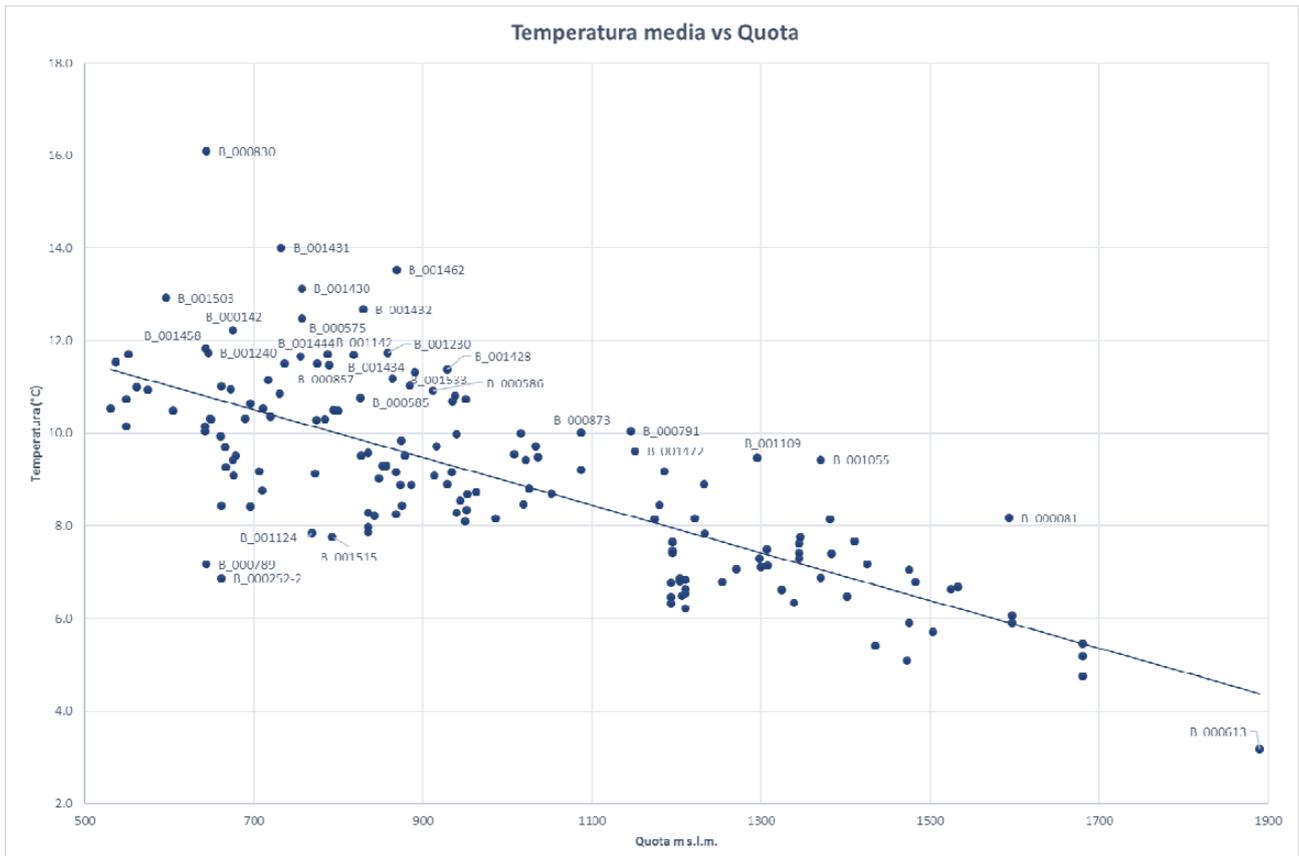


Figura 53: Valori medi di temperatura per le sorgenti monitorate.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 73 di 189

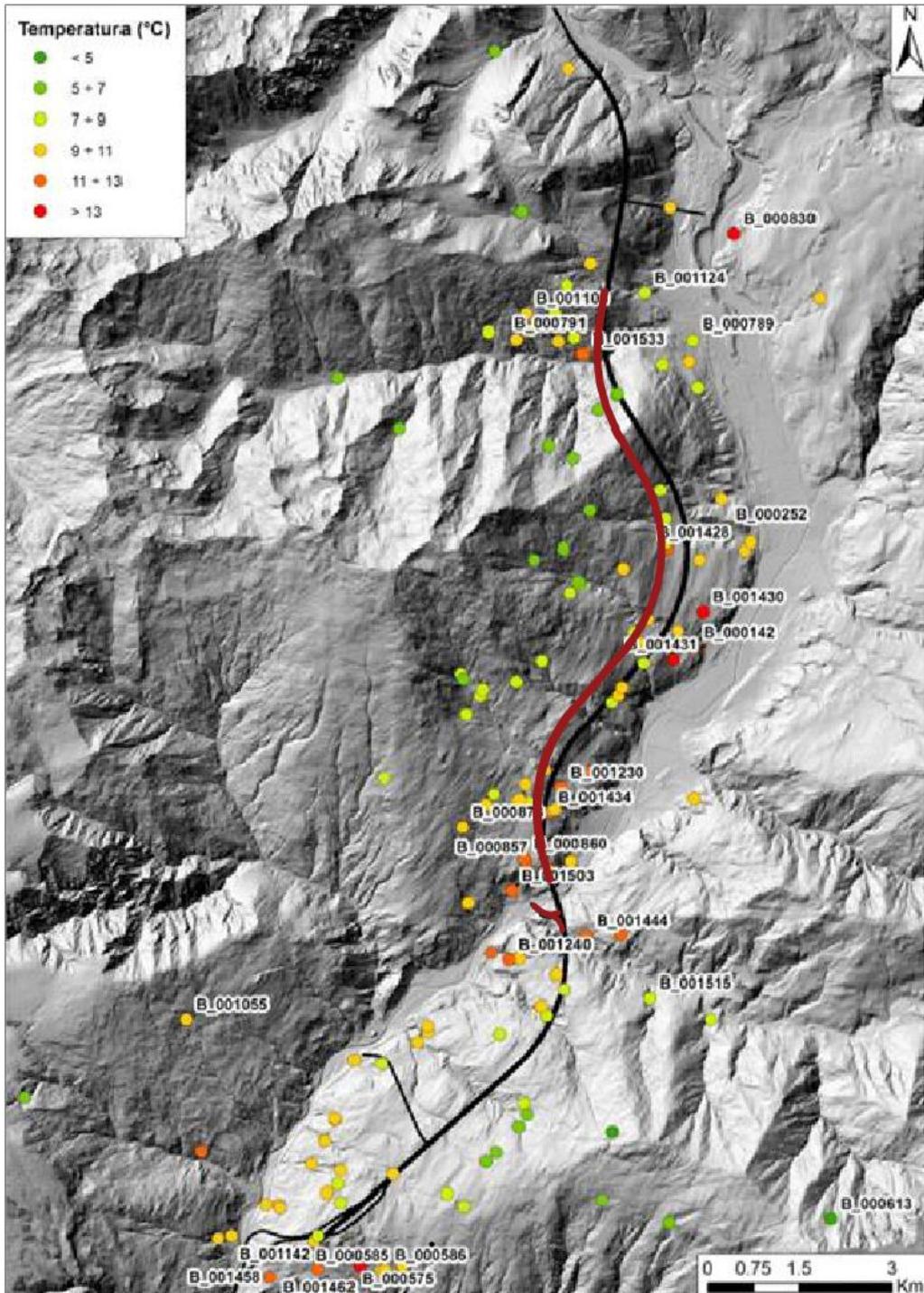


Figura 54: Mappa della distribuzione dei valori di temperatura per le sorgenti analizzate; in nero il tracciato di PD, in rosso le varianti adottate in sede di PE.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	74 di 189

7.1.4 Facies idrogeochimiche delle acque delle sorgenti

Sulla base dei dati geochimici ottenuti dalle diverse campagne di monitoraggio è stata realizzata una classificazione delle acque scaricate dalle varie sorgenti mediante proiezione su diagramma di Piper.

Il grafico di Piper è un diagramma di tipo qualitativo (Figura 55), rappresentato da due triangoli che indicano le concentrazioni percentuali dei principali anioni e cationi e da un rombo riassuntivo che permette di definire le facies idrochimiche di appartenenza delle acque. Ai vertici dei due triangoli si proiettano le acque in cui è presente uno solo dei tre anioni/cationi considerati, mentre lungo i lati o all'interno del campo si proiettano tutte le acque che contengono proporzioni variabili rispettivamente di due o tre anioni/cationi. Grazie alla combinazione delle concentrazioni date da queste terne di valori è così possibile caratterizzare la componente anionica (triangolo in basso a destra) e quella cationica (triangolo in basso a sinistra) rappresentate da due punti, le cui proiezioni, all'interno del rombo superiore andranno a definire la facies idrochimica di appartenenza dell'acqua analizzata. Ancora in Figura 55 è rappresentato un esempio di proiezione che, a partire dalle concentrazioni anioniche e cationiche (rispettivamente punto rosso e blu) definisce la composizione totale del campione di acqua (punto verde) come appartenente alla facies bicarbonato-calcica e/o magnesiacca.

I diagrammi di Piper, essendo espressi in concentrazioni normalizzate degli ioni, non possono essere messi in diretta correlazione con le concentrazioni assolute degli elementi chimici principali ma forniscono piuttosto indicazioni relative alla predominanza di uno ione su un altro. Acque con diverso TDS possono quindi teoricamente proiettarsi nello stesso punto se hanno le medesime proporzioni fra gli ioni maggiori.

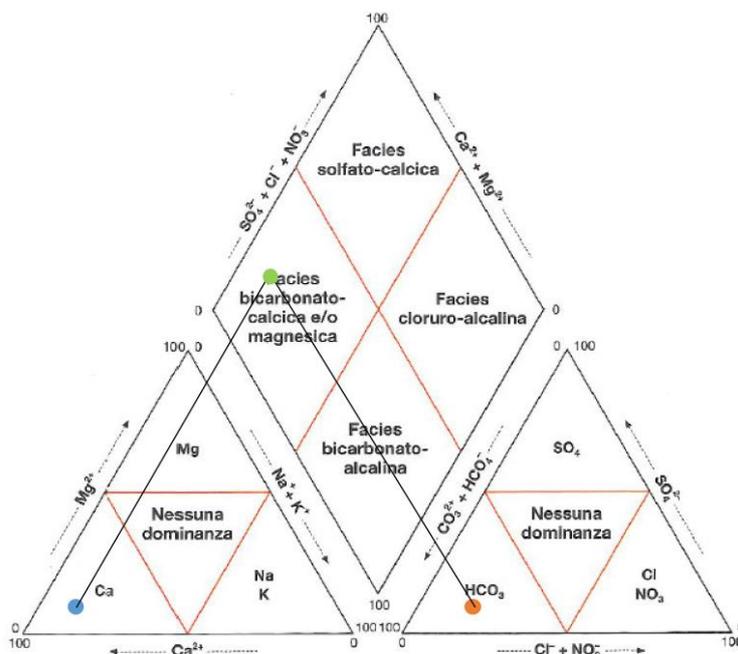


Figura 55: Rappresentazione del diagramma di Piper e delle principali Facies idrochimiche, da Civita (2005).

APPALTAZIONE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 75 di 189

Come si può vedere, nel campo quadrangolare del diagramma sono definite quattro facies idrochimiche principali date dalla combinazione di diverse quantità di anioni e cationi. Le facies sono: bicarbonato-calcica e/o magnesiana (1), solfato-calcica (2), cloruro-alcina (3) e bicarbonato-alcina (4).

Nell'area di progetto si riscontrano acque in prevalenza appartenenti alla facies 1, che più in generale è la facies più comune nell'ambito alpino, perché ad essa appartengono molto spesso le acque relative ai primi stadi di interazione acqua/roccia, ovvero le acque relative a sistemi di flusso rapidi e superficiali che sono quelli quantitativamente predominanti su un versante montano alpino. Acque di questo tipo si possono sviluppare sia in ambiti geologici caratterizzati da litologie prevalentemente carbonatiche sia in ambiti a prevalenza di litologie silicatiche. Il motivo è che il principale acido disciolto in fase acquosa è l'acido carbonico, che permette la dissoluzione di ioni calcio. Dal momento che la cinetica di reazione della calcite è di gran lunga più veloce rispetto a quella di tutte le fasi silicatiche, anche piccole quantità di calcite disperse all'interno delle rocce silicatiche, determinano una predominanza di questo catione in fase acquosa.

Una variante composizionale è rappresentata da locali aumenti nel tenore di ione magnesio generato dagli stessi processi che hanno dato origine alle acque prettamente bicarbonato-calciche.

Infine, si riscontra la presenza di acque appartenenti alla facies solfato-calcica (2) in cui la presenza dello ione solfato è dovuta probabilmente a processi dissolutivi e di ossidazione che coinvolgono principalmente le mineralizzazioni a solfuri presenti nelle filladi. Quando la facies solfato-calcica è associata ad elevato TDS è estremamente probabile che nei processi di dissoluzione siano implicate rocce evaporitiche contenenti gesso o anidrite.

Poiché si è deciso di proiettare i dati relativi ad ogni sorgente, considerando tutte le misure disponibili su ciascun punto, non è stato possibile utilizzare un diagramma globale per motivi di leggibilità del dato. Per questa ragione si è preferito suddividere le analisi entro i bacini idrografici utilizzati anche per il calcolo dei valori di infiltrazione e delle portate in galleria. Di seguito verranno dunque mostrate le analisi delle acque sorgive suddivise per bacino di appartenenza.

7.1.4.1. Bacino Varna Nord

In questa zona, sulla base della Figura 56 si nota l'esclusiva presenza di acque ricadenti nella facies bicarbonato-calcico-magnesiana. La sorgente B_000789, già esaminata al paragrafo 6.1.5 per la sua portata piuttosto elevata, si colloca a cavallo tra la suddetta facies e quella solfato-calcica. Ciò risulta in accordo con le caratteristiche mostrate più avanti per il Rio Scaleres, rafforzando dunque l'ipotesi avanzata al paragrafo 6.1.5 che prevede per questa sorgente uno scambio idrodinamico con il corso d'acqua stesso.

Alcune sorgenti del gruppo esaminato mostrano sul diagramma triangolare degli anioni uno spostamento verso contenuti relativamente elevati in cloruri e nitrati (20-30% in totale) che possono indicare deboli contaminazioni antropiche. Si tratta in particolare delle sorgenti B_000830 e B_000667, già evidenziate per tali problematiche per l'elevato TDS al paragrafo 7.1.1 e delle sorgenti B_000834 e B_000828-1. Anche la sorgente B_000789 sembra presentare problematiche di debole contaminazione antropica, come è logico attendersi per i suoi scambi con il corso d'acqua di fondovalle.

Nel complesso non emergono in questo settore delle sorgenti con caratteristiche geochimiche particolari che facciano ravvisare l'esistenza di zone di recapito da sistemi di flusso particolarmente profondi.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 76 di 189

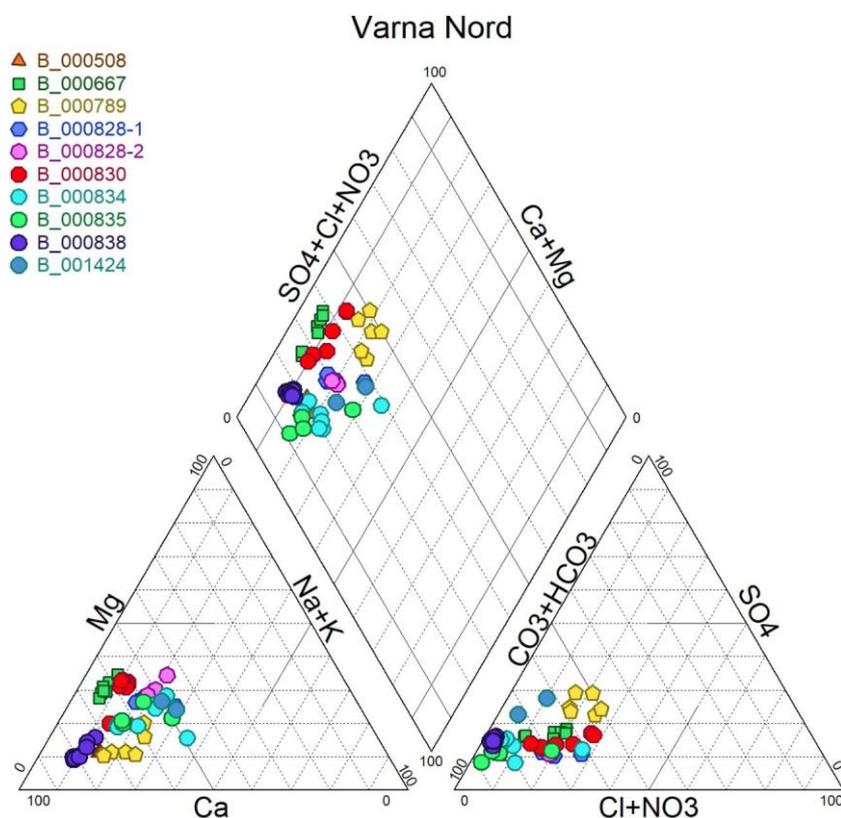


Figura 56: Piper plot delle acque sorgive del Bacino di Varna Nord.

7.1.4.2. Bacino Varna Sud

Anche in questo caso la maggioranza delle acque ricade entro la facies bicarbonato-calcico-magnesiaca; fra queste anche le sorgenti B_000761 (par. 6.1.2) e B_000742-5 (par. 6.1.3), che presentano portate elevate e che sono quindi riferibili a sistemi decisamente superficiali, visto anche il basso valore di TDS.

Nel bacino di Varna Sud si nota, però, anche la presenza di sorgenti ricadenti entro la facies solfato-calcica (B_001128, B_000757). La sorgente B_000740, già esaminata al paragrafo 6.1.5 per la sua portata piuttosto elevata, presenta una maggiore variabilità composizionale, in termini di concentrazioni ioniche relative, con due misure che ricadono entro la facies bicarbonato-cloruro-calcica e le restanti sei ricadenti nella facies bicarbonato-calcico-magnesiaca. La sporadica componente clorurata è di derivazione dubbia; sicuramente non è correlabile con un'origine profonda dei fluidi dato il ridotto TDS.

Alcune sorgenti della zona presentano sul diagramma ternario degli anioni uno spostamento significativo verso il vertice dei cloruri e nitrati. In particolare, spicca la sorgente B_000791, in cui si osservano contenuti anomali di cloruri correlati con contenuti elevati in sodio. È probabile che queste caratteristiche siano legate all'uso di sale per il disgelo del manto stradale, data la fitta rete viaria presente a monte. Origine analoga potrebbero avere le anomalie per le sorgenti B_001533, B_000796 e B_001471 che si trovano nella medesima zona.

Nel complesso anche in questo settore non si ravvisano delle sorgenti con caratteristiche geochimiche particolari che facciano ipotizzare l'esistenza di emergenze da sistemi di flusso particolarmente profondi.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 77 di 189

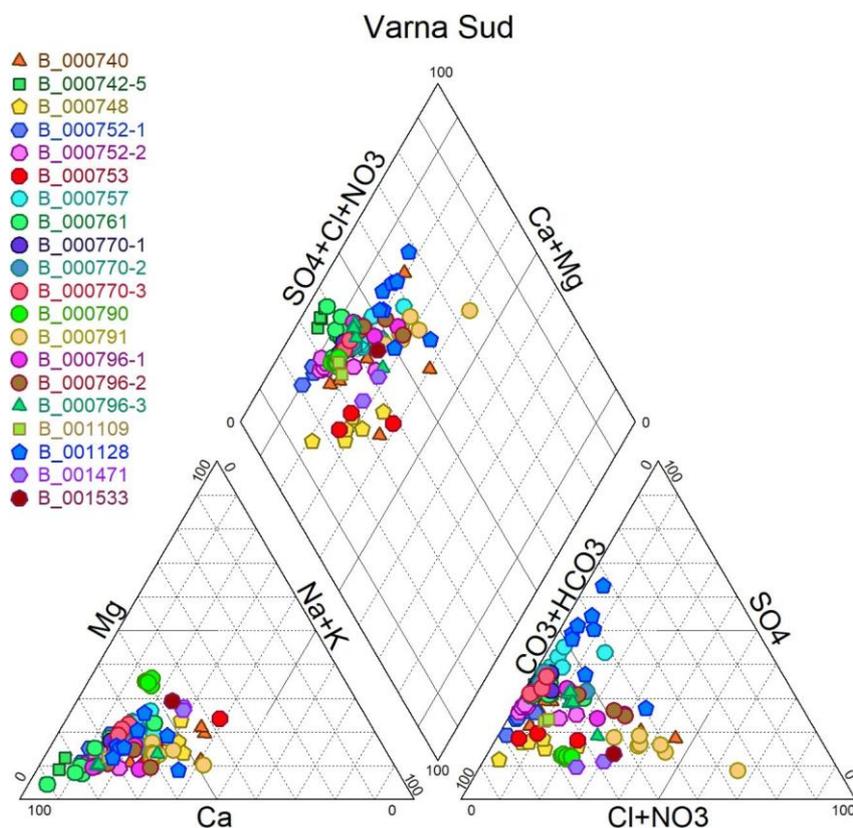


Figura 57: Piper plot delle acque sorgive del Bacino di Varna Sud.

7.1.4.3. Bacino di Bressanone

La distribuzione delle acque entro il bacino di Bressanone risulta più eterogenea, con la presenza di un certo numero di sorgenti ricadenti entro la facies solfato-calcica. In particolare, tra queste si annoverano la B_000148, B_000149, B_000174, B_000227, B_000263, B_001420 e B_001421 e B_001536. Le ultime tre emergenze, pur mostrando portate esigue (< 0.5 L/s), in virtù della scarsità di depositi quaternari posti a monte delle stesse e dell'elevato grado di fratturazione dell'ammasso nell'area possono essere considerate il frutto di modeste circolazioni che interessano la porzione allentata e fratturata del substrato filladico presente in loco.

Il punto B_000227, oltre ad una spiccata abbondanza relativa di ione solfato, ha mostrato concentrazioni molto elevate di Alluminio (attorno ai 900-1100 µg/l - circa 5 volte il limite consentito dal D. Lgs. 152/06 per le acque destinate al consumo umano) e Nichel (attorno ai 40-50 µg/l - circa 2 volte il limite consentito dal D. Lgs. 152/06 per le acque destinate al consumo umano). La solubilità dell'alluminio entro le acque è favorita dai bassi valori di pH registrati alla sorgente, spesso inferiori a 6 unità pH.

Meno netta è inoltre, nelle acque della zona la dominanza del calcio nella componente cationica, così come più variabile risulta la predominanza anionica, che spazia dal carattere maggiormente bicarbonatico della maggior parte delle sorgenti, a quello maggiormente solfatico delle sopraccitate emergenze. Questo comportamento può essere dovuto in parte alla presenza di mineralizzazioni più abbondanti a solfuri che

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 78 di 189

caratterizzano alcune aree del versante occidentale della Valle Isarco, nell'area di progetto. Le restanti acque sono invece caratterizzate dal chimismo bicarbonato-calcico, con netta prevalenza dello ione calcio su quello magnesio. Da notare come il punto B_000174, seppur catalogato come sorgente, è ragionevolmente considerato, in virtù dell'analogo chimismo e della variazione molto ampia di portata (da 5 l/s a zero nell'arco di un mese), come una derivazione del Rio dell'Orso che scorre nei pressi. Una misura del punto B_000174, eseguita a ottobre 2015, colloca l'analisi entro l'estremo superiore del grafico. Ciò è dovuto ad una concentrazione anomala in nitrati, associata ad un altrettanto anomala scarsità di bicarbonati. Questo punto può dunque essere considerato come espressione di un fenomeno temporaneo di inquinamento da sostanze fertilizzanti o comunque di origine antropica. Altre sorgenti presentano inoltre evidenze di contaminazione da agenti antropici in quanto risultano spostate verso la parte sinistra inferiore del diagramma anionico ternario, che indica contenuti maggiori in cloruri e nitrati. Si tratta delle sorgenti B_000235 e B000215 (cfr. anche paragrafo 7.1.1 per l'elevato TDS), B_000260, B_000252-1, B_000234.

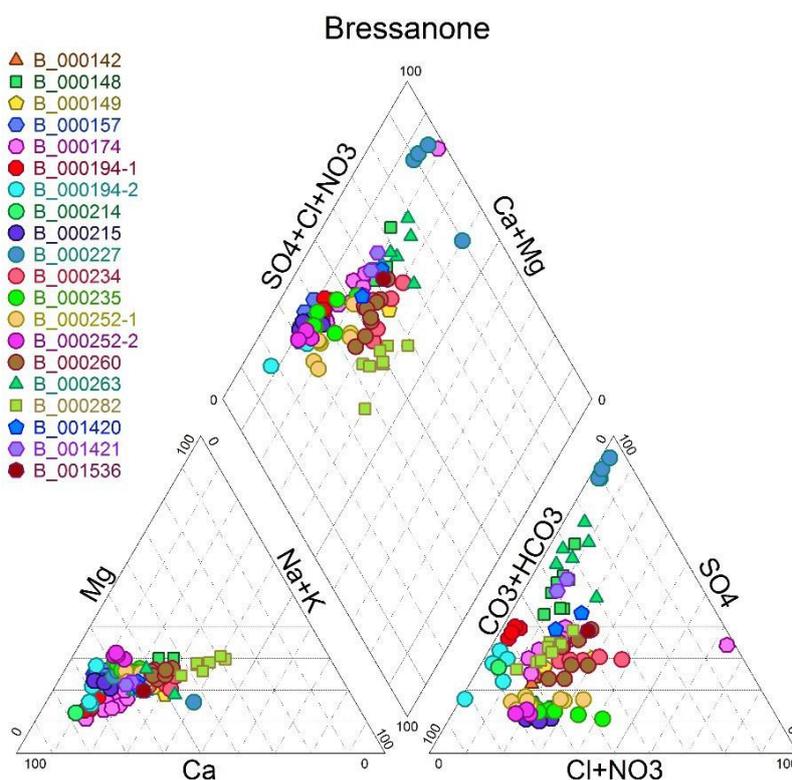


Figura 58: Piper plot delle acque sorgive del Bacino di Bressanone.

7.1.4.4. Bacino di Snodres

Le acque sorgive campionate entro il bacino di Snodres risultano avere un chimismo rientrante nella facies idrochimica bicarbonato-calcica con contenuto dello ione calcio nettamente prevalente rispetto allo ione magnesio. Solo in un paio di casi (B_001229 e B_000919) si presenta una misura a cavallo delle due facies. Ciò può indicare dunque una parziale influenza sul chimismo delle acque, dovuta alla locale interferenza del substrato filladico con i percorsi idrogeologici seguiti dalle acque sorgive. Si noti che le sorgenti con portate

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 79 di 189

elevate B_000919, B_000920, B_001114, B_001115 e B_001116 trattate al paragrafo 6.1.6 sono ricomprese in questo gruppo e hanno caratteristiche tipiche di sistemi di flusso superficiali.

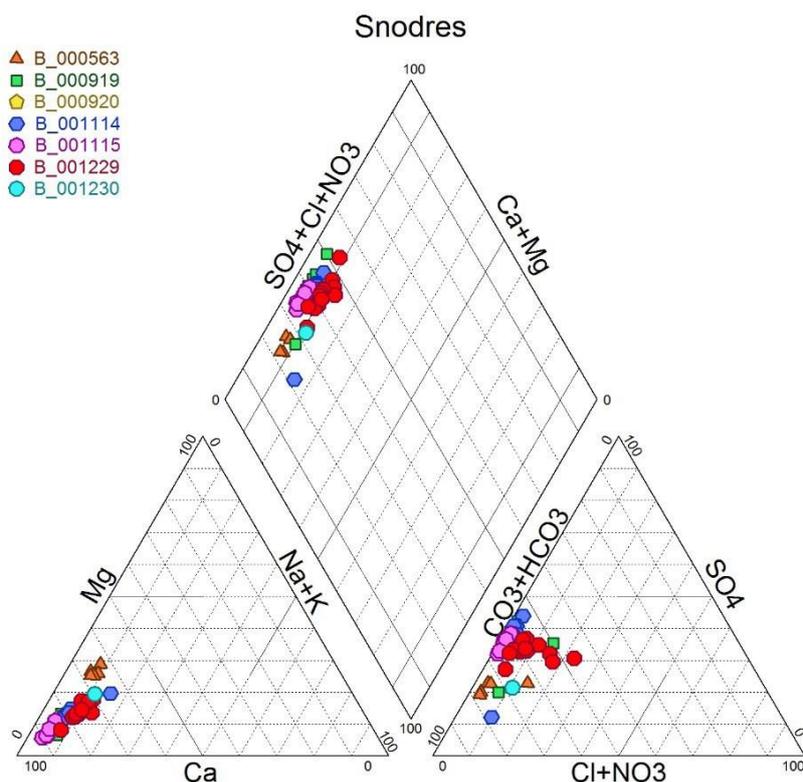


Figura 59: Piper plot delle acque sorgive del Bacino di Snodres.

7.1.4.5. Bacino di Funes

Per le acque sorgive del bacino di Funes la maggior parte dei punti analizzati ricade all'interno delle facies bicarbonato-calcica. Da notare che la sorgente B_000613, avente però un solo punto di analisi, mostra un'evidente prevalenza del calcio e del bicarbonato. La sorgente B_000542 presenta un'impronta geochemica intermedia con la facies solfato-calcica. La sorgente B_000542, posta in Val di Funes, e influenzata da un circuito idrogeologico non direttamente riferibile a quello legato alla Valle Isarco, si caratterizza per una alternata dominanza, in campo anionico, tra ioni solfato e bicarbonato.

La sorgente B_001241 presenta sul grafico ternario del campo anionico un significativo spostamento verso il vertice di cloruri e nitrati, dovuto con molta probabilità a contaminazioni antropiche.

La sorgente B_001444 che ha un TDS molto elevato (par. 7.1.1) non presenta anomalie significative dal punto di vista geochemico, rientrando di fatto tra le sorgenti della comune facies bicarbonato-calcica. Non mostrando evidenze di contaminazione antropica, sembra probabile che essa possa costituire l'emergenza di un sistema relativamente più profondo o, in alternativa, il risultato di interazione lenta con depositi glaciali ricchi in componente carbonatica.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 80 di 189

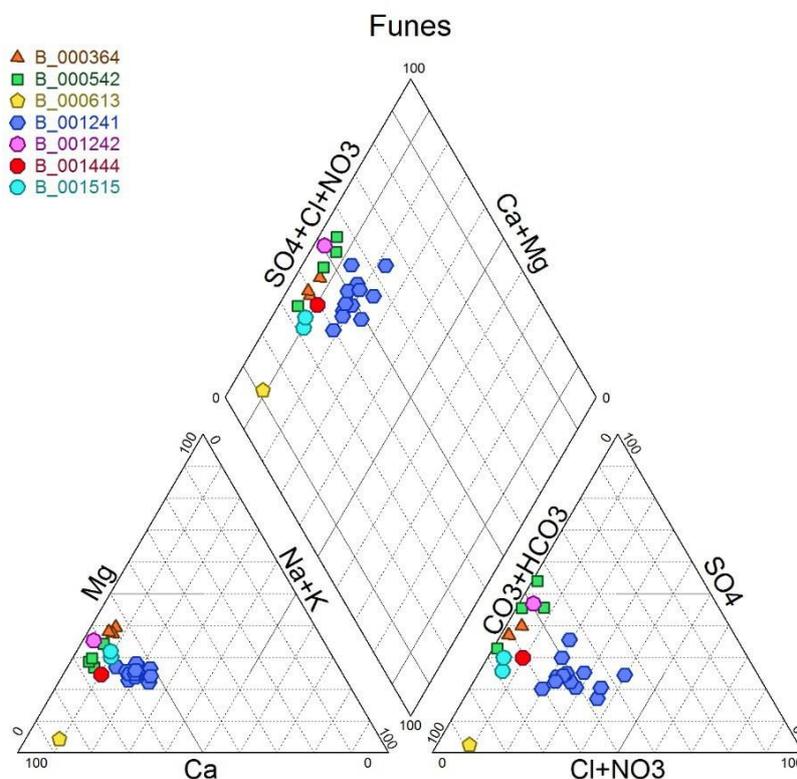


Figura 60: Piper plot delle acque sorgive del Bacino di Funes.

7.1.4.6. Bacino di Chiusa

Le acque ricadenti nel bacino di Chiusa sono nuovamente caratterizzate in prevalenza da un chimismo bicarbonato-calcico con ione calcio dominante rispetto al magnesio. Alcuni punti hanno però un chimismo che tende maggiormente a quello della facies solfato-calcica. Tra questi figurano le sorgenti B_001503, B_001504 B_001217 e B_000857. Queste acque potrebbero essere legate a sistemi di flusso leggermente più lunghi, che interagiscono per tempi maggiori con il substrato filladico detensionato da cui lisciviano solfuri per ossidazione: si tratta in ogni caso sempre di sistemi non molto profondi, e relativamente brevi. Tutte le emergenze presentano comunque anche uno spostamento significativo verso composizioni ricche in cloruri e/o nitrati, come sempre da mettere in relazione a contaminazione antropica, principalmente per inquinamento da sali di sodio utilizzati per il disgelo.

La sorgente B_000857 in particolare era già stata segnalata al paragrafo 7.1.1 perché presenta anche valori di conducibilità specifica e TDS elevati. Oltre a possibili problematiche da inquinamento questa sorgente ha tuttavia anche alcune caratteristiche che non permettono di escluderne un'origine più profonda, o comunque diversa rispetto alla media delle altre sorgenti; essa mostra in particolare degli elevati tenori in potassio, magnesio e stronzio, oltre che in cloro e sodio.

La più spiccata evidenza di sorgenti con contaminazione da sali per il disgelo del manto stradale è invece rappresentata dall'emergenza B_001501, che presenta una composizione cloruro-sodica, senza mostrare altri caratteri distintivi che possano metterla in relazione con interazione prolungata con litotipi del substrato. Essa era già stata evidenziata come sorgente anomala dal punto di vista della conducibilità al paragrafo 7.1.2.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 81 di 189

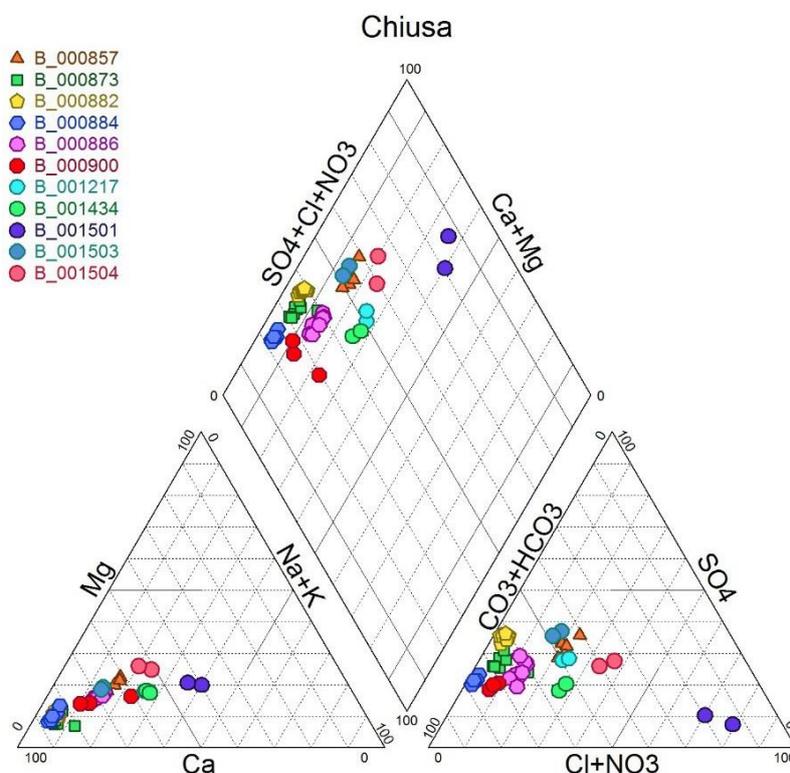


Figura 61: Piper plot delle acque sorgive del Bacino di Chiusa.

7.1.4.7. Bacino di Laion

Per la zona di Laion, dato l'elevato numero di sorgenti sono state suddivise due zone, Laion 1 e Laion 2.

Come al solito la maggior parte delle emergenze ricade entro la classe bicarbonato-calcico-magnesiaca. Tra queste troviamo le sorgenti B_000622, B_000609, B_000637, B_000357, B_000642 e B_000081, B_001369, B001129, oppure a cavallo fra la suddetta classe geochemica e quella solfato-calcica, come nel caso delle sorgenti B_000579, B_000595, B_000575, B_000599, B_000603, B_000634, B_000638 e B_000621. La sorgente B_000648 presenta 4 tubi con caratteristiche delle acque molto simili tra loro, che fanno propendere per la presenza di un'unica fonte alimentatrice.

Si tratta in tutti i casi di acque con tempi di interazione acqua-roccia brevi, dove la maggiore o minore componente solfato-calcica è legata probabilmente a un diverso grado di approfondimento nella fascia detensionata del substrato con conseguente lisciviazione e ossidazione di solfuri.

Come per i settori precedenti, alcune sorgenti si distinguono per scostamenti significativi verso il vertice dei cloruri e nitrati a causa di evidenti contaminazioni da fattori antropici. Fra queste in particolare le sorgenti B_001055, B_000663, B_000949, B_001142, in cui il cloro è correlato con nitrati e sodio.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 82 di 189

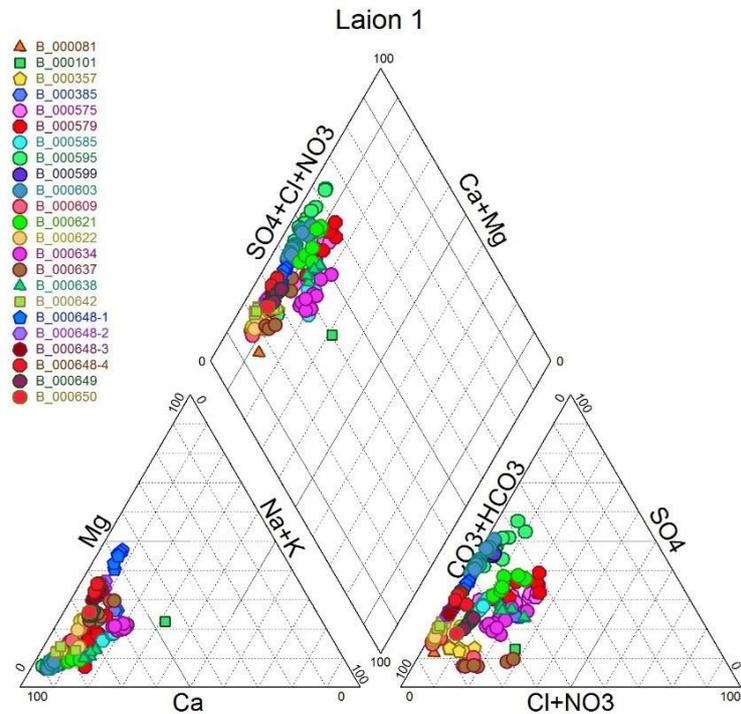


Figura 62: Piper plot delle acque sorgive del Bacino di Laion 1.

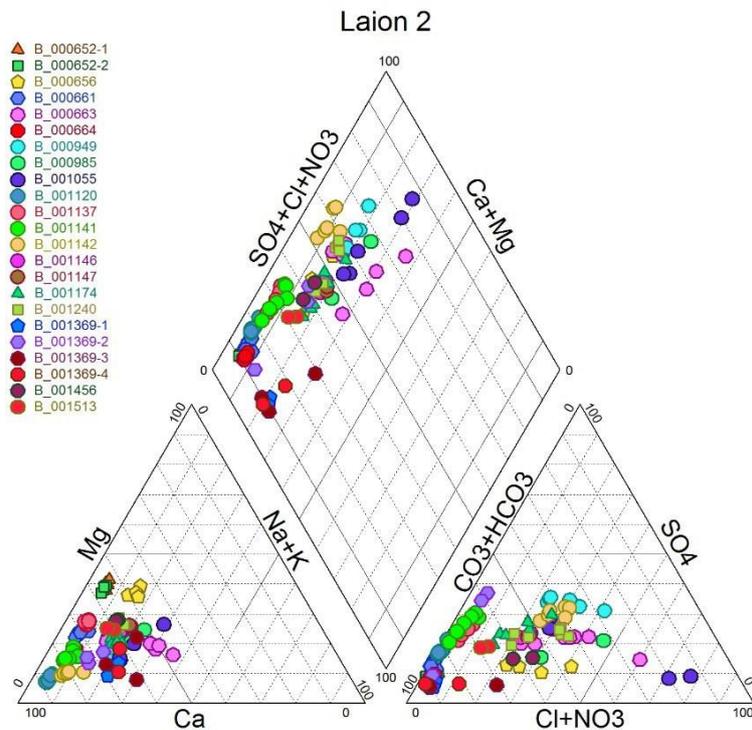


Figura 63: Piper plot delle acque sorgive del Bacino di Laion 2.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	83 di 189

Infine, nel diagramma di Laion 2 è stata plottata anche la sorgente B_0001369, con i suoi 4 tubi, che rappresenta il punto di bianco dell'area, trovandosi sul versante opposto della Valle Isarco. Il suo chimismo è prettamente bicarbonato-calcico-magnesiaco e il suo cluster si distingue facilmente dal resto delle emergenze poste sul versante interessato dallo scavo del tunnel.

Complessivamente in questa zona non si ravvisano sorgenti con caratteristiche tali da farle ritenere delle possibili emergenze di sistemi di flusso relativamente profondi.

7.1.5 Indice di saturazione in calcite per le acque delle sorgenti

L'indice di saturazione in calcite, SI, è un parametro utile per discriminare fra acque rappresentative dei primi stadi di interazione acqua/roccia e acque con maggiori tempi di interazione. Si deve comunque tenere conto che la saturazione in calcite si raggiunge piuttosto rapidamente e che quindi anche acque con SI elevato non necessariamente rappresentano sistemi di flusso molto lunghi.

Al fine di eseguire una stima relativa alla maturità geochemica delle acque, attraverso i dati disponibili dall'analisi idrochimica delle emergenze, si è proceduto al calcolo del valore dell'indice. Quando $SI = 0$ si ha perfetto equilibrio tra la fase solida in questione ($CaCO_3$) e la soluzione acquosa, ossia la soluzione acquosa è satura rispetto alla fase solida. Valori negativi di SI sono indicativi di condizioni di sottosaturazione, mentre valori positivi di SI sono indicativi di condizioni di sovraturazione della soluzione acquosa rispetto alla fase solida.

L'indice di saturazione, oltre che mostrare valori medi per le sorgenti analizzate sempre inferiori o prossimi a zero, è stato proiettato rispetto alla variabile $HCO_3^- + SO_4^{2-}$. Si osserva che al raggiungimento della saturazione in calcite una correlazione rispetto a questo parametro scompare, poiché, mentre l'indice di saturazione non varia più, il valore della somma di bicarbonati e solfati tende a crescere. Ciò è del tutto normale poiché al raggiungimento della saturazione in calcite comunque prosegue la dissoluzione di feldspati e solfuri che determina un incremento di $HCO_3^- + SO_4^{2-}$.

Nonostante quasi tutte le acque risultino sottosature si nota per alcune sorgenti indicate nella parte alta del grafico, una tendenza a collocarsi maggiormente in prossimità della linea di equilibrio. In questi casi si tratta in parte di sorgenti già notate nei paragrafi precedenti per fenomeni di contaminazione antropica (B_000637, B_000579, B_000235, B_000385, B_001142, B_001147, B_001503), in parte di altre sorgenti, che non sembrano presentare problematiche di questo tipo e per le quali dunque SI elevato è probabilmente sintomo di tempi di interazione acqua/roccia un po' più lunghi della media; tra queste ultime le principali sono B_000585, B_001137, B_000642, B_001242, B_001504, B_001240.

La sorgente Gruberwiesen (B_000761; paragrafo 6.1.2), importante per le sue elevate portate e l'uso idropotabile, si colloca invece nel campo inferiore del grafico, a testimonianza di un probabile scarso grado evolutivo.

Infine, è interessante notare come le sorgenti ubicate nelle zone di Scaleres e Spelonca siano quelle aventi un valore di SI medio più basso rispetto a tutte le altre (con un picco di $SI = -3.37$ alla sorgente B_000748), a testimonianza di una probabile connotazione rapida e poco evoluta dei flussi che le alimentano.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 84 di 189

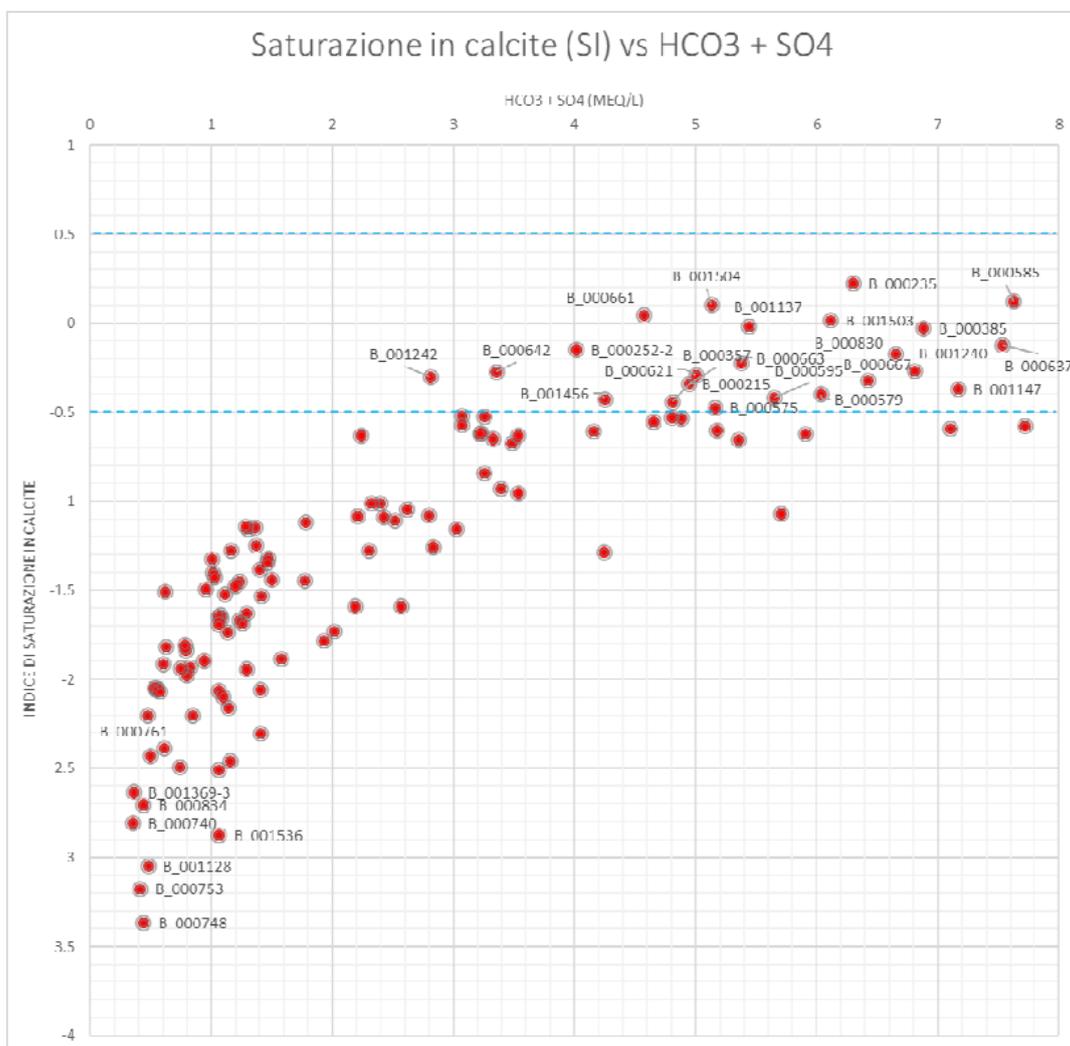


Figura 64: Grafico di correlazione tra SI e $HCO_3^- + SO_4^{2-}$.

7.1.6 Facies idrogeochimiche dei piezometri

Anche per le acque campionate nei piezometri si è eseguita un'analisi idrochimica, volta ad individuare la facies di appartenenza.

I piezometri vengono indicati con le sigle di archiviazione utilizzate nel Progetto Definitivo e derivante dalla Banca Dati Indagini del Brennero (BDIB). Di seguito si presenta una tabella di corrispondenza tra tali sigle e l'identificativo dei corrispondenti sondaggi geognostici.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica		IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	85 di 189

ID_PROGETTO	NOME	ID_PROGETTO	NOME	ID_PROGETTO	NOME	ID_PROGETTO	NOME
B_001244	S4	B_001270	S12	B_001375	EO29	B_001393	EO32
B_001245	S2	B_001271	S13	B_001376	EO23	B_001394	EP6
B_001248	S7	B_001345	C28	B_001377	EO30B	B_001395	EP9
B_001249	C1	B_001346	C29	B_001378	EO19	B_001396	EO40
B_001250	C2	B_001348	C22	B_001379	EO20	B_001397	EO50
B_001252	S8	B_001349	C11	B_001380	EO18	B_001398	EO60
B_001255	C4	B_001350	C25	B_001381	EO6	B_001399	EP11
B_001256	C3	B_001353	SPG1	B_001382	EP8	B_001400	EP4
B_001259	C15	B_001354	C23	B_001383	EP10	B_001401	EO61
B_001260	C16	B_001359	BV4P	B_001384	EO14	B_001402	EO62
B_001261	C21	B_001362	V21-1	B_001385	EO36	B_001403	EO63
B_001262	C17	B_001363	V21-2	B_001386	EP7	B_001404	EO64
B_001263	C18	B_001364	C12	B_001387	EO24	B_001405	EO65
B_001265	C6	B_001370	BV13PG	B_001388	EO25	B_001406	EO66
B_001267	C8	B_001371	BV13PS	B_001389	EO28	B_001407	EO67
B_001268	C9	B_001372	EP2	B_001390	EO7	B_001417	BO1
B_001269	C10	B_001373	EP3	B_001391	EO13	B_001418	BO3
		B_001374	EO30	B_001392	EO31	B_001419	BO4

Tabella 7: Tabella di corrispondenza tra sigla del piezometro nella BDIB e identificativo del sondaggio.

7.1.6.1. Bacino di Varna

Nella zona di Varna sono presenti molti piezometri e pertanto, per questioni di leggibilità dei diagrammi sono stati suddivisi due settori: Varna nord e Varna sud.

Come si può notare in Figura 65, nel settore di Varna nord la maggior parte dei punti si distribuisce entro l'area di pertinenza della facies bicarbonato-calcico-magnesiaca; in questo caso i piezometri hanno intercettato sistemi di flusso piuttosto rapidi e superficiali. I punti B_001261 (C21) e B_001346 (C29) presentano un chimismo piuttosto variabile. Per il piezometro B_001346 (C29) è praticamente certo che tale variabilità sia da imputarsi a contaminazioni antropiche, data l'elevata concentrazione di nitrati associata a cloruri e sodio di probabile derivazione da sali per il disgelo stradale; per il punto B_001261 (C21) la derivazione da contaminazione è meno chiara ma comunque possibile. Il punto B_001396 (EO40), nelle misure effettuate, non presenta una chiara dominanza anionica e possibilmente anch'esso è soggetto fenomeni di contaminazione. Il punto B_001398 (EO60) non mostra invece alcuna dominanza cationica ma si colloca entro il campo bicarbonatico nel triangolo degli anioni.

I punti relativi ai due piezometri B_001244 (S4) e B_001263 (C18), che sono piezometri relativamente profondi ubicati rispettivamente in corrispondenza dell'attraversamento del Rio Spelonca e della finestra di Forch, hanno campionato delle acque caratteristiche di tempi di interazione acqua/roccia piuttosto

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 86 di 189

prolungati, che forniscono una informazione sulle caratteristiche chimiche possibili per i sistemi di flusso profondi in questo settore.

Il punto B_001263 (C18) ha una composizione prevalentemente bicarbonato-calcica di tipo normale fatto salvo per un'unica analisi che indica invece una facies bicarbonato-alcalina (con alte concentrazioni in sodio e potassio e molto basse in calcio); sembra quindi probabile che il piezometro riceva alimentazione da sistemi di flusso di diverso tipo, talora più superficiale talaltra più profondo.

Le analisi del punto B_001244 (S4) sono anch'esse caratterizzate da una certa variabilità, collocando i campioni una volta nella facies bicarbonato-alcalina e un'altra in quella cloruro-alcalina. In entrambi i casi si rileva comunque un'abbondanza relativa di ioni alcalini, come mostrato nel triangolo cationico. Tali caratteristiche idrochimiche sono tipiche di interazione per tempi prolungati con rocce silicatiche che causano precipitazione dei carbonati e progressivo spostamento della composizione verso facies a cloruri ed elementi alcalini anziché alcalino-terrosi.

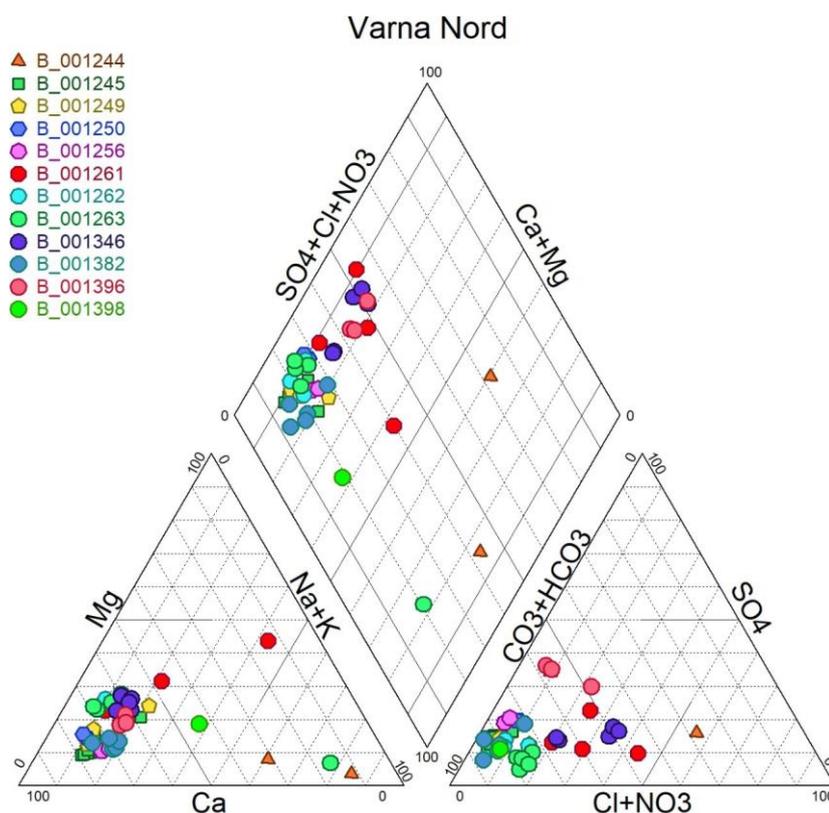


Figura 65: Diagramma di Piper per i piezometri monitorati nella zona di Varna Nord.

In Figura 66 viene rappresentato l'unico piezometro B_001255, monitorato tramite analisi chimiche, nel bacino di Varna Sud. I campioni analizzati mostrano alte concentrazioni di ioni sodio e/o potassio oltre a quella dello ione bicarbonato e si collocano in un caso entro la facies bicarbonato-alcalina e nell'altro, a cavallo tra la suddetta facies e quella bicarbonato-calcico-magnesiaca. Il sondaggio ha quindi intercettato dei sistemi che rappresentano sostanzialmente lo step evolutivo immediatamente successivo a quello delle poco evolute acque bicarbonato-calciche. Si tratta di una situazione normale, considerando che interazioni

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 87 di 189

moderatamente prolungate con rocce feldspatiche conducono alla progressiva dissoluzione dei feldspati, con aumento dei tenori in elementi alcalini e precipitazione, per sovrasaturazione rispetto alla calcite, del calcio lisciviato nelle prime fasi di interazione acqua/roccia.

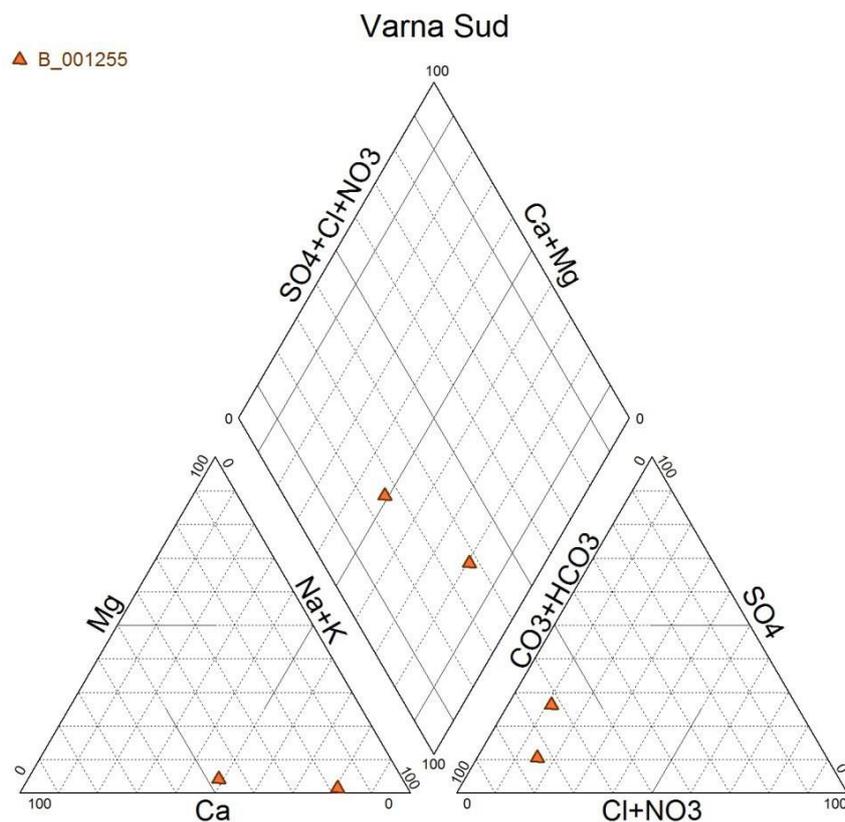


Figura 66: Diagramma di Piper per il piezometro monitorato nella zona di Varna Sud.

7.1.6.2. Bacino di Bressanone

In Figura 67 si riporta il diagramma di Piper per le acque profonde del bacino di Bressanone. Si può notare come le acque di 5 piezometri ricadano entro la facies bicarbonato-calcico-magnesiaca, mentre un piezometro (B_001252/S8) ricade in quella bicarbonato-alcalina.

La predominanza di facies bicarbonato-calcico-magnesiache è indicativa di una certa attività e connessione con la superficie dei sistemi, nonostante il fatto che si stiano esaminando acque relative a profondità non proprio superficiali. Questo suggerisce che nella zona esistono dei sistemi piuttosto rapidi anche a una certa profondità.

Più comuni per acque provenienti da piezometri che campionano in profondità rocce silicatiche sono invece le acque del sondaggio S8, in cui le maggiori quantità di ioni $\text{Na}^+(\text{K}^+)$, assieme alle importanti concentrazioni di ione HCO_3^- e alla quantità variabile dello ione SO_4^{2-} sono da imputarsi alla dissoluzione di minerali alcalini, quali alluminosilicati (plagioclasio sodico, feldspato potassico) favorita dalla conversione di CO_2 acquosa in ione bicarbonato e, in parte, alla dissoluzione ossidativa di pirite. Si nota in questo caso un'abbondanza di ione potassio rispetto al sodio. Le analisi petrografiche e diffrattometriche di alcune sezioni sottili e di campioni prelevati dal sondaggio B_001252, hanno mostrato una discreta presenza (nell'ordine del 25-45%)

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 88 di 189

delle specie minerali citate oltre che un'abbondanza di fillosilicati del gruppo delle miche (muscovite, biotite, lepidolite).

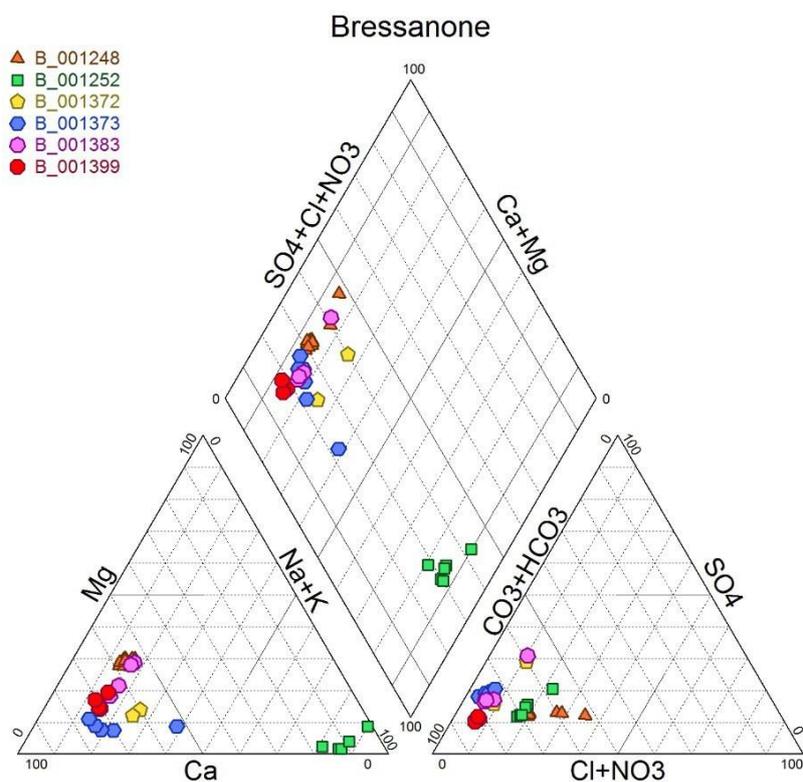


Figura 67: Diagramma di Piper per i piezometri monitorati nella zona di Bressanone.

7.1.6.3. Bacino di Snodres

Nella zona di Snodres esiste un solo piezometro B_001400 (EP4), le cui acque presentano una composizione bicarbonato-calcico-magnesiaca con una dominanza carbonatica netta per quanto concerne il campo anionico ed una prevalenza del calcio sul magnesio nel triangolo cationico. Queste caratteristiche indicano l'intercettazione di un sistema poco maturo e quindi, considerando che l'intersezione non avviene a livelli superficiali, è probabile l'esistenza di sistemi piuttosto attivi e rapidi anche in profondità.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 89 di 189

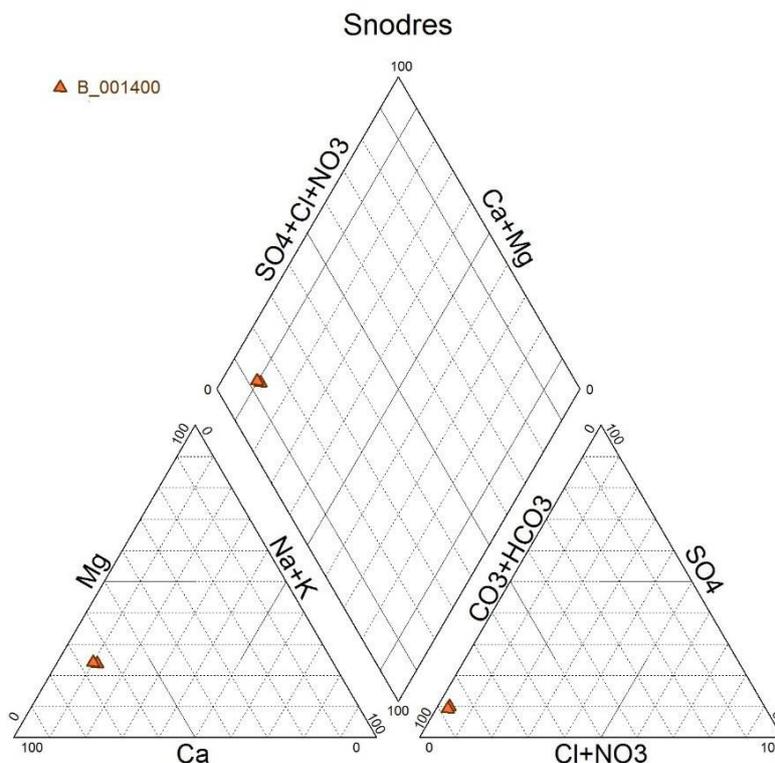


Figura 68: Diagramma di Piper per i piezometri monitorati nella zona di Snodres.

7.1.6.4. Bacino di Chiusa

La Figura 69 mostra i risultati ottenuti dal monitoraggio dei piezometri B_001265 (C6) e B_001391 (EO13) nella zona di Chiusa. I campioni analizzati ricadono principalmente all'interno della facies solfato-calcica e secondariamente, per il piezometro B_001265 (3 misure su 7) in quella bicarbonato-calcico-magnesiaca. In particolare, si nota come l'abbondanza relativa degli ioni calcio sia costante in tutte le analisi, mentre non si delinea una dominanza anionica chiara con variazioni significative di nitrati. Un aspetto da notare è che queste acque hanno anche una conducibilità elettrica e conseguentemente un TDS piuttosto elevati rispetto ad acque simili dei settori precedenti (ad esempio le acque del settore di Bressanone presentano conducibilità medie decisamente inferiori). Esse sono anche caratterizzate da tenori in cloruri piuttosto elevati per acque di tipo bicarbonato-calcico e in qualche caso anche da tenori elevati in nitrati (B_001265). Tutte queste caratteristiche sembrano indicare che si tratta di acque con contaminazioni antropiche.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 90 di 189

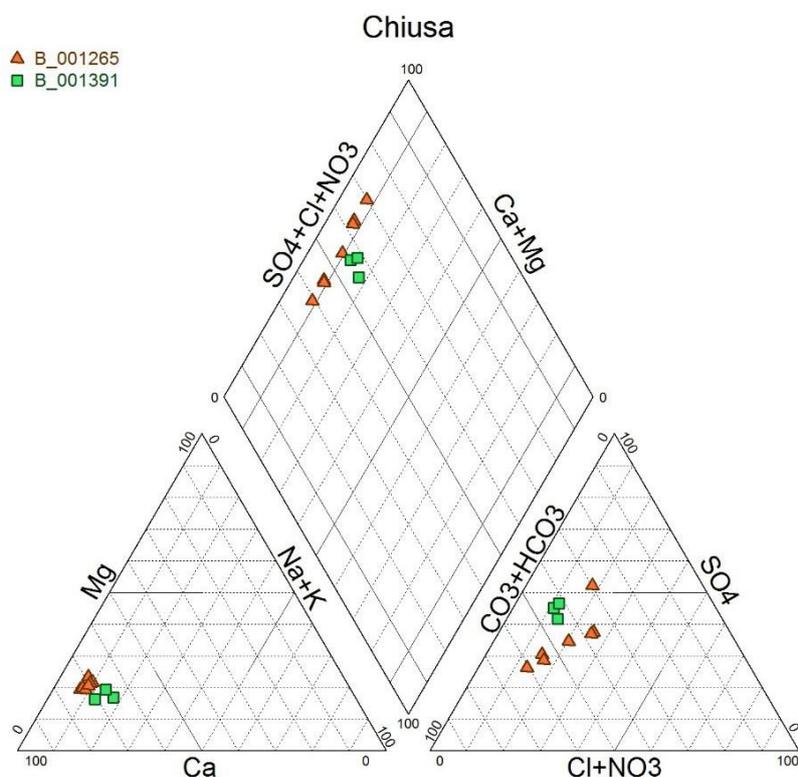


Figura 69: Diagramma di Piper per i piezometri monitorati nella zona di Chiusa.

7.1.6.5. Bacino di Funes

Come per gli altri settori, numerose tra le acque campionate nei piezometri della zona di Funes (Figura 70) sono riferibili alla facies bicarbonato-calcica e solfato-calcica, ad esclusione dei piezometri B_001377 (EO30B), B_001269 (C10), B_001270 (S12), B_001378 (EO19) e B_001379 (EO20). Il primo piezometro mostra almeno un'analisi discordante.

In particolare, il punto B_001269, che rappresenta il piezometro C10, piuttosto superficiale, ricade in facies cloruro-alcalina e si caratterizza per concentrazioni elevate di cloruri e sodio, forse dovute ad un'interazione con soluzioni saline utilizzate nei periodi invernali per la viabilità stradale, che riescono ad entrare nel circuito idrogeologico superficiale. Il punto B_001377 (EO30B), anch'esso captante la falda superficiale, presenta invece anomale concentrazioni di cloruri, correlati allo ione calcio; la sua composizione è probabilmente dovuta a contaminazione legata all'utilizzo di cloruro di calcio per lo scongelamento del manto stradale.

Il punto B_001270 (S12) invece, ricade in facies cloruro-alcalina nelle misure eseguite dal novembre 2016 in poi, mentre si ritrovava in facies solfato-calcica nelle misure eseguite fino al luglio 2016. Si nota infatti, dalle analisi chimiche, una drastica riduzione del contenuto in ione calcio e un altrettanto significativo aumento dello ione potassio che porta le acque a ritrovarsi nel campo di dominanza sodico-potassica (triangolo anionico). Questa variazione di chimismo e rapporti ionici può essere dovuta al fatto che il circuito intercettato dal piezometro è soggetto a fenomeni di miscelamento; quando prevalgono le acque superficiali domina la componente solfato-calcica, mentre quando prevalgono le acque profonde domina la componente cloruro-alcalina.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 91 di 189

Infine, da notare come anche i piezometri B_001378 e B_001379, posti accanto al B_001269 lungo la statale della Val di Funes, presentino caratteristiche idrochimiche variabili sia tra di loro che entro lo stesso piezometro, in date differenti. Le misure di dicembre 2017 e maggio 2018 hanno infatti mostrato un forte aumento, come accaduto negli anni precedenti al B_001269, di sodio e cloruri, dovuti probabilmente al contatto con soluzioni saline usate per il trattamento invernale delle strade. È dunque plausibile considerare tali misure come non pienamente rappresentative del chimismo delle acque profonde.

Infine, il piezometro B_001392 (EO31), presso la finestra di Funes, ha chimismo spiccatamente bicarbonato-calcico, associato ad anomale concentrazioni di Alluminio e Ferro attorno, rispettivamente, a 1000 e 2000 µg/l.

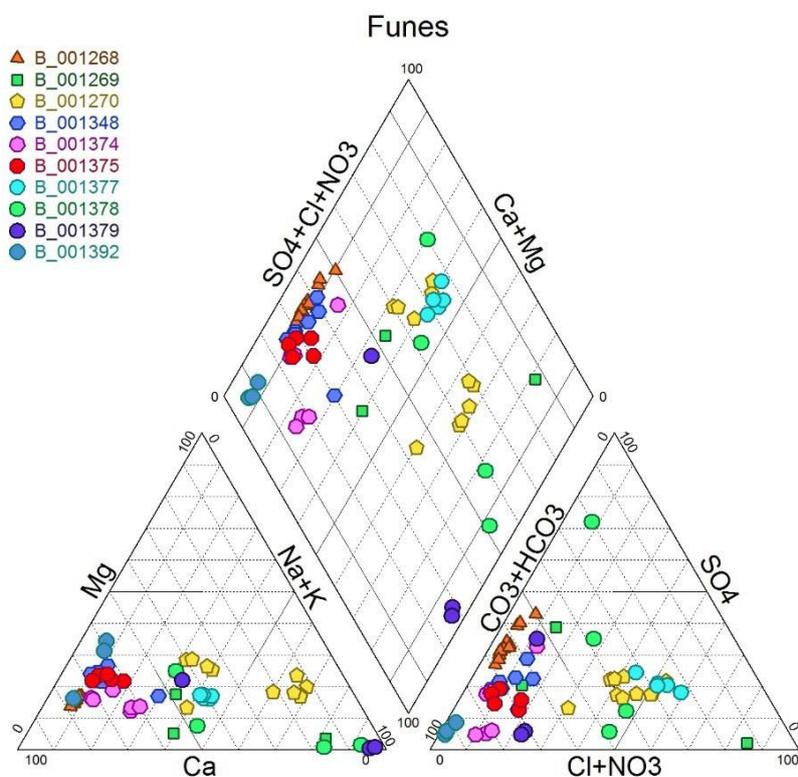


Figura 70: Diagramma di Piper per i piezometri monitorati nella zona di Funes.

7.1.6.6. Bacino di Laion

Anche nel bacino di Laion (Figura 71) sono esistenti numerosi piezometri che campionano acque bicarbonato-calciche, relative a sistemi superficiali.

Si osservano poi dei piezometri caratterizzati da acque con facies solfato-calcica o solfato-bicarbonato-calcica, ma che talora mostrano anche una tendenza verso la facies cloruro-alcalina. Potrebbe trattarsi di piezometri che intercettano sistemi più evoluti, che hanno lisciviato maggiori quantità di solfuri dal substrato e che presentano maggiori interazioni con le fasi feldspatiche e fillosilicatiche. Si tratta di B_001353 (SPG1), B_001350 (C25).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 92 di 189

Il piezometro B_001359 (BV4P) mostra forti concentrazioni in cloruri e sodio, nonché in nitrati. Si tratta certamente di un piezometro che ha intercettato una falda superficiale contaminata da sali per il disgelo e liquami animali.

Il piezometro profondo B_001271 che si colloca nella zona 4 (facies bicarbonato-alkalina), è caratterizzato da alte concentrazioni di ioni sodio e/o potassio, oltre che dello ione bicarbonato come già osservato per altri punti piezometrici. Ancora una volta questa caratteristica costituisce l'evidenza di una maggior maturità geochemica delle acque campionate.

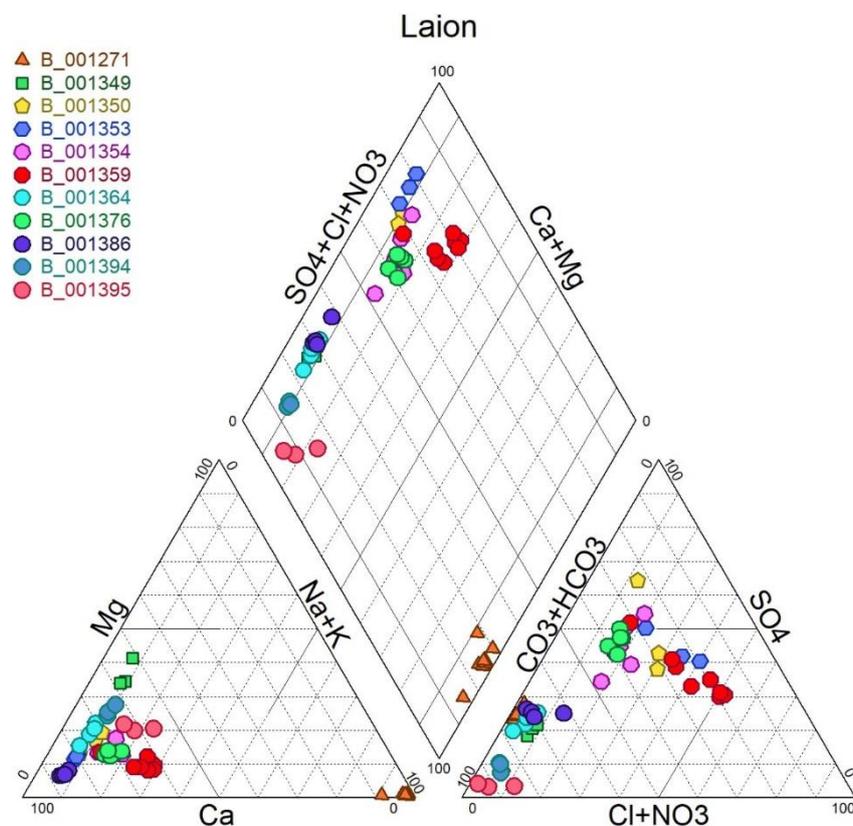


Figura 71: Diagramma di Piper per i piezometri monitorati nella zona di Laion.

7.1.7 Facies idrogeochemiche dei pozzi

Per i pozzi sono state valutate 123 analisi relative a 14 pozzi. Le acque di pozzo mostrano una distribuzione localizzata a cavallo delle facies bicarbonato-alkalina e solfato-calcica con una prevalenza dei punti ricadenti entro la prima. Si ritiene che le acque dei pozzi campionati siano comunque espressione di circuiti superficiali o sub-superficiali generati dall'incontro tra la circolazione di subalveo dei principali fiumi dell'area, con particolare riferimento all'Isarco, nei pressi del quale, si trovano 10 dei 14 pozzi esaminati. Il pozzo B_000376 si trova invece sul fondovalle Funes mentre i pozzi B_000578, B_000580 e B_000618 collocati lungo i versanti dell'area di Laion intercettano depositi quaternari entro cui sono sviluppati gli acquiferi superficiali.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 93 di 189

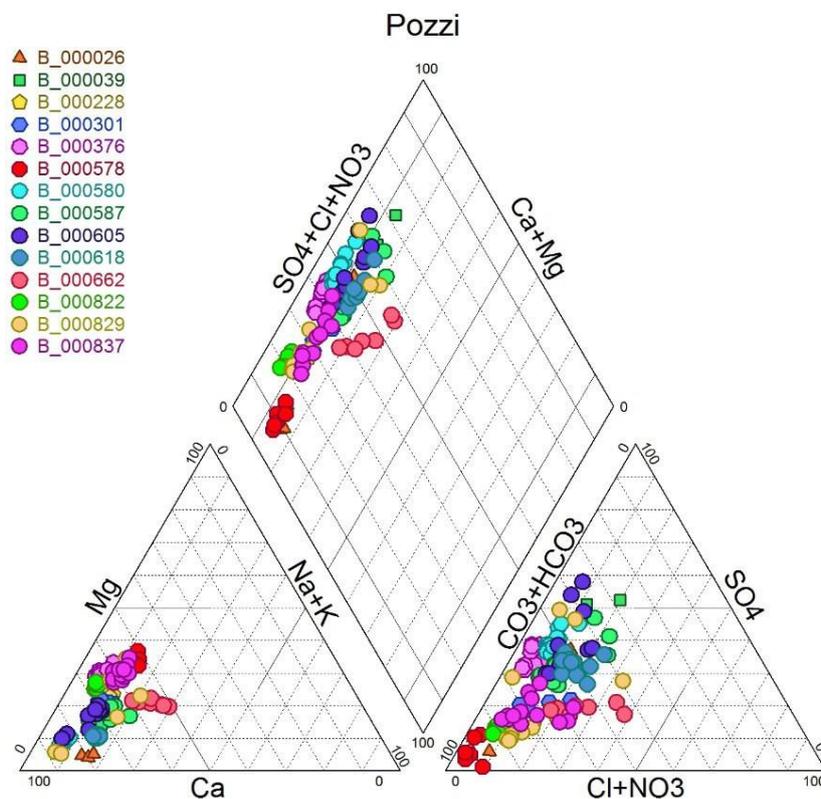


Figura 72: Diagramma di Piper per i pozzi monitorati dell'area.

Alcuni dei pozzi sembrano anche presentare, come le sorgenti, delle blande contaminazioni da sali per il disgelo; si tratta dei pozzi relativi ai punti che mostrano tendenza allo spostamento verso il vertice in basso a sinistra del triangolo anionico, ovvero B_000662 e B_000829.

7.1.8 Facies idrogeochimiche delle acque superficiali

Per le acque superficiali sono state valutate 112 analisi relative a 15 torrenti. Le acque correnti campionate si collocano a cavallo tra la facies bicarbonato-calcica e quella solfato-calcica.

Il punto relativo al Rio Spelonca ricadente in facies bicarbonato-alcalina è invece da considerarsi non attendibile o comunque non rappresentativo del chimismo di tale corso d'acqua presentando un posizionamento del tutto diverso rispetto agli altri punti di analisi per il medesimo rio. Lo stesso discorso vale per il Rio Tiles e nuovamente per il Rio Spelonca che presentano due misure con abbondanza relativa di ioni sodio e cloruro maggiori, entrambe risalenti a gennaio 2014. Ciò fa presupporre contaminazioni da soluzioni saline a base di NaCl utilizzate nella manutenzione invernale delle strade. Queste due misure non sono dunque da considerare rappresentative del reale carattere idrochimico delle acque.

In generale, con l'eccezione del Fiume Isarco e del Torrente Funes, proveniente dal dominio dolomitico-sedimentario dell'omonima valle, le acque dei rii dell'area di studio possono essere considerati l'espressione di flussi alimentatori poco evoluti, con caratteristiche geo-idrochimiche in linea con quelle delle sorgenti campionate, analizzate precedentemente.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 94 di 189

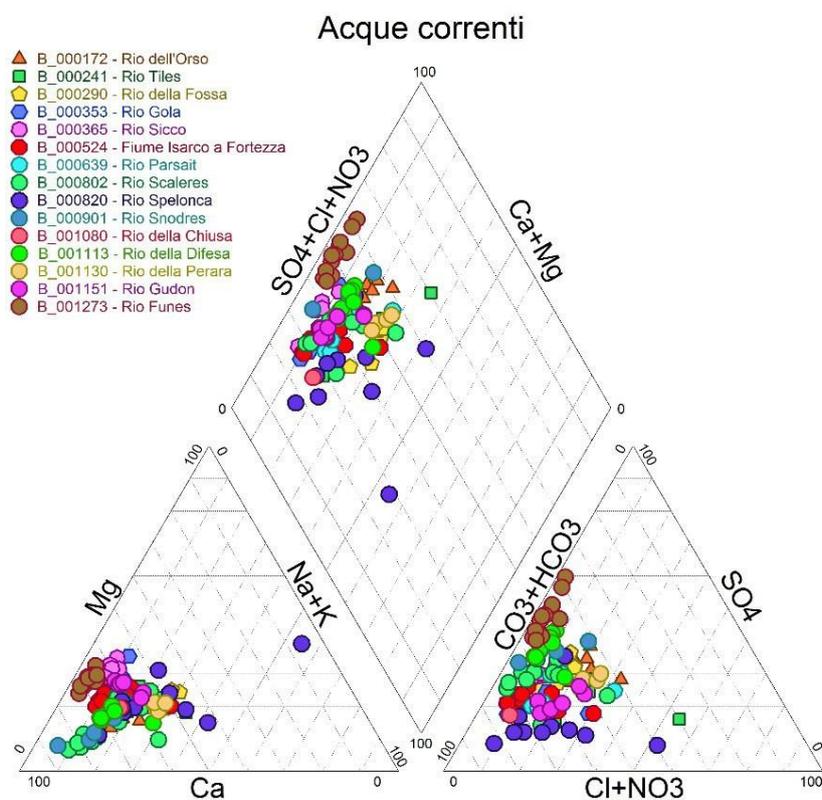


Figura 73: Diagramma di Piper per i torrenti monitorati dell'area.

7.2 GEOCHIMICA ISOTOPICA DELLE ACQUE NELL'AREA DI PROGETTO

Nell'ambito delle campagne di monitoraggio sono state svolte anche analisi isotopiche. Gli isotopi stabili ed instabili dell'acqua possono fornire importanti informazioni in merito ai percorsi idrici sotterranei e, in particolare, alle quote di ricarica medie ed ai tempi di residenza entro l'acquifero.

I dati ottenuti da queste campagne furono diffusamente interpretati nell'ambito del Progetto Definitivo. Il lavoro svolto in quell'ambito è da ritenersi ampiamente esaustivo e i suoi esiti vengono pertanto riproposti nel presente documento.

Per la definizione delle caratteristiche isotopiche delle acque piovane, nell'ambito dei monitoraggi eseguiti da Italferr S.p.A. sono stati utilizzati, a partire dal 2014, 4 campionatori di acqua piovana che in due casi (pluviometro di Ponte Gardena B_001365 e pluviometro di Fortezza monte B_001368) sono stati affiancati da 2 campionatori di pioggia tipo PALMEX progettati appositamente per il campionamento isotopico delle acque di pioggia, per un totale di 6 punti di raccolta di acque meteoriche. Nel seguito i dati analizzati si riferiranno sempre ai 4 pluviometri attivi contemporaneamente al momento del campionamento di ogni campagna di misura.

Gli isotopi analizzati sono stati l'¹⁸O (ossigeno), il ²H (deuterio) e il ³H (trizio); mentre i primi sono da considerarsi "stabili", ovvero rimangono invariati una volta formati, il trizio è sottoposto a decadimento radioattivo, con formazione di un nuovo elemento chimico ³He (elio) ed un prodotto di decadimento β-.

APPALTAZIONE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 95 di 189

7.2.1 Isotopi stabili

La concentrazione di questi parametri nelle acque si esprime come differenza relativa δ (‰) tra il singolo rapporto isotopico R_{SAMPLE} nel campione analizzato (es: $^{18}O/^{16}O$ o $^2H/^1H$) e quello di uno standard di riferimento (R_{V-SMOW} dove V-SMOW è acronimo di *Vienna Standard Mean Ocean Water*):

$$\delta \text{ (‰)} = [(R_{SAMPLE}/R_{V-SMOW}) - 1] \times 1000$$

Nei punti di monitoraggio analizzati nel corso della presente indagine (4 pluviometri localizzati a diversa quota, 52 sorgenti, 10 pozzi, 19 piezometri) tra giugno 2014 e febbraio 2019, le acque meteoriche hanno mostrato un valore medio di $\delta^{18}O$ di -8.6‰, mentre le sorgenti di -10.2‰, i pozzi di -10.4‰ e i piezometri di -10.2‰. I valori minimi sono di -13.4‰ (acque meteoriche), -12.20‰ (sorgenti), -12.3‰ (pozzi) e -12.1‰ (piezometri); quelli massimi di - 0.5‰ (acque meteoriche), -8.6‰ (sorgenti), -8.3‰ (pozzi) e -8.7‰ (piezometri).

Tali dati mostrano che i valori di $\delta^{18}O$ nelle acque sotterranee (siano esse sorgenti, pozzi o piezometri) sono minori rispetto a quelli che caratterizzano le acque meteoriche campionate nei pluviometri. Inoltre, emerge una scarsa variabilità del dato isotopico nelle acque sotterranee (sorgenti: $1\sigma = \pm 0.6\%$; pozzi: $1\sigma = \pm 0.9\%$; piezometri: $1\sigma = \pm 0.7\%$) rispetto a quelle meteoriche ($1\sigma = \pm 2.4\%$).

I valori inferiori che contraddistinguono le acque sotterranee, associati ad una minore variabilità del dato isotopico, suggeriscono sia un'alimentazione dei circuiti idrici sotterranei dalle quote più elevate dei versanti, sia il ruolo di omogeneizzazione isotopica effettuato dagli acquiferi. Quest'ultimo tende infatti a ridurre, seppur parzialmente, la variabilità isotopica riscontrata invece nelle acque piovane precipitate nel corso dell'anno e ad altitudini variabili a seconda della quota del pluviometro.

Infatti, a causa delle diverse tensioni di vapore delle molecole di acqua composte dai differenti isotopi dell'ossigeno (e dell'idrogeno), ad una temperatura di condensazione più bassa corrispondono valori più negativi di $\delta^{18}O$, viceversa ad una temperatura più elevata corrispondono valori più positivi di $\delta^{18}O$. Ciò provoca un marcato fenomeno di variazione stagionale del contenuto isotopico delle acque di precipitazione, che è generalmente più negativo in inverno (temperature più basse) rispetto all'estate (temperature più elevate). Inoltre, se una massa di aria satura incontra un rilievo montuoso, essa risale in modo adiabatico, raffreddandosi progressivamente e condensando molecole di acqua; le piogge iniziali alle quote meno elevate, originate durante la prima fase della condensazione (temperature più elevate), presentano valori più positivi in $\delta^{18}O$ che diventano progressivamente più negativi con l'aumentare della quota (temperature più basse).

Questo fenomeno, definito "effetto altitudine", permette di identificare gradienti isotopici verticali di negativizzazione della composizione isotopica con la quota, che possono essere sfruttati per la stima della quota di infiltrazione delle acque sorgive campionate (Mazor, 1997). Sulla base dei dati riportati in Celico (1986) i gradienti medi di decremento in funzione dell'altitudine, per l'intera penisola italiana, sono di circa:

$$- 0.30\text{‰} / 100 \text{ m per } \delta^{18}O$$

$$- 2.5\text{‰} / 100 \text{ m per } \delta^2H$$

In ambiente montano, a causa di contesti geomorfologici locali, tali gradienti possono variare sensibilmente. Ad esempio, e sempre per il nord Italia, Longinelli e Selmo (2003) riportano valori di -0.21‰($\delta^{18}O$) e -1.6‰

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 96 di 189

($\delta^2\text{H}$) mentre nei pressi dell'area indagata (bacino del Saldur, affluente dell'Adige nei pressi di Bolzano) – Penna et al. (2014) rilevano valori di -0.23‰ ($\delta^{18}\text{O}$) e -1.60‰ ($\delta^2\text{H}$) ogni 100 metri di quota.

A causa di questa sensibile variabilità dei gradienti di negativizzazione degli isotopi stabili, peraltro evidenziata da diversi autori anche di anno in anno nello stesso sito (Longinelli et al., 2006), è preferibile, nella definizione delle quote di ricarica di un acquifero, avere a disposizione un set di dati relativo alle acque di precipitazione "locali" e per lo stesso periodo del campionamento delle acque sotterranee, da poter prendere come base per le successive elaborazioni.

Nella presente fase di lavoro, si dispone di 6 punti di raccolta delle acque piovane posti a differenti quote che sono stati campionati in 10 campagne di monitoraggio (giugno 2014, ottobre 2015, febbraio 2016 e luglio 2016, novembre 2016, maggio 2017, luglio 2017, maggio 2018, ottobre 2018 e febbraio 2019) e le cui acque sono state analizzate per ottenerne i valori di $\delta^{18}\text{O}$ (e $\delta^2\text{H}$).

Una prima informazione può essere desunta dalla simultanea analisi dei dati di $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$. Craig (1961) ha stabilito, sulla scorta di un gran numero di dati analitici, che esiste una relazione fra $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$ nelle acque di origine meteorica che è data dall'equazione:

$$\delta^2\text{H} = 8.0\delta^{18}\text{O} + 10.0$$

Tale equazione è nota come retta delle acque meteoriche mondiali (*World Meteoric Line*; WML). Nei diversi contesti possono verificarsi condizioni particolari per cui tale equazione può risultare leggermente diversa.

Ad esempio, nel Nord Italia (zona presa a riferimento per l'area di progetto) è stata elaborata da Longinelli e Selmo (2003) una retta di correlazione avente la seguente equazione:

$$\delta^2\text{H} = 7.8\delta^{18}\text{O} + 9.4$$

Tale relazione viene definita *Northern Italy Meteoric Line* (NIML); coefficiente angolare (7.8) ed intercetta (9.4) della retta sono molto simili ai corrispondenti (8.0 e 10.0, rispettivamente) della *World Meteoric Line*.

Come si può notare dal grafico $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ (Figura 74), gli allineamenti originati dai 4 punti pluviometrici, suddivisi per campagna di misure, si collocano generalmente a ridosso della retta delle precipitazioni globali WML e del Nord Italia (NIML). Se consideriamo tutti i dati pluviometrici raccolti, essi si allineano secondo una retta (*Local Meteoric Line* LML; in rosso in Figura 74) di equazione:

$$\delta^2\text{H} = 6.9\delta^{18}\text{O} - 0.8 \quad (R^2 = 0.94)$$

Il coefficiente di correlazione della retta è elevato ($R^2=0.94$). Di interesse, dal punto di vista idrogeologico, il coefficiente angolare della retta, o pendenza (6.9), che è sensibilmente inferiore rispetto a quella identificata da Longinelli e Selmo (2003) per il Nord Italia. In dettaglio, se aggregati per le diverse campagne di monitoraggio, i dati isotopici dei quattro pluviometri rimangono sempre allineati, ma con coefficienti angolari variabili da 4.0 (novembre 2016) a 10.4 (maggio 2017).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 97 di 189

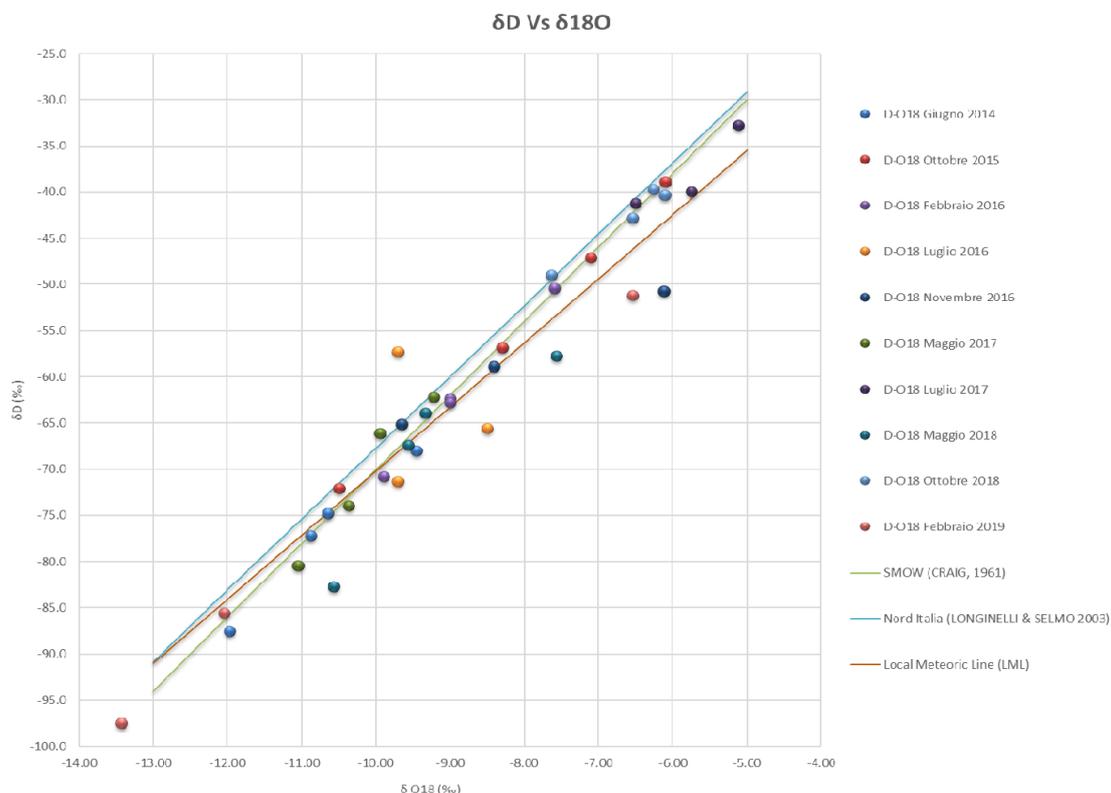


Figura 74: Caratteristiche isotopiche (δD vs $\delta^{18}O$) dei quattro pluviometri e World Meteoric line (WLM), Northern Italy Meteoric Line (NIML) e Local Meteoric Line (LML).

I grafici $\delta^2H - \delta^{18}O$, nel caso delle acque sotterranee (piezometri, pozzi e sorgenti), forniscono ulteriori indicazioni se raffrontati con le equazioni delle acque meteoriche. Le acque sotterranee risultano sempre allineate ma con pendenza sempre inferiore rispetto a quella della ricarica superficiale. Infatti, le rette delle acque sotterranee sono le seguenti (Figura 75):

- $\delta^2H = 6.1 \delta^{18}O - 8.6$ $R^2 = 0.79$ (piezometri);
- $\delta^2H = 5.5 \delta^{18}O - 15.8$ $R^2 = 0.82$ (pozzi);
- $\delta^2H = 5.7 \delta^{18}O - 12.3$ $R^2 = 0.80$ (sorgenti).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 98 di 189

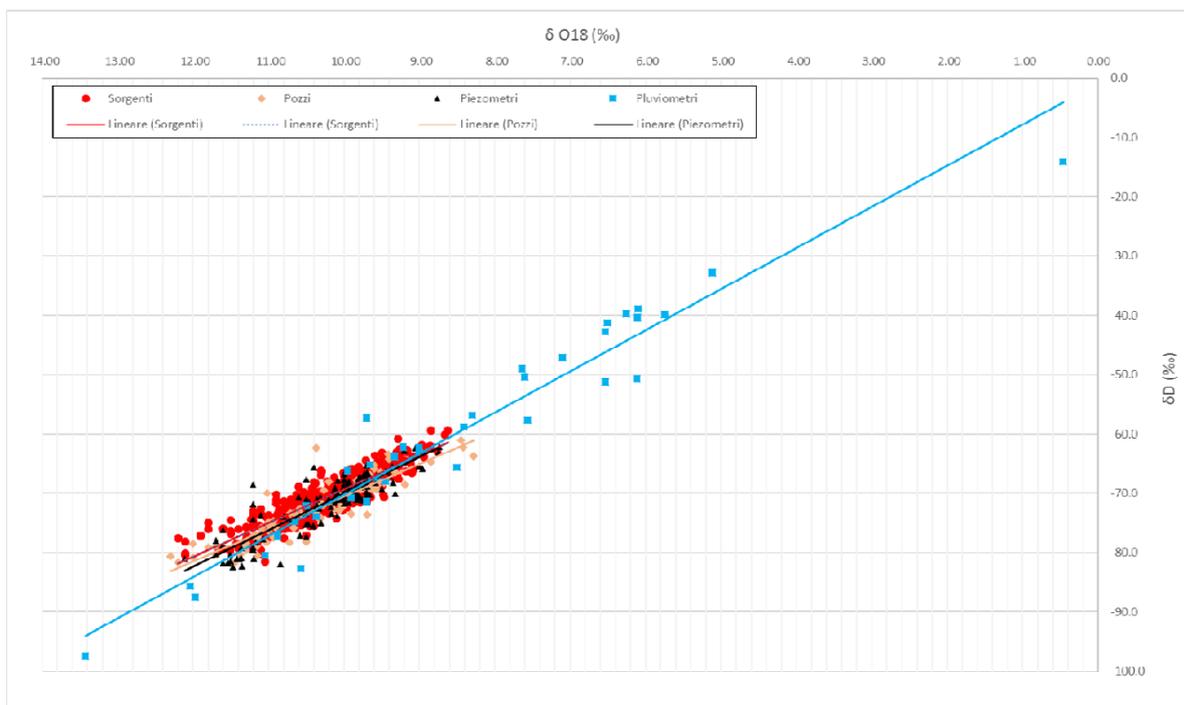


Figura 75: Caratteristiche isotopiche (δD vs $\delta^{18}O$) dei punti d'acqua monitorati e delle relative rette di regressione a testimonianza del frazionamento isotopico avvenuto a seguito delle precipitazioni.

I decrementi osservati nella pendenza delle rette sotterranee (valori nell'ordine di 5.5 – 6.1) rispetto a quelle superficiali (coefficiente angolare della retta LML di 6.9), sono indice di processi di frazionamento pre-infiltrativi che hanno luogo al suolo, in particolare, di evaporazione ed evapotraspirazione dalle acque interstiziali nei terreni più superficiali. Una volta infiltratesi al di sotto del primo suolo, infatti, le acque non subiscono più processi di frazionamento isotopico, ma tendono ad omogeneizzarsi per mescolamento, a causa dei diversi percorsi di deflusso sotterraneo, in questo caso principalmente entro i depositi quaternari e/o il substrato allentato.

Ulteriori indicazioni possono essere desunte dal confronto dei valori di $\delta^{18}O$ medio campionati ai singoli pluviometri. Infatti, il grafico $\delta^{18}O$ /quota dei pluviometri permette di stimare una quota di ricarica media dei punti campionati, se consideriamo il contenuto isotopico nei pluviometri come pienamente rappresentativo dell'input di ricarica delle falde locali (ovvero nessuna influenza del *runoff* superficiale o di frazionamenti isotopici pre-infiltrativi).

Per fare ciò, si sono create due rette di interpolazione (Figura 76). Una retta di regressione definita sulla base della media aritmetica dei valori registrati in ogni campagna di misura e un'altra basata sulla media pesata dei valori. Per media pesata si intende una media calcolata in funzione dei quantitativi di precipitazione cumulata tra due campagne successive di campionamento. Questo procedimento permette di ponderare i valori di $\delta^{18}O$ registrati ai pluviometri in funzione dei quantitativi di precipitazione cumulati.

Per eseguire la media aritmetica ci si è basati sulla seguente equazione:

$$A_R = \frac{\sum_{i=1}^n \delta^{18}O_i}{n}$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	99 di 189

Mentre per la media pesata sui valori di precipitazione si è utilizzata la seguente equazione:

$$M_{wR} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta^{18}O_i R_i}{\sum_{i=1}^n R_i}$$

Dove n è il numero totale di campioni prelevati, $\delta^{18}O_i$ è il valore isotopico nell' i -esima campagna e R_i la precipitazione cumulata tra due campagne di misura successive.

Per il calcolo del valore ponderato (MwR), in mancanza di dati di precipitazione cumulata ai singoli pluviometri tra due misurazioni successive, si è fatto riferimento ai dati di pioggia acquisiti per i pluviometri di Fortezza dal dato della stazione meteorologica di Fortezza-Le Cave mentre per il pluviometro di valle, posto alla stazione di Ponte Gardena, si è fatto uso dei dati della stazione Colma-Barbiano. Infine, per il pluviometro posto a monte di Laion si sono utilizzati i dati pluviometrici della stazione di San Pietro di Funes, collocata ad una quota analoga nell'adiacente Val di Funes.

In Figura 76 sono rappresentate le due rette di regressione con le rispettive equazioni, caratterizzata da un coefficiente di correlazione che, nel caso della media aritmetica (AR), non è soddisfacente ($R^2 = 0.46$). Ciò è causato dalla presenza di una anomalia isotopica nella zona di Fortezza, ed in particolare di valori isotopici medi più negativi nel pluviometro di Fortezza a valle, localizzato ad una quota meno elevata del pluviometro di Fortezza a monte (982 m s.l.m. contro 746 m s.l.m.). Nel caso della media pesata sui valori di precipitazione (MwR), il coefficiente di correlazione incrementa sensibilmente ($R^2 = 0.70$) a causa della riduzione dell'anomalia isotopica tra i due pluviometri campionatori di Fortezza. Per questo motivo, si è deciso di utilizzare esclusivamente quest'ultima relazione per le elaborazioni successive. Come si può notare dal grafico, il gradiente di negativizzazione del valore di $\delta^{18}O$ con la quota è di $-0.25\%/100$ m; tale valore è simile a quello riportato da Longinelli e Selmo (2003) per il contesto italiano ($-0.30\%/100$ m).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 100 di 189

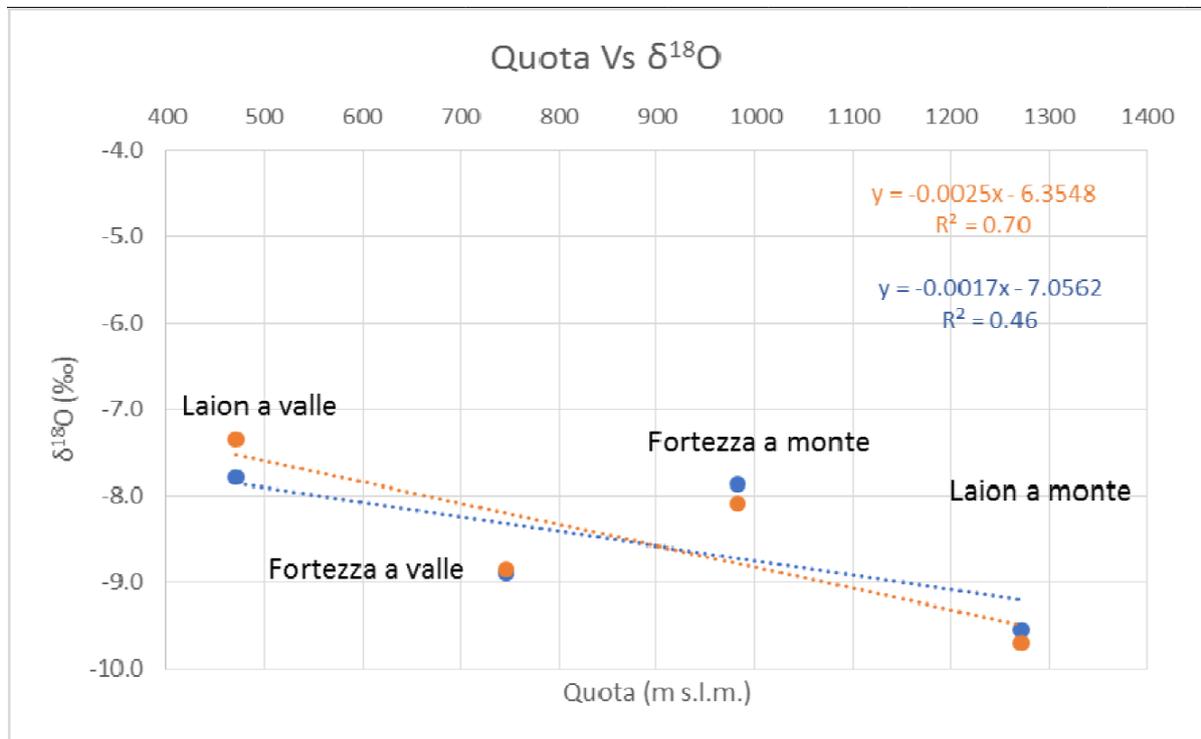


Figura 76: Confronto tra rette di interpolazione: arancione=media aritmetica dei dati isotopici; blu=media pesata in funzione della precipitazione.

Prendendo in considerazione la sola retta di regressione relativa alla media pesata (M_{wr}) si è così tentato di estrapolare il dato riguardante la stima della quota di infiltrazione delle acque campionate ai diversi punti.

Infatti, conoscendo il valore di $\delta^{18}\text{O}$ medio registrato ai diversi punti di campionamento delle acque sotterranee e mettendolo in relazione con la retta di regressione generata dai valori di $\delta^{18}\text{O}$ dei pluviometri, è stato possibile ottenere la quota di infiltrazione indicativa media delle acque che alimentano questi punti di campionamento. Come nel caso delle acque meteoriche, anche nelle sorgenti i valori medi di $\delta^{18}\text{O}$ sono stati ottenuti effettuando una media pesata con il dato di portata, nell'assunzione semplificativa che i valori registrati tra una campagna di misura e la successiva si mantenessero inalterati, così da ipotizzare una portata costante nel tempo tra due intervalli successivi. Per le sorgenti in cui non è stato possibile misurare la portata, si è utilizzato il dato di media aritmetica. Per i pozzi ed i piezometri è stato invece assunto come valore di $\delta^{18}\text{O}$ quello definito dalla media aritmetica dei dati disponibili.

Le stime delle quote di infiltrazione ottenute con il processo sopra illustrato sono riportate in Tabella 8; inoltre, la correlazione fra la composizione isotopica dell'ossigeno e la quota è rappresentata graficamente in Figura 77. Per chiarire le modalità di lettura di quest'ultimo diagramma, a titolo di esempio, si può osservare come la sorgente B_000919, posta a circa 1270 m s.l.m. e avente un valore medio di $\delta^{18}\text{O}$ pari a -11.1‰, registri, in base alla retta di regressione pluviometrica, una quota di infiltrazione media pari a circa 1910 m s.l.m. Con le due rette tratteggiate si riporta anche, a titolo esemplificativo, il valore di incertezza del calcolo per la medesima sorgente, che è ottenibile a partire dalla deviazione standard (1σ) del valore medio

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"
PROGETTAZIONE:		
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1BEZZ RG GE0000002 B 101 di 189	

di $\delta^{18}\text{O}$ (riportato in Tabella 8). La quota di infiltrazione media è compresa entro un intervallo altimetrico di 1720 e 2100 m.

Tabella 8: Valori di quota di infiltrazione stimata per le varie sorgenti.

ID PROGETTO	Quota	Media O ¹⁸ aritmetica	Media O ¹⁸ pesata portata	Dev. Std.	Quota stimata infiltrazione	Differenza Quota
	(m.s.l.m.)	(‰)	(‰)		(m.s.l.m.)	(m.s.l.m.)
B_000142	675	-9.4	-9.4	0.1	1220	545
B_000157	775	-9.9	-9.9	0.4	1425	650
B_000174	880	-11.0	-11.0	0.7	1848	968
B_000194	1200	-10.4	-10.4	0.8	1632	432
B_000214	1595	-11.2	-11.2	0.4	1938	343
B_000227	1475	-10.6	-10.6	0.3	1684	209
B_000235	605	-9.2	-9.2	0.2	1151	546
B_000260	940	-10.2	-10.2	0.2	1529	589
B_000263	1533	-10.2	-10.2	0.1	1542	9
B_000357	667	-8.9	-8.9	0.2	1011	344
B_000364	843	-11.1	-11.1	0.2	1878	1035
B_000508	1206	-9.9	-9.9	0.2	1421	215
B_000563	675	-10.2	-10.2	0.2	1528	853
B_000575	756	-10.0	-10.0	0.4	1476	720
B_000579	537	-10.1	-10.1	0.1	1517	980
B_000585	540	-9.8	-9.8	0.0	1383	843
B_000595	785	-9.7	-9.7	0.2	1345	560
B_000599	935	-10.1	-10.1	0.4	1496	561
B_000603	953	-10.0	-10.0	0.3	1455	502
B_000622	1300	-11.0	-11.0	0.1	1841	541
B_000634	1008	-10.5	-10.5	0.5	1670	662
B_000642	1339	-10.4	-10.4	0.1	1606	267
B_000648	1210	-10.3	-10.3	0.5	1584	374
B_000648-1	1210	-10.0	-10.0	0.1	1474	264
B_000648-2	1210	-9.9	-9.9	0.1	1417	207
B_000648-3	1210	-9.7	-9.7	0.2	1330	120
B_000648-4	1210	-9.9	-9.9	0.1	1401	191
B_000649	711	-9.8	-9.8	0.2	1375	664
B_000742-5	1577	-10.7	-10.7	0.2	1722	145
B_000752-1	1194	-9.6	-9.6	0.6	1309	115
B_000752-2	1194	-9.7	-9.7	0.5	1331	137
B_000753	1194	-9.7	-9.7	0.7	1340	146
B_000757	710	-9.3	-9.3	0.3	1170	460
B_000761	1400	-10.8	-10.8	0.7	1785	385

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"
PROGETTAZIONE:		
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1BEZZ RG GE0000002 B 102 di 189	

ID PROGETTO	Quota	Media O ¹⁸ aritmetica	Media O ¹⁸ pesata portata	Dev. Std.	Quota stimata infiltrazione	Differenza Quota
	(m.s.l.m.)	(‰)	(‰)		(m.s.l.m.)	(m.s.l.m.)
B_000789	644	-10.6	-10.6	0.2	1688	1044
B_000791	1146	-9.8	-9.8	0.2	1394	248
B_000828-1	1087	-9.9	-9.9	0.2	1436	349
B_000828-2	1087	-10.0	-10.0	0.1	1445	358
B_000830	644	-10.0	-10.0	1.1	1448	804
B_000834	1475	-11.0	-11.0	0.2	1873	398
B_000835	1473	-11.0	-11.0	0.0	1869	396
B_000838	1015	-10.3	-10.3	0.3	1561	546
B_000882	1036	-10.1	-10.1	0.3	1492	456
B_000886	944	-9.8	-9.8	0.2	1395	451
B_000919	1270	-11.2	-11.2	0.5	1923	653
B_000920	1307	-10.7	-10.7	0.3	1741	434
B_001114	1308	-10.4	-10.4	0.1	1636	328
B_001115	1371	-11.1	-11.1	0.1	1898	527
B_001120	1325	-10.2	-10.2	0.4	1550	225
B_001128	1435	-10.1	-10.1	0.1	1482	47
B_001142	790	-10.2	-10.2	0.6	1526	736
B_001146	639	-9.5	-9.5	0.2	1262	623
B_001147	661	-9.4	-9.4	0.2	1226	565
B_001173	640	-10.5	-10.5	0.4	1638	998
B_001174	675	-10.7	-10.7	0.4	1753	1078
B_001229	940	-10.6	-10.6	0.4	1698	758
B_001240	645	-10.6	-10.6	0.9	1684	1039
B_001241	775	-9.9	-9.9	0.7	1420	645
B_001369-1	1684	-10.6	-10.6	0.4	1683	-1
B_001369-2	1684	-10.2	-10.2	0.4	1532	-152
B_001369-3	1684	-10.4	-10.4	0.4	1636	-48
B_001369-4	1684	-10.5	-10.5	0.3	1667	-17

Alcune sorgenti risultano posizionate nelle immediate vicinanze della retta di regressione dei valori di $\delta^{18}\text{O}$ /quota e possono essere considerate comunque espressione di circuiti spazialmente ridotti (inferiori ai 100 metri di dislivello), testimoniati anche dagli scarsi gradi di mineralizzazione che ne caratterizzano le emergenze (B_001369-1, B_001369-3, B_000263, B_00752-2, B_000753 e B_001128). La deviazione standard risulta generalmente maggiore per i punti più prossimi alla retta di correlazione, ovvero quelli aventi un'alimentazione presumibilmente più superficiale. Proprio la sorgente B_001369 mostra scarti altimetrici tra le quote di infiltrazione e fuoriuscita negativi. Ciò avvalorata la tesi relativa all'origine da un areale di ricarica poco esteso e comunque di percorsi di flusso molto brevi tra le aree di alimentazione e il punto di recapito.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 103 di 189

Al contrario, i punti posti a maggior distanza dalla retta sono sorgenti che sottendono areali di ricarica più estesi, caratterizzati dalla presenza di flussi più articolati ed evoluti e con quote medie delle aree di ricarica che possono superare anche di 1000 metri le quote di emergenza (B_000174, B_000579, B_000364, B_000789, B_001173, B_001174 e B_001240,). Da notare come i punti con differenze di quota maggiori tra l'area di infiltrazione e quella di emergenza siano localizzati nella zona di Laion-Ponte Gardena, ad eccezione dei punti B_000174 e B_000789 che però, come già indicato nei paragrafi precedenti, sono probabilmente il frutto di derivazione dei torrenti che scorrono nei pressi, Rio dell'Orso e Rio Scaleres rispettivamente.

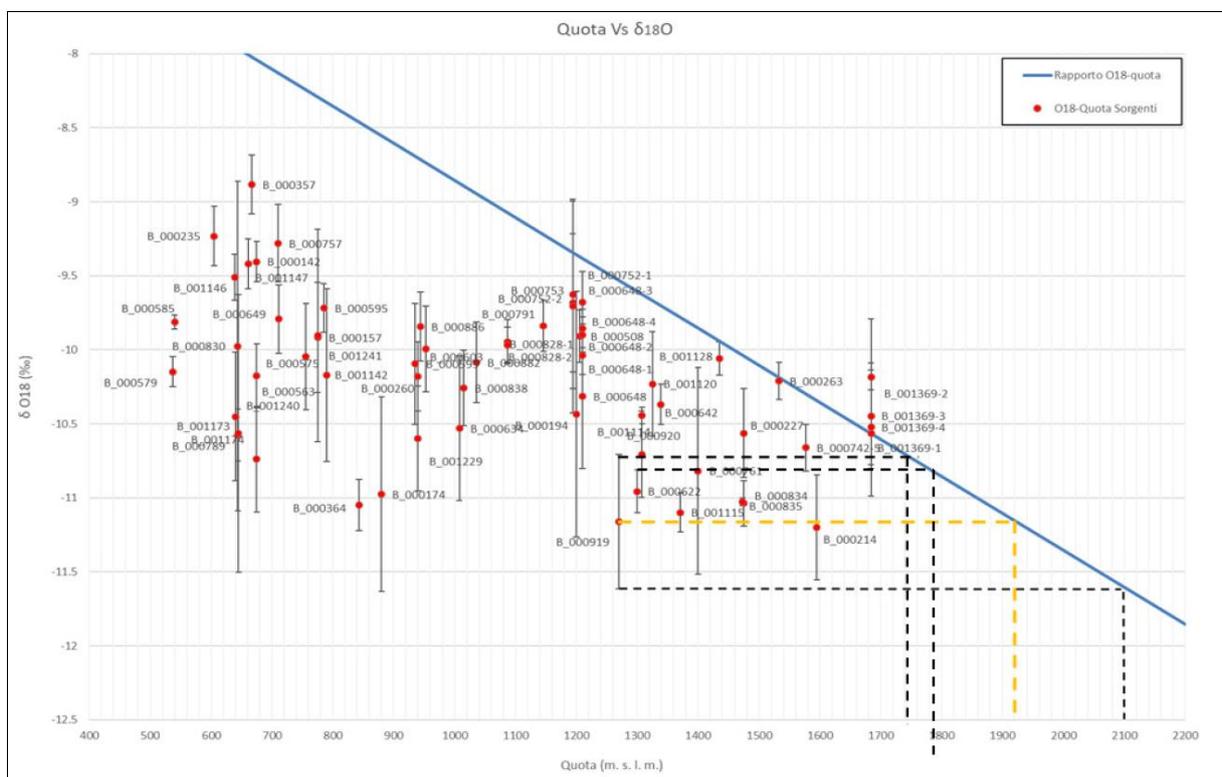


Figura 77: Confronto tra rette di interpolazione: arancione=media aritmetica dei dati isotopici; blu=media pesata in funzione della precipitazione.

Le stesse elaborazioni sono state eseguite anche per i pozzi (Tabella 9 e Figura 78). Anche in questo caso i punti che maggiormente si discostano dalla retta possono essere considerati come caratterizzati da areali di alimentazione estesi (ovvero quelli che presentano differenze tra quota del punto di monitoraggio e l'altitudine media della zona di infiltrazione superiori a 1000 metri), in particolare per i pozzi (B_000228, B_000376, B_000587, B_000605, B_000662 e B_000822). Non sono invece presenti punti di campionamento con differenze di quota inferiori a 600 metri.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 104 di 189

ID	Quota (m.s.l.m.)	Media O ¹⁸ (‰)	Quota stimata infiltrazione (m.s.l.m.)	Differenza Quota (m)
B_000228	555	-11.47	2045	1490
B_000376	714	-10.86	1801	1087
B_000578	662	-9.55	1278	616
B_000580	744	-9.93	1429	685
B_000587	483	-11.07	1887	1404
B_000605	481	-10.74	1754	1273
B_000618	680	-9.55	1279	599
B_000662	522	-10.25	1559	1037
B_000822	594	-11.22	1945	1350
B_000837	619	-9.47	1247	628

Tabella 9: Valori di quota di infiltrazione stimata per i pozzi monitorati.

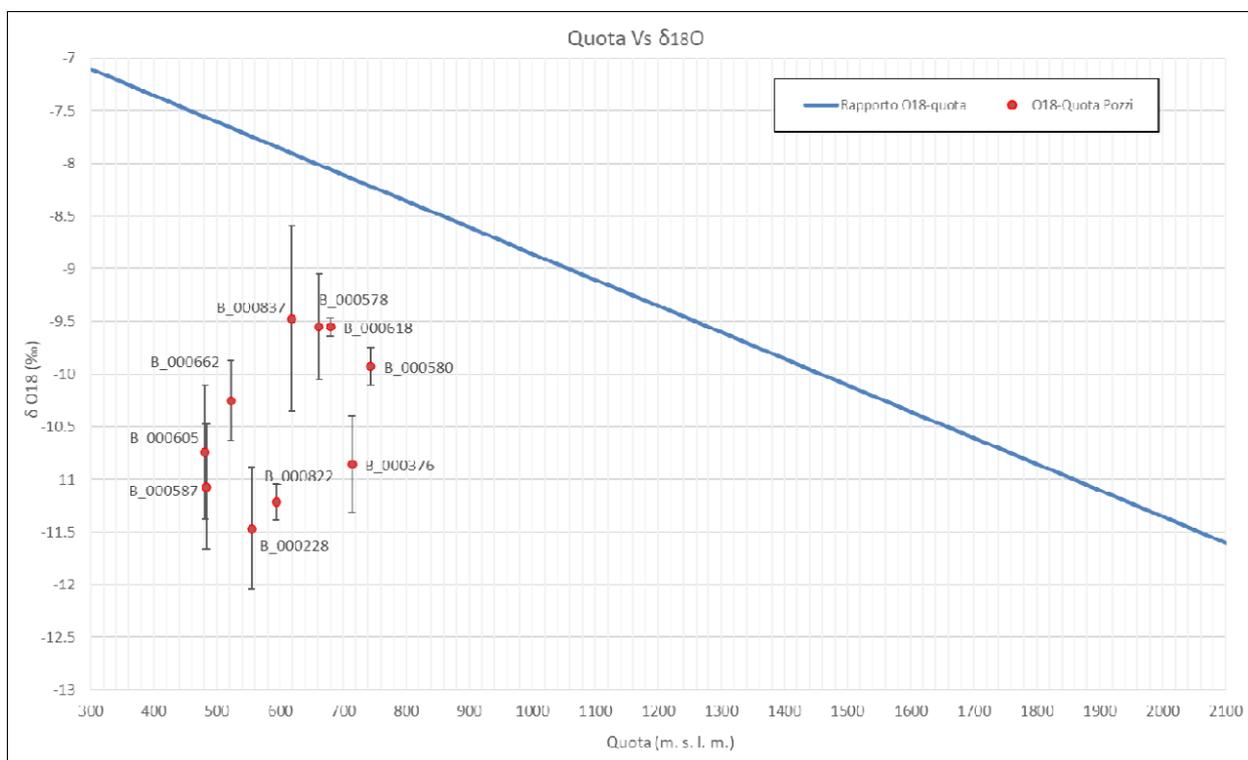


Figura 78: Relazione i valori isotopici registrati ai singoli pozzi (deviazione standard $\pm 1\sigma$) con la retta $\delta^{18}\text{O}$ – quota ricavata dal campionamento delle acque meteoriche.

Infatti, come si può notare, e ad esclusione dei punti B_000578, B_000580, B_000618 e B_000837, le differenze tra i punti di campionamento e le quote medie di ricarica per le acque campionate all'interno dei pozzi risultano mediamente più elevate (anche superiori ai 1000 metri di dislivello). Ciò può essere giustificato

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	105 di 189

in parte dall'alimentazione proveniente dai principali fiumi e torrenti dell'area che fungono da recapito per acque precipitate a quote molto superiori e in parte dal recapito di acque infiltratesi entro i versanti vallivi a quote più elevate e giunte fino ai depositi quaternari del fondovalle.

L'ultima analisi ha riguardato le acque campionate nei piezometri. In Tabella 10 e in Figura 79 sono riportati i risultati delle elaborazioni. In questo caso per la definizione della quota di prelievo delle acque campionate si è definita la quota media della falda sul livello del mare.

ID	Quota media falda (m.s.l.m.)	Media O18 aritmetica (‰)	Dev. Std.	Quota stimata infiltrazione (m.s.l.m.)	Differenza Quota (m)
B_001244	942.2	-11.26	0.7	1962	1020
B_001245	860.9	-10.22	0.3	1547	686
B_001248	787.0	-9.77	0.3	1366	579
B_001252	751.0	-10.19	0.4	1534	783
B_001255	808.4	-11.20	0.5	1938	1129
B_001268	690.1	-9.53	0.6	1269	579
B_001270	677.7	-10.02	0.4	1466	788
B_001271	877.0	-10.54	0.4	1675	798
B_001353	613.7	-10.23	0.3	1551	938
B_001372	760.1	-9.84	0.0	1392	632
B_001373	796.1	-9.93	0.0	1430	634
B_001382	815.1	-9.83	0.1	1389	574
B_001383	844.6	-9.83	0.1	1391	547
B_001386	789.1	-9.49	0.2	1253	464
B_001394	1077.4	-10.30	0.1	1579	502
B_001395	825	-10.47	0.1	1645	820
B_001399	792.9	-9.80	0.1	1377	584
B_001400	900.7	-9.98	0.5	1449	549

Tabella 10: Valori di quota di infiltrazione stimata per i piezometri monitorati.

I piezometri B_001248, B_001268, B_001382, B_001386 e B_001394, B_001399 e B_001400 sono caratterizzati da areali di ricarica più ridotti (differenza tra quota media di ricarica e punto campionato compresa tra i 480 e i 600 metri) mentre in B_001244 e B_001255 (che mostravano altresì chimismi particolari emersi dall'analisi di Piper) la differenza di quota supera i 1000 metri. I rimanenti punti piezometrici mostrano una minor variabilità in termini di estensione degli areali di alimentazione con differenze di quota comprese tra 600 e circa 900 metri.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 106 di 189

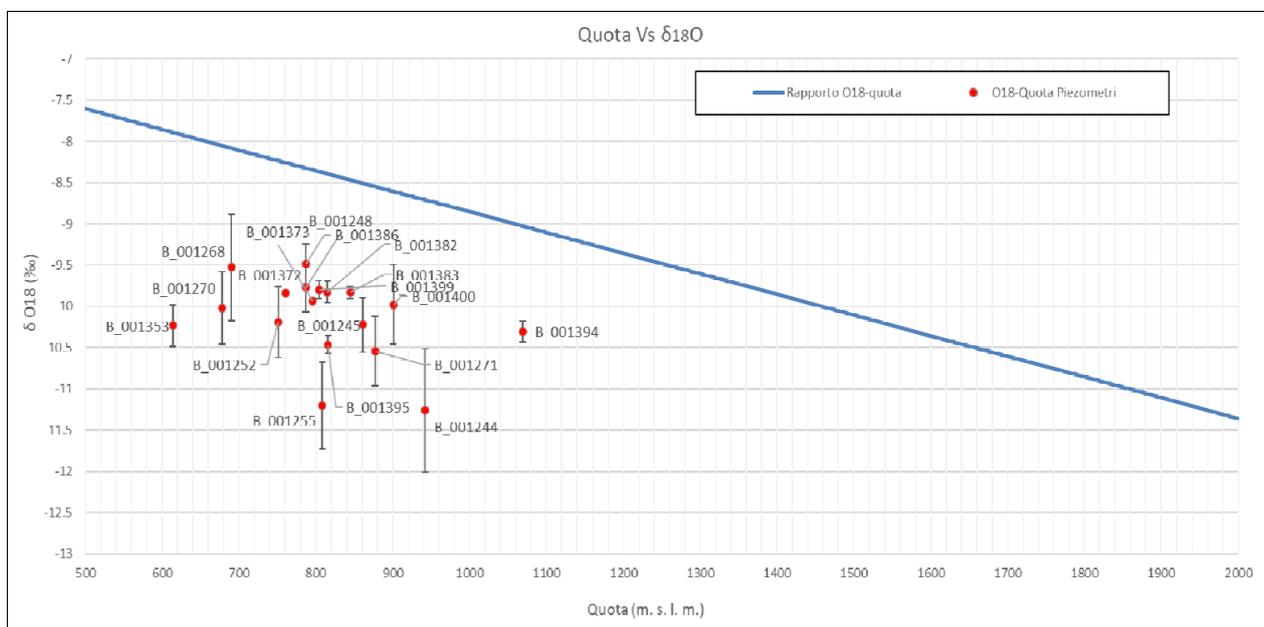


Figura 79: Grafico che mette in relazione i valori isotopici registrati ai singoli piezometri (deviazione standard $\pm 1\sigma$) con la retta $\delta^{18}O$ – quota ricavata dal campionamento delle acque meteoriche.

7.2.2 Isotopi instabili

Il trizio (3H) è un isotopo dell'idrogeno, e si forma naturalmente in alta atmosfera a causa di complessi fenomeni di interazione tra la radiazione solare e l'azoto. Una volta formato, entra nel ciclo idrologico facendo parte, seppur per frazioni infinitesimali, delle molecole di acqua presenti nelle precipitazioni. Essendo instabile, decade trasformandosi in 3He , con tempo di dimezzamento pari a 12.4 anni. Per tale caratteristica, è stato ampiamente utilizzato in idrologia ed idrogeologia come tracciante naturale in grado di fornire preziose indicazioni sui tempi di transito delle acque all'interno del reticolo idrografico e negli acquiferi (Mazor, 1997).

La concentrazione di 3H nelle acque si esprime in Tritium Unit (TU) ove:

$$1 TU = 1 \text{ } ^3H \text{ atoms per } 10^{18} \text{ H atoms}$$

ovvero tramite il rapporto tra atomi di trizio (3H) e idrogeno (1H), che mediamente equivale a 10^{-18} (= 1TU).

Le campagne di indagine isotopica, relative al trizio, hanno coinvolto, oltre ai punti di raccolta per le acque meteoriche, i piezometri, i pozzi, e le sorgenti e si sono svolte in nove campagne di misura (giugno 2014, ottobre 2015, luglio 2016, febbraio 2017, luglio 2017, gennaio 2018, maggio 2018, ottobre 2018 e febbraio 2019).

Nella campagna di misure di giugno 2014 i campioni sono stati analizzati, previo procedimento di arricchimento, mediante il metodo della scintillazione liquida, ottenendo una soglia minima di rilevabilità pari 0.6 TU ed un errore massimo associato alle misure pari a ± 1.1 TU.

Nelle analisi del 2015 e 2016 il limite minimo rintracciabile di Trizio nelle soluzioni risulta superiore, compreso tra 3.23 e 3.78 TU nel 2015 e tra 3.95 e 4.00 TU nel 2016.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 107 di 189

Queste misure sono accompagnate da una precisione che si attesta attorno a ± 2.15 TU per la campagna 2015 e a ± 2.5 TU per la campagna 2016. Ciò comporta che i risultati di queste due campagne debbano essere considerati alla luce della maggior incertezza di misura.

Infine, le misure eseguite nel 2018-19 presentano una precisione decisamente migliore, ed in linea con la prima campagna isotopica del 2014, compresa tra 0.2 e 0.5 TU con una soglia minima di rilevamento strumentale di 0.5 TU.

Dal punto di vista quantitativo, in accordo con Mazor (1997), è possibile stabilire l'età media delle acque (o tempo di residenza medio delle acque nell'acquifero prima del campionamento) sulla base dell'abbondanza di ^3H applicando la seguente formulazione:

$$t = (T_{1/2}/0.693) (\ln C_p - \ln C_s)$$

- $T_{1/2}$ indica il tempo di dimezzamento del Trizio (12.43 anni);
- C_p indica il tenore in Trizio delle precipitazioni (dato medio derivato dai 4 pluviometri dislocati nell'area);
- C_s indica la concentrazione di Trizio nel campione di acqua sotterranea.

L'applicazione di questa formula è basata sulle assunzioni che:

- il valore di Trizio misurato sia dovuto solamente al decadimento del Trizio infiltratosi originariamente, ovvero, non ci siano né contaminazioni esterne né produzione di Trizio (Trizio geogenico);
- Il contenuto in Trizio delle precipitazioni che si infiltrano sia conosciuto.

Nel nostro caso la produzione di Trizio geogenico non è determinabile con precisione ma è considerata come trascurabile. Infatti, il tasso di produzione media di questo isotopo all'interno della crosta terrestre risulta di circa 0.2 TU (Lehmann et al., 1993). La produzione di Trizio geogenico diventa significativa allorquando vi sia abbondanza di elementi quali litio, uranio o torio. Ciò accade solo in determinati contesti, come quelli di acquiferi granitoidi, in cui la produzione di Trizio può arrivare ad aumentare di ben 2.5 TU il contenuto in Trizio delle acque circolanti (Andrews and Kay, 1982). Nel caso in esame l'unica area con presenza di graniti è quella posta in corrispondenza dell'intrusione permiana di Fortezza, entro la quale non si registrano però sorgenti con portate importanti, possibile segno della presenza di acquiferi importanti sviluppati entro tale contesto geologico.

In accordo con Mazor (1997) e con la rete di monitoraggio isotopica GNIP (*Global Network of Isotopes in Precipitations*) della IAEA (*International Atomic Energy Agency di Vienna*), i pluviometri nella zona in esame presentano valori di trizio superiori nel periodo estivo (valori superiori anche a 11 TU nel caso di ottobre 2015; Tabella 11). Al contrario, in inverno le precipitazioni sono caratterizzate da valori di trizio sensibilmente inferiori (fino a 4.4 TU).

Il dato relativo alla concentrazione in Trizio delle precipitazioni (C_p posto uguale a 7.9 TU) è stato ottenuto mediante l'analisi di campioni di acqua piovana campionati ai punti di raccolta, ottenendo prima i valori ponderati al dato di precipitazione, successivamente mediati per tutti i pluviometri (Tabella 11).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica		IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	108 di 189

Pluviometri					
Id_Progetto	Data Prelievo	TRIZIO (UT)	Errore	media pesata	Media
B_001365	01/06/2014	8.2	0.9	6.94	7.89
B_001366	01/06/2014	7.2	0.8		
B_001367	01/06/2014	5.9	0.5		
B_001368	01/06/2014	6.5	0.08		
B_001365	01/10/2015	9.86	2.05	9.32	
B_001366	01/10/2015	11.2	2.34		
B_001367	01/10/2015	4.74	1.98		
B_001368	01/10/2015	11.69	2.34		
B_001366	01/07/2016	8.52	2.5	10.15	
B_001367	01/07/2016	8.57	2.53		
B_001368	01/07/2016	13.21	2.65		
B_001365bis	26/04/2017	7	0.5	5.62	
B_001366	16/05/2017	5.2	0.5		
B_001367	22/05/2017	6.2	0.5		
B_001368bis	22/05/2017	4.3	0.5		
B_001365	13/07/2017	8.7	0.5	8	
B_001366	17/07/2017	7.3	0.5		
B_001367	18/07/2017	8	0.5		
B_001365bis	30/05/2018	6.3	0.4	5.99	
B_001366	25/05/2018	7.3	0.4		
B_001367	18/05/2018	4.7	0.3		
B_001368bis	18/05/2018	5.6	0.4		
B_001365	03/10/2018	9.2	0.5	9.23	
B_001366	03/10/2018	10.5	0.5		
B_001367	15/10/2018	10.4	0.5		
B_001368	15/10/2018	11.5	0.6		

Tabella 11: Valori medi di Trizio registrati ai pluviometri.

Nelle seguenti tabelle sono riportate le età stimate per i singoli campionamenti delle acque sotterranee. Vengono dunque riportati i pozzi (Tabella 12), i piezometri (Tabella 13) e le sorgenti (Tabella 14) che presentano valori di trizio con una ridotta variabilità tra i diversi campionamenti; in particolare, i dati di seguito riportati, fanno riferimento alle campagne di misura che hanno presentato come soglia massima di errore il valore di ± 1.1 TU, ovvero le campagne 2014, 2017 e 2018, le quali possono fornire un'indicazione più attendibile sui reali tempi di residenza delle acque nel circuito sotterraneo. Ad esempio, si riporta il caso del pozzo B_000837 (tempo di residenza medio delle acque nell'acquifero di circa 7 anni), del piezometro B_001244 (tempo di residenza medio delle acque nell'acquifero superiore a 50 anni) e della sorgente B_000227 (tempo di residenza medio delle acque nell'acquifero di circa 8 anni).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 109 di 189

Dall'analisi dei dati di pozzo si riscontra una variabilità piuttosto accentuata dei valori di trizio al susseguirsi delle misure. In generale non si registrano comunque tempi di residenza delle acque campionate superiori ai 10-15 anni, con la maggioranza dei valori che si colloca tra 4 e 8 anni di permanenza. Nel caso del pozzo B_000580, posto nella zona di Laion-Ponte Gardena, i valori molto elevati di trizio fanno ipotizzare ridottissimi tempi di residenza delle acque entro i depositi quaternari in cui il pozzo è scavato. Anche dall'analisi $^2\text{H}-^{18}\text{O}$ il pozzo è risultato essere quello con l'areale di ricarica meno esteso. Nella tabella seguente i valori con asterisco indicano età risultanti negative che sono state perciò indicate come zero.

Tabella 12: Stima dell'età delle acque sotterranee prelevate ai diversi punti di campionamento: pozzi. I valori con asterisco indicano età risultanti negative che sono state perciò indicate come zero.

Id Progetto	Data	Trizio (UT)	Errore	Età (anni)
B_000228	01/06/2014	6.10	0.7	5
B_000376	04/07/2017	5.10	0.4	8
B_000376	24/05/2018	5.70	0.4	6
B_000376	02/10/2018	6.90	0.4	2
B_000580	14/02/2017	10.50	0.6	0*
B_000580	10/07/2017	10.10	0.5	0*
B_000580	28/05/2018	9.10	0.5	0*
B_000580	03/10/2018	7.40	0.4	1
B_000587	01/06/2014	6.10	0.8	5
B_000587	13/02/2017	5.80	0.4	6
B_000587	05/07/2017	5.90	0.4	5
B_000587	30/05/2018	4.20	0.3	11
B_000587	09/10/2018	6.50	0.4	3
B_000605	13/02/2017	7.00	0.4	2
B_000605	05/07/2017	6.00	0.4	5
B_000605	08/05/2018	5.10	0.4	8
B_000618	14/02/2017	4.60	0.4	10
B_000618	05/07/2017	3.20	0.4	16
B_000618	29/05/2018	4.00	0.3	12
B_000618	03/10/2018	6.10	0.4	5
B_000662	21/02/2017	6.60	0.5	3
B_000662	06/07/2017	5.00	0.4	8
B_000662	28/05/2018	4.10	0.3	12
B_000822	16/02/2017	6.40	0.4	4
B_000822	12/07/2017	5.80	0.5	6
B_000822	09/05/2018	3.60	0.3	14
B_000822	24/09/2018	5.20	0.4	7
B_000837	16/02/2017	4.70	0.4	9

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 110 di 189

Id Progetto	Data	Trizio (UT)	Errore	Età (anni)
B_000837	12/07/2017	5.50	0.5	6
B_000837	08/05/2018	4.80	0.4	9
B_000837	21/09/2018	6.60	0.4	3

Dall'analisi delle acque piezometriche emerge un quadro piuttosto omogeneo relativo ai tempi di residenza nell'acquifero, che risultano generalmente compresi tra 2 e 10 anni, a testimonianza di circolazioni rapide che alimentano i punti piezometrici. Fanno eccezioni i piezometri B_001244, B_001255 e B_001271 che mostrano concentrazioni in Trizio spesso sotto il limite di rilevabilità strumentale. Ciò porta a definire tali acque come il frutto di circolazioni più articolate e complesse, come testimoniato anche dalle analisi chimiche che mettevano in luce il particolare chimismo bicarbonato-alcino (a dominante sodica) di questi punti. Il piezometro B_001252, ricadente sempre in facies bicarbonato-alcina, ma con prevalenza del potassio sul sodio, non mostra invece tempi di residenza altrettanto prolungati.

Tabella 13: Stima dell'età delle acque sotterranee prelevate ai diversi punti di campionamento: piezometri.

Id Progetto	Data	Trizio(UT)	Errore	Età (anni)	Id Progetto	Data	Trizio (UT)	Errore	Età (anni)
B_001244	01/06/2014	0.60		46	B_001268	24/05/2018	5.50	0.4	6
B_001244	01/10/2015	<LQ		> 50	B_001268	04/10/2018	6.4	0.4	4
B_001244	01/07/2016	<LQ		> 50	B_001270	01/06/2014	6.00	0.7	5
B_001244	11/07/2017	< 0.5		> 50	B_001270	04/07/2017	4.60	0.4	10
B_001244	14/05/2018	< 0.5		> 50	B_001270	25/05/2018	5.10	0.4	8
B_001244	16/10/2018	< 0.5		> 50	B_001270	02/10/2018	3.6	0.3	14
B_001245	01/06/2014	6.60	0.6	3	B_001271	01/06/2014	0.60		46
B_001245	16/02/2017	7.10	0.4	2	B_001271	01/10/2015	<LQ		> 50
B_001245	18/07/2017	5.50	0.4	6	B_001271	01/07/2016	<LQ		> 50
B_001245	18/05/2018	5.40	0.4	7	B_001271	04/07/2017	0.50		49
B_001245	15/10/2018	4.2		11	B_001271	25/05/2018	0.50	0.0	49
B_001248	01/06/2014	7.30	0.8	1	B_001271	15/10/2018	< 0.5		> 50
B_001248	15/02/2017	6.80	0.4	3	B_001372	10/07/2017	2.20	0.3	23
B_001248	19/07/2017	4.70	0.4	9	B_001382	11/07/2017	5.20	0.4	7
B_001248	11/05/2018	5.80	0.4	6	B_001382	14/05/2018	5.50	0.4	6
B_001248	26/09/2018	5.2	0.4	7	B_001382	16/10/2018	5.6	0.4	6
B_001252	01/06/2014	5.90	0.8	5	B_001383	19/07/2017	4.20	0.4	11
B_001252	15/02/2017	5.40	0.4	7	B_001383	16/05/2018	3.60	0.6	14
B_001252	10/07/2017	3.90	0.4	13	B_001383	27/09/2018	2.9	0.3	18
B_001252	22/05/2018	5.10	0.4	8	B_001386	28/05/2018	6.40	0.4	4
B_001252	18/09/2018	4.5	0.3	10	B_001386	12/10/2018	5.7	0.4	6
B_001255	01/06/2014	0.90	1.1	39	B_001394	28/05/2018	5.50	0.4	6
B_001255	11/07/2017	< 0.5		> 50	B_001394	09/10/2018	5.2	0.4	7

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"
PROGETTAZIONE:		
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1BEZZ RG GE0000002 B 111 di 189	

Id Progetto	Data	Trizio(UT)	Errore	Età (anni)	Id Progetto	Data	Trizio (UT)	Errore	Età (anni)
B_001255	10/05/2018	1.80	0.2	27	B_001395	29/05/2018	4.50	0.3	10
B_001255	11/10/2018	< 0.5		> 50	B_001395	09/10/2018	6	0.4	5
B_001268	01/06/2014	7.60	0.8	1	B_001399	11/05/2018	4.90	0.4	9
B_001268	21/02/2017	6.60	0.5	3	B_001399	26/09/2018	6	0.4	5
B_001268	04/07/2017	6.30	0.4	4	B_001400	23/05/2018	4.00	0.3	12
					B_001400	12/10/2018	2.3	0.3	22

L'analisi delle acque sorgive evidenzia tempi di residenza mediamente non elevati e compresi tra 2 e 10 anni, con soltanto locali analisi che mostrano tempi leggermente più elevati (fino a circa 16 anni). Il punto B_000789, che presenta un valore massimo di circa 20 anni, mostra, allo stesso tempo, un valore minimo di 2 anni. Ciò porta ad avvalorare l'ipotesi dell'origine di queste acque come derivanti dal torrente Scaleres che modifica il proprio contenuto isotopico in funzione della stagionalità.

Tabella 14: Stima dell'età delle acque sotterranee prelevate ai diversi punti di campionamento: sorgenti.

Id Progetto	Data	Trizio(UT)	Errore	Età (anni)	Id Progetto	Data	Trizio (UT)	Errore	Età (anni)
B_000142	20/07/2017	4.90	0.4	9	B_000752-2	17/10/2018	5.3	0.4	7
B_000157	01/06/2014	6.30	1.0	4	B_000753	23/02/2017	3.80	0.4	13
B_000157	15/02/2017	4.20	0.4	11	B_000753	12/07/2017	4.10	0.4	12
B_000157	13/07/2017	5.00	0.4	8	B_000753	14/05/2018	4.60	0.4	10
B_000157	16/05/2018	3.50	0.3	15	B_000757	15/02/2017	4.70	0.4	9
B_000157	20/09/2018	4.3	0.4	11	B_000757	11/07/2017	6.00	0.4	5
B_000227	22/02/2017	5.00	0.4	8	B_000757	10/05/2018	5.60	0.4	6
B_000227	13/07/2017	5.30	0.4	7	B_000757	26/09/2018	5.4	0.4	7
B_000227	16/05/2018	5.10	0.3	8	B_000761	01/06/2014	6.10	0.9	5
B_000227	10/10/2018	5.5	0.4	6	B_000761	17/02/2017	6.60	0.4	3
B_000227	10/10/2018	5.5	0.4	6	B_000761	11/07/2017	6.10	0.4	5
B_000235	16/02/2017	5.40	0.5	7	B_000761	17/05/2018	6.50	0.4	3
B_000235	20/07/2017	5.00	0.4	8	B_000761	11/10/2018	7.7	0.5	0
B_000235	10/05/2018	4.90	0.4	9	B_000789	16/02/2017	2.60	0.3	20
B_000235	20/09/2018	5.7	0.4	6	B_000789	12/07/2017	6.80	0.5	3
B_000260	01/06/2014	7.30	0.9	1	B_000789	23/05/2018	6.20	0.4	4
B_000260	15/02/2017	5.60	0.5	6	B_000789	26/09/2018	7.6	0.4	1
B_000260	13/07/2017	5.90	0.4	5	B_000791	11/07/2017	5.50	0.4	6
B_000260	11/05/2018	4.60	0.4	10	B_000791	10/05/2018	5.20	0.4	7
B_000260	10/10/2018	4.9	0.4	9	B_000791	25/09/2018	4.8	0.4	9
B_000263	22/02/2017	5.00	0.4	8	B_000828-1	27/02/2017	4.40	0.4	10
B_000263	13/07/2017	6.70	0.4	3	B_000828-1	11/07/2017	4.70	0.4	9

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"
PROGETTAZIONE:		
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1BEZZ RG GE0000002 B 112 di 189	

Id Progetto	Data	Trizio(UT)	Errore	Età (anni)	Id Progetto	Data	Trizio (UT)	Errore	Età (anni)
B_000263	16/05/2018	5.10	0.4	8	B_000828-1	14/05/2018	3.50	0.3	15
B_000263	10/10/2018	3.7	0.4	14	B_000828-1	24/09/2018	5.2	0.4	7
B_000357	14/02/2017	5.10	0.5	8	B_000828-2	27/02/2017	5.40	0.4	7
B_000357	04/07/2017	6.20	0.5	4	B_000828-2	11/07/2017	5.30	0.4	7
B_000357	28/05/2018	5.50	0.4	6	B_000828-2	14/05/2018	4.40	0.4	10
B_000357	02/10/2018	6.2	0.4	4	B_000828-2	24/09/2018	5.1	0.4	8
B_000508	23/02/2017	5.50	0.4	6	B_000834	22/02/2017	5.10	0.4	8
B_000508	18/07/2017	5.40	0.4	7	B_000834	19/07/2017	5.20	0.4	7
B_000508	08/05/2018	4.30	0.3	11	B_000834	18/05/2018	5.20	0.4	7
B_000508	15/10/2018	5.1	0.4	8	B_000834	16/10/2018	3.6	0.3	14
B_000563	01/06/2014	5.50	1.0	6	B_000835	18/05/2018	4.80	0.4	9
B_000575	01/06/2014	6.40	0.8	4	B_000835	16/10/2018	4.7	0.4	9
B_000579	01/06/2014	6.40	0.9	4	B_000838	01/06/2014	6.50	1.0	3
B_000585	13/02/2017	4.60	0.4	10	B_000838	16/02/2017	6.40	0.4	4
B_000585	05/07/2017	5.20	0.5	7	B_000838	18/07/2017	5.10	0.4	8
B_000585	28/05/2018	4.40	0.3	10	B_000838	18/05/2018	4.60	0.4	10
B_000585	03/10/2018	3.9	0.3	13	B_000838	15/10/2018	5.8	0.4	6
B_000595	13/02/2017	4.30	0.4	11	B_000882	20/02/2017	3.90	0.4	13
B_000595	05/07/2017	6.10	0.4	5	B_000882	06/07/2017	6.60	0.5	3
B_000595	28/05/2018	4.80	0.4	9	B_000882	22/05/2018	5.40	0.4	7
B_000595	05/10/2018	5.4	0.4	7	B_000882	27/09/2018	5.2	0.4	7
B_000599	01/06/2014	6.40	0.6	4	B_000886	20/02/2017	4.50	0.4	10
B_000599	14/02/2017	4.70	0.4	9	B_000886	06/07/2017	6.40	0.5	4
B_000599	05/07/2017	6.90	0.5	2	B_000886	22/05/2018	5.60	0.4	6
B_000599	28/05/2018	5.30	0.3	7	B_000886	27/09/2018	5	0.4	8
B_000599	05/10/2018	5.7	0.4	6	B_000919	01/06/2014	6.90	1.1	2
B_000603	01/06/2014	5.80	0.7	6	B_000919	15/02/2017	6.00	0.5	5
B_000603	14/02/2017	4.50	0.4	10	B_000919	13/07/2017	5.00	0.4	8
B_000603	05/07/2017	6.30	0.5	4	B_000919	23/05/2018	6.00	0.4	5
B_000603	28/05/2018	3.50	0.3	15	B_000919	19/09/2018	6.1	0.4	5
B_000603	05/10/2018	5.1	0.4	8	B_000920	23/05/2018	5.50	0.4	6
B_000622	13/02/2017	6.40	0.5	4	B_000920	19/09/2018	5.1	0.3	8
B_000622	17/07/2017	6.00	0.4	5	B_001114	15/02/2017	5.20	0.4	7
B_000622	25/05/2018	5.40	0.4	7	B_001114	13/07/2017	6.70	0.5	3
B_000622	08/10/2018	5.6	0.4	6	B_001114	23/05/2018	3.60	0.3	14
B_000634	01/06/2014	5.90	0.5	5	B_001114	19/09/2018	5.2	0.4	7
B_000634	14/02/2017	4.40	0.4	10	B_001115	15/02/2017	5.40	0.4	7

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"
PROGETTAZIONE:		
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1BEZZ RG GE0000002 B 113 di 189	

Id Progetto	Data	Trizio(UT)	Errore	Età (anni)	Id Progetto	Data	Trizio (UT)	Errore	Età (anni)
B_000634	17/07/2017	5.70	0.4	6	B_001115	17/07/2017	6.50	0.5	3
B_000634	31/05/2018	5.70	0.4	6	B_001115	23/05/2018	4.00	0.3	12
B_000634	08/10/2018	5.1	0.4	8	B_001115	19/09/2018	5.8	0.4	6
B_000642	13/02/2017	7.30	0.5	1	B_001120	13/02/2017	5.10	0.4	8
B_000642	17/07/2017	6.40	0.4	4	B_001120	13/07/2017	5.30	0.4	7
B_000642	25/05/2018	5.60	0.4	6	B_001120	25/05/2018	5.50	0.4	6
B_000642	08/10/2018	4.3	0.4	11	B_001120	08/10/2018	5.1	0.4	8
B_000648	01/06/2014	6.00	0.7	5	B_001128	23/02/2017	4.30	0.4	11
B_000648-1	09/02/2017	5.20	0.4	7	B_001128	17/07/2017	5.40	0.4	7
B_000648-1	10/07/2017	6.70	0.4	3	B_001128	18/05/2018	5.70	0.4	6
B_000648-1	28/05/2018	5.00	0.4	8	B_001128	17/10/2018	4.6	0.4	10
B_000648-1	05/10/2018	4.5	0.3	10	B_001142	01/06/2014	7.50	0.6	1
B_000648-2	09/02/2017	7.40	0.6	1	B_001146	02/10/2018	7.1	0.4	2
B_000648-2	10/07/2017	5.70	0.4	6	B_001147	02/10/2018	5.7	0.4	6
B_000648-2	28/05/2018	5.00	0.4	8	B_001174	01/06/2014	5.50	0.9	6
B_000648-2	05/10/2018	5.4	0.4	7	B_001229	20/02/2017	5.00	0.4	8
B_000648-3	09/02/2017	6.90	0.6	2	B_001229	06/07/2017	6.40	0.5	4
B_000648-3	10/07/2017	5.90	0.4	5	B_001229	22/05/2018	4.50	0.3	10
B_000648-3	28/05/2018	5.70	0.4	6	B_001229	27/09/2018	3.8	0.4	13
B_000648-3	05/10/2018	6	0.4	5	B_001240	01/06/2014	6.20	1.1	4
B_000648-4	09/02/2017	5.50	0.5	6	B_001241	01/06/2014	6.40	0.8	4
B_000648-4	10/07/2017	5.00	0.4	8	B_001241	14/02/2017	4.80	0.4	9
B_000648-4	28/05/2018	4.80	0.4	9	B_001241	04/07/2017	6.30	0.5	4
B_000648-4	05/10/2018	5.8	0.4	6	B_001241	25/05/2018	6.00	0.4	5
B_000649	20/02/2017	5.90	0.5	5	B_001241	02/10/2018	5	0.4	8
B_000649	06/07/2017	4.70	0.4	9	B_001369	01/06/2014	6.00	0.6	5
B_000649	29/05/2018	3.80	0.3	13	B_001369-1	22/02/2017	4.80	0.4	9
B_000649	03/10/2018	5.2	0.4	7	B_001369-1	06/07/2017	5.60	0.4	6
B_000742	23/02/2017	6.30	0.5	4	B_001369-1	24/05/2018	3.50	0.3	15
B_000742	11/07/2017	4.10	0.3	12	B_001369-1	01/10/2018	5.2	0.4	7
B_000742	17/05/2018	5.70	0.4	6	B_001369-2	22/02/2017	7.30	0.4	1
B_000742	11/10/2018	4.4	0.4	10	B_001369-2	06/07/2017	8.00	0.5	0
B_000752-1	23/02/2017	6.40	0.5	4	B_001369-2	24/05/2018	6.00	0.4	5
B_000752-1	12/07/2017	5.40	0.4	7	B_001369-2	01/10/2018	6.6	0.4	3
B_000752-1	14/05/2018	5.60	0.4	6	B_001369-3	22/02/2017	3.20	0.4	16
B_000752-1	17/10/2018	5.9	0.4	5	B_001369-3	06/07/2017	7.10	0.5	2
B_000752-2	23/02/2017	6.30	0.5	4	B_001369-3	24/05/2018	6.20	0.4	4

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	114 di 189

Id Progetto	Data	Trizio(UT)	Errore	Età (anni)	Id Progetto	Data	Trizio (UT)	Errore	Età (anni)
B_000752-2	12/07/2017	4.90	0.4	9	B_001369-3	01/10/2018	6.4	0.4	4
B_000752-2	14/05/2018	4.90	0.4	9	B_001369-4	22/02/2017	3.70	0.4	14

7.3 CONCLUSIONI SUI DATI FORNITI DALLA GEOCHIMICA E GEOCHIMICA ISOTOPICA DELLE ACQUE

Le considerazioni riportate ai paragrafi precedenti indicano che nella zona in esame non esistono quasi mai significativi indizi di sistemi di circolazione profonda che alimentano anche solo parzialmente le sorgenti superficiali. Molte acque di sorgente presentano salinità o conducibilità elettrica elevate, talora anche indici di saturazione in calcite superiori a 0. Tuttavia, quasi sempre queste caratteristiche non sono correlabili con tempi di interazione acqua-roccia prolungati e quindi con sistemi di circolazione profondi, bensì con importanti fenomeni di inquinamento legati ad attività antropiche. In particolare, si possono riconoscere in molte acque di sorgente tracce significative di contaminazione da sali clorurati tipicamente utilizzati per il disgelo del manto stradale nella stagione invernale. In altri casi, o spesso anche in associazione con la tipologia di inquinamento precedente, si osservano acque con contaminazione da nitrati legati alle attività di pascolo ed allevamento.

La presenza di tali fenomeni di inquinamento è tuttavia problematica ai fini dell'interpretazione sull'origine delle acque, poiché, soprattutto nel caso dei sali clorurati, essa potrebbe mascherare componenti ioniche legate a tempi di interazione acqua-roccia prolungati. Infatti, composizioni cloruro-sodiche o cloruro-calciche possono anche essere indice di lunghi tempi di lisciviazione di rocce silicatiche quali quelle tipiche del substrato cristallino dell'area di studio.

In ogni caso, come detto, l'ipotesi più probabile per la quasi totalità delle acque ad elevata salinità della zona è che si tratti di acque inquinate; tuttavia, là ove le sorgenti sono prossime a zone di fratturazione o zone di faglia del substrato, il dubbio su una possibile origine profonda sussiste e, adottando un approccio conservativo, nelle valutazioni di possibile interferenza queste sorgenti sono state considerate come sorgenti con circolazione mista, pertanto alimentate anche parzialmente da sistemi di flusso relativamente più profondi che interessano il substrato roccioso. Una indicazione su quali siano queste sorgenti può essere desunta dal campo "TS" della tabella del DHI di "Appendice 1 – interferenza sulle sorgenti".

Per quanto attiene invece alle poche sorgenti che effettivamente, pur non presentando chiare evidenze di fenomeni di inquinamento, mostrano una facies geochimica e una concentrazione salina particolari, che potrebbero far pensare a un'alimentazione da sistemi di flusso relativamente più profondi, sebbene pur sempre di tipo locale, si possono citare le seguenti: B_001444, B_000857, B_000585, B_001137, B_000642, B_001242, B_001504, B_001240. Le prime due presentano facies geochimiche piuttosto peculiari e TDS elevati, mentre le altre hanno indice di saturazione prossimo o leggermente superiore a 0.

Per quanto concerne i piezometri le analisi chimiche hanno mostrato la netta prevalenza di campioni ricadenti entro le facies bicarbonato-calcico-magnesiaca e solfato-calcica. Alcuni piezometri, (B_001244, B_001252, B_001255 e B_001271) come è lecito attendersi per acque campionate a profondità significative e superiori ai 100m, ricadono nella facies bicarbonato-alcaina. Le maggiori quantità di ioni Na⁺ (K⁺ nel caso del B_001252), assieme alle importanti concentrazioni di bicarbonati e alla quantità variabile dello ione SO₄²⁻ sono da imputarsi alla possibile dissoluzione di minerali alcalini, quali alluminosilicati (plagioclasio sodico e potassico) favorita dalla conversione di CO₂ acquosa in ione bicarbonato e, in parte, alla dissoluzione

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandataria:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	115 di 189

ossidativa di pirite. Queste acque mostrano inoltre un carattere spiccatamente basico, con pH generalmente superiori a 9. Ciò che si può desumere, come indicato anche dall'analisi isotopica, (con l'esclusione del punto B_001252 a dominante potassica) è che queste acque siano espressione di una circolazione profonda e più antica entro l'ammasso roccioso. Infine, da notare la presenza del punto B_001270 ricadente in facies cloruro-alcalina dalla misura di novembre 2016 in poi.

Oltre alle analisi idrogeochimiche si sono eseguite varie elaborazioni relative agli isotopi stabili dell'idrogeno ($\delta^2\text{H}$) e dell'ossigeno ($\delta^{18}\text{O}$) nonché all'isotopo instabile dell'idrogeno (^3H).

Le analisi isotopiche hanno permesso una prima caratterizzazione dei contenuti medi di $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ delle acque sotterranee e di precipitazione.

Nei punti di monitoraggio analizzati nel corso della presente indagine (4 pluviometri localizzati a diversa quota, 52 sorgenti, 10 pozzi, 19 piezometri) tra giugno 2014 e febbraio 2019, le acque meteoriche hanno mostrato un valore medio di $\delta^{18}\text{O}$ di -8.6‰, mentre le sorgenti di -10.2‰, i pozzi di -10.4‰ e i piezometri di -10.2‰. I valori minimi sono di -13.4‰ (acque meteoriche), -12.20‰ (sorgenti), -12.3‰ (pozzi) e -12.1‰ (piezometri); quelli massimi di - 0.5‰ (acque meteoriche), -8.6‰ (sorgenti), -8.3‰ (pozzi) e -8.7‰ (piezometri).

Tali dati indicano una negativizzazione del valore di $\delta^{18}\text{O}$ nelle acque sotterranee (siano esse sorgenti, pozzi o piezometri) rispetto a quelle che caratterizzano le acque meteoriche campionate ai pluviometri. Inoltre, emerge una scarsa variabilità del dato isotopico nelle acque sotterranee (sorgenti: $1\sigma = \pm 0.6\%$; pozzi: $1\sigma = \pm 0.9\%$; piezometri: $1\sigma = \pm 0.7\%$) rispetto a quelle meteoriche ($1\sigma = \pm 2.4\%$).

La maggiore negativizzazione che contraddistingue le acque sotterranee, associata ad una minore variabilità del dato isotopico, suggerisce, come è normale in un ambiente montano, sia un'alimentazione dei circuiti idrici sotterranei dalle quote più elevate dei versanti, sia il ruolo di omogeneizzazione isotopica effettuato dagli acquiferi che tende a ridurre la variabilità isotopica riscontrata invece in acque piovane precipitate in stagioni diverse e ad altitudini variabili a seconda della quota del pluviometro.

Tramite la mediazione pesata dei dati isotopici rispetto alle precipitazioni cumulate è stato individuato un valore di quota media di ricarica delle principali sorgenti monitorate. Le sorgenti che ricadono nell'area del grafico più prossima alla retta di correlazione Quota - $\delta^{18}\text{O}$ rappresentano quei punti d'acqua caratterizzati da areali di ricarica modesti a monte del punto di campionamento. Si può dunque ragionevolmente assumere come questi punti siano alimentati da flussi poco evoluti e circolazioni poco profonde. Vi sono invece altre sorgenti che presentano areali di alimentazione più ampi, sintomo di possibili flussi più lunghi, ma comunque sempre piuttosto superficiali e limitati ai sottobacini di emergenza delle sorgenti.

L'analisi del trizio, infine, è stata portata a termine per quelle campagne che hanno presentato errori associati alla misura, inferiori o uguali a 1.1 TU. Sono riconoscibili 2 punti di campionamento che presentano tempi di residenza delle acque nell'acquifero superiori a 50 anni (piezometri B_001244 e B_001271) alimentati da un circuito evoluto e/o con valori di permeabilità molto bassi. A questi punti si può ragionevolmente aggiungere il piezometro B_001255 che presenta età medie stimate di residenza delle acque comprese tra 25 e 50 anni. Questi tre punti si distinguono dagli altri anche dall'analisi idrochimica che mostra la presenza di una facies bicarbonato-alcalina. L'analisi isotopica suffraga dunque l'ipotesi, secondo la quale, queste acque sarebbero l'espressione di circuiti profondi e lenti all'interno dell'ammasso roccioso. Negli altri casi, nonostante una

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria							<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RG</td> <td>GE0000002</td> <td>B</td> <td>116 di 189</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	116 di 189													

variabilità nel contenuto in trizio talvolta importante, le acque campionate sono contraddistinte da età generalmente inferiori a 10 anni.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	117 di 189

8. STIMA DELLE PORTATE DRENATE DALLE OPERE IN SOTTERRANEO

Nell'ambito del Progetto Definitivo è stata eseguita una prima stima delle portate in galleria che in sede di Progetto Esecutivo è stata aggiornata e rivista per rispondere alle esigenze di una maggior definizione delle variazioni previste soprattutto per la fase di corso d'opera.

L'aggiornamento è legato a tre diversi aspetti:

1. Affinamento della suddivisione in complessi dell'ammasso roccioso e dei depositi presenti nell'area;
2. Variazioni del cronoprogramma degli scavi e delle metodologie di scavo;
3. Affinamento delle modellizzazioni per il corso d'opera.

Per quanto riguarda il primo punto, si sono già illustrati al paragrafo 5 i principi che hanno portato ad una definizione di maggior dettaglio delle conducibilità idrauliche attribuibili ai diversi elementi del basamento cristallino e dei depositi quaternari della zona. La classificazione in complessi del Progetto Esecutivo ha avuto come obiettivo quello di tenere maggiormente in conto le variazioni di permeabilità, soprattutto all'interno del basamento cristallino, operando delle suddivisioni all'interno delle classi più ampie a suo tempo individuate in sede di PD. Tale sforzo nella ricerca di un maggior dettaglio è volto soprattutto a cercare di ottenere una miglior definizione delle variazioni di portata che via via si incontreranno durante lo scavo per disporre di una visione più approfondita delle portate che temporaneamente dovranno essere gestite in termini di aggettamento.

Il secondo punto è una diretta conseguenza degli affinamenti di progettazione che sono intervenuti tra la fase di PD e la fase di PE, che hanno implicato sia delle variazioni delle tempistiche di scavo, sia delle modifiche nelle metodologie di scavo e di conseguenza nelle velocità di avanzamento. Tali variazioni hanno delle ripercussioni sul modo in cui l'entità degli afflussi si distribuisce nel tempo e possono avere un'influenza significativa anche sulle portate transitorie cumulate di picco che vengono scaricate ai portali, dal momento che uno scavo eseguito a maggiori velocità ha come conseguenza la penetrazione progressiva in ammassi in condizioni meno drenate e quindi la comparsa di venute transitorie cumulate maggiori.

L'ultimo aspetto è legato al fatto che in fase di Progetto Definitivo era stata eseguita una prima modellizzazione numerica sfruttando un modello numerico a differenze finite elaborato mediante il software Modflow 2005 (Harbaugh et al., 1996, 2000, 2005). Si trattava di una modellizzazione di vasta scala, comprendente tutta l'area di progetto rappresentata sulla cartografia idrogeologica in scala 1:25.000. In tale modellizzazione, data la complessità di gestire l'ipotesi di un avanzamento in continuo degli scavi all'interno di un modello numerico delle dimensioni di quello realizzato, era stata considerata l'apertura istantanea di tratte di galleria molto lunghe. Tale assunzione implica però giocoforza una stima molto cautelativa delle portate drenate, poiché aprendo istantaneamente tratte di galleria della lunghezza di diverse centinaia di metri o addirittura di lunghezza chilometrica, si verifica il drenaggio istantaneo dell'ammasso a partire da condizioni imperturbate, il che determina la comparsa di portate transitorie di picco estremamente elevate, che non possono approssimare in modo realistico quanto avviene nella realtà, ove la galleria avanza gradualmente e abbattendo via via il livello piezometrico. Nella realtà si ottengono quindi delle portate ben più basse di quelle che si possono calcolare tramite l'apertura istantanea di tratte molto lunghe.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatari:	SWS Engineering S.p.A. PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	118 di 189

Nel presente capitolo vengono forniti tre tipi di stima di portata:

1. Portate transitorie massime;
2. Portate transitorie cumulate;
3. Portate stabilizzate cumulate.

Le portate transitorie (punto 1) sono i valori di portata che si ottengono scavando 10m di galleria istantaneamente; quindi, equivalgono agli afflussi massimi che si ottengono per singole tratte di scavo. La lunghezza di 10m è stata adottata perché corrisponde ad un valor medio indicativo per una giornata di lavorazione. In genere queste portate vengono calcolate adottando per il calcolo un carico idraulico corrispondente al carico in condizioni naturali imperturbate *ante operam*. Esse rappresentano dei valori cautelativi, poiché ovviamente, man mano che la galleria avanza, il drenaggio che essa esercita nella tratta di scavo opera già un minimo di abbattimento delle pressioni idrauliche nella tratta successiva ancora da scavare; pertanto, è verosimile che i valori di portata effettivi siano minori.

Esistono delle eccezioni all'adozione del carico idraulico imperturbato. Una di queste è rappresentata dalle zone in cui lo scavo è localizzato in settori ove esisteva già un'opera sotterranea drenante in precedenza, come ad esempio quelli di intersezione fra gallerie di linea e finestre. In questi casi sono stati stimati dei carichi idraulici ridotti per la seconda opera che viene scavata. Una seconda eccezione è rappresentata dalle zone in cui la galleria avanza in un ammasso roccioso mediamente più permeabile, come nel caso dei graniti; in questi casi l'estensione e l'importanza della zona di abbattimento dei carichi oltre il fronte di scavo può non essere trascurabile e pertanto è stato adottato un valore di carico idraulico moderatamente ridotto.

Le portate transitorie cumulate (punto 2) sono le portate che vengono recapitate a determinati punti di evacuazione delle acque in fase di scavo (es. portali). Esse rappresentano la somma di tutti gli afflussi transitori drenati da una galleria parzialmente scavata. Come si dirà più avanti queste portate vengono fornite come diagrammi tempo vs. avanzamento degli scavi per singole opere (es. per una finestra o per una canna di una delle gallerie di linea). Questi dati sono importanti per il dimensionamento degli impianti di pompaggio e delle tubazioni di aggettamento delle acque in fase di scavo.

Le portate stabilizzate cumulate (punto 3) sono le portate che vengono recapitate a determinati punti di evacuazione delle acque in fase di esercizio (es. portali). Esse rappresentano la somma di tutti gli afflussi stabilizzati drenati da una galleria completamente scavata dopo più mesi o anni dal termine degli scavi. Come si dirà più avanti queste portate vengono fornite come valori fissi per singole opere (es. per una finestra o per una canna di una delle gallerie di linea). Esse sono importanti per il dimensionamento degli impianti definitivi di aggettamento delle acque.

8.1 PORTATE TRANSITORIE MASSIME

8.1.1 Metodo di calcolo

La valutazione delle portate transitorie è stata eseguita per via analitica mediante la formulazione proposta da Goodman et al. (1965) e per confronto e controllo con la formulazione proposta da Jacob & Lohman (1952). Il calcolo prevede in entrambi i casi l'assunzione che la roccia sia un mezzo roccioso poroso equivalente (Equivalent Porous Medium).

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	119 di 189

La funzione proposta da Goodman et al. (1965) ha la forma seguente:

$$q = \frac{2\pi k l h_0}{\ln(2Lr)}$$

Nella formula, q rappresenta la portata drenata dal tunnel, k la conducibilità idraulica del complesso idrogeologico attraversato dal tunnel, l la lunghezza della parte di acquifero attraversato dal tunnel, r il raggio del tunnel, h_0 il carico idraulico in condizioni indisturbate del sistema idrogeologico e L la distanza tra il tunnel e il punto in cui l'acquifero raggiunge il punto di ricarica. Quest'ultimo parametro è stato introdotto poiché i corpi acquiferi attraversati dal tracciato del tunnel possono essere inclinati. Se il corpo acquifero è verticale, allora $L = h_0$, se è inclinato $L > h_0$.

La formulazione di Jacob & Lohman (1952) stabilisce invece che:

$$q_t = \frac{4\pi k l h_0}{2,3 \ln(2,25 k l t / S r^2)}$$

I simboli hanno il medesimo significato che per l'equazione precedente, ma q è funzione del tempo t trascorso da inizio drenaggio e per questo la notazione è q_t , S è il coefficiente di immagazzinamento legato alla risposta elastica del mezzo acquifero.

Si noti che la formulazione di Jacob & Lohman (1952) è una formulazione che origina da una modifica di un'espressione utilizzata per descrivere il flusso radiale in regime transitorio nell'intorno dei pozzi e per tale motivo implica l'introduzione di un fattore tempo. Ovviamente per stimare il flusso nei primi momenti dall'inizio del drenaggio è necessario scegliere un tempo breve; nel caso specifico di questo lavoro è stato utilizzato un tempo pari a 0,1 giorni.

Questa formulazione implica anche la stima del coefficiente di immagazzinamento legato alla risposta elastica (S), che è un parametro tipico degli acquiferi confinati, poiché in tali acquiferi l'immagazzinamento è legato all'espulsione di acqua per decompressione dello scheletro litologico. In linea di principio sarebbe quindi improprio applicare questa formulazione al caso di acquiferi a falda libera, come nella maggior parte dei casi cui ci si trova di fronte nel presente lavoro. Tuttavia, secondo Loew (2002) l'utilizzo dell'espressione è appropriato, seppur per approssimazione, anche nel caso degli acquiferi a falda libera se il valore che si intende stimare è la portata nelle fasi iniziali di flusso radiale e senza abbattimento della falda, poiché in queste fasi la pressione dell'acquifero sostanzialmente non cambia e il suo comportamento a breve termine può essere considerato comparabile a quello di un acquifero a falda confinata. S elastico è in ogni caso un parametro difficile da stimare per un acquifero a falda libera, o comunque in assenza di prove di pompaggio; generalmente la maggior parte degli autori riferisce che il suo valore può essere di due o tre ordini di grandezza inferiore rispetto alla porosità efficace e come tale è stato gestito in questo lavoro.

Le due formulazioni restituiscono perlopiù valori comparabili, anche se talora leggermente discordanti. Per questo motivo, una volta eseguito il calcolo è stato verificato che esistesse una corrispondenza di massima tra i valori restituiti nei due casi ed è stato scelto come valore di riferimento un valore mediato, o comunque ragionato. Esse sono delle formulazioni teoriche che implicano numerose semplificazioni rispetto alla complessità morfologica e alla eterogeneità degli acquiferi presenti nel contesto di una valle alpina. In primo luogo, si tratta di formulazioni che assumono l'esistenza di un mezzo acquifero di estensione laterale infinita

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 120 di 189	

e con carico idraulico omogeneo in tutto l'intorno di interesse. In aggiunta a ciò, la formulazione di Goodman et al. (1965) prevede che il carico idraulico rimanga fisso durante il drenaggio.

Le suddette semplificazioni, benché possano in prima battuta apparire tali da inficiare la veridicità delle previsioni effettuabili, non sono in realtà particolarmente influenti quando ciò che si sta cercando è il valore puntuale di portata nella fase iniziale del drenaggio. La semplificazione implicata dall'esistenza di un mezzo omogeneo seminfinito ai lati del tunnel non è importante ove, come nel caso di specie, non si consideri l'evoluzione nel tempo del drenaggio, in quanto nelle primissime fasi del drenaggio si può tranquillamente assumere che l'area di influenza dell'opera sia molto circoscritta. Allo stesso modo la semplificazione legata alla superficie piezometrica orizzontale è poco importante per le prime fasi di drenaggio, in quanto la perturbazione di pressione determinata dall'emungimento non si sarà ancora estesa fino a intersecare la superficie piezometrica e pertanto le irregolarità di quest'ultima non influenzano il risultato.

Il vincolo di omogeneità della permeabilità dell'acquifero è invece ovviamente piuttosto rilevante, dal momento che nei mezzi fratturati la permeabilità è localizzata lungo le fratture; in ogni caso si può ragionevolmente supporre che nelle zone a maggior permeabilità, che sono anche quelle più critiche dal punto di vista degli afflussi, esista, alla scala di interesse della galleria (scala decametrica) una buona interconnessione fra le fratture e che pertanto il comportamento a questa scala approssimi quello poroso.

Riguardo alla conducibilità idraulica, un punto delicato è quello della scelta dei valori da utilizzare nelle stime analitiche. Nel presente lavoro è stato adottato a tal proposito un approccio simile a quello già adottato in fase di Progetto Definitivo, che prevede una certa riduzione della conducibilità idraulica con l'aumentare della profondità. La tabella che segue riporta i valori di conducibilità idraulica utilizzati nei calcoli.

	Complesso	Litotipi	K (m/s) per classi di copertura			
			0-50 m	50-100 m	100-400 m	400-800 m
Ammasso	CFL	Filladi	5,0E-07	1,0E-07	5,0E-08	1,0E-08
	CGC	Graniti/Dioriti/Corn.Mass	1,0E-06	5,0E-07	2,5E-07	5,0E-08
	CPG	Porfiroidi (P)/Andesiti	5,0E-07	5,0E-07	1,0E-07	2,5E-08
	CGN	Paragneiss (PRL)	5,0E-07	5,0E-07	2,5E-07	5,0E-08
Faglie	CFL	Faglie Filladi	1,0E-06	5,0E-06	1,0E-07	5,0E-08
	CGC	Faglie Granito	2,5E-06	1,0E-06	5,0E-07	2,5E-07
	CPG	Faglie Paragneiss	1,0E-06	1,0E-06	7,5E-07	1,0E-07
	CGN	Faglie Porfiroidi	1,0E-06	1,0E-06	5,0E-07	7,5E-08
	CGL, CAL, CDR	Dep. Alluv/Glaciali/Detritici	1,0E-04			

Tabella 15: Valori di conducibilità idraulica utilizzati nelle stime di portata in questo lavoro.

I valori utilizzati sono ovviamente ricompresi nell'intervallo di variabilità individuato per i diversi complessi al capitolo 5. I valori maggiori dell'intervallo di variabilità definito nel suddetto paragrafo, sono stati in genere utilizzati per definire la conducibilità idraulica nelle porzioni più superficiali dell'ammasso. Per le porzioni meno superficiali sono stati adottati valori via via decrescenti, quindi mai corrispondenti al massimo

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	121 di 189

(attribuito appunto alle porzioni più corticali), ma neppure al minimo. La scelta di escludere sempre i valori estremi è legata al fatto che tali valori possono talora corrispondere a situazioni puntuali, ma alla scala decametrico-ettometrica tali singolarità, pur se esistenti e verificate nei test idraulici eseguiti, vengono mediate, facendo convergere la conducibilità verso valori interni all'intervallo stesso.

Secondo tale approccio di attribuzione della conducibilità, gli afflussi che sono stati ottenuti corrispondono quindi agli afflussi che prevalentemente sono attesi in fase di scavo. Valori sporadici e di breve durata, derivanti dalla possibile intercettazione di zone di ammasso con permeabilità puntualmente corrispondenti a quelle maggiori dell'intervallo di esistenza non vengono messe in evidenza da questo approccio, ma si tratta anche di valori la cui comparsa è da considerarsi un evento sporadico e piuttosto raro. Nel presente paragrafo questi valori non vengono visualizzati nei diagrammi riportati; tuttavia, nelle fincature dei profili idrogeologici, oltre ad una classe di venute transitorie prevalente che deriva dall'utilizzo delle conducibilità prevalenti, è stata rappresentata anche una classe di venute transitorie subordinate che fornisce un'indicazione sugli afflussi eccezionali che possono venire incontrati.

8.1.2 Risultati

I risultati ottenuti sono visualizzati nei diagrammi che seguono. Per la **Galleria Scaleres** si può fare riferimento alla Figura 80. Come si osserva, le portate ipotizzabili per tratte di 10m non sono mai particolarmente elevate; i valori massimi oscillano tra 1 e 2 l/s*10m e sono associati a zone di faglia. L'ammasso roccioso in normali condizioni di fratturazione fornisce sempre portate inferiori a 1 l/s*10m. Non esistono differenze significative fra gli afflussi calcolati con metodo di Jacob & Lohman (1952) e metodo di Goodman et al. (1965); il secondo tende a dare portate leggermente inferiori, ma l'ordine di grandezza è del tutto confrontabile.

Questi valori si riferiscono alla prima canna che viene scavata, ovvero, nella fattispecie, alla canna pari, come da cronoprogramma di progetto. La canna dispari, che in questo tratto viene scavata con poche settimane di ritardo rispetto alla canna pari, fornirà dei valori inferiori, dal momento che essa si localizza a poche decine di metri dalla prima e pertanto in fase di scavo entrerà in un ammasso che presenterà già un drenaggio significativo con conseguente abbattimento dei carichi idraulici.

La situazione di portate degli afflussi non particolarmente elevate è legata a due aspetti. Il primo è che le permeabilità dell'ammasso non sono mai tali da determinare grandi afflussi istantanei. Delle eccezioni puntuali, come detto in precedenza, sono possibili ove vengano incontrate condizioni localizzate di ammasso con permeabilità che si collocano all'estremità superiore dell'intervallo di variabilità identificato per i complessi idrogeologici. Questa evenienza è stata messa in evidenza nelle fincature descrittive dei profili idrogeologici, ove è presente una indicazione dei possibili afflussi subordinati, la quale mostra in genere una classe di afflussi superiore a quella prevalente, per dare conto della possibilità di incontrare venute puntuali superiori a quelle normali. Tali venute puntuali potrebbero dunque raggiungere indicativamente i 5 l/s*10m.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 122 di 189

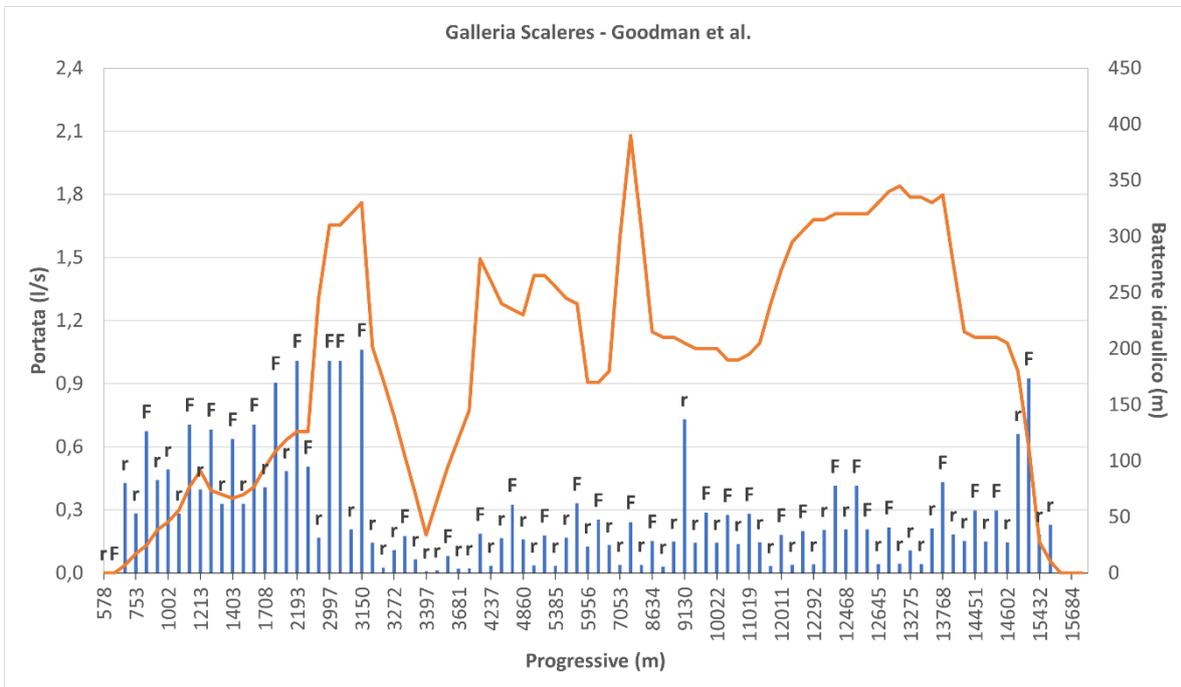
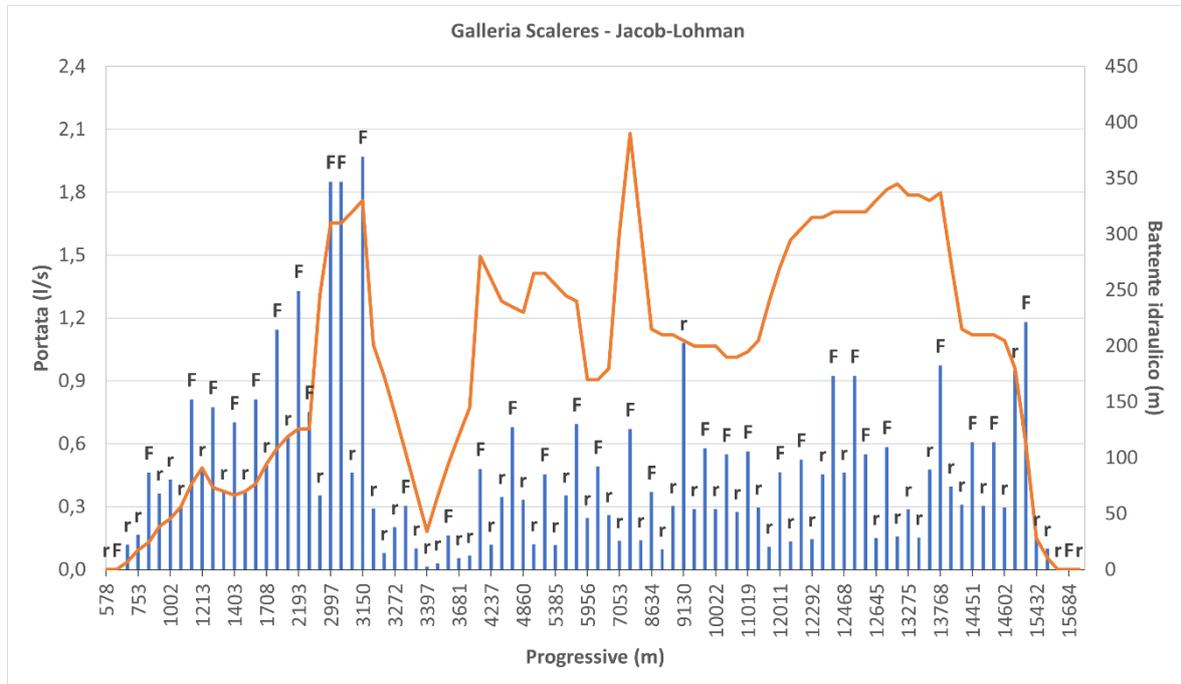


Figura 80: Diagrammi che illustrano il valore e la distribuzione degli afflussi transitori massimi per tratta idrogeologicamente omogenea per la Galleria Scaleres: in alto sono rappresentati gli afflussi calcolati con la formulazione di Jacob & Lohman (1952), in basso gli afflussi relativi alla formulazione di Goodman et al. (1965). In blu è visualizzato il valore degli afflussi, mentre in arancione è visibile il valore dei carichi idraulici ipotizzati. Agli afflussi è associata l'informazione del tipo di contesto idrogeologico: r=ammasso in normale stato di fratturazione, F=ammasso in zona di faglia.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	123 di 189

Il secondo aspetto è legato al fatto che nel settore di scavo all'interno dei graniti, ove la permeabilità è maggiore rispetto alle filladi, soprattutto nel caso delle faglie, è probabile che l'effetto di abbattimento dei carichi determinato dal drenaggio in una tratta si propaghi già parzialmente in avanzamento; pertanto, nel caso dei graniti è stato ipotizzato che gli afflussi istantanei siano condizionati da un preventivo abbattimento dei carichi al 70% di quelli naturali. Lo stesso fenomeno non è stato considerato nel caso dell'ammasso in filladi, ove la permeabilità è inferiore e pertanto l'abbattimento dei carichi che si può verificare nelle tratte ancora da scavare è meno significativo. Un abbattimento dei carichi nelle filladi è stato considerato solo all'incrocio della Galleria Scaleres con la Finestra Forch. In questo caso, infatti, dal momento che la finestra verrà scavata con largo anticipo rispetto alla galleria, si è ritenuto molto probabile che quando lo scavo della galleria principale inizierà in questo settore esista già una significativa zona di depressurizzazione. Questa situazione è visualizzata sui due diagrammi dal minimo della curva dei carichi idraulici nell'intorno della pk 3+475 BD.

Per la distribuzione delle portate transitorie lungo lo sviluppo della **Galleria Gardena** si può fare riferimento alla Figura 81. In questo caso, trattandosi di un'opera scavata principalmente all'interno delle rocce filladiche le portate degli afflussi raramente superano 1 l/s*10m, sia che si utilizzi la formulazione di Jacob & Lohman (1952) sia che si utilizzi Goodman et al. (1965).

La portata maggiore è stata ipotizzata in concomitanza con l'attraversamento della Faglia di Funes ed è dell'ordine dei 5 l/s*10m. Rispetto all'attraversamento di altre faglie, questa zona di deformazione cataclastica, oltre ad essere più estesa, viene intercettata a minori profondità. Pertanto, secondo il criterio di diminuzione della permeabilità con la profondità precedentemente descritto, la faglia presenta, nella zona di attraversamento, delle conducibilità idrauliche più elevate. L'attraversamento avviene infatti a profondità comprese fra i 40 e i 60m, dove la conducibilità ipotizzata è compresa fra 5xE-6 e 1xE-6 e risulta essere la maggiore lungo tutto lo sviluppo delle gallerie di linea e interconnessioni.

Un abbattimento dei carichi idraulici è stato considerato, ai fini del calcolo delle portate, sia all'intersezione con la Finestra di Funes (pk 16+167 BD e pk 16+472 BP) sia con la Finestra di Chiusa (pk 20+848 BD), poiché queste opere verranno scavate prima delle canne. Tale assunzione è visualizzata sul diagramma di Figura 81 da un profondo minimo della curva dei battenti idraulici.

I diagrammi per le portate relative alle **Interconnessioni** sono visibili in Figura 82 e Figura 83. Per l'Interconnessione Binario Pari, che viene scavata per prima, le portate attese sono basse e sempre inferiori a 1l/s*10m. L'Interconnessione Binario Dispari verrà scavata molto tempo dopo l'Interconnessione Binario Pari e incontrerà quindi un contesto già ampiamente drenato dalla galleria del binario pari, ove i carichi idraulici avranno già subito una significativa riduzione. La definizione della riduzione di carico è stata stimata nell'ordine del 90% nei settori in cui le due gallerie si trovano affiancate, ovvero nel settore in cui esse si staccano dalla linea principale e nel settore intermedio. Nei settori in cui le due gallerie sono più distanziate è stata ipotizzata una riduzione dell'80% del carico. Tenendo conto di queste significative riduzioni del carico idraulico, le portate che si ottengono sono molto basse e non superano mai gli 0,5 l/s*10m.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 124 di 189

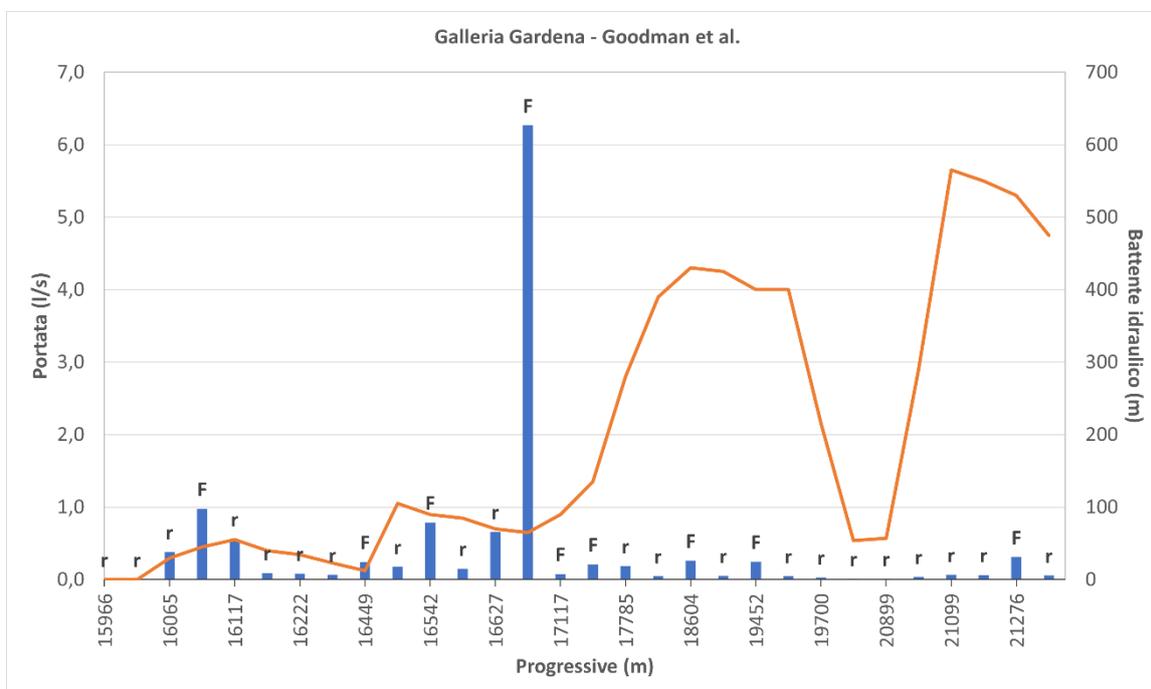
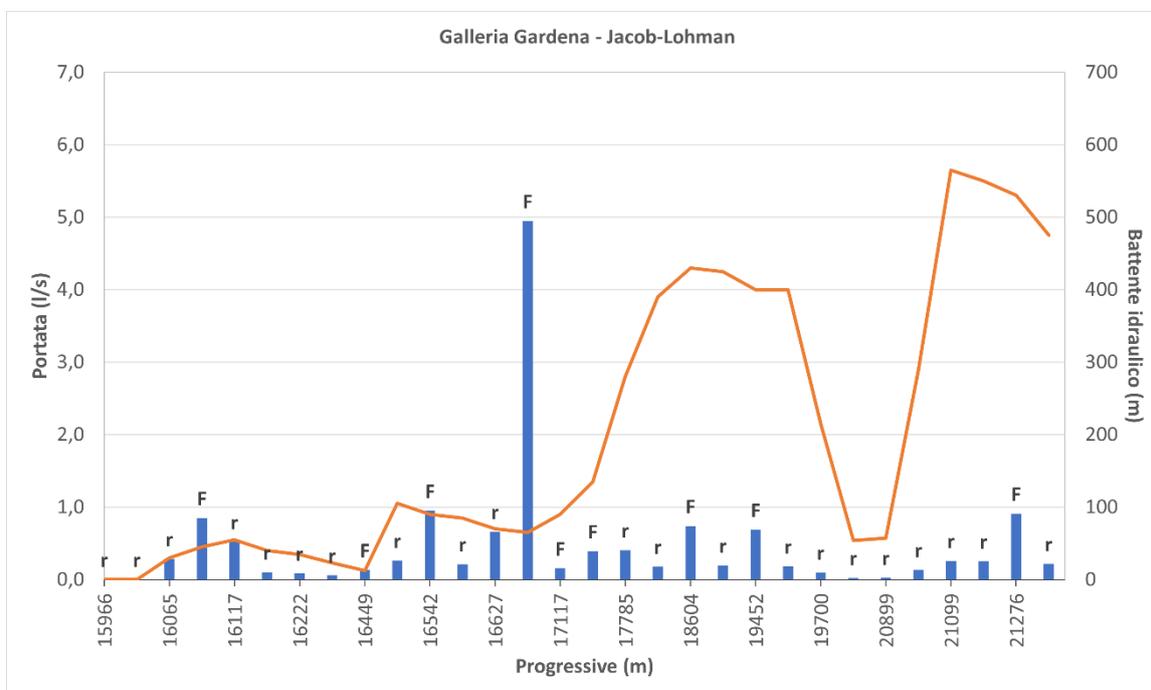


Figura 81: Diagrammi che illustrano il valore e la distribuzione degli afflussi transitori massimi per tratta idrogeologicamente omogenea per la Galleria Gardena: in alto sono rappresentati gli afflussi calcolati con la formulazione di Jacob & Lohman (1952), in basso gli afflussi relativi alla formulazione di Goodman et al. (1965). In blu è visualizzato il valore degli afflussi, mentre in arancione è visibile il valore dei carichi idraulici ipotizzati. Agli afflussi è associata l'informazione del tipo di contesto idrogeologico: r=ammasso in normale stato di fratturazione, F=ammasso in zona di faglia.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE000002	REV. B	FOGLIO. 125 di 189

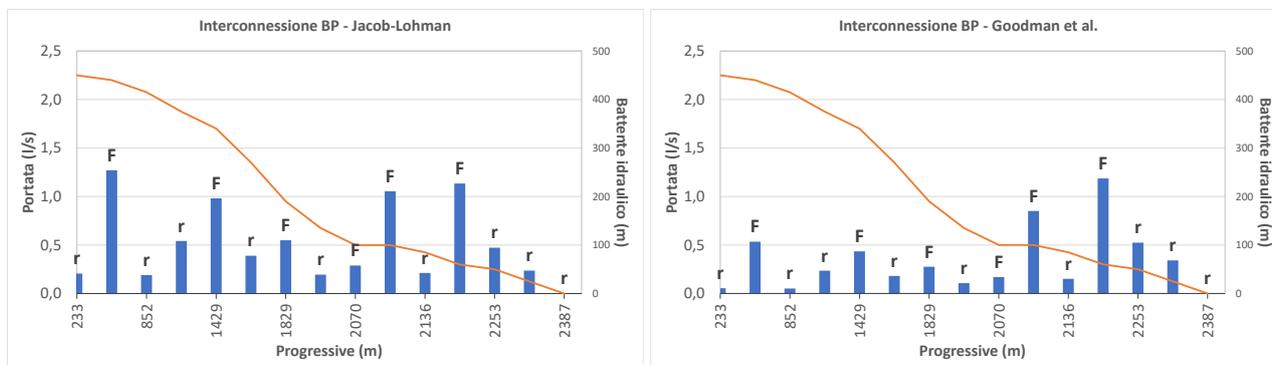


Figura 82: Diagrammi che illustrano il valore e la distribuzione degli afflussi transitori massimi per tratta idrogeologicamente omogenea per l'Interconnessione Binario Pari: a sinistra sono rappresentati gli afflussi calcolati con la formulazione di Jacob & Lohman (1952), a destra gli afflussi relativi alla formulazione di Goodman et al. (1965). In blu è visualizzato il valore degli afflussi, mentre in arancione è visibile il valore dei carichi idraulici ipotizzati. Agli afflussi è associata l'informazione del tipo di contesto idrogeologico: r=ammasso in normale stato di fratturazione, F=ammasso in zona di faglia.

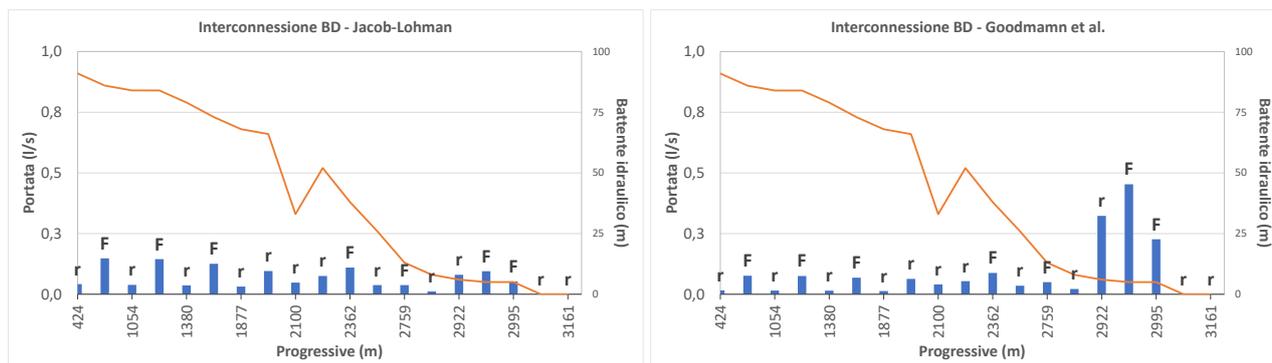


Figura 83: Diagrammi che illustrano il valore e la distribuzione degli afflussi transitori massimi per tratta idrogeologicamente omogenea per l'Interconnessione Binario Dispari: a sinistra sono rappresentati gli afflussi calcolati con la formulazione di Jacob & Lohman (1952), a destra gli afflussi relativi alla formulazione di Goodman et al. (1965). In blu è visualizzato il valore degli afflussi, mentre in arancione è visibile il valore dei carichi idraulici ipotizzati. Agli afflussi è associata l'informazione del tipo di contesto idrogeologico: r=ammasso in normale stato di fratturazione, F=ammasso in zona di faglia.

Le portate relative alle quattro finestre sono rappresentate nei diagrammi di Figura 84 e Figura 85.

La **Finestra Forch** presenta afflussi molto modesti, di ordine sempre inferiore agli 0,5 l/s*10m, anche in corrispondenza delle zone di faglia. Tale assetto è dovuto al fatto che lo scavo avverrà in substrato filladico poco permeabile.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 126 di 189

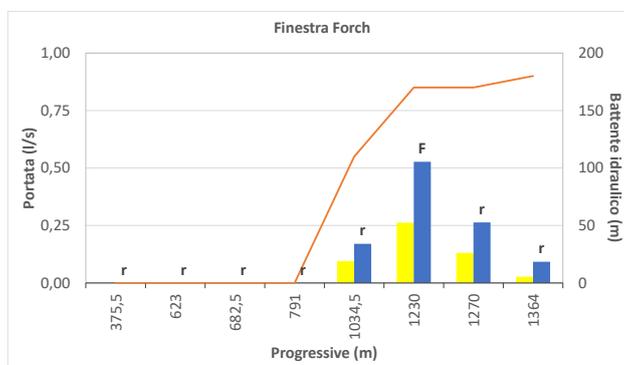


Figura 84: Diagramma che illustra il valore e la distribuzione degli afflussi transitori massimi per tratta idrogeologicamente omogenea per la Finestra Forch. In blu è visualizzato il valore degli afflussi secondo Jacob & Lohman (1952), in giallo secondo Goodman et al.; in arancione è visibile il valore dei carichi idraulici ipotizzati. Agli afflussi è associata l'informazione del tipo di contesto idrogeologico: r=ammasso in normale stato di fratturazione, F=ammasso in zona di faglia.

La **Finestra Funes** è suddivisa in due rami realizzati con metodi di scavo differenti: tramite TBM verrà realizzato il ramo principale che si andrà ad innestare nel BP della Galleria Gardena alla pk 16+475 circa, con metodo tradizionale verrà invece realizzata la tratta di collegamento tra il ramo principale della finestra ed il camerone di montaggio posizionato a cavallo dei due binari di linea all'intorno della pk 16+150 circa. Entrambi i rami sono caratterizzati da afflussi modesti (<1 l/s*10m), in quanto, pur intersecando alcune zone di faglia, i carichi idraulici risultano sempre essere piuttosto modesti e non originano quindi portate significative. Inoltre, essendo la tratta in tradizionale scavata successivamente a quella in TBM, è stato considerato un notevole abbattimento dei carichi idraulici in quanto già drenati dalla tratta in meccanizzato.

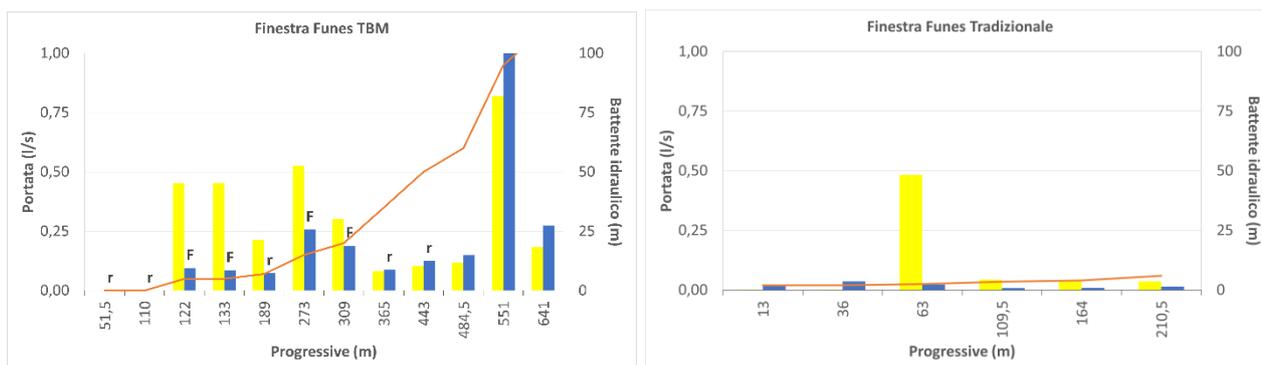


Figura 85: Diagrammi che illustrano il valore e la distribuzione degli afflussi transitori massimi per le due tratte idrogeologicamente omogenee in cui si articola la Finestra Funes (TBM a sinistra; scavo Tradizionale a destra). In blu è visualizzato il valore degli afflussi secondo Jacob & Lohman (1952), in giallo secondo Goodman et al. (1965); in arancione è visibile il valore dei carichi idraulici ipotizzati. Agli afflussi è associata l'informazione del tipo di contesto idrogeologico: r=ammasso in normale stato di fratturazione, F=ammasso in zona di faglia.

La **Finestra Chiusa** presenta una sola zona con afflussi significativi, dell'ordine di 1-2 l/s*10m che si localizza intorno alla progressiva 100m e coincide con l'intersezione di una zona di faglia per sovrascorrimento a basso angolo, ove le coperture topografiche sono piuttosto modeste e ove pertanto il grado di permeabilità dell'ammasso in condizioni cataclastiche risulta essere relativamente elevato. Nei restanti settori non si

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 127 di 189

riscontrano mai portate superiori a 0,5 l/s*10m in quanto le coperture sono maggiori e si ipotizza che il grado di permeabilità, anche in corrispondenza delle zone di faglia sia relativamente inferiore.

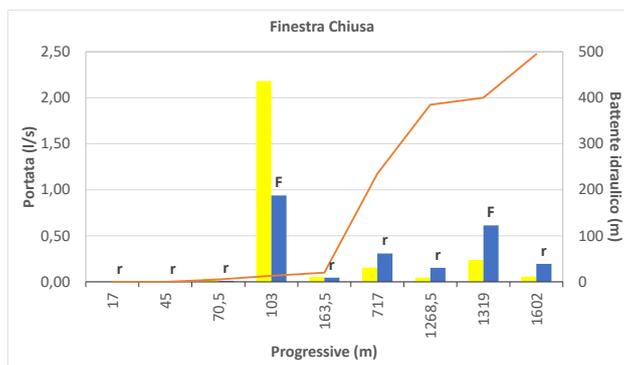


Figura 86 - Diagrammi che illustrano il valore e la distribuzione degli afflussi transitori massimi per tratta idrogeologicamente omogenea per la Finestra Chiusa. In blu è visualizzato il valore degli afflussi secondo Jacob & Lohman (1952), in giallo secondo Goodman et al. (1965); in arancione è visibile il valore dei carichi idraulici ipotizzati. Agli afflussi è associata l'informazione del tipo di contesto idrogeologico: r=ammasso in normale stato di fratturazione, F=ammasso in zona di faglia.

8.1.3 Schematizzazione dei parametri legati alle portate sui profili idrogeologici

Sui profili idrogeologici di progetto i parametri che contribuiscono alla definizione degli afflussi, ovvero il battente idraulico e la conducibilità idraulica, nonché le stime di afflussi medesime, sono state rappresentate con delle opportune fincature, di cui si osserva un esempio in Figura 87 e Figura 88.

BATTENTE IDRAULICO INDISTURBATO		0-30	30-60	
CLASSE DI CONDUCEBILITA' IDRAULICA	$K > 1 \times 10^{-5}$ m/s			
	$K = 1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-6}$ m/s			
	$K = 1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-7}$ m/s			
	$K = 1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-8}$ m/s			
	$K < 1 \times 10^{-8}$ m/s			
STIMA AFFLUSSI IN FASE DI SCAVO	CLASSE PREVALENTE			
	CLASSE SUBORDINATA			

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 128 di 189

Figura 87: Stralcio di esempio delle fincature dei profili idrogeologici.

BATTENTE IDRAULICO INDISTURBATO	
CLASSE	
1	0-30m
2	30-60m
3	60-100m
4	100-200m
5	200-400m
6	400-600m
CLASSI DI CONDUCIBILITA' IDRAULICA	
CLASSE	
1	$K < 10^{-8}$ m/s
2	$K = 10^{-7} - 10^{-8}$ m/s
3	$K = 10^{-6} - 10^{-7}$ m/s
4	$K = 10^{-5} - 10^{-6}$ m/s
5	$K > 10^{-5}$ m/s
STIMA DEGLI AFLUSSI IN FASE DI SCAVO	
CLASSE	
1	0-0.16 l/s x 10m
2	0.16-0.4 l/s x 10m
3	0.4-2 l/s x 10m
4	2-5 l/s x 10m
5	> 5 l/s x 10m

Figura 88: Stralcio di esempio della legenda delle fincature dei profili idrogeologici.

Tutti i parametri sono rappresentati per classi, dal momento che la loro variabilità è piuttosto ampia ed esiste sempre un certo grado di indeterminatezza nella loro previsione a causa dell'eterogeneità del mezzo roccioso.

Per il battente idraulico le classi divengono via via più ampie all'aumentare del suo valore. Ciò è dovuto al fatto che nei mezzi fratturati il battente idraulico può variare repentinamente lungo lo sviluppo di un'opera in sotterraneo, perché esso è spesso legato alle discontinuità. Discontinuità vicine possono ricaricarsi a quote anche sensibilmente differenti in ragione della loro diversa giacitura, che comporta una intersezione con la superficie freatica differente, dal momento che, in un contesto montano quale quello di progetto, quest'ultima non è piatta ma articolata.

Per la permeabilità la variabilità può essere ancora maggiore che non per il battente idraulico, poiché la densità di fratturazione può variare significativamente a scala metrico-decametrica e per tale motivo sono state sempre identificate due possibili classi.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	129 di 189

A causa della combinazione delle variabilità dei due parametri precedenti, per gli afflussi non è possibile definire una stima univoca. Si è quindi optato per l'identificazione di una classe prevalente (quella superiore nelle fincature) e di una classe subordinata (quella inferiore). Per la classe prevalente si è fatto riferimento alle stime di cui al precedente sottoparagrafo (8.1.2), che derivano, come spiegato, dall'utilizzo di valori medi, sia di conducibilità che di carico. Per la classe subordinata, definita a favore di cautela, si è tenuto conto che esistono valori riscontrati con le prove idrauliche che risultano essere significativamente superiori a quelli medi; questi valori costituiscono delle singolarità che verosimilmente non influenzeranno gli afflussi su tempi lunghi, proprio in quanto si tratta di condizioni locali; tuttavia, essi potranno determinare localmente degli afflussi iniziali di breve durata (ore, giorni) più elevati di quelli medi.

8.2 PORTATE TRANSITORIE CUMULATE E PORTATE STABILIZZATE

Ai fini del dimensionamento degli impianti di aggettamento delle acque in fase costruttiva è necessario sviluppare delle stime delle portate complessive di tutte le venute che si manifesteranno durante le fasi di avanzamento degli scavi. Per la definizione di tali portate il concetto da prendere in considerazione è legato al fatto che quando una venuta viene intercettata al fronte, la portata massima che essa determina inizialmente (ovvero la portata transitoria massima come determinata al precedente paragrafo), tende progressivamente a ridursi secondo una legge di tipo esponenziale. Ovviamente man mano che lo scavo avanza si aggiungeranno via via nuove zone di venuta che cumuleranno con le precedenti. Pertanto, a tempi crescenti da inizio scavo corrisponderanno portate cumulate che saranno il risultato della somma di più venute, ognuna delle quali fornirà una portata dipendente dal tempo che sarà trascorso dal momento della prima intercettazione.

La curva "tempo vs. portata cumulata" è quindi una funzione piuttosto complessa da ricavare, che dipende, oltre che dai parametri idrogeologici già di per sé soggetti a forte variabilità e perlopiù ottenibili solo attraverso stime, anche dalla velocità con cui le opere vengono scavate. Infatti, se le velocità di avanzamento degli scavi sono elevate, le singole portate cumulano avendo minor tempo per decrescere e pertanto si ottengono quantità istantanee di acqua da evacuare elevate; se le velocità di avanzamento diminuiscono le quantità di acqua istantanee si riducono. Le quantità di acqua istantanee da evacuare dai punti di raccolta finali di singole gallerie (portali, stazioni di pompaggio qualora le gallerie vengano scavate in discesa) sono quindi funzione del cronoprogramma degli scavi. Se varia il cronoprogramma le portate istantanee di acque da smaltire possono subire variazioni più o meno significative, a seconda che varino o meno in modo importante le velocità di scavo. Ovviamente anche la successione con cui le diverse opere vengono scavate incide sulle portate cumulate. Soprattutto per canne adiacenti, la seconda canna che viene eseguita incontra un contesto idrogeologico di ammasso già drenato per il passaggio della prima canna scavata e l'abbattimento dei carichi risulterà tanto maggiore quanto maggiore sarà il tempo intercorso dallo scavo della prima canna. Nel caso delle opere in oggetto il cronoprogramma a cui fare riferimento è quello riportato nella Figura 89.

8.2.1 Metodo di calcolo

Per ottenere una previsione delle portate cumulate più realistica possibile è necessario adottare un metodo di modellizzazione che consenta la suddivisione delle opere in tratte di lunghezza confrontabile con quella effettiva delle tratte di scavo. Nel presente lavoro è stato impiegato un software sviluppato da Amphos 21

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria							<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RG</td> <td>GE0000002</td> <td>B</td> <td>130 di 189</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	130 di 189													
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica																		

(<https://en.amphos21.com/>) denominato Tunflow. Questo software si basa su una funzione analitica sviluppata da Perrochet & Dematteis (2007) che permette di calcolare gli afflussi in un tunnel in regime transitorio all'avanzare degli scavi di una galleria; a sua volta la funzione di Perrochet & Dematteis è una derivazione dalla funzione di Jacob & Lohman (1952). Il software richiede essenzialmente di suddividere la galleria da scavare in una serie di tratte di lunghezza voluta, con caratteristiche omogenee in termini di permeabilità, carico idraulico e coefficiente di immagazzinamento. A partire da questa scomposizione, imponendo la velocità di avanzamento degli scavi il software fornisce, in forma tabellare o grafica, l'evoluzione delle portate cumulate rispetto al tempo.

L'applicazione del metodo necessita delle medesime semplificazioni già previste per il calcolo delle portate massime transitorie con metodo di Jacob & Lohman (1952), ovvero; i) conducibilità idraulica omogenea, ii) tavola d'acqua orizzontale, iii) mezzo acquifero semi-infinito. Valgono pertanto le medesime considerazioni già fatte per queste semplificazioni al paragrafo 8.1.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					PROGETTO ESECUTIVO
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOLGIO. 131 di 189

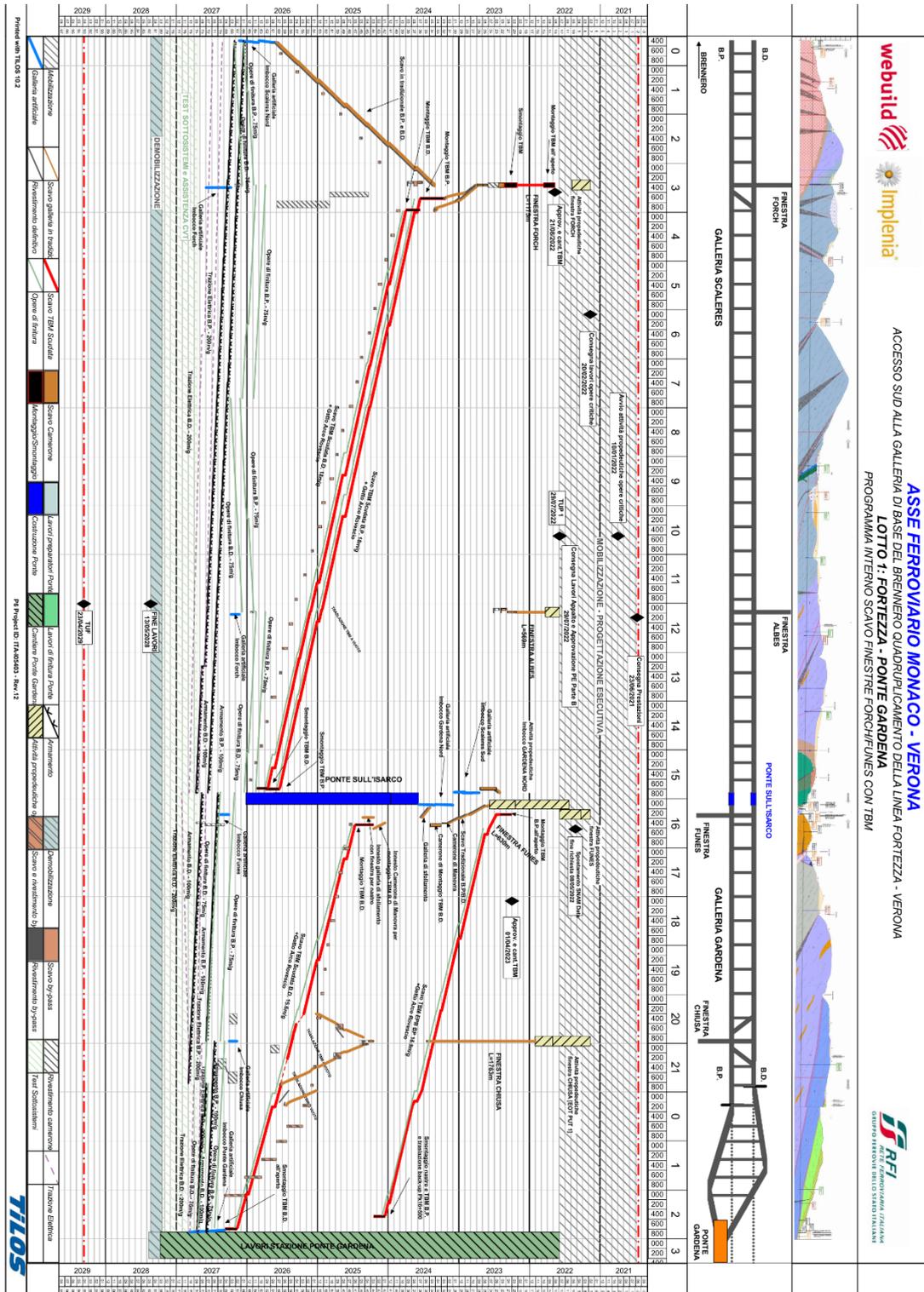


Figura 89: Cronoprogramma lavori al 4 gennaio 2022.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	132 di 189

Ai fini pratici tali semplificazioni sono accettabili, in quanto determinano condizioni di calcolo piuttosto cautelative rispetto alla situazione reale se i parametri di ingresso sono prescelti con gli opportuni accorgimenti. In particolare, per quanto riguarda la conducibilità idraulica, nel mezzo roccioso le permeabilità non sono mai omogenee su grande scala; se si considera però che le zone acquifere più importanti sono rappresentate dalle faglie e se si tiene conto che queste hanno uno spessore limitato, è evidente che utilizzando un software che computa le portate nelle tratte in faglia come se tutto l'ammasso presentasse a grande scala sempre la permeabilità della zona di faglia, si ottengono dei risultati cautelativi, poiché generalmente la zona di alimentazione della faglia in tempi molto brevi dall'inizio del drenaggio, nella realtà va ad intersecare settori di ammasso che hanno conducibilità ben più basse.

Per quanto attiene all'orizzontalità della tavola d'acqua iniziale, anche in questo caso, se si considera il carico idraulico sulla verticale del tunnel, in genere in un contesto montano si ottengono simulazioni cautelative, poiché in un versante montano la condizione peggiore che si può ottenere è quella di una asimmetria con carichi decrescenti verso valle e crescenti verso monte, con effetto complessivo non molto diverso da quello di una tavola d'acqua suborizzontale.

Analogamente, l'estensione semi-infinita del mezzo acquifero implicherebbe una possibilità di ampliamento infinito del cono di influenza dell'opera, condizione estremamente cautelativa per un contesto montano, ove l'orografia articolata determina l'esistenza di limiti laterali di alimentazione, che nella realtà comportano, una volta raggiunti, una repentina e significativa riduzione delle portate drenate.

8.2.2 Risultati

I risultati delle simulazioni vengono forniti come grafici "portata vs. tempo" suddivisi per singola opera. Sui medesimi grafici viene fornito anche il diagramma "avanzamento scavi vs. tempo". In tutte le simulazioni i tempi sono stati protratti fino al decimo anno dall'inizio degli scavi, al fine di ottenere, attraverso lo stesso sistema di calcolo (Tunflow), anche una valutazione delle probabili portate stabilizzate.

Nel caso di gallerie a doppia canna (gallerie di linea) o comunque di gallerie molto prossime fra loro (interconnessioni) verrà fornito il diagramma di simulazione esclusivamente per la prima galleria scavata, dal momento che la seconda galleria entrerà in un contesto già drenato, inducendo, in termini di portate complessive drenate dalle due canne, semplicemente un modesto incremento delle portate drenate dalla prima canna scavata.

In Tabella 16 si presenta un riassunto delle stime di portata transitoria e stabilizzata per le diverse opere o tratte di opera di interesse. I valori indicati nella tabella saranno commentati nei sottoparagrafi che seguono, assieme ai diagrammi derivanti dalle simulazioni, che verranno trattati in ordine di inizio temporale dei lavori per le diverse opere.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 133 di 189

		Q cumulata picco	Q stabilizzata	
		[l/s]	[l/s]	
Galleria Scaleres + Finestra Forch	Finestra Forch	6	3,3	
	Galleria Scaleres tratta Forch-Fortezza			
		canna 1 + 2	60	53
		canna 1	42	26
		canna 2	30	26
	Galleria Scaleres tratta Forch-Isarco			
		canna 1 + 2	164	134
		canna 1	164	67
		canna 2	90	67
	Q stabilizzate totali			190
Galleria Gardena + Interconnessioni + Finestre Funes e	Finestra Funes (tradizionale)	0,2	0,1	
	Isarco-Funes TBM_BP	3,6	2,6	
	Isarco-Funes Trad. _BD	0,3	0,2	
	Finestra Chiusa	22	17	
	Funes TBM + Gardena + Interconnessioni		131	122
		canna binario pari	131	59
		canna binario dispari	78,6	64
	Q stabilizzate totali			142

Tabella 16: Tabella riassuntiva delle stime di afflussi transitori cumulati e afflussi stabilizzati.

8.2.2.1. Finestra Forch

I diagrammi che illustrano l'evoluzione delle portate cumulate sono visibili in Figura 90. Per la finestra, che verrà scavata con TBM di tipo EPB, si prevedono afflussi massimi nell'ordine di 6 l/s che verranno raggiunti al termine degli scavi. Le portate stabilizzate possono essere invece stimate in circa 3,3 l/s.

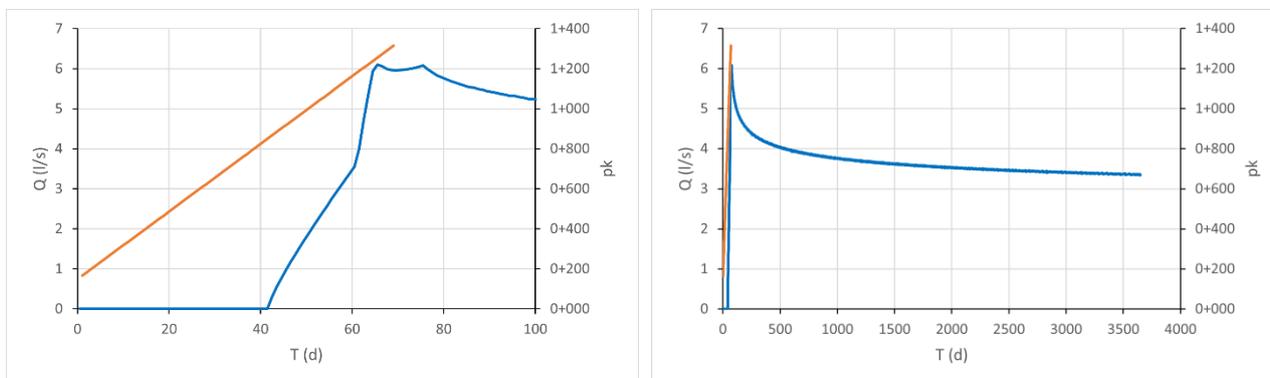


Figura 90: Diagramma che illustra l'evoluzione degli afflussi nel tempo per la Finestra Forch; in blu sono rappresentate le portate, in arancione l'avanzamento degli scavi. Il diagramma di sinistra illustra la situazione fino a 100gg, il diagramma a destra la situazione fino circa a 10 anni dall'inizio degli scavi.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 134 di 189

8.2.2.2. Finestra Chiusa

Il diagramma di evoluzione degli afflussi per la Finestra Chiusa è visibile in Figura 91. La finestra è interamente scavata con metodo tradizionale ed è pertanto previsto un drenaggio libero in fase di scavo. Il picco degli afflussi anche in questo caso si verifica a fine scavo e corrisponde a circa 22 l/s. Si osservano alcuni modesti picchi secondari all'intersezione con zone di faglia poco dopo la pk 0+100 e 1+250. Si osserva anche una variazione di pendenza di incremento delle portate tra la tratta posta prima della pk 1+250 e quella successiva. Tale variazione è legata all'assunzione di riduzione della permeabilità con la copertura all'interno del substrato filladico. Le portate stabilizzate sono di circa 17 l/s (Tabella 16).

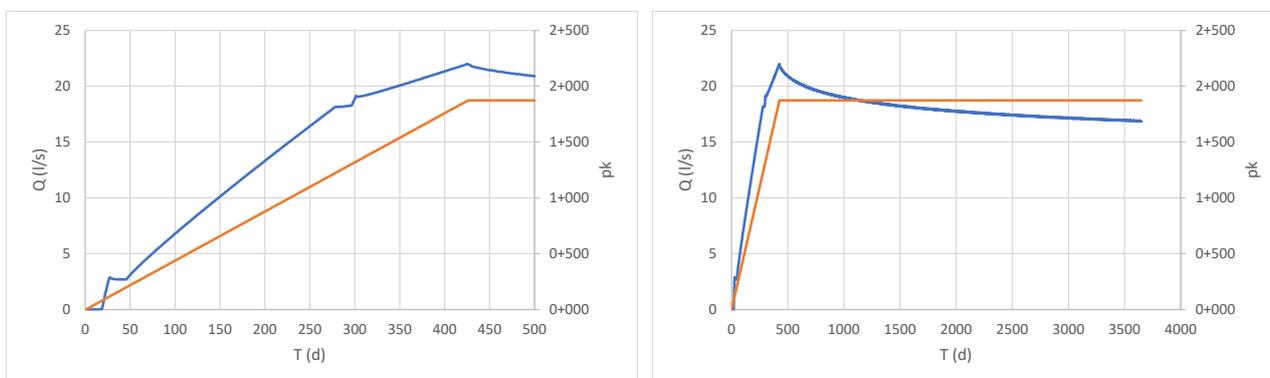


Figura 91: Diagramma che illustra l'evoluzione degli afflussi nel tempo per la Finestra Chiusa; in blu sono rappresentate le portate, in arancione l'avanzamento degli scavi. Il diagramma di sinistra illustra la situazione fino a 500gg, il diagramma a destra la situazione fino circa a 10 anni dall'inizio degli scavi.

8.2.2.3. Finestra Funes (Tradizionale)

La Finestra di Funes si configura come galleria a binario singolo, scavata con TBM EPB, sino all'innesto nel Binario Pari della Galleria Gardena all'altezza della pk 16+475 circa. Da questo punto lo scavo meccanizzato proseguirà in direzione sud mentre la tratta di collegamento al Ponte Isarco verrà scavata in tradizionale. All'altezza della pk 16+166 BD è previsto inoltre un camerone dal quale, sempre tramite scavo in tradizionale, verrà sviluppata una galleria di servizio a direzione circa E-W che collegherà le gallerie di linea alla Finestra di Funes all'intorno della pk 0+250.

In questo paragrafo si valuterà quest'ultima galleria di cui si riporta in Figura 92 l'evoluzione degli afflussi previsti durante gli scavi; si tratta di afflussi decisamente modesti con valori di picco pari a circa 0,2 l/s e portate stabilizzate pari a circa 0,15 l/s.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 135 di 189

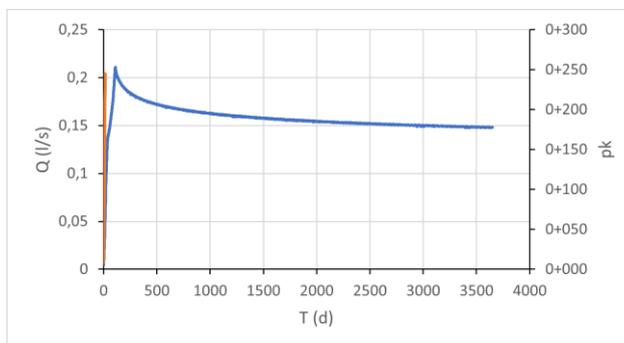


Figura 92: Diagramma che illustra l'evoluzione degli afflussi nel tempo per la Finestra Funes; in blu sono rappresentate le portate, in arancione l'avanzamento degli scavi. Il diagramma illustra la situazione fino a 10 anni dall'inizio degli scavi.

8.2.2.4. Finestra Funes (TBM) + Galleria Gardena + Interconnessione, Binario Pari

La tratta in questione verrà scavata con TBM tipo EPB a partire dall'imbocco della Finestra Funes nei pressi del Fiume Isarco proseguendo verso sud lungo la Galleria Gardena e l'Interconnessione BP.

Il diagramma di evoluzione delle portate cumulate nel tempo per la tratta considerata è visibile in Figura 93. Il picco degli afflussi si registra a fine scavi ed equivale a circa 130 l/s. Alcuni picchi secondari si riconoscono invece all'intersezione con le principali strutture cataclastiche; tra questi spicca quello relativo alla Faglia di Funes che determina un repentino incremento delle portate da una decina di litri per secondo a più di 60 l/s. Nella parte centrale della tratta, a seguito di alcuni modesti incrementi legati all'intersezione di faglie intorno alla pk 18+750 e 19+600, si registra un decremento delle portate, dovuto alla presunta riduzione delle permeabilità dell'ammasso roccioso per le elevate coperture e alla contemporanea assenza di discontinuità significative.

Le portate tornano invece ad aumentare verso sud, sia per l'intersezione con importanti zone di faglia a basso angolo a partire circa dalla pk 1+000 dell'interconnessione, sia per la progressiva riduzione della copertura topografica che ha determinato l'assunzione di permeabilità maggiori dell'ammasso.

Le portate stabilizzate possono essere stimate nell'ordine dei 100 l/s (Tabella 16). Si noti che tale valore è inferiore a quello desumibile dai diagrammi di Figura 93 che risulterebbe dell'ordine degli 120 l/s. Ciò è dovuto al fatto che in fase di esercizio sarà presente, a fianco della galleria della tratta in oggetto, anche la galleria relativa al binario pari. Ciò determinerà una ripartizione delle portate fra le due canne, la cui definizione in termini percentuali è piuttosto aleatoria. Nel caso di canne tra loro molto prossime, come quello della Galleria Scaleres precedentemente esaminata (paragrafi 8.2.2.7 e 8.2.2.8), la percentuale di ripartizione può essere ragionevolmente assunta pari al 50%; tuttavia nella presente tratta, le interconnessioni sono piuttosto lontane e la canna posta sopra flusso (più verso monte), ovvero l'interconnessione binario dispari, potrebbe drenare moderatamente più della canna sotto flusso. Peraltro, la presenza di due canne anziché di una sola, determinerà anche un moderato incremento della capacità drenante complessiva del sistema rispetto alla configurazione a canna singola. Anche in questo caso, mentre per canne vicine, come quello della Galleria Scaleres, l'incremento è stato valutato nell'ordine del 10% (paragrafi 8.2.2.7 e 8.2.2.8), per le interconnessioni, data la distanza maggiore, è stato considerato un incremento complessivo del 20%, ripartito al 15% sulla canna binario pari e 25% sulla canna binario dispari,

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	136 di 189

per il motivo precedentemente accennato delle differenze tra canna sopra flusso e canna sotto flusso. In questo scenario si prevedono portate stabilizzate di poco inferiori ai 60 l/s per il binario pari e di poco superiori ai 60 l/s per le gallerie del binario dispari (Tabella 16).

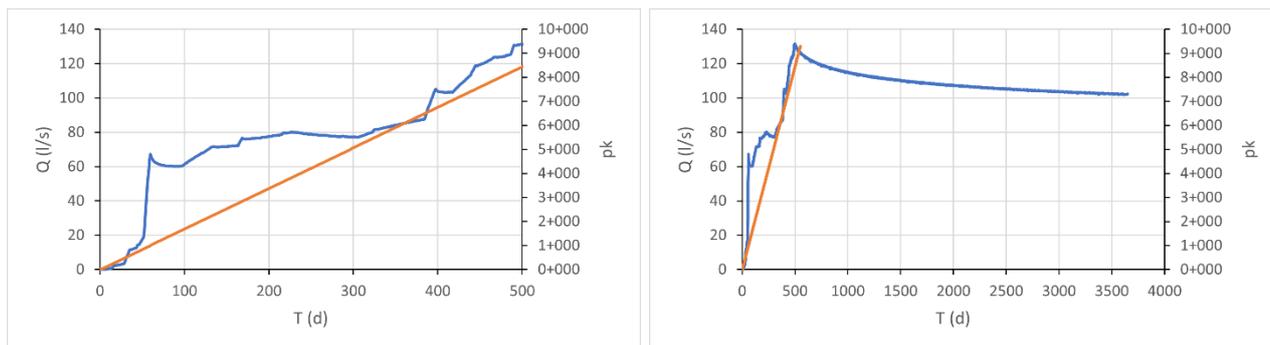


Figura 93: Diagramma che illustra l'evoluzione degli afflussi nel tempo per la Galleria Gardena Binario Pari + Interconnessione Binario pari, tratta Funes-Gardena; in blu sono rappresentate le portate, in arancione l'avanzamento degli scavi. Il diagramma di sinistra illustra la situazione fino a 500gg, il diagramma a destra la situazione fino circa a 10 anni dall'inizio degli scavi.

8.2.2.5. Ponte Isarco – Innesto Galleria Gardena, Binario Pari

La tratta, scavata con metodo tradizionale, si sviluppa a partire dal Ponte Isarco, lungo il Binario pari, sino all'innesto con la galleria di linea. Le portate cumulate di picco e stabilizzate sono riportate in Fig. XX e si attestano, rispettivamente su valori di circa 3,5 l/s e 2,6 l/s.

8.2.2.6. Ponte Isarco – Camerone di montaggio, Binario Dispari

La tratta collega il Ponte Isarco con il camerone di montaggio che metterà in comunicazione i due binari di linea con il ramo della Finestra Funes scavato in tradizionale. Questo segmento, così come la tratta precedentemente descritta per il BP, verrà scavata con metodo tradizionale. Considerato il ridotto sviluppo planimetrico ed i contenuti carichi idraulici, le portate attese in fase di scavo sono decisamente esigue e si suppone possano attestarsi intorno a 0,25 l/s come valore di picco e 0,15 l/s come portata stabilizzata a 10 anni dall'inizio degli scavi.

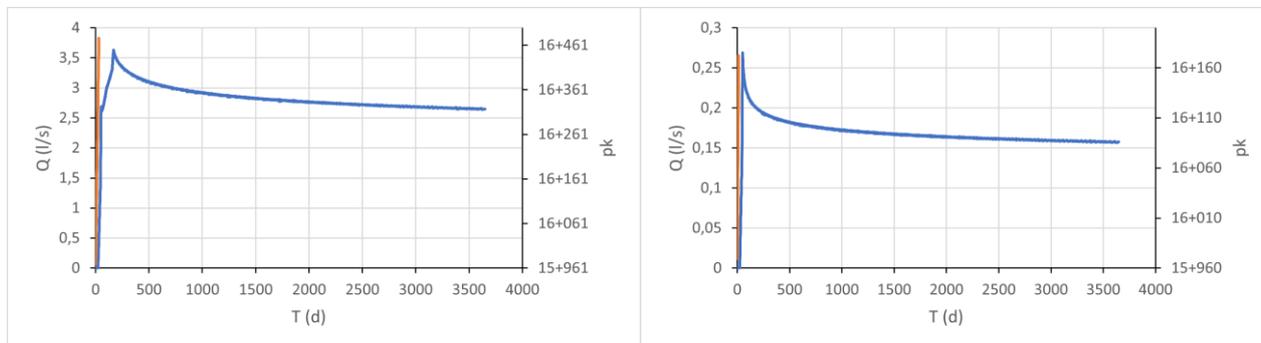


Figura 94 - Diagramma che illustra l'evoluzione degli afflussi nel tempo per la tratta Ponte Isarco-Innesto Galleria Gardena_BP (a sinistra) e per la tratta Ponte Isarco-Camerone di montaggio_BD (a destra); in blu sono rappresentate le portate, in arancione l'avanzamento degli scavi.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 137 di 189	

8.2.2.7. Galleria Scaleres, tratta Forch-Fortezza

La tratta di Galleria Scaleres che si sviluppa fra l'innesto della Finestra Forch e il portale di Fortezza verrà scavata con metodo tradizionale, pertanto in condizioni drenanti. Inoltre, in questo tratto lo scavo delle due canne avverrà sostanzialmente in contemporanea. Date queste condizioni, per il calcolo delle portate transitorie cumulate si è proceduto eseguendo la simulazione per una singola canna e incrementando poi i valori così ottenuti del 10% per tenere conto della presenza di due canne poste a distanza piuttosto ravvicinata. La curva di evoluzione delle portate è visibile nel diagramma di Figura 95. Esso mostra l'esistenza di un picco che precede di poco la fine dello scavo e che è pari a circa 60 l/s. La posizione del picco, che anticipa la fine dello scavo, è legata al fatto che la zona prossima al portale presenta carichi idraulici molto bassi o nulli.

La curva di incremento delle portate è caratterizzata da tratti a pendenza differente, determinati sia dall'alternanza di sezioni in faglia e in ammasso in normale stato di fratturazione, sia dalla variazione della permeabilità per via delle differenti coperture topografiche che si incontrano lungo lo sviluppo del tracciato. Non si osservano significative decrescite delle portate dopo i picchi all'intersezione con le faglie per il fatto che comunque l'ammasso granitico, anche in normale stato di fratturazione, presenta permeabilità relativamente alte e quindi è in grado di sostenere delle portate piuttosto elevate.

Per quanto attiene invece agli afflussi stabilizzati le portate stimate equivalgono a circa 52 l/s ripartiti indicativamente in modo speculare su ognuna delle due canne, ovvero 26 l/s circa su ognuna.

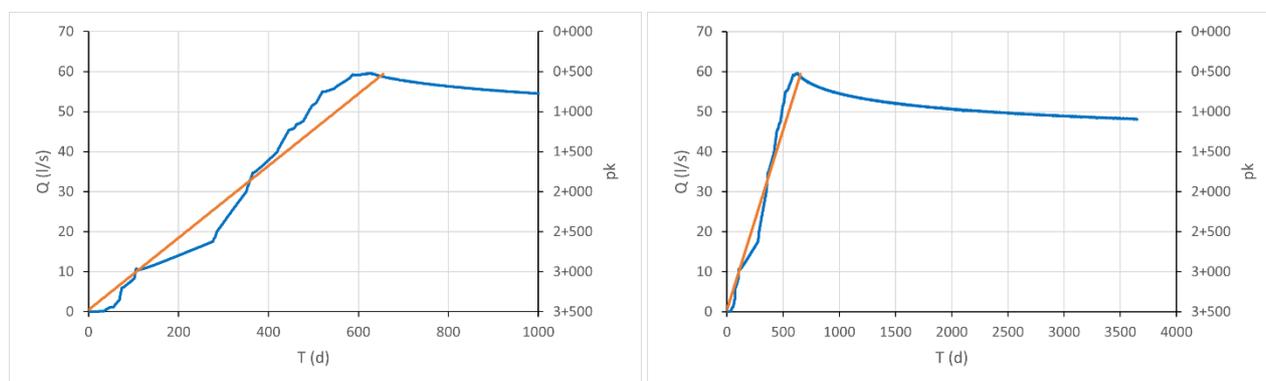


Figura 95: Diagramma che illustra l'evoluzione degli afflussi nel tempo per la Galleria Scaleres (BP+BD), tratta Forch-Fortezza; in blu sono rappresentate le portate, in arancione l'avanzamento degli scavi. Il diagramma di sinistra illustra la situazione fino a 1000gg, il diagramma a destra la situazione fino circa a 10 anni dall'inizio degli scavi.

8.2.2.8. Galleria Scaleres, tratta Forch-Isarco

Per questa tratta è previsto lo scavo con TBM scudata; pertanto, si verificherà un drenaggio sistematico dell'ammasso in fase di avanzamento. Lo sfalsamento nelle tempistiche di realizzazione fra la prima canna realizzata e la seconda è di poco più di un mese. Il contesto non è pertanto quello di avanzamento contemporaneo delle due canne poste circa nella stessa posizione, come nel caso della precedente tratta Forch-Fortezza; ciononostante i due fronti si verranno comunque a trovare in posizioni piuttosto ravvicinate. Per tale motivo è logico attendersi che i picchi di portata si incontreranno in concomitanza della prima

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 138 di 189

intersezione da parte della prima canna con le tratte maggiormente permeabili. Tuttavia, quando la seconda canna intercetterà le medesime tratte permeabili, l'ammasso, pur trovandosi già in condizioni drenate, non mostrerà ancora abbattimenti molto forti dei carichi idraulici e sarà quindi in grado di restituire afflussi piuttosto rilevanti.

Stanti queste considerazioni, ai fini del calcolo delle portate cumulate massime si è assunto che una simulazione eseguita sull'avanzamento della prima canna scavata possa fornire i valori massimi di cui tenere conto per il dimensionamento degli impianti di aggotamento. I risultati sono visibili in Figura 96.

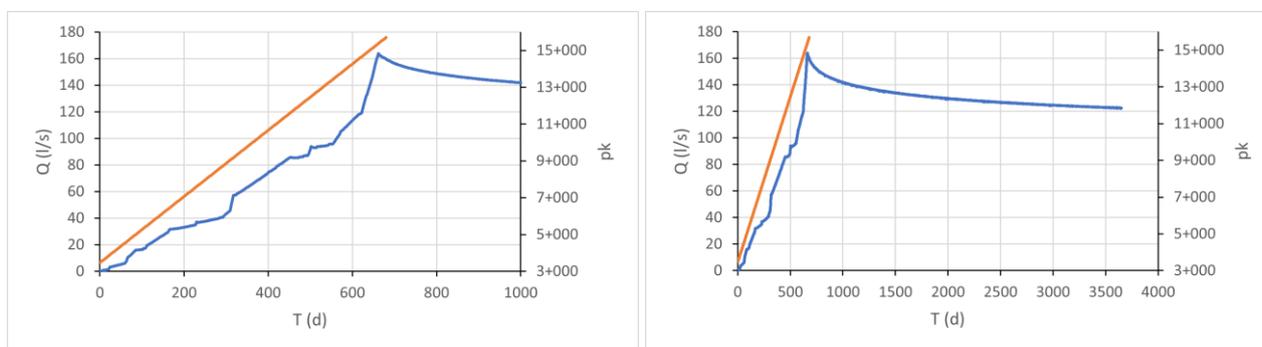


Figura 96: Diagramma che illustra l'evoluzione degli afflussi nel tempo per la Galleria Scaleres (BP+BD), tratta Forch-Isarco; in blu sono rappresentate le portate, in arancione l'avanzamento degli scavi. Il diagramma di sinistra illustra la situazione fino a 1000gg, il diagramma a destra la situazione fino circa a 10 anni dall'inizio degli scavi.

Le simulazioni eseguite indicano un picco delle portate transitorie cumulate dell'ordine dei 160 l/s (Tabella 16), che può essere appunto ritenuto il massimo apporto idrico in fase di scavo. Tale picco è atteso in concomitanza con il termine delle operazioni di scavo. Dato il ridotto sfalsamento nelle tempistiche di avanzamento nel tempo tra le due canne, parte di questo apporto potrà in realtà essere ripartito fra le due canne e non derivare solo dallo scavo della prima canna. Infatti, mentre terminerà lo scavo della prima canna e si registrerà il picco, lo scavo della seconda canna sarà già avanzato in modo significativo seguendo a poca distanza la prima galleria; la seconda canna sottrarrà dunque parte degli afflussi precedentemente intercettati dalla prima canna e già parzialmente ridotti a causa del drenaggio. In ogni caso, ove si rendesse necessario fare delle stime per le portate cumulate scaricate dalle singole canne, si ritiene opportuno, a favore di sicurezza, considerare che dalla prima canna scavata possano essere scaricate le intere portate calcolate, ovvero circa 160 l/s.

Per la seconda canna le portate saranno sicuramente inferiori, se si considera che essa entrerà in un ammasso già parzialmente drenato e che indicativamente gli afflussi che essa incontrerà saranno il frutto di una ripartizione circa al 50% degli afflussi già presenti sulla prima canna. È tuttavia necessario considerare anche che l'apertura di una seconda canna comporterà un moderato incremento delle portate drenate dalla prima canna già parzialmente ridotte per via del drenaggio precedentemente innescato. In questo caso, sempre procedendo a favore di sicurezza, si può ipotizzare che le massime portate transitorie cumulate scaricate dalla seconda canna possano equivalere alla metà del picco calcolato per la prima canna incrementato del 10%, ovvero a circa 89 l/s (Tabella 16).

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	139 di 189

Le portate stabilizzate, come visibile dal diagramma di Figura 96, sono complessivamente dell'ordine dei 133 l/s e, a gallerie interamente scavate, tenderanno a ripartirsi nella misura di circa 67 l/s per ognuna delle due canne.

8.2.2.9. Camerone di montaggio + Galleria Gardena + Interconnessione, Binario Dispari

La tratta in questione verrà scavata con TBM-EPB a distanza di più di un anno dal termine della realizzazione del binario pari. Peraltro, lo scavo, che inizierà dal camerone di montaggio all'intersezione con il ramo della Finestra Funes scavato in tradizionale, partirà più di due anni dopo che avrà avuto inizio lo scavo del binario pari della galleria di linea. Quando le gallerie del binario dispari verranno scavate esse incontreranno pertanto un ammasso in cui i carichi idraulici avranno già subito significative riduzioni legate al lungo periodo di drenaggio esercitato dalle gallerie del binario pari.

In tale situazione le portate transitorie cumulate possono essere stimate come equivalenti a circa 79 l/s. Tale stima è stata ricavata ipotizzando un picco equivalente al 50% del picco ottenuto dal calcolo eseguito per il binario pari (paragrafo 8.2.2.4) maggiorato del 20% in ragione delle considerazioni già fatte nel paragrafo 8.2.2.4 per il binario pari, rispetto al fatto che le due canne delle interconnessioni sono piuttosto lontane e che il binario dispari si trova sopra flusso rispetto al binario pari. Pertanto, il suo inserimento potrà sottrarre una quota di portate transitorie già drenate in quel momento dal binario pari superiore al 50%, oltre a determinare anche un moderato incremento delle portate totali. La stima è comunque estremamente cautelativa, poiché implicherebbe che, al momento dello scavo della seconda canna, l'ammasso già parzialmente drenato fosse in grado di sostenere un picco di portate complessivo (canna pari+dispari) praticamente equivalente a quello iniziale prodotto dalla canna pari al momento del suo ingresso in una condizione di ammasso con carichi imperturbati. Tale evenienza è da ritenersi del tutto improbabile, ma date le numerose incertezze nelle assunzioni fatte si è optato per una valutazione ampiamente a favore di sicurezza.

Va altresì specificato che le portate transitorie massime cumulate per le due canne non supereranno comunque mai il picco per la prima canna scavata, ovvero la canna pari, equivalente, come già detto al paragrafo 8.2.2.4, a 130 l/s.

Le portate stabilizzate sono uguali a quelle già stimate per la prima canna e corrispondono a circa 60 l/s (Tabella 16).

8.2.3 Raffronto fra portate stabilizzate e infiltrazione efficace

Nel capitolo 4 sono stati discussi i risultati del bilancio idrologico per l'area di progetto. In tale capitolo sono stati forniti due valori di infiltrazione efficace disponibile sulle due aree di bacino sottese dalla Galleria Scaleres e relative finestre e dalla Galleria Gardena e relative finestre. I valori di infiltrazione sono riportati in Tabella 2 e sono di circa 960 l/s per la Galleria Scaleres e 400 l/s per la Gardena. Essi si possono confrontare con i valori delle portate stabilizzate derivate in questo capitolo e riportate in Tabella 16, che sono pari a 190 l/s ca. per la Galleria Scaleres e 140 l/s ca. per la Galleria Gardena.

Come atteso, le portate drenate sono delle frazioni dell'infiltrazione totale disponibile; in particolare nel caso della galleria Scaleres gli afflussi corrispondono al 20% circa dell'infiltrazione, mentre nel caso della galleria Gardena essi corrispondono al 35%.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">IBOU</td> <td style="text-align: center;">1BEZZ</td> <td style="text-align: center;">RG</td> <td style="text-align: center;">GE0000002</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">140 di 189</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	140 di 189
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	140 di 189													
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica																		

Se si considera che la maggior parte della precipitazione che infiltra circola poi negli acquiferi presenti nei depositi quaternari, che sono più permeabili, le aliquote drenate dalle gallerie, che corrispondono quasi esclusivamente a infiltrazione verso il substrato, appaiono del tutto realistiche. Vale anche la pena specificare che l'acqua sottratta dalle gallerie alle circolazioni nel substrato roccioso non può determinare impatti diffusi sulle sorgenti della zona, dal momento che queste ultime sono perlopiù alimentate da sistemi di flusso superficiali (cfr. capitolo 7), dipendenti principalmente dall'aliquota di infiltrazione che non interessa il substrato. In ogni caso, come si dirà al capitolo 9, nella valutazione di pericolosità di interferenza per le sorgenti è stato comunque considerato che per un numero limitato di sorgenti, esista la possibilità di una relazione con i sistemi di flusso del substrato e pertanto siano possibili degli impatti.

La maggior parte dell'aliquota di infiltrazione che verrà sottratta al substrato per alimentare gli afflussi delle opere in sotterraneo è verosimilmente un'aliquota destinata, in regime imperturbato, ad alimentare l'acquifero di fondovalle e il Fiume Isarco, che costituisce il minimo potenziale idraulico delle circolazioni profonde che avvengono nei versanti vallivi. Il trasporto di massa dell'acquifero di fondovalle e la portata del Fiume Isarco sono di almeno uno/due ordini di grandezza superiori all'aliquota di infiltrazione che alimenterà le gallerie, pertanto, la sottrazione di questa aliquota risulterà poco significativa. Nelle valutazioni di impatto (cfr. capitolo 7) non si è comunque escluso che parte dell'aliquota di infiltrazione verso il substrato alimenti il flusso di base di alcuni corsi d'acqua laterali, soprattutto nella parte bassa del loro corso, in prossimità del fondovalle Isarco. In questo caso la sottrazione di parte di questa aliquota potrebbe determinare delle interferenze con questi corsi d'acqua laterali.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	141 di 189

9. VALUTAZIONE DEL GRADO DI PERICOLOSITÀ DI INTERFERENZA SULLE RISORSE IDRICHE

La stima delle possibili interferenze dell'opera in progetto sulle risorse idriche di superficie è stata effettuata utilizzando la metodologia basata sull'indice DHI (*Drawdown Hazard Index*) proposto da Dematteis et al. (2001), modificato da Torri et al. (2007) e adattato al presente progetto. Gli approfondimenti condotti in fase di Progetto Esecutivo hanno sostanzialmente confermato quanto emerso nel corso del Progetto Definitivo.

Il metodo DHI (*Drawdown Hazard Index*) consiste in un'analisi probabilistica dell'impatto che un'opera sotterranea può avere sulle risorse idriche dell'area, in particolar modo sulle sorgenti.

L'analisi dell'indice DHI prevede lo studio di due insiemi di fattori principali:

- Fattori Chiave: caratterizzano il singolo punto d'acqua e la sua relazione, in termini geometrici, con l'opera.
- Fattori Fondamentali: dipendono dalle caratteristiche dell'opera e dalla sua interazione con l'acquifero e ne definiscono in sostanza la capacità drenante;

I punti esaminati sono stati tutti quelli inclusi nelle varie fasi progettuali all'interno del programma di monitoraggio a più riprese e sono suddivisi come nella tabella seguente:

Sorgenti	Pozzi
307	23

Tabella 17: Conteggio dei punti d'acqua di cui è stata valutata la pericolosità di interferenza.

A questi punti si aggiungono poi 14 torrenti monitorati che insistono entro l'area di progetto.

9.1 DESCRIZIONE SINTETICA DEI PRINCIPI DEL METODO DHI

La formulazione dell'indice di rischio DHI come detto consta di due insiemi di fattori: i fattori chiave ed i fattori fondamentali.

I fattori fondamentali, riferiti alla galleria, sono:

- FF: Frequenza di Fratturazione;
- MK: permeabilità dell'ammasso roccioso;
- OV: spessore della copertura;
- PZ: ampiezza della zona plastica.

I fattori chiave, riferiti al punto d'acqua, sono:

- IF: Intersezione con Faglie maggiori;
- FD: Fenomeni di Dissoluzione;
- TS: Tipo di Sorgente;
- DT: Distanza dal Tracciato;
- ET: Effetto Topografico.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	142 di 189

FF – Frequenza di fratturazione

La presenza di fratture e/o zone di ammasso intensamente fratturate a causa della presenza di lineamenti tettonici che intersecano la galleria può condizionare in maniera importante le capacità drenanti dell'opera sul massiccio.

Ciò si verifica poiché una maggior fratturazione determina una maggior permeabilità andando quindi a modificare un'altra variabile denominata MK, ovvero la permeabilità dell'ammasso. Nel caso in studio ove sono presenti faglie e associate zone di fratturazione certe è stato attribuito alla variabile FF il valore più alto, mentre in presenza di faglie incerte e conseguenti zone di fratturazione incerta si è assegnato un valore intermedio.

MK – Permeabilità dell'ammasso

Questa variabile definisce il grado di permeabilità assegnato ai diversi complessi litologici che caratterizzano l'ammasso roccioso. In questo caso si considera sia la permeabilità legata alla fratturazione sia quella legata alle caratteristiche della matrice roccia. Si è considerata un'unica classe di permeabilità lungo tutto il tracciato, ovvero quella medio-bassa.

OV – Spessore della copertura

Lo spessore influenza l'effetto drenante della galleria, sia nell'intorno del cavo, sia nel massiccio dove si tende ad avere una progressiva chiusura delle fratture in profondità a causa del maggior carico litostatico.

PZ – Ampiezza della zona plastica

La zona plastica che si forma nell'intorno dello scavo per effetto della perturbazione del campo locale di stress corrisponde ad una fascia più intensamente fratturata e quindi di permeabilità maggiore, di ampiezza variabile fra 0 e 2-3 volte il diametro del cavo. L'estensione della zona plastica è funzione del diametro della galleria, dello spessore della copertura, delle tecniche di scavo adottate e, più in generale, delle caratteristiche geomeccaniche del massiccio.

IF – Intersezione con faglie

Questo parametro indica la presenza di zone interessate da attività tettonica, nei pressi di un punto d'acqua, in grado di determinare un importante deterioramento dell'ammasso roccioso, rendendolo dunque maggiormente permeabile e passibile di una maggior tendenza al drenaggio indotto dallo scavo di un'opera in sotterraneo.

In presenza di lineamenti tettonici definiti sulla base della cartografia geologica derivata dal rilevamento di campagna, che si trovino in corrispondenza o nelle immediate vicinanze di un punto d'acqua monitorato, ne consegue un aumento della probabilità di interferenza su quest'ultimo.

I buffer scelti nell'analisi delle linee di faglia sono risultati valere 15 metri per lato nel caso di faglie incerte, sepolte o desunte da fotogrammetria, attribuendo alla variabile IF un punteggio intermedio. Per le faglie certe, riconosciute e misurate sul campo si è invece deciso di utilizzare un buffer di 50 metri per lato a cavallo del lineamento attribuendo alla variabile IF il valore maggiormente penalizzante.

Il parametro FD relativo alla presenza di fenomeni di dissoluzione non è invece stato considerato nella presente analisi, attribuendo dunque sempre il valore corrispondente all'assenza dello stesso. Si è optato per questa scelta in virtù delle caratteristiche geo-litologiche delle formazioni presenti nell'area di studio, che

APPALTAZIONE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 143 di 189

non essendo costituite da litotipi carbonatici (tranne che per l'alta Val Di Funes, nella quale non insistono sorgenti monitorate), risultano non suscettibili di fenomeni di erosione concentrata e/o carsismo.

TS – Tipo di sorgente

La definizione dei sistemi di flusso di alimentazione di una sorgente risulta di primaria importanza nell'analisi del suo rischio di impatto. Va da sé che sorgenti alimentate da flussi superficiali, prevalentemente impostati nei depositi quaternari potranno risentire in maniera lieve o nulla degli effetti provocati dallo scavo di una galleria posta a diverse centinaia di metri di profondità entro il substrato roccioso.

Al contrario sorgenti che presentano flussi alimentatori più complessi e profondi potrebbero essere maggiormente perturbate dallo scavo di un'opera in sotterraneo.

Sono infine identificabili sistemi di flusso misti la cui alimentazione risulta essere in parte profonda ed in parte superficiale, senza la possibilità di definire con precisione le proporzioni tra le due aliquote.

La definizione del tipo di sorgente è stata fatta basandosi sulle serie di dati derivanti dai monitoraggi effettuati o da quelli in corso di svolgimento considerando alcuni parametri fondamentali dei flussi campionati:

- Portata e sua variazione nel tempo (portate costanti nel tempo possono indicare alimentazioni più profonde, meno influenzate dal regime delle precipitazioni);
- Temperatura e sua variazione nel tempo, anche in funzione di quella dell'aria esterna (le temperature dei flussi profondi risultano molto meno influenzate dalle variazioni ambientali esterne);
- Conducibilità e sua variazione nel tempo (flussi con conducibilità costanti nel tempo possono indicare sistemi idrogeologici più sviluppati);
- Analisi isotopica tramite i parametri di $\delta^{18}\text{O}$ e δD per la definizione delle quote di ricarica di alcuni punti d'acqua (maggiore è il dislivello tra la quota di infiltrazione e quella di emergenza dei flussi, tendenzialmente maggiore risulterà il grado di maturità e sviluppo del circuito idrogeologico di alimentazione);
- Ubicazione della sorgente rispetto ai limiti del bacino idrogeologico (sorgenti poste in prossimità delle creste dei bacini risultano forzatamente appartenere alle classi più superficiali di flusso).

L'incrocio di tutti questi fattori ha permesso di stimare con ragionevole affidabilità il tipo di sorgente.

Per quanto riguarda i pozzi si è cercato di studiare, mediante l'analisi dei livelli, la possibile interconnessione di questi ultimi con la falda di sub-alveo determinata dalla circolazione idrica superficiale. Ciò è stato possibile poiché 14 dei 15 pozzi sono collocati in corrispondenza del fondovalle Isarco o Funes da cui sono alimentati, mentre solo uno è ubicato in depositi quaternari di versante nell'area di Laion.

DT – Distanza dal tunnel

La variabile indica la minor distanza intercorrente tra il punto d'acqua e il tracciato. Per valutare questo parametro si è eseguito un calcolo in ambiente GIS tenendo in considerazione sia la variazione planimetrica che altimetrica al fine di calcolare la minima distanza reale tra punto d'acqua e tracciato.

I ratings da attribuire alle diverse variabili sopra descritte sono sintetizzati dalla tabella che segue.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 144 di 189

ET - Effetto topografico

Questa variabile considera l'ubicazione del punto d'acqua lungo il versante (medesimo o opposto) rispetto alla posizione dell'opera. L'analisi di questo parametro prevede molteplici casi derivanti dalle reciproche variazioni di quota o versante tra il punto d'acqua e il tunnel così come mostrato in Figura 97.

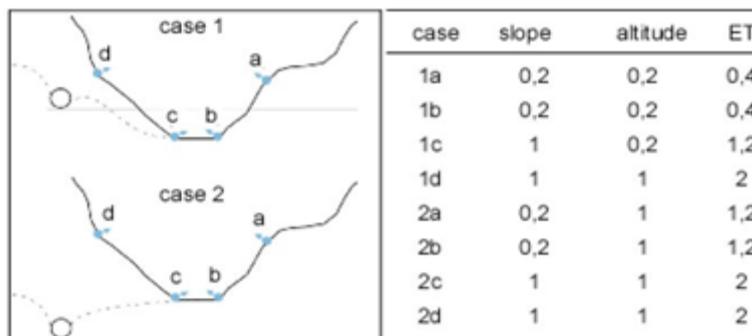


Figura 97: Esempificazione dello schema concettuale relativo al parametro ET.

I parametri relativi alla galleria vengono moltiplicati tra loro tramite un sistema statistico a pesi, mostrato in Figura 98 (in modo che la somma di tutti i pesi sia uguale a 100) per ottenere il parametro PI ovvero il *Potential of Inflow* o potenziale di drenaggio secondo la seguente formulazione:

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

I parametri IF e FD andrebbero invece sommati per definire la variabile PC (*Permeability Channels*) che però nel caso in questione può ridursi al solo fattore IF essendo FD nullo.

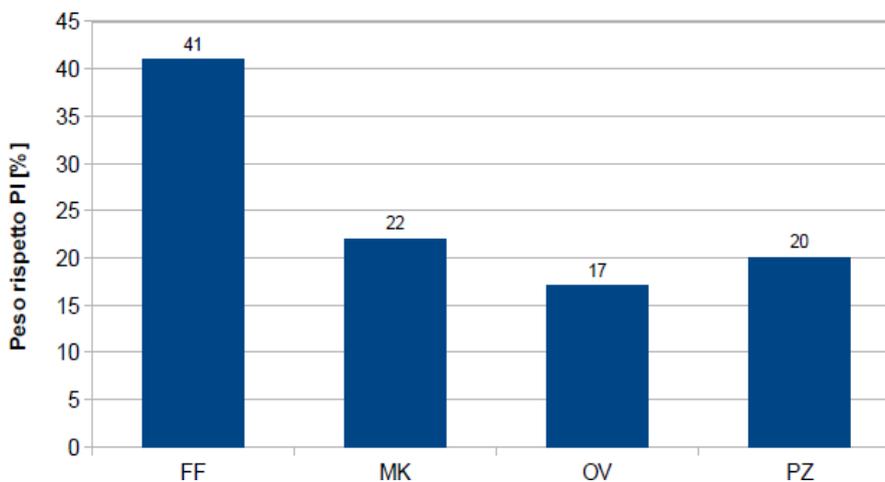


Figura 98: Grafico dei pesi da attribuire alle variabili del DHI.

L'espressione utilizzata per il calcolo finale del *Drawdown Hazard Index* (DHI) (applicando Torri et al., 2007) è dunque la seguente:

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

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 145 di 189

Tenendo conto della situazione peggiore possibile, il valore di DHI_{max} , considerando la sua moltiplicazione per un fattore 100, risulta uguale a 1461.

Per quanto attiene all'attribuzione dei valori propri delle diverse variabili si può fare riferimento alla tabella che segue.

Parametro	Descrizione	Classe	Valore	
PI	FF	Alta (fratturazione per faglie certe)	1	
		Bassa (fratturazione per faglie incerte)	0.6	
		Nulla (assenza di fratturazione)	0.1	
	MK	Permeabilità della roccia	Alta	0.9
			Medio-alta	0.7
			Media	0.5
			Medio-bassa	0.3
			Bassa	0.1
	OV	Spessore copertura	< 50 m	0.9
			50 m ÷ 100 m	0.5
			100 m ÷ 500 m	0.3
			> 500 m	0.1
	PZ	Ampiezza zona plastica	> 2 volte "r" tunnel	1
			< 2 volte "r" tunnel	0
	DT	Distanza dal tunnel	< 200 m	1.9
			200 m ÷ 500 m	1.7
			500 m ÷ 1000 m	1.5
			1000 m ÷ 5000 m	1.3
> 5000 m			0.5	
IF	Intersezione con faglie	< 50 m da faglie certe	2	
		< 15 m da faglie incerte	1.5	
		> 50m da faglie certe o > 15m da faglie incerte	1	
TS	Tipo di sorgente	Profonda	2	
		Mista	1.5	
		Superficiale	1	
ET	Effetto topografico	Stesso versante, quota maggiore	2	
		Stesso versante, quota minore. Altro versante, quota maggiore	1.2	
		Altro versante, quota minore	0.4	

Tabella 18: Valori per le variabili del DHI.

Secondo Dematteis et al. (2001), in funzione dell'indice DHI possono essere definite delle classi di pericolosità di interferenza in accordo con la tabella che segue.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	146 di 189

Range DHI	Classe di Pericolosità
< 0.1	Trascurabile
0.1 ÷ 0.2	Bassa
0.2 ÷ 0.3	Media
> 0.3	Alta

Tabella 19: Classi di pericolosità di interferenza in funzione dell'indice DHI (Dematteis et al. 2001).

Queste classi, come si può notare, non seguono un criterio di linearità rispetto all'indice DHI; esse sono state definite dagli Autori in funzione di case histories da essi studiate. Il significato è piuttosto intuitivo; per la classe di pericolosità "trascurabile" le probabilità di interferenza, seppur non possano essere dichiarate pari a zero, in sostanza sono estremamente ridotte; un impatto è pertanto da ritenersi improbabile. Per la classe di pericolosità "bassa" un impatto è possibile ma è ritenuto poco probabile. La pericolosità "media" implica che degli impatti sono probabili; la pericolosità alta implica invece che un impatto sia da considerarsi molto probabile.

9.2 RISULTATI DELLA VALUTAZIONE DI PERICOLOSITÀ DI INTERFERENZA

Le valutazioni di pericolosità di interferenza sono state eseguite assumendo che le opere in sotterraneo siano liberamente drenanti. Esse sono pertanto cautelative, dal momento che per le tratte a minor carico idraulico è previsto che le gallerie non originino alcun drenaggio.

9.2.1 Sorgenti

L'elenco tabellare di "Appendice 1 – interferenza sulle sorgenti" riporta gli esiti delle valutazioni di pericolosità tramite DHI per ognuna delle sorgenti censite. Assieme all'indice DHI vengono riportati i punteggi attribuiti ai vari parametri che concorrono alla valutazione. Sono inoltre forniti i dati indicativi di portata per i vari punti d'acqua e l'utilizzo del punto d'acqua ove noto dai rapporti di monitoraggio.

L'istogramma di Figura 99 mostra la distribuzione statistica delle sorgenti rispetto al grado di pericolosità di interferenza. Si osserva una netta prevalenza di sorgenti per le quali la pericolosità di interferenza è trascurabile o bassa, mentre per 15 punti si riscontra un grado di pericolosità medio e per 11 punti un grado di pericolosità alto.

Per le sorgenti a grado di pericolosità medio o alto vale la pena chiarire quali siano gli elementi che determinano la presenza di una significativa problematica di interferenza. Nel seguito, considerando i diversi punti d'acqua, a partire da nord e spostandosi progressivamente a sud, si forniscono dei chiarimenti in merito alle ragioni che hanno condotto alla definizione di un grado di pericolosità medio o alto.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 147 di 189

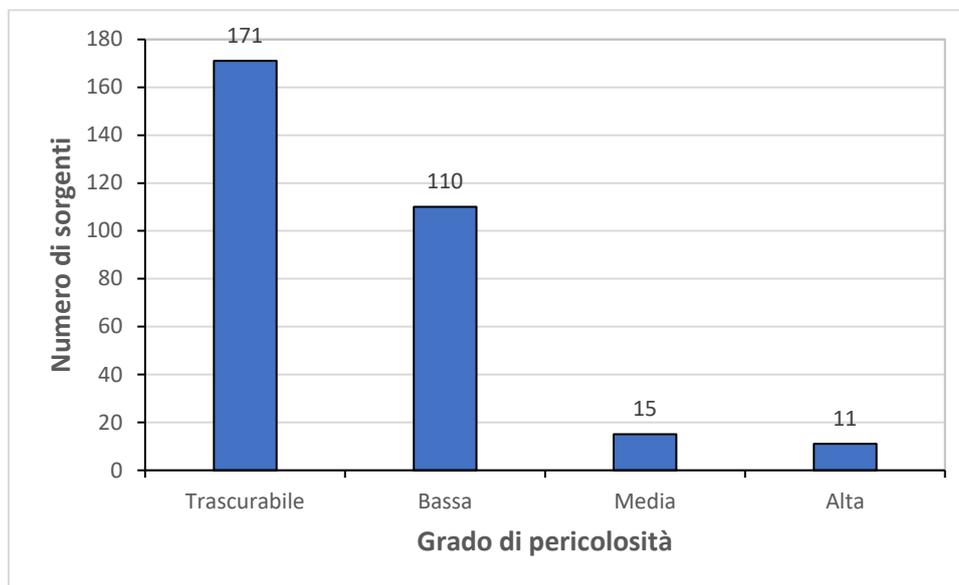


Figura 99: Istogramma illustrante il numero di sorgenti attribuibili alle diverse classi di pericolosità di interferenza.

Nel settore Scaleres nord – Finestra Forch (Figura 100), la sorgente B_000838 (uso domestico) è una sorgente presumibilmente legata ad un sistema di flusso superficiale, che però circola nei depositi posti al di sopra di un substrato roccioso relativamente permeabile, riferibile al complesso idrogeologico CGC. La sua distanza dal tracciato della Galleria Scaleres è ridotta, inoltre la galleria in questo settore è piuttosto prossima alla superficie. Per queste caratteristiche il grado di pericolosità associato alla sorgente è alto.

Le sorgenti B_000834 e B_000835 (uso idropotabile) sono sorgenti captate con portate molto rilevanti, per le quali non è possibile escludere un contributo da sistemi di flusso nel substrato, oltre che degli apporti dalle diffuse coltri detritiche di versante. Come illustrato al paragrafo 6.1.1, esse sono localizzate in corrispondenza dell'incrocio di due zone di faglia, di cui una costituisce l'estrema propaggine meridionale della importante Faglia del Rio Bianco. Queste faglie vengono anche intercettate dal tracciato della Galleria Scaleres e per questo motivo esistono elevate probabilità di interferenza.

La sorgente B_000828 (uso idropotabile) è localizzata lungo il Rio Spelonca ed è verosimilmente riferibile ad un sistema di flusso superficiale. Anche in questo caso è stato previsto un grado di pericolosità elevato per la presenza di una faglia nel substrato in corrispondenza del punto di emergenza; la medesima faglia viene intercettata dalla galleria Scaleres a poca distanza dalla sorgente.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 148 di 189

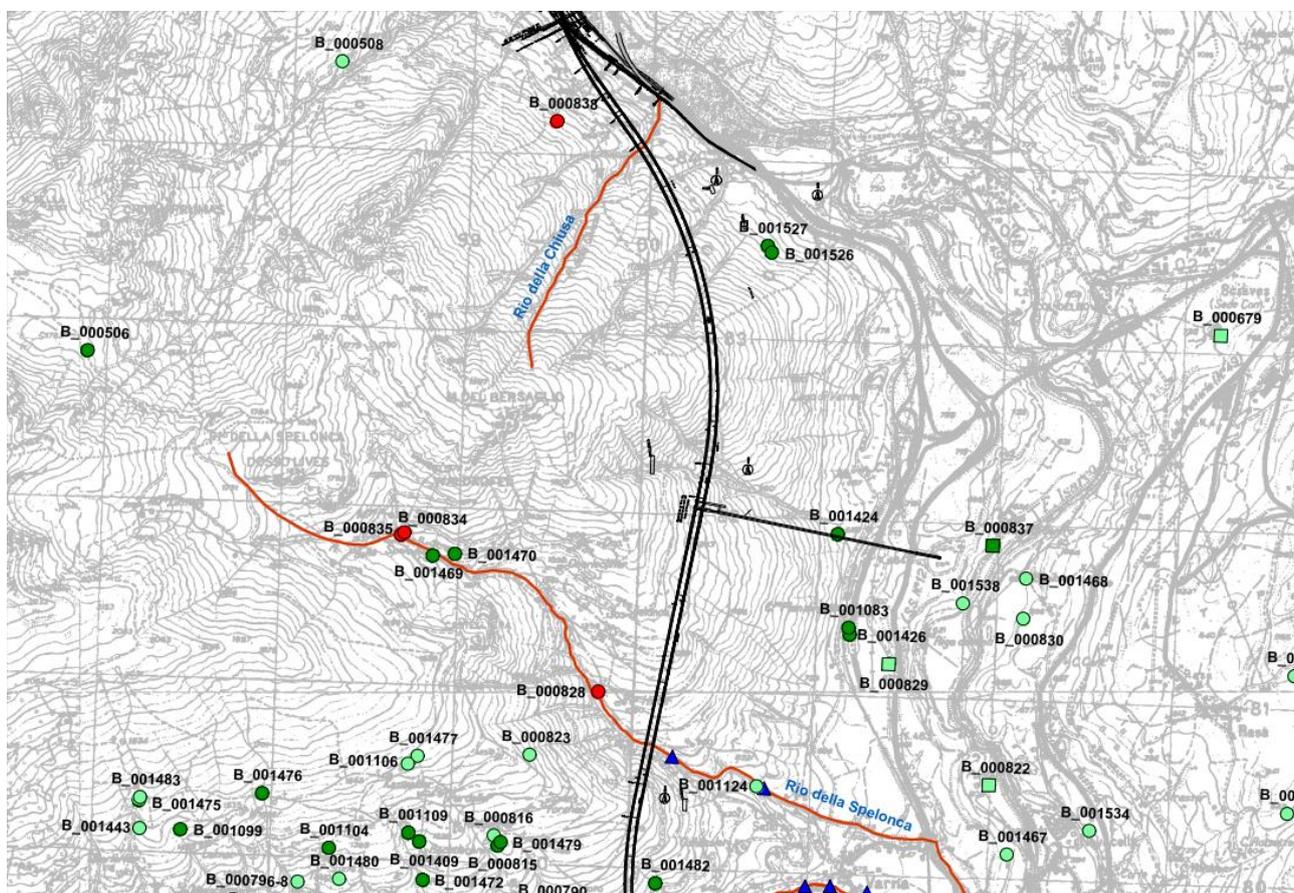


Figura 100: Situazione della pericolosità di interferenza sui punti d'acqua nel settore Scaleres nord – Finestra Forch.

Nel settore centrale della Galleria Scaleres non sono presenti risorse con grado di pericolosità elevata, con una sola eccezione, rappresentata dalla sorgente Gruberwiesen (B_000761; uso idropotabile). Per questa importante sorgente, trattata in dettaglio al paragrafo 6.1.2, esistono alcune incertezze in merito all'origine, nonostante che la maggior parte dei dati e la situazione geologica locale lascino supporre che si tratti di una sorgente superficiale. Essa si colloca tuttavia in prossimità di una zona di taglio cataclastica potenzialmente estrapolabile con continuità tra il punto di emergenza e il tracciato della Galleria Scaleres. Sebbene la proiezione della sorgente lungo la direzione di questa zona di taglio sul tracciato misuri circa 5 km, dalle stime di pericolosità si ottiene un grado di tipo medio. Questa valutazione è sicuramente da ritenersi conservativa, tuttavia, data la rilevanza della risorsa per l'approvvigionamento idropotabile locale, è ragionevole considerare la sensibilità della situazione.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	149 di 189

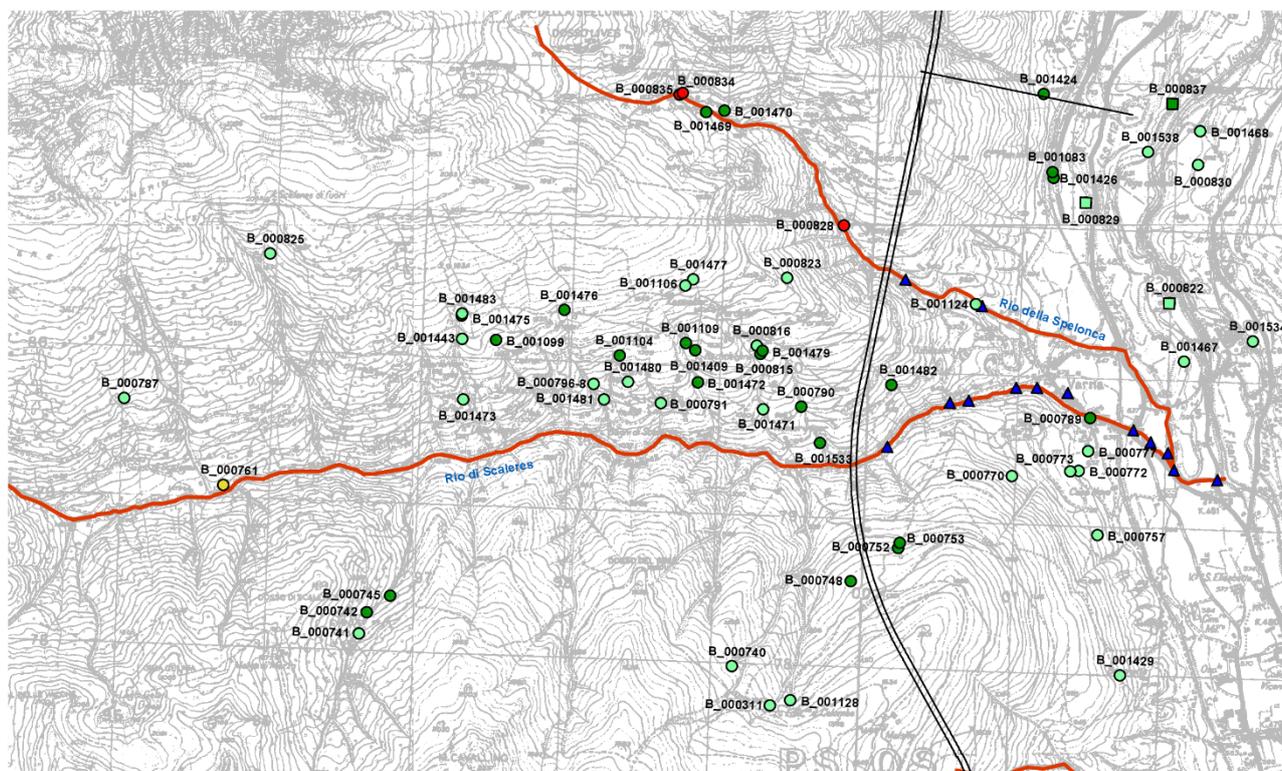


Figura 101: Situazione della pericolosità di interferenza sui punti d'acqua nel settore centrale della Galleria Scaleres.

Nel settore di Scaleres sud (Figura 102) la sorgente B_000157 (uso idropotabile) emerge a poca distanza dalla traccia in pianta della Galleria Scaleres e non si esclude che possa presentare una componente secondaria di flusso in substrato. Per questo motivo il grado di pericolosità per essa stimato è medio.

La sorgente B_000149 (uso irriguo/agricolo) è una sorgente probabilmente riconducibile a un sistema di flusso locale e superficiale, che però risulta a pericolosità alta poiché si trova sulla verticale del tracciato in corrispondenza di un canale presumibilmente impostato lungo una zona di faglia. La medesima faglia viene intersecata anche dal tracciato della galleria Scaleres.

La sorgente B_000148 (uso irriguo/agricolo) si colloca nello stesso contesto della sorgente B_000149. Rispetto a quest'ultima, che ha grado di pericolosità elevato, essa risulta avere un grado di pericolosità medio per la distanza leggermente maggiore e la maggior incertezza sulla presenza della zona di faglia che costituisce il fattore di pericolo.

La sorgente B_000857 (uso irriguo/agricolo) è stata dubitativamente indicata, in base alle sue caratteristiche fisiche, come una sorgente potenzialmente riferibile a circolazioni di tipo misto, e quindi parzialmente coinvolgenti il substrato roccioso (paragrafo 7.1.4.6). Essa si localizza inoltre in prossimità di una faglia che viene intersecata dal tracciato della Galleria Scaleres. L'insieme di queste caratteristiche ne determina un grado di pericolosità di interferenza alto.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	150 di 189



Figura 102: Situazione della pericolosità di interferenza sui punti d'acqua nel settore Scaleres sud.

Nel settore Gardena nord – Finestra Chiusa (Figura 103) le sorgenti B_001146, B_001147 e B_001240 (probabile uso irriguo/agricolo) presentano un TDS elevato, correlato però verosimilmente più a fenomeni di contaminazione che a tempi lunghi di interazione acqua/roccia (paragrafo 7.1.5). Cautelativamente non si può comunque escludere che esse abbiano un'origine mista da un sistema di flusso superficiale e da un sistema in substrato. Dal momento che la loro zona di emergenza è posta in corrispondenza della zona di sovrascorrimento di tipo cataclastico che mette a contatto la Formazione di Gudon con le filladi, esse sono da considerarsi a grado di pericolosità elevato, poiché la medesima zona di sovrascorrimento viene intercettata anche dalla Galleria Gardena.

La sorgente B_000385 (uso irriguo/agricolo) è una sorgente che presenta elevata salinità, presumibilmente per fenomeni di contaminazione antropica (paragrafo 7.1.5); tuttavia, dal momento che essa si colloca anche a ridosso di una zona di taglio cataclastica piuttosto importante (la medesima delle due sorgenti B_001146 e B_001147), non si può escludere che riceva parzialmente alimentazione dal substrato lungo tale faglia. Dal momento che la faglia viene anche intersecata dal tracciato della Galleria Gardena, la sorgente presenta un grado di rischio medio.

Le sorgenti B_001241 e B_001513 (uso irriguo/agricolo) sono sorgenti superficiali che però si trovano praticamente sulla verticale del tracciato; esse presentano pertanto un grado di pericolosità di tipo medio.

Le sorgenti B_001137 e B_001512 (uso irriguo/agricolo) si localizzano in prossimità di una zona di taglio cataclastico che sarà intersecata anche dalla Galleria Gardena. Le sorgenti appartengono verosimilmente a

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	151 di 189

circolazioni superficiali ma, essendo estremamente ridotta la loro distanza dal tracciato, il grado di pericolosità ipotizzabile è medio.

La sorgente B_000648 (uso idropotabile) è anch'essa una sorgente relativa a un sistema superficiale che si trova in corrispondenza di una zona di faglia in potenziale connessione idraulica con una importante zona di taglio a basso angolo intercettata dalla Galleria Gardena. Il grado di pericolosità è medio, nonostante la evidente possibile connessione idraulica con il tunnel, perché la sorgente non si trova sull'immediata verticale della galleria e si tratta di una sorgente di mezzo versante per la quale l'effettivo equilibrio idrodinamico con sistemi in roccia è dubbio.

Le sorgenti B_000649 (uso idropotabile) e B_000650 (uso domestico) sono delle sorgenti la cui composizione non indica alcuna anomalia significativa e sono pertanto attribuibili a sistemi di flusso superficiali. Esse emergono tuttavia in prossimità di una importante zona di taglio a basso angolo che viene intersecata anche dalle gallerie di interconnessione. Trattandosi di punti d'acqua non vicinissimi al tracciato il grado di pericolosità risulta essere di tipo medio.

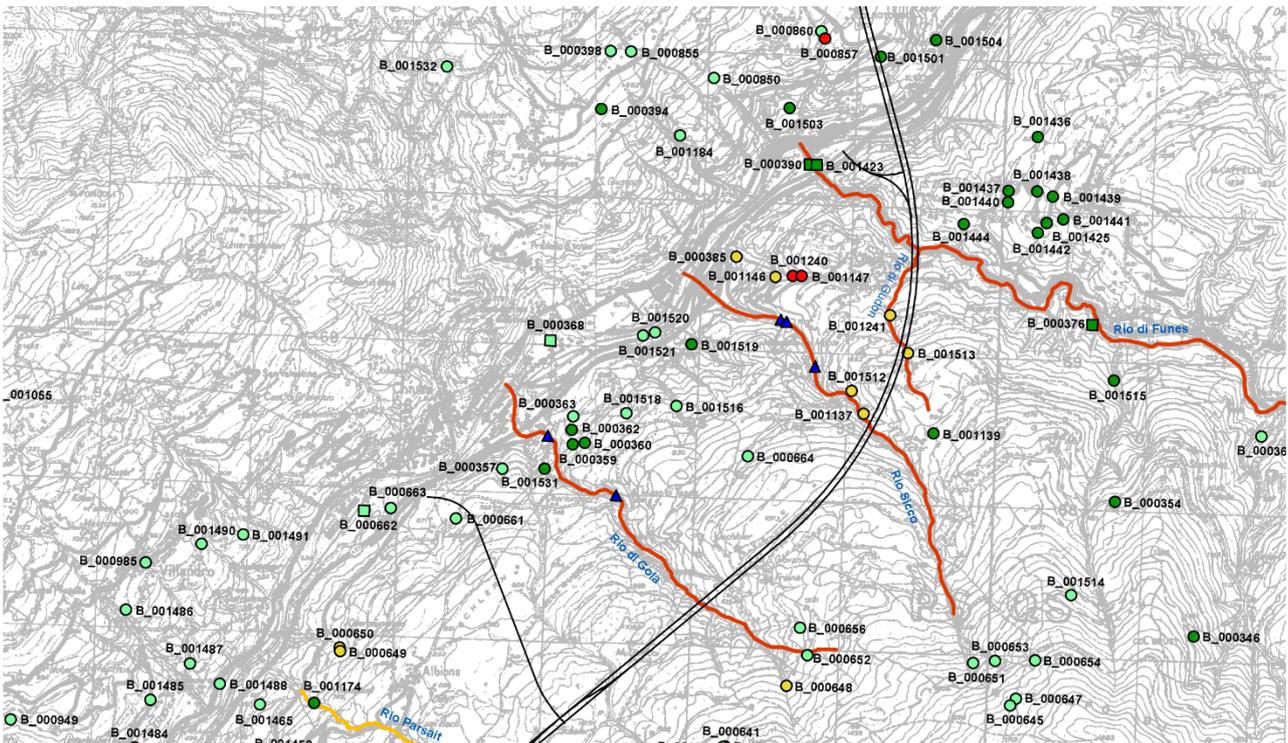


Figura 103: Situazione della pericolosità di interferenza sui punti d'acqua nel settore Gardena nord – Finestra Chiusa.

Nel settore Gardena sud – Interconnessioni (Figura 104) la sorgente B_000634 (uso pubblico emergenza) presenta pericolosità elevata poiché si colloca a ridosso della traccia in pianta di una zona di taglio cataclastica a basso angolo che viene intersecata sia dalla galleria Gardena che dalle due interconnessioni. Essa è stata cautelativamente interpretata come una sorgente mista, legata ad apporti dai depositi quaternari e forse

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 152 di 189

anche dal substrato; gli apporti dal substrato, a causa della presenza della suddetta zona di taglio potrebbero essere interessati da interferenze.

La sorgente B_000638 (uso idropotabile) è una sorgente riconducibile probabilmente ad un sistema di flusso superficiale, che però si colloca in prossimità di una importante zona di taglio cataclastica a basso angolo che viene intersecata anche dalle interconnessioni. Si tratta della medesima zona di taglio che determina l'elevata pericolosità per impatto della sorgente B_000634; nel caso della sorgente B_000638 la pericolosità di interferenza è media poiché la distanza rispetto al tunnel è maggiore.

La sorgente B_000595 (uso idropotabile) risulta a grado di pericolosità medio, dal momento che si colloca in un settore di substrato fratturato e a ridosso di una faglia ad alto angolo che viene intersecata anche dalle due interconnessioni.

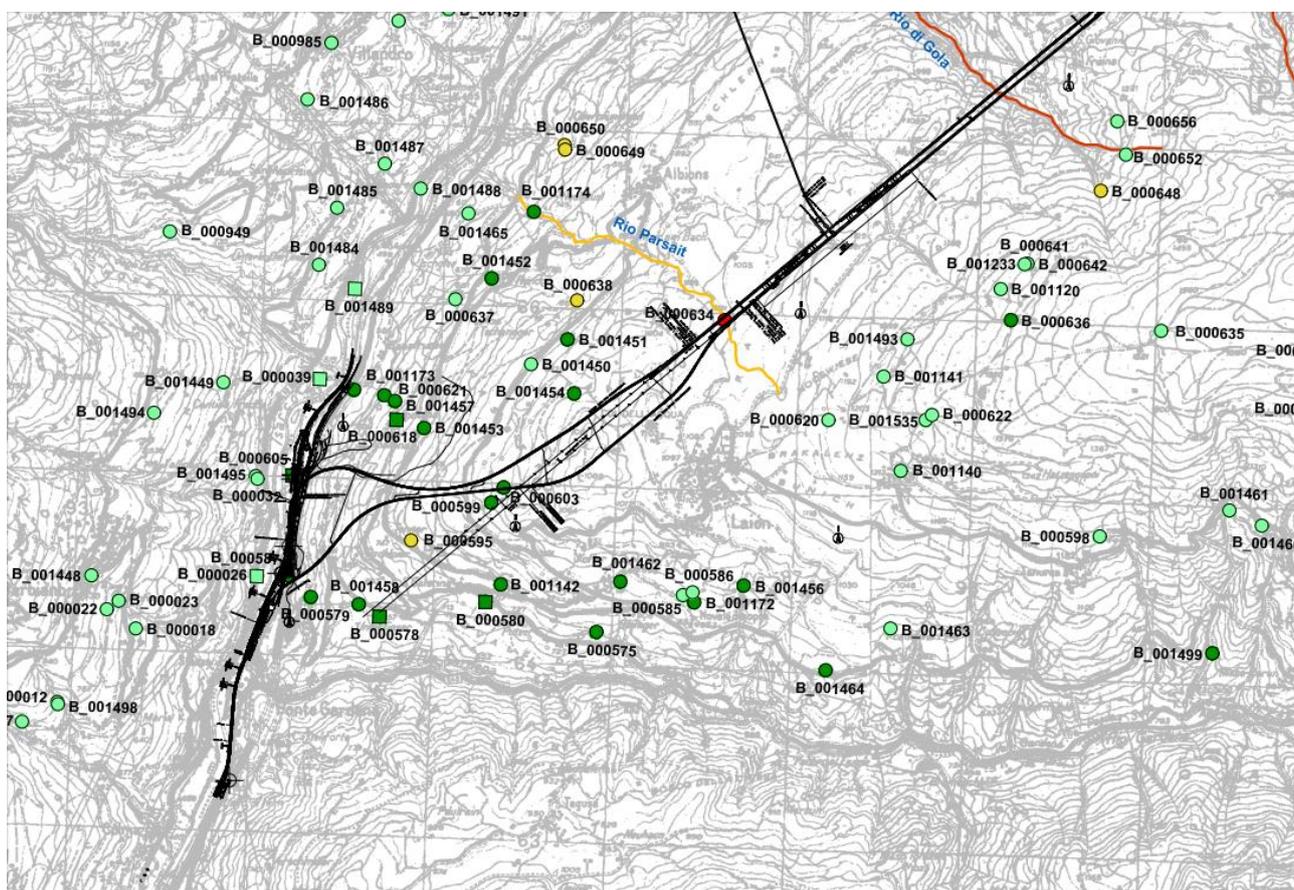


Figura 104: Situazione della pericolosità di interferenza sui punti d'acqua nel settore Gardena sud – Interconnessioni.

9.2.2 Pozzi

Anche per i pozzi è stato adottato il metodo DHI per la valutazione della pericolosità di interferenza, benché esso non sia stato sviluppato per questo tipo di captazioni. Tuttavia, dal momento che il metodo non fornisce risposte quantitative ma una stima di massima della probabilità di interferenza, esso può venire riadattato, ottenendo delle valutazioni che possono essere considerate accettabili per una pianificazione delle situazioni da gestire in termini di compensazioni.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 153 di 189

In effetti ai fini dell'applicazione del metodo, tutta la sezione di calcolo che riguarda il PI (*Potential of Inflow*) non differisce nel caso di un pozzo o di una sorgente, poiché essa riguarda principalmente l'intorno dell'opera. Gli altri parametri sono allo stesso modo derivabili se si prende in considerazione l'ipotetico posizionamento del tratto filtrante all'interno dell'acquifero captato.

I risultati delle stime per i pozzi sono riportati nella "Appendice 2 – interferenza sui pozzi" in forma tabellare. L'istogramma di Figura 105 mostra invece la distribuzione statistica dei pozzi rispetto alle quattro classi di rischio. Su 23 pozzi presi in considerazione nessuno presenta un grado di pericolosità di interferenza medio o alto; si valuta infatti che 13 pozzi non presentino significativi problemi di interferenza e che 10 pozzi abbiano delle probabilità comunque basse di venire perturbati.

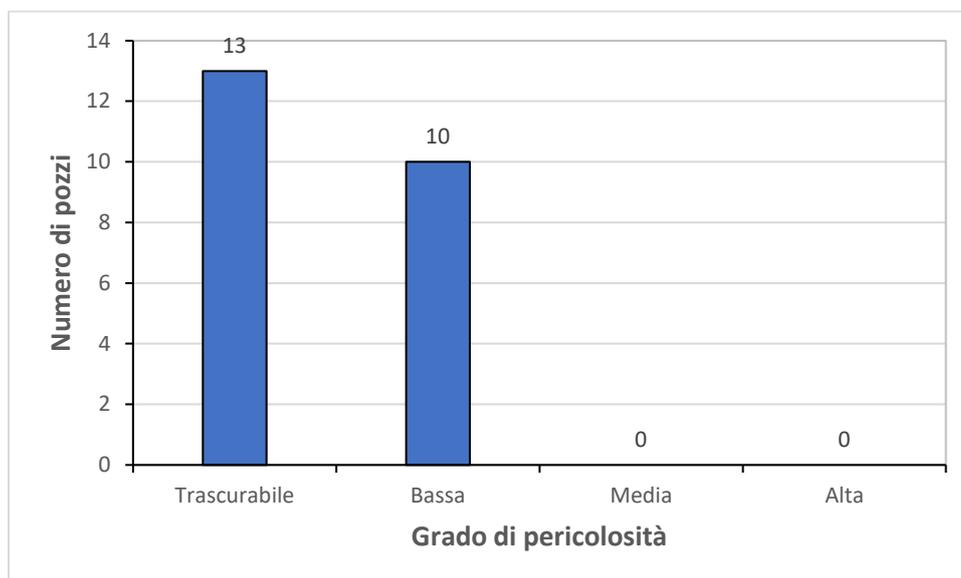


Figura 105: Iistogramma illustrante il numero di pozzi attribuibili alle diverse classi di pericolosità di interferenza.

9.2.3 Corsi d'acqua

Anche per i corsi d'acqua di superficie, nonostante il metodo del DHI sia nato per l'analisi di punti d'acqua sotterranea, si è proceduto ad adattarlo per consentire una stima della pericolosità di impatto. Per fare ciò si sono considerati i medesimi parametri utilizzati nell'analisi delle sorgenti e dei pozzi, valutando il punto più sfavorevole del corso d'acqua in relazione all'opera.

Poiché tutti i fiumi monitorati intersecano in superficie la traccia della galleria, il punto di intersezione è stato scelto come rappresentativo dell'intero corso d'acqua. Questa scelta è motivata dall'impossibilità di suddividere in molteplici tratti i corsi d'acqua, principalmente a causa delle loro limitate lunghezze e in secondo luogo in virtù dell'omogeneità pressoché totale che si riscontra dal punto di vista delle caratteristiche degli alvei fluviali, i quali scorrono quasi sempre in roccia e in maniera subordinata entro depositi quaternari di spessore rilevante.

Uno dei parametri discriminanti è stato quello relativo alla presenza lungo il corso torrentizio, e in particolar modo in corrispondenza dell'intersezione col tracciato, di lineamenti rilevati o incerti riportati in carta. Nel

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	154 di 189

caso di lineamenti certi o faglie maggiori (i.e. Scaleres, Funes) è stato dunque assegnato il parametro più penalizzante per i fattori IF e FF mentre in presenza di faglie incerte è stato utilizzato, come nel caso delle sorgenti, un punteggio intermedio per i due fattori. Ne è così scaturita la seguente classificazione di rischio dei corsi d'acqua (Tabella 20):

Rio	ID	TS	DT	ET	IF	PI				PI Tot	DHI	DHI Classe
						FF	MK	OV	PZ			
Snodres	B_000901	1	1.7	2	1.5	1	0.3	0.3	1	0.727	0.254	Medio
Perara	B_001130	1	1.9	2	2	1	0.3	0.3	1	0.727	0.378	Alto
Sicco	B_000365	1	1.7	2	2	1	0.3	0.3	1	0.727	0.338	Alto
Difesa	B_001113	1	1.7	2	1.5	0.6	0.3	0.3	1	0.563	0.196	Basso
Parsait	B_000639	1	1.5	2	2	1	0.3	0.1	1	0.693	0.285	Medio
Orso	B_000172	1	1.7	2	2	0.6	0.3	0.3	1	0.563	0.262	Medio
Tiles	B_000241	1	1.9	2	1.5	0.6	0.3	0.3	1	0.563	0.220	Basso
Scaleres	B_000802	1	1.9	2	2	1	0.3	0.3	1	0.727	0.378	Alto
Funes	B_001273	1	1.9	2	2	1	0.3	0.5	1	0.761	0.396	Alto
Chiusa	B_001080	1	1.9	2	2	1	0.3	0.5	1	0.761	0.396	Alto
Spelonca	B_000820	1	1.9	2	2	1	0.3	0.3	1	0.727	0.378	Alto
Gudon	B_001151	1	1.9	2	2	1	0.3	0.3	1	0.727	0.378	Alto
Gola	B_000353	1	1.7	2	2	1	0.3	0.3	1	0.727	0.338	Alto
Fossa	B_000290	1	1.9	2	2	1	0.3	0.3	1	0.727	0.378	Alto

Tabella 20: Tabella riassuntiva dei parametri di valutazione della pericolosità di impatto sui corsi d'acqua.

La definizione del grado di pericolosità per i corsi d'acqua indagati consente l'individuazione dei punti di derivazione da torrente a rischio. I punti individuati sono collocati lungo i corsi d'acqua a pericolosità alta ed a valle dell'intersezione tra tracciato e corso d'acqua (Tabella 21).

La distribuzione spaziale dei torrenti con il relativo grado di pericolosità e quella delle derivazioni poste sui torrenti è mostrata nella successiva Figura 106.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"
PROGETTAZIONE:		
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1BEZZ RG GE0000002 B 155 di 189	

Derivazioni da torrente a rischio alto				
Id	Quota (m. s. l. m.)	Uso	Denominazione	Portata (L/s)
B_001080	755	n.n.	Rio della Chiusa	-
B_000289	787	irriguo	Rio della Fossa	-
B_000290	950	irriguo	Rio della Fossa	-
B_000122	766	irriguo	Rio della Perara	0.05
B_001130	546	n.n.	Rio della Perara	-
B_000820	758	forza motrice	Rio della Spelonca	33
B_000824	912	irriguo	Rio della Spelonca	3.3
B_000353	759	irriguo a scorrimento	Rio di Gola	2
B_000361	583	n.n.	Rio di Gola	-
B_000771	581	scopo vario	Rio di Scaleres	18
B_000775	599	forza motrice	Rio di Scaleres	15
B_000778	794	n.n.	Rio di Scaleres	-
B_000780	606	n.n.	Rio di Scaleres	-
B_000782	613	n.n.	Rio di Scaleres	-
B_000788	621	idroelettrico	Rio di Scaleres	38
B_000793	739	forza motrice	Rio di Scaleres	150
B_000794	720	irriguo	Rio di Scaleres	45
B_000800	662	idroelettrico	Rio di Scaleres	247
B_000801	691	domestico	Rio di Scaleres	5
B_000802	678	idroelettrico	Rio di Scaleres	247
B_000365	720	n.n.	Rio Sicco (Zicker B.)	-
B_000371	631	irriguo	Rio Sicco (Zicker B.)	0.7
B_000372	624	irriguo	Rio Sicco (Zicker B.)	0.75

Tabella 21: Elenco delle derivazioni ad alto rischio.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 156 di 189

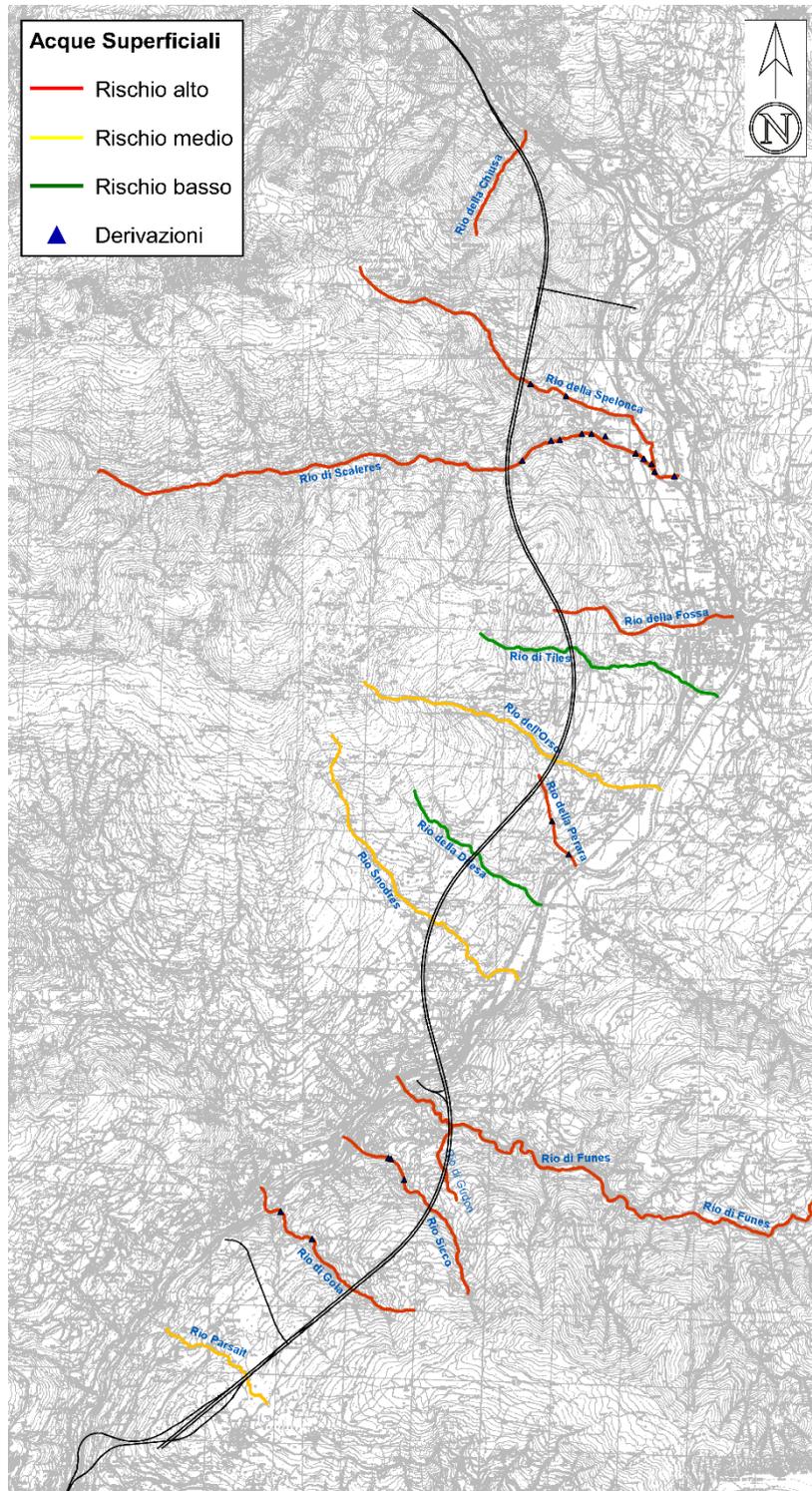


Figura 106: Distribuzione spaziale dei torrenti e delle derivazioni da torrente a rischio.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	157 di 189

9.2.4 Compensazioni

Come illustrato al paragrafo 9.2.1, esistono delle sorgenti che presentano un grado di pericolosità di tipo medio o elevato, e per le quali vi sono dunque elevate probabilità che lo scavo della galleria determini significative riduzioni della portata. Per tali sorgenti, ove di importanza rilevante ai fini idropotabili o per altre ragioni, sono state previste delle soluzioni compensative. Tali soluzioni non sono l'oggetto di questo rapporto, in quanto vengono approfonditamente illustrate in un'apposita relazione di progetto. Nella maggior parte dei casi esse consistono nell'allacciamento delle utenze alimentate dalle risorse interferite a una rete acquedottistica alternativa, previa verifica della disponibilità di risorsa in eccesso.

Nel caso della sorgente Gruberwiesen, che presenta portate molto significative ed è difficilmente compensabile attraverso l'allacciamento a una rete alimentata da altre sorgenti, è stato invece previsto che la compensazione avvenga attraverso la realizzazione di un nuovo pozzo di emungimento nell'acquifero di fondo valle. L'ubicazione del pozzo è riportata in Figura 107. Per quest'opera di emungimento è stata prevista una profondità di 70m, anche in funzione delle ipotetiche caratteristiche dell'acquifero descritte di seguito e che dovranno essere meglio definite in fase di progettazione di dettaglio.

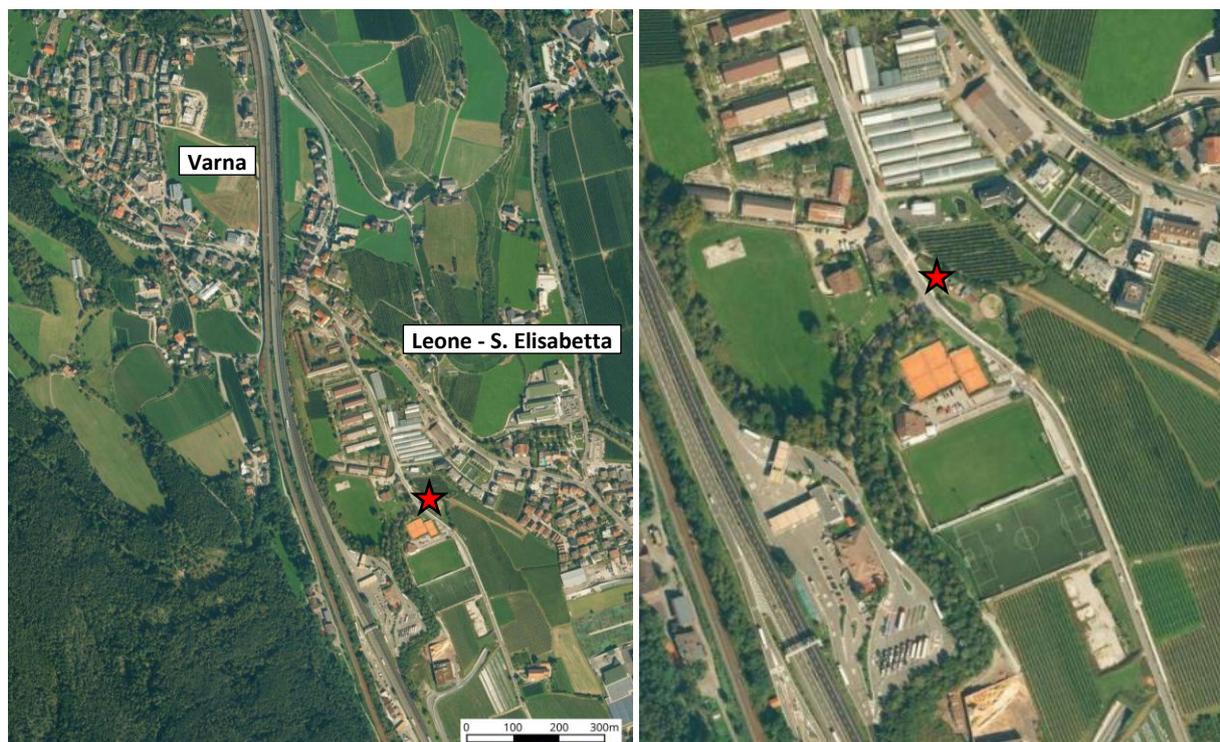


Figura 107: Ubicazione del pozzo previsto per la compensazione della sorgente Gruberwiesen (Stella rossa); l'immagine di destra è un dettaglio di quella di sinistra.

La Figura 108 mostra l'ubicazione del pozzo rispetto al contesto geologico; come si può notare il pozzo cade nel fondo valle dell'Isarco, in prossimità del piede del versante sinistro idrografico, all'interno dei depositi alluvionali recenti riferibili, dal punto di vista idrogeologico, al complesso CAL (Complesso alluvionale; Figura 109). Si tratta quindi di depositi costituiti da ciottoli e blocchi eterometrici in una matrice ghiaioso-sabbiosa

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 158 di 189

con subordinati livelli da metrici a pluri-metrici a granulometria sabbiosa e sabbioso-limosa. Tali terreni sono caratterizzati da una permeabilità elevata, che può variare da 1×10^{-5} a 1×10^{-3} m/s. Si noti (Figura 109) che in prossimità del punto di ubicazione prescelto è già segnalata la presenza di due pozzi ad uso industriale per i quali ad oggi non si hanno informazioni.

Ad oggi non sono state eseguite indagini dirette specifiche nell'area prevista per il nuovo pozzo e non si dispone pertanto di una stratigrafia di dettaglio. Tuttavia, si può ipotizzare che lo spessore dell'acquifero in depositi alluvionali in questo settore sia piuttosto elevato, dell'ordine di alcune decine di metri. Delle indicazioni a tal proposito possono essere desunte dalla banca dati sondaggi presente sul *geobrowser* della Provincia Autonoma di Bolzano (<https://maps.civis.bz.it/?context>). Un estratto della banca dati è visibile in Figura 110.

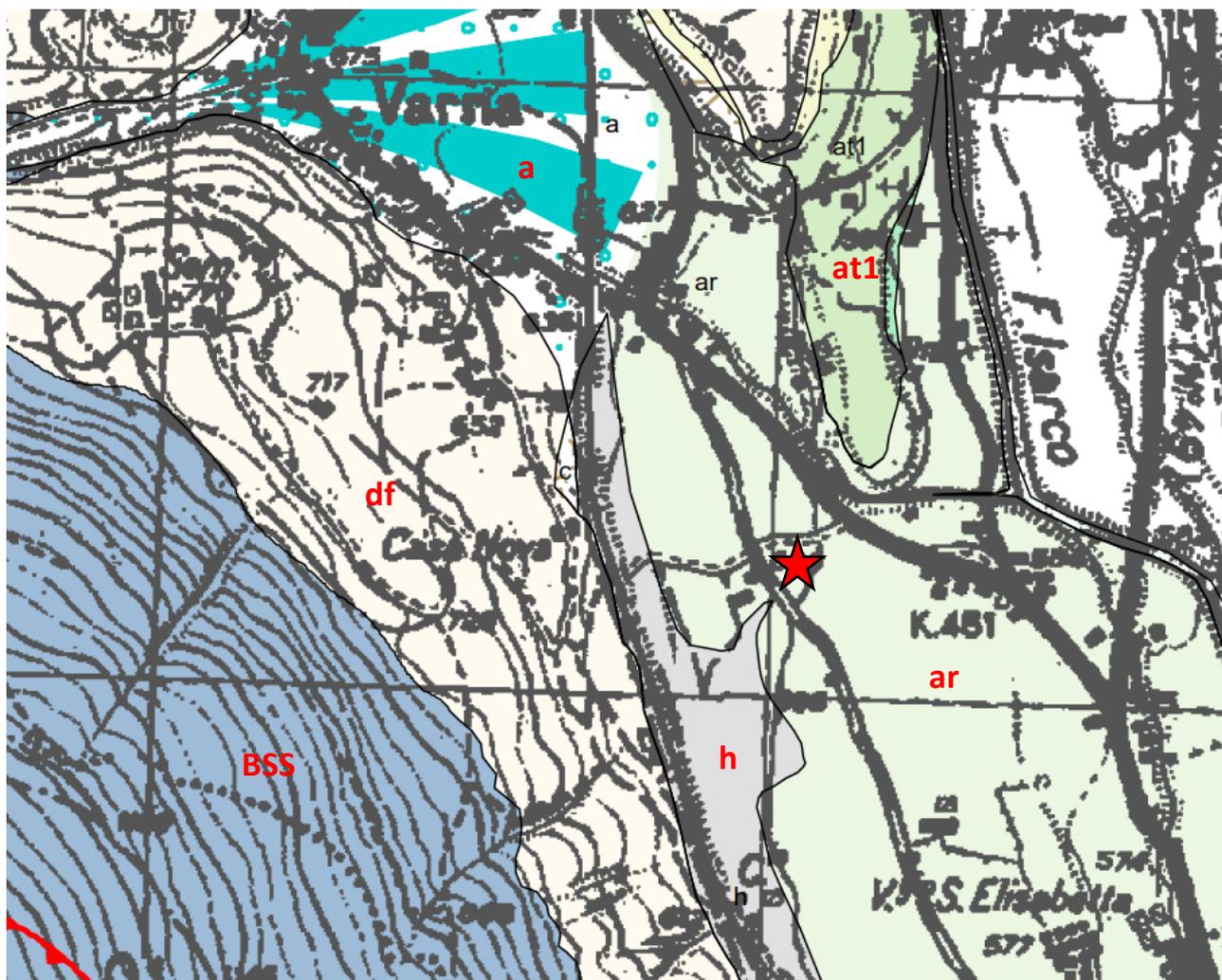


Figura 108: Stralcio della carta geologica di inquadramento di Progetto Esecutivo con ubicazione del pozzo (stella rossa); h=depositi antropici, a=depositi alluvionali di conoide, ar=depositi alluvionali recenti della valle principale, df=depositi fluvio-glaciali, at1= depositi alluvionali antichi, BSS=filladi e filladi quarzose (substrato pre-quaternario).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 159 di 189

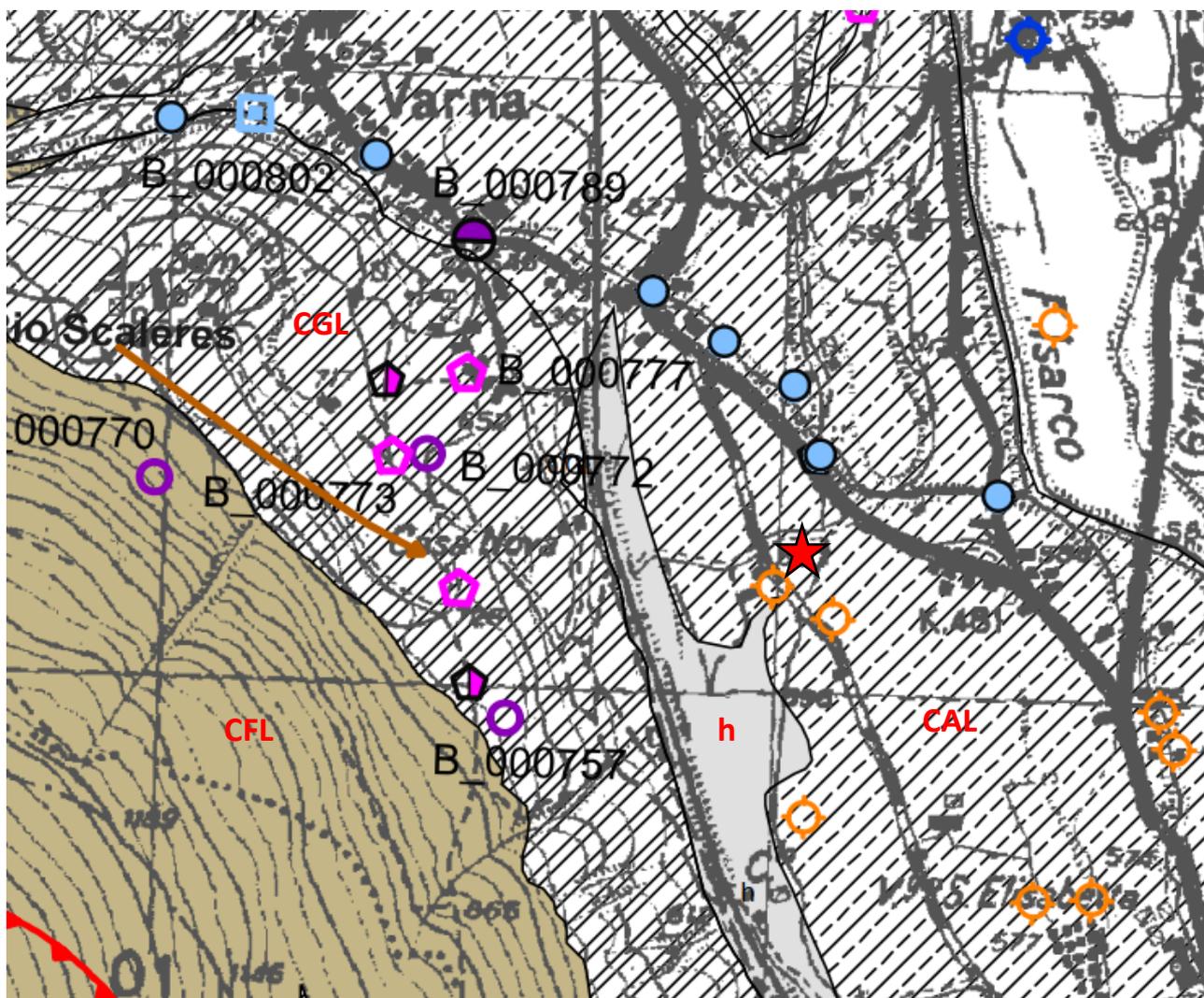


Figura 109: Stralcio della carta idrogeologica di inquadramento di Progetto Esecutivo con ubicazione del pozzo (stella rossa); h=depositi antropici, a=depositi alluvionali di conoide, ar=depositi alluvionali recenti della valle principale, df=depositi fluvio-glaciali, at1= depositi alluvionali antichi.

Nell'intorno del punto di ubicazione del nuovo pozzo sono presenti alcuni sondaggi di lunghezza piuttosto modesta e variabile dai 15 ai 30m. L'unica informazione disponibile al momento è che nessuno di questi sondaggi ha intercettato il substrato roccioso.

Il sondaggio con codice 58824 ha invece una profondità di 120m e, sulla base delle informazioni, nemmeno questa indagine ha intercettato il substrato roccioso. La posizione rispetto al versante sinistro della valle, nonché rispetto all'asse vallivo medesimo, non differisce di molto rispetto a quella del nuovo pozzo; esso risulta solo moderatamente più spostato verso il centro della valle. In ogni caso, sulla base di questa informazione, è ragionevole ipotizzare che lo spessore dell'acquifero in depositi alluvionali sia dell'ordine di varie decine di metri e verosimilmente anche di un centinaio di metri. Dal momento che in prossimità del piede del versante i depositi alluvionali si trovano in contatto laterale con depositi fluvio-glaciali (df), non si

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 160 di 189

può escludere che le parti più profonde dell'acquifero siano costituite da questi materiali, che tuttavia non differiscono di molto in termini di permeabilità rispetto ai depositi alluvionali recenti.

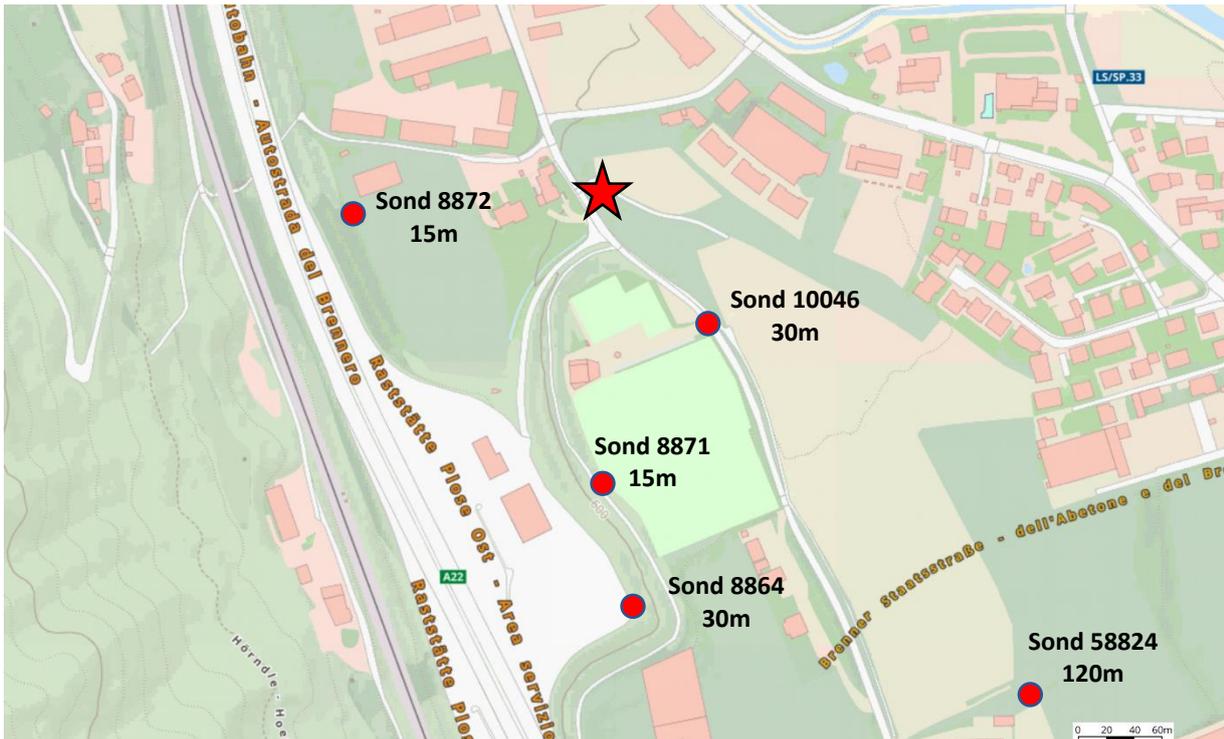


Figura 110: Estratto dal Geobrowaser della Provincia Autonoma di Bolzano con ubicazione dei sondaggi (cerchi rossi) più prossimi al pozzo in progetto (stella rossa).

Date le caratteristiche litologico-stratigrafiche del complesso in cui il pozzo verrà realizzato, si ipotizza che all'interno dell'acquifero non esistano compartimentazioni significative se non a livello molto locale. Pertanto, si può ipotizzare che la falda dei depositi di fondovalle sia una falda a superficie libera, verosimilmente in equilibrio idrodinamico con il corso d'acqua principale e con il Rio Scaleres.

Per quanto attiene alla qualità attesa per le acque di emungimento, trattandosi di una falda scarsamente protetta, non si può escludere che debba essere prevista l'installazione di un sistema di potabilizzazione.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 161 di 189

10. ASPETTI GEOTERMICI

La stima di un modello geotermico per la tratta Fortezza - Ponte Gardena ha come scopo principale quello di valutare le temperature ipotizzabili al piano della galleria. Il modello è stato elaborato basandosi sull'analisi dei log di temperatura misurati nelle acque presenti all'interno dei fori di sondaggio profondi della campagna 2017.

I fattori che condizionano il gradiente geotermico sono numerosi. Da un lato la conduttività delle rocce, che varia in funzione della loro natura e delle condizioni fisiche al contorno (densità e temperatura, i.e. profondità); dall'altro i processi di esumazione e denudamento che determinano l'avvezione di calore attraverso un trasferimento di massa.

Come mostrato da Jaboyedoff (1999) la conduttività delle rocce influenza significativamente il gradiente geotermico verticale. Assumendo che essa non vari sensibilmente con la profondità entro i valori delle coperture topografiche massime previste nei progetti di tunnelling in ambiente alpino, i gradienti registrati possono variare notevolmente per litotipi con caratteristiche fisiche differenti (Figura 111).

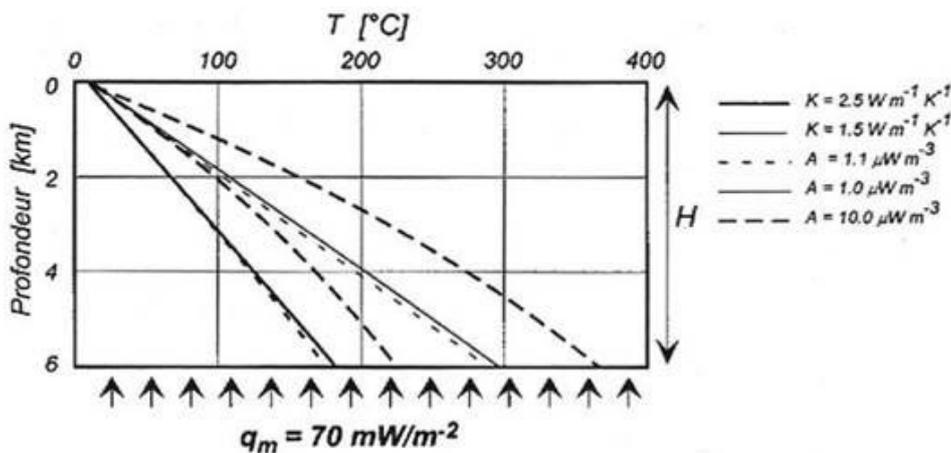


Figura 111: Andamento delle temperature con la profondità per differenti valori di conduttività sotto la condizione imposta della presenza di un flusso di calore q pari a 70 mW/m^2 ed una temperatura superficiale T_0 di 10°C . Da Jaboyedoff (1999), modificato da Rybach (1986).

Nella Tabella 22 vengono riportati i valori di conducibilità termica per litotipo, estratti dal sito della Provincia autonoma di Bolzano, Agenzia provinciale per l'ambiente.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 162 di 189	

Tipo di sottosuolo	Conducibilità termica W/(mK)	Rendimento specifico W/m
Sottosuolo scadente (terreno sciolto)	<1,5	<25
Roccia o terreno sciolto saturo d'acqua	1,5 - 3,0	60
Roccia con elevata conducibilità termica	>3,0	84
Ghiaia, sabbia secca	0,4	<25
Ghiaia, ghiaia saturo d'acqua	1,8 - 2,4	65 - 80
Calcere, massiccio	2,8	55 - 70
Arenaria	2,3	65 - 80
Granito	3,4	65 - 85
Gneiss	2,9	70 - 85

Tabella 22: Valori di conducibilità termica specifici per ogni litotipo (da <http://ambiente.provincia.bz.it/acqua/calore-geotermico.asp>).

In generale è assodato sperimentalmente che, eccettuate le prime centinaia di metri, la temperatura vari in maniera praticamente lineare (Figura 111) con la profondità entro i 1500-2000 m (Birch, 1950, 1954; Jaboyedoff, 1999). Al contrario, nei primi 50-100 m il gradiente di temperatura è piuttosto variabile.

10.1 ANALISI DEI DATI

La stima delle temperature che potranno essere incontrate a quota galleria è stata sviluppata a partire dai log termici disponibili per i sondaggi profondi realizzati in fase di Progetto Definitivo.

Di seguito viene riportata la planimetria con l'ubicazione dei sondaggi profondi 2017 nei quali sono stati eseguiti i log di temperatura analizzati (Figura 112).

I dati di input, rappresentati dai log di temperatura misurati nei fori di sondaggio, sono utilizzabili solamente a partire dal livello idrico registrato al momento dell'acquisizione. I dati di temperatura sono stati quindi assunti come rappresentativi del gradiente geotermico verticale e caratteristici del settore di appartenenza. L'analisi di dettaglio ha comportato, per ogni singola misura, la correzione della profondità di partenza in cui il dato è da considerarsi valido:

- EP2, EP8 ed EP9 mostrano un incremento di temperatura lineare con la profondità a partire dalla quota ove è stata rinvenuta la falda nel corso del log.
- EP3, EP4, EP6, EP7 ed EP11 evidenziano l'esistenza di una interazione tra la temperatura dell'aria e quella dell'acqua nei primi 10 m sotto il livello idrico.
- EP10, nei primi 96 metri di profondità, si compone di uno strato di depositi quaternari, nei quali la temperatura varia in maniera repentina a causa della differenza di conducibilità termica dei litotipi e delle interazioni tra acque ipogee con il substrato roccioso fratturato.

Di seguito vengono riportate le elaborazioni dei log di temperatura rappresentate in funzione della profondità da piano campagna.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	163 di 189

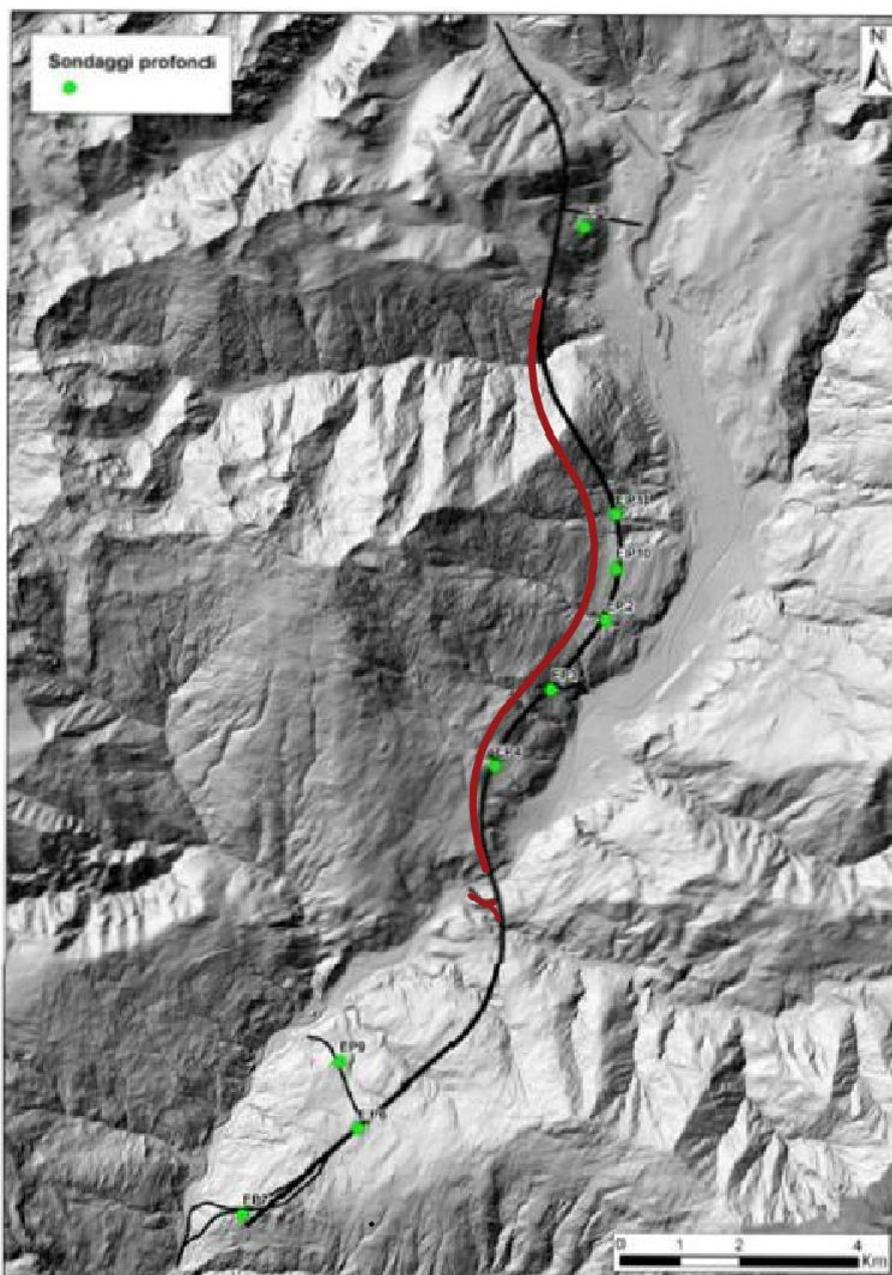


Figura 112: Planimetria con ubicazione dei sondaggi profondi 2017 con log termico; in nero il tracciato di PD, in rosso le varianti adottate in sede di PE.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 164 di 189

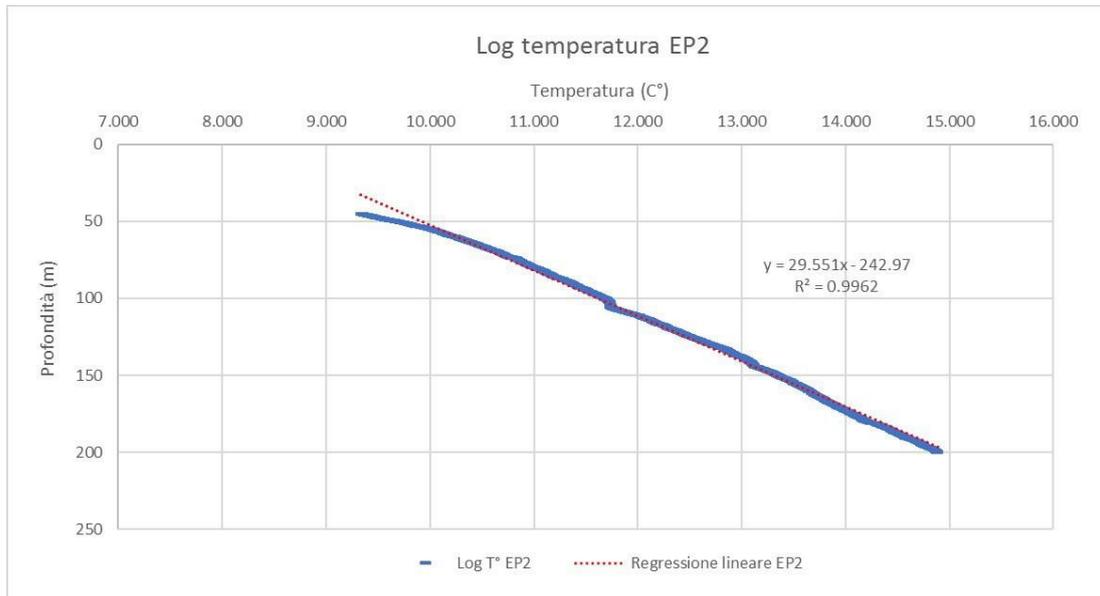


Figura 113: Log di temperatura EP2.

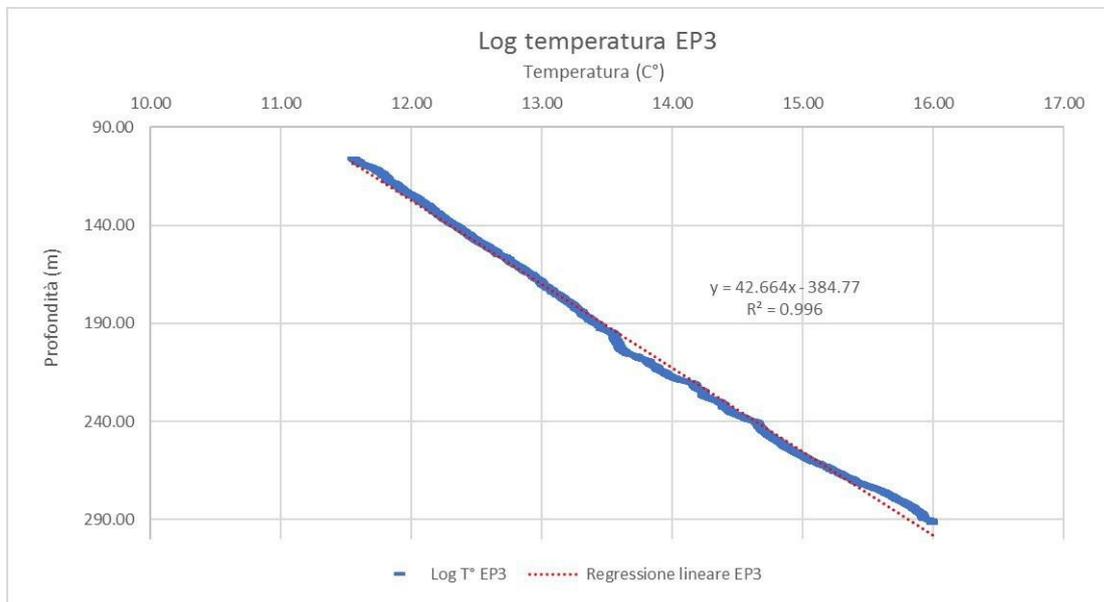


Figura 114: Log di temperatura EP3.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	165 di 189

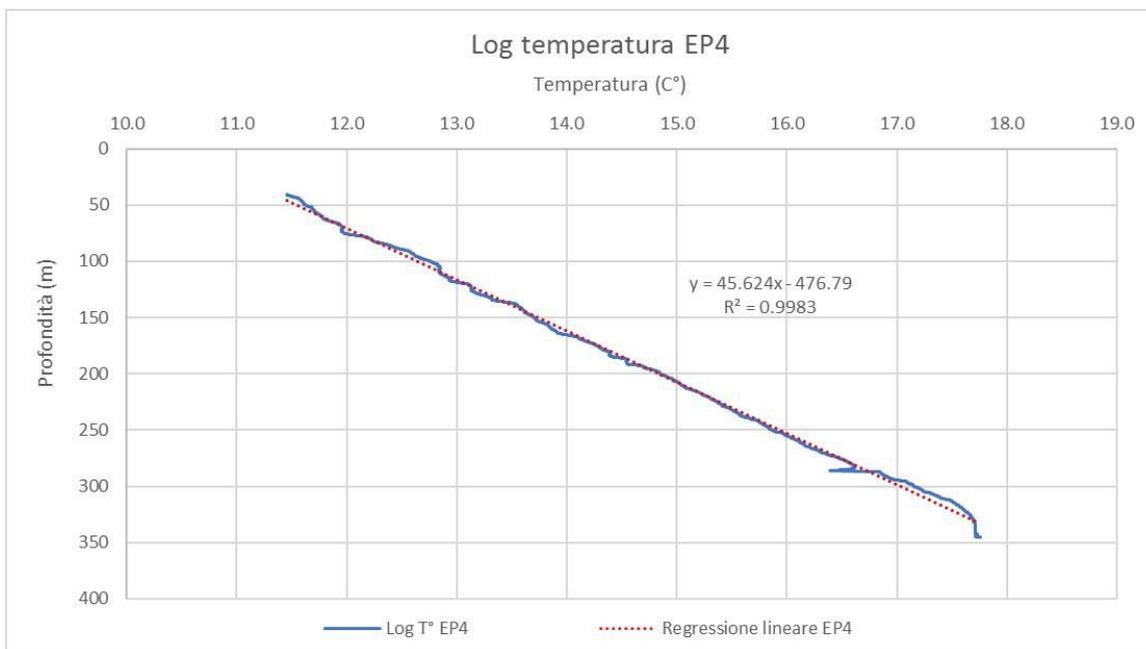


Figura 115: Log di temperatura EP4.

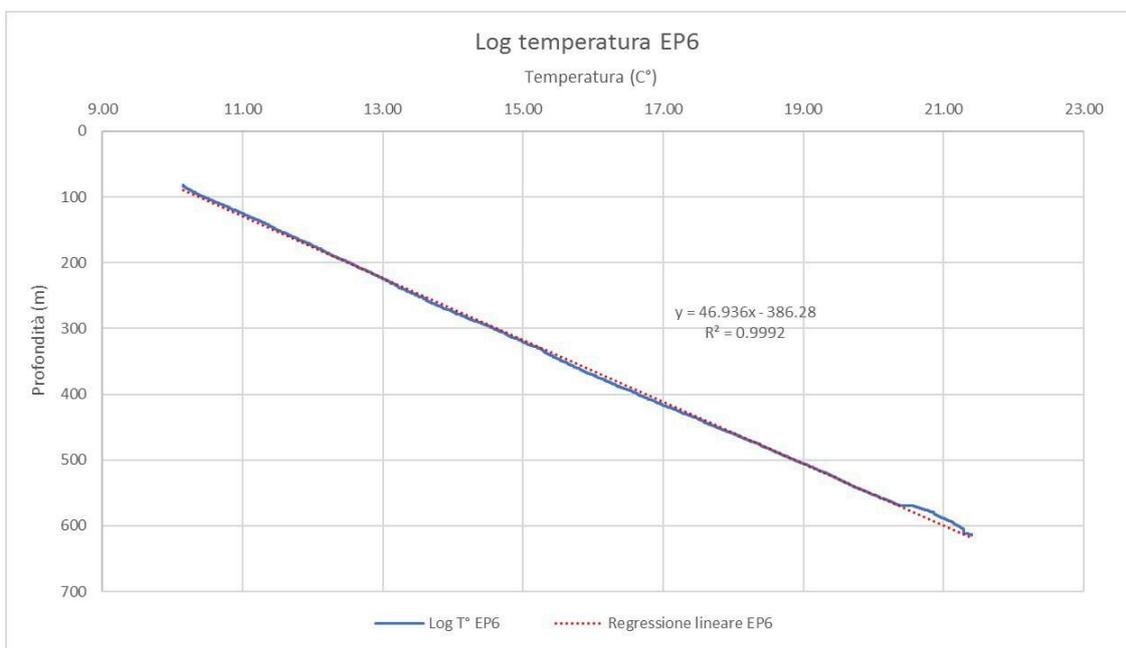


Figura 116: Log di temperatura EP6.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	166 di 189

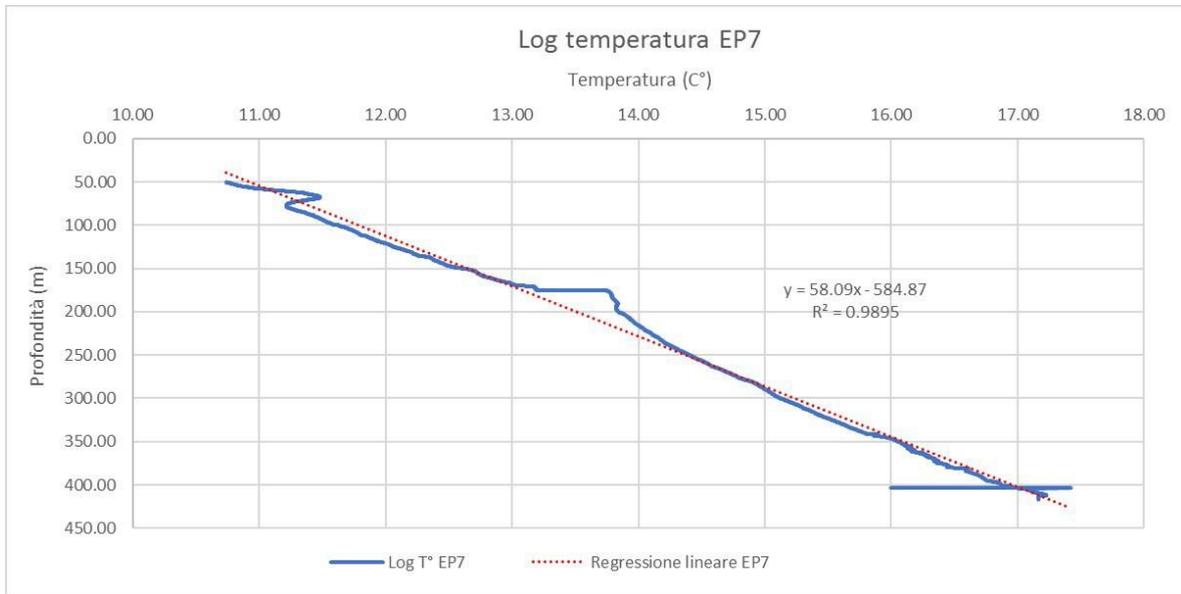


Figura 117: Log di temperatura EP7.

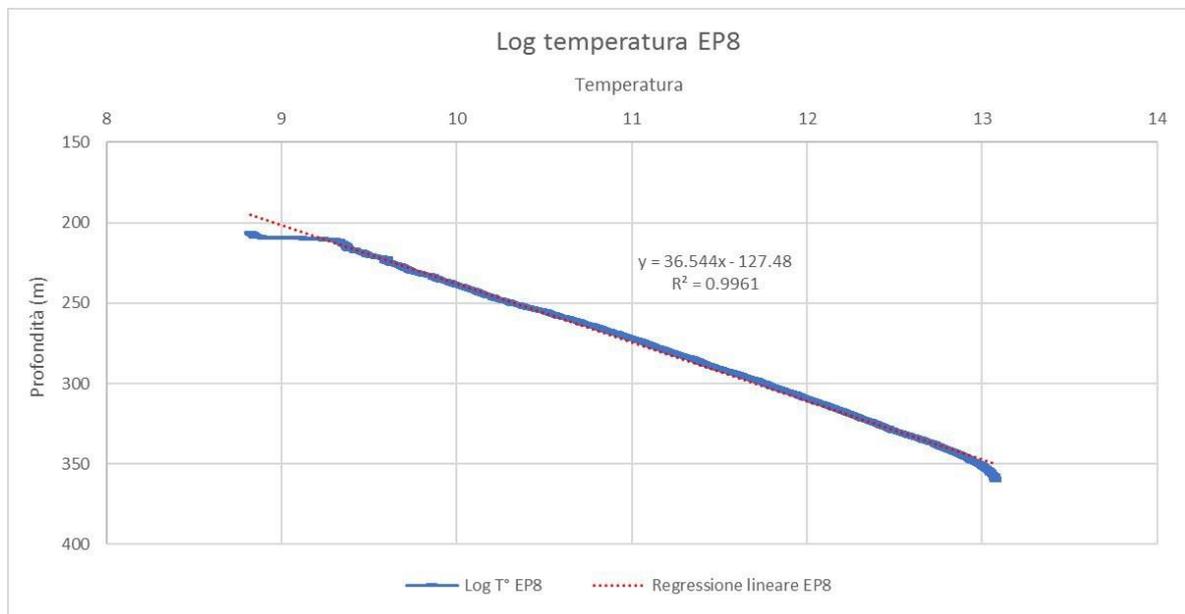


Figura 118: Log di temperatura EP8.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 167 di 189

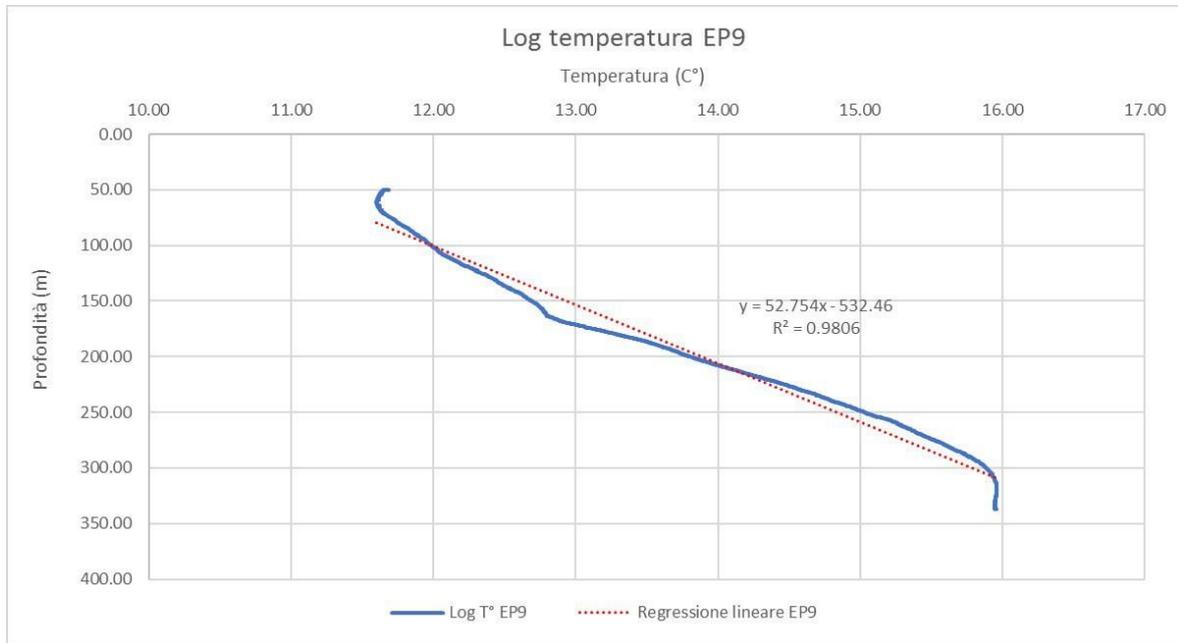


Figura 119: Log di temperatura EP9.

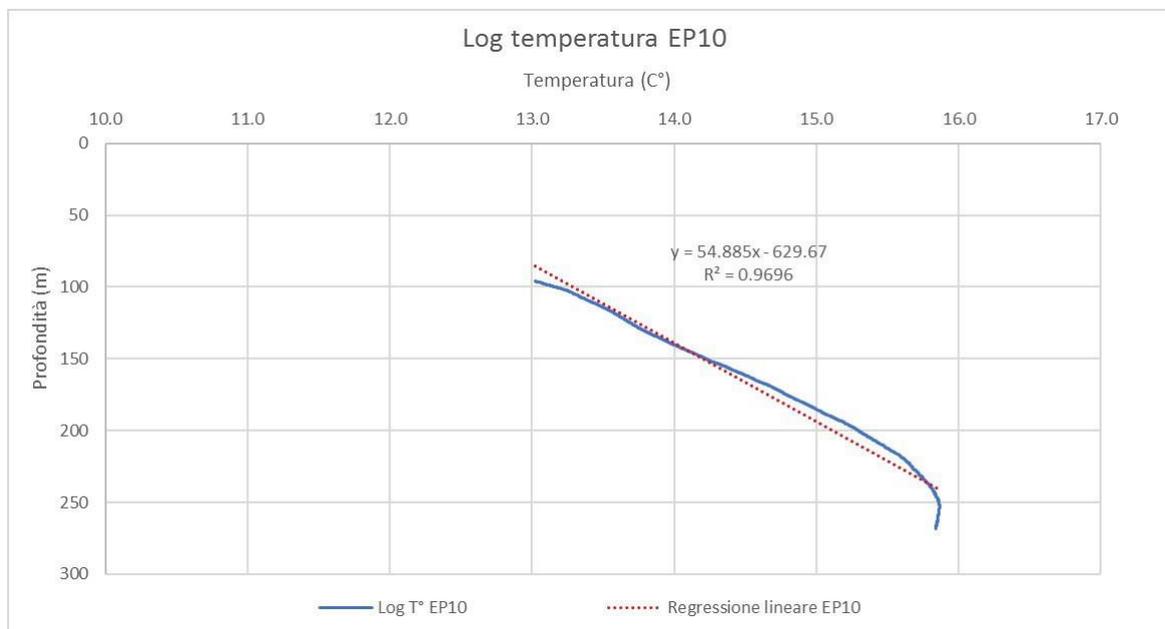


Figura 120: Log di temperatura EP10.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 168 di 189

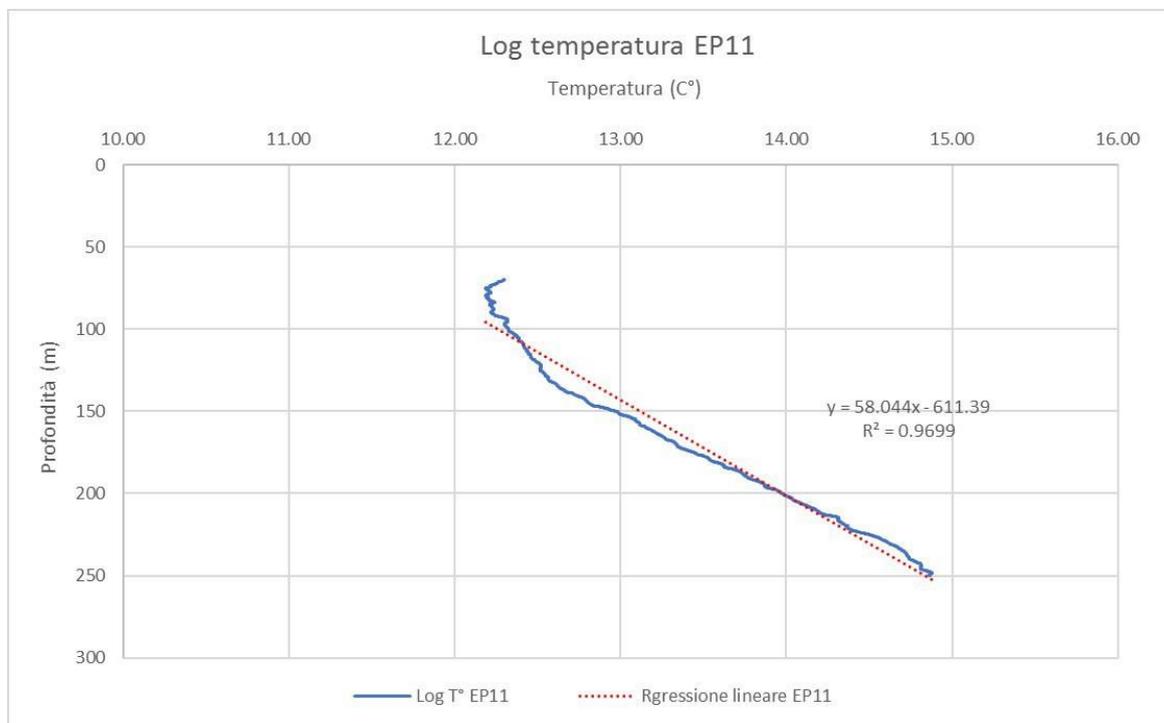


Figura 121: Log di temperatura EP11.

Le regressioni lineari ottenute dall'elaborazione dei dati mostrano un R^2 medio di 0.99. Tale risultato è perfettamente coerente con quanto osservato da Jaboyedoff (1999), e mostra come la temperatura aumenti in maniera lineare con la profondità.

Al fine di definire i gradienti geotermici non disturbati da circolazioni idriche ascendenti o discendenti che implicano rispettivamente anomalie locali con incrementi o diminuzioni rispetto gradiente geotermico effettivo, è possibile considerare i tratti lineari delle precedenti curve. In questa maniera si ottengono i seguenti gradienti geotermici ai vari punti di indagine:

- Sondaggio EP2 – 32,4°C/km
- Sondaggio EP3 – 23,9°C/km
- Sondaggio EP4 – 22,3°C/km
- Sondaggio EP6 – 21,7°C/km
- Sondaggio EP7 – 17,7°C/km
- Sondaggio EP8 – 24,2°C/km
- Sondaggio EP9 – 17°C/km
- Sondaggio EP10 – 26,3°C/km
- Sondaggio EP11 – 15,8°C/km

In generale si tratta di gradienti geotermici piuttosto bassi, che si collocano quasi sempre al di sotto dei 30°C/km, ovvero al di sotto di un gradiente generalmente preso come riferimento per settori caratterizzati

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	169 di 189

da flussi geotermici sostanzialmente normali e non affetti da particolari processi tettonici, geotermici o idrotermali.

Questi gradienti geotermici generalmente inferiori a quello consueto non stupiscono alla luce del contesto in cui i sondaggi e più in generale l'opera, si collocano, ovvero quello di un versante montano che, a causa della sua inclinazione tende a riscaldarsi meno con la profondità rispetto ad un contesto piano.

I gradienti inferiori ai 20°C/km sono gradienti anomali perché decisamente bassi. La loro origine non è sempre ben definibile. Nel caso del sondaggio EP7, esso si colloca in un settore di substrato detensionato nella parte corticale ed è quindi possibile che l'ammasso venga mantenuto in stato di raffreddamento dalle abbondanti acque circolanti nella parte superficiale. Per i sondaggi EP9 ed EP11 i bassi gradienti medi sono condizionati dalla presenza di una tratta iniziale dei log con gradienti molto bassi verosimilmente a causa di circolazioni di acque fredde.

Per quanto attiene invece al gradiente più alto in assoluto osservato nel sondaggio EP2 ed equivalente a 32,4°C/km, i motivi che lo determinano non sono chiari. Il log presenta una parte iniziale della curva con gradiente molto alto, che probabilmente influenza il risultato medio.

Assumendo comunque per la zona un gradiente medio di 25°C/km, l'aumento di temperatura che si ottiene andando dalla superficie a quota tunnel nella tratta con maggior copertura della Galleria Scaleres, pari a circa 800m (km 7+400 ca.), sarebbe di 20°C. La temperatura effettiva a quota galleria dipende dalla temperatura media che si assume in superficie. In assenza di dati certi si può ipotizzare che tale temperatura oscilli fra i 5 e 10°C. La temperatura effettiva massima risultante a quota tunnel è quindi dell'ordine di 25-30°C. In tutto il resto del tracciato le temperature saranno inferiori a questo limite massimo.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	170 di 189

11. ASPETTI LEGATI ALLE EMISSIONI GASSOSE

Le considerazioni che seguono riguardano la potenziale presenza dei seguenti gas: metano, acido solfidrico, biossido di carbonio, azoto e radon.

11.1 METANO

La formazione di metano (CH₄) nel sottosuolo è legata alla deposizione di sedimenti ricchi di sostanza organica e alla loro decomposizione. I due meccanismi principali di formazione del gas sono riconducibili all'azione batterica, generalmente a basse profondità e in ambiente lacustre (metano biogenico) e per maturazione termica (metano termogenico) che si forma a seguito di una determinata storia deposizionale e di seppellimento ad alte profondità.

A seguito della deposizione di materia organica, a seconda delle condizioni del bacino sedimentario, la materia organica può essere ossidata, formando CO₂ e acqua, in ambiente aerobico, mentre può sviluppare idrocarburi in ambiente anaerobico (lacustre o bacini anossici s.l.).

Sedimenti depositati in ambienti anaerobici, e successivamente seppelliti in bacini subsidenti, seguono una determinata serie di eventi per cui si formano olio, gas e, infine, carbonio puro: le diverse fasi sono note come diagenesi, catagenesi e metagenesi.

Al termine della diagenesi nella roccia si forma il kerogene, materiale base dei processi di formazione di olio e gas. Con l'aumentare della subsidenza, e il conseguente aumento della profondità di seppellimento della roccia, il kerogene viene riscaldato in funzione del gradiente geotermico del bacino. A seconda della temperatura e pressione in cui il kerogene si trova, nella roccia si formano determinati tipi di idrocarburi oleosi che evolvono in idrocarburi gassosi secondo un processo detto cracking durante le fasi di catagenesi e metagenesi (Figura 204). Il metano è l'ultimo idrocarburo prodotto durante questo processo. Con l'aumentare della temperatura si generano anche gas come il biossido di carbonio, l'acido solfidrico o l'azoto. Una volta oltrepassata la temperatura limite di 150°, il metano si scinde liberando ioni H⁺ e depositando nella roccia grafite (atomi di carbonio).

Se sussistono le condizioni adeguate, gli idrocarburi lasciano la roccia madre e migrano verso oggetti geologici chiamati trappole. Le trappole, di varie tipologie, sono funzione dell'assetto strutturale di sito. Se non sono presenti trappole, o un adeguato sigillo stratigrafico (livelli impermeabili), gli idrocarburi vengono dispersi nei sedimenti o, talvolta, in superficie manifestando fuochi perenni o rivoli oleosi.

Le rocce presenti nell'area di studio ed attraversate dalle gallerie in progetto, sono costituite da magmatiti e metamorfiti. Per queste rocce, essendosi formate a temperature maggiori di 150°, non appare in linea di massima possibile la presenza di metano poiché il gas, una volta raggiunti 150° effettua l'ultima decomposizione liberando ioni idrogeno e depositando grafite (Figura 122). Non sono state altresì riscontrate zone di basamento cristallino in grado di funzionare come trappola per idrocarburi durante i rilievi in sito.

Si deve tuttavia anche tenere conto che in alcuni contesti alpini esistono giacimenti di carbone all'interno di rocce che hanno subito trasformazioni metamorfiche tipiche dell'anchizona e anche della facies scisti verdi (Zona Houiller Brianzonese nelle Alpi occidentali). In questi ambiti, all'interno di coltivazioni minerarie per lo sfruttamento del carbone, l'intersezione con sporadiche sacche di grisutose era frequente. Nel contesto delle filladi carboniose della zona di Funes, benché certamente non confrontabile con contesti ove sono presenti

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	171 di 189

coltivazioni di carbone, non può comunque essere esclusa con certezza la presenza di modeste sacche grisutose.

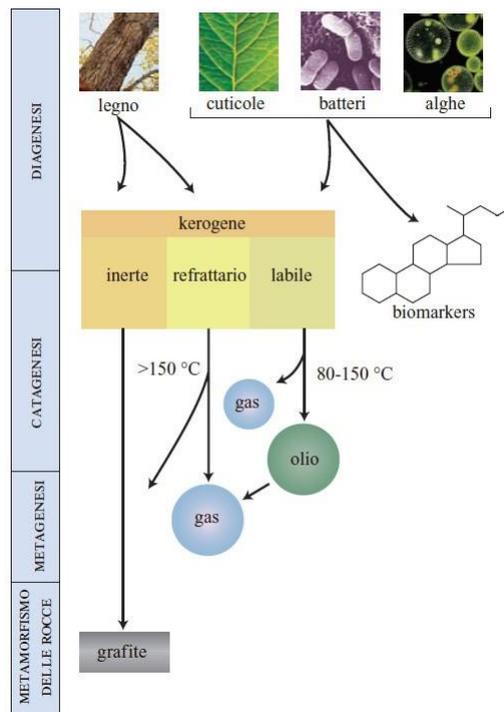


Figura 122: Processo di formazione degli idrocarburi.

11.2 ACIDO SOLFIDRICO

L'acido solfidrico (H_2S) è un gas incolore che presenta un caratteristico odore di uova marce quando in basse concentrazioni, mentre è sostanzialmente inodore ad alte concentrazioni. Si trova nel petrolio, nei gas naturali, nei gas vulcanici e nelle sorgenti di acqua calda. La sua formazione avviene a temperature minori di $80^\circ C$ attraverso reazioni di riduzione di solfati e solfuri da parte di batteri. La riduzione del solfato produce solitamente modeste quantitativi di H_2S .

Come accennato in precedenza, H_2S si forma anche tramite processi termochimici a temperature elevate (cracking del kerogene e dei composti solforati presenti nel petrolio grezzo). Durante lo stadio di metagenesi H_2S può venir prodotto anche dalla reazione di zolfo o solfato con idrocarburi. Percentuali di H_2S fino al 90 % della fase gassosa, si sviluppano a partire da temperature di $110-140^\circ C$ attraverso la riduzione non-biologica, termochimica dei solfati. Come componenti di partenza devono essere disponibili solfato (generalmente da anidrite) e idrocarburi (generalmente gas condensati).

Nella tratta in esame molte delle rocce contengono solfuri potenzialmente soggetti a fenomeni di riduzione che determinano lo sviluppo di acido solfidrico; tuttavia, l'intercettazione di importanti sorgenti di gas in queste condizioni dovrebbe essere associata a sistemi di flusso sufficientemente attivi da liberare significative quantità di gas. Ad oggi non sono note sorgenti con emissioni di acido solfidrico nella regione quindi non vi

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica		IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	172 di 189

sono indizi di sistemi di flusso in grado di generare rilevanti quantità di gas. Tuttavia, la presenza di sacche di acido solfidrico, benché poco probabile non può essere esclusa.

11.3 BIOSSIDO DI CARBONIO

Il biossido di carbonio (CO₂) è un componente frequente nei gas naturali. Biossido di carbonio di origine organica si forma per effetto di attività batterica a modeste profondità (decomposizione di materiale organico, respirazione nella zona radicale), e attraverso la decomposizione termogenica di kerogene a più elevate profondità. Fenomeni di metamorfismo su rocce carbonatiche e fenomeni magmatici rappresentano una sorgente di CO₂ inorganica. Nel caso della CO₂ inorganica, che si produce a grandi profondità, essa può venire veicolata verso la superficie dalle zone di faglia regionali. In genere in queste situazioni la dissoluzione della CO₂ nelle acque di falda determina la presenza di sorgenti con emissioni gassose e acque a pH acido.

Nella zona in esame l'unica origine possibile per la CO₂ sarebbe proprio quella legata alla presenza di faglie e in particolare l'unico elemento tettonico di importanza regionale che potrebbe originare flussi di CO₂ è rappresentato dalla Faglia di Funes. Lungo questa struttura non sono note situazioni di emissione di CO₂, pertanto, benché il rischio di incontrare sacche di questo gas non possa essere del tutto escluso, può sicuramente essere ritenuto basso.

11.4 AZOTO

La presenza di azoto (N₂) è da ricondurre sostanzialmente, in condizioni di diagenesi, all'aria presente nelle acque intrappolate nelle rocce. Un'altra causa può essere rappresentata dall'ossidazione di ammonio di origine diagenetica. Nel corso della metagenesi N₂ viene rilasciato per effetto della decomposizione di kerogene. Non si prevede la presenza di quantità significative di azoto nel sottosuolo dell'area di progetto.

11.5 RADON

Il radon è un gas nobile radioattivo naturale discendente dal decadimento dell'uranio, elemento radioattivo presente in concentrazioni variabili in tutta la crosta terrestre. La sua concentrazione in atmosfera è molto bassa essendone rapidamente diluito; tuttavia, in alcuni ambienti chiusi può accumularsi costituendo così un sensibile rischio per la salute.

I litotipi in grado di emettere Radon sono riconducibili alle serie vulcaniche, magmatiche e al basamento metamorfico. I litotipi dell'area di esame, con particolare riferimento alle rocce granitoidi e plutoniche in genere, sono pertanto potenzialmente predisposti a generare questa sostanza.

Studi effettuati dall'Agenzia provinciale per l'ambiente (Provincia autonoma di Bolzano), il cui sunto è mostrato in Tabella 23, riportano che vi siano diverse concentrazioni di radon nei diversi comuni attraversati dalle opere in progetto:

- Comune di Fortezza (codice 32), ove affiora il Granito di Bressanone, mostra valori di concentrazione di radon >400 Bq/m³;
- Comune di Varna (codice 111), ove affiora il basamento metamorfico, mostra valori di concentrazione di radon <200 Bq/m³;

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 173 di 189

- Comune di Bressanone (codice 11), ove affiorano il basamento metamorfico e, limitatamente, le Granodioriti di Tiles, mostra valori di concentrazione di radon compreso tra 200 e 300 Bq/m³;
- Comune di Velturmo (codice 116), ove affiorano il basamento metamorfico e le Dioriti di Chiusa, mostra valori di concentrazione di radon compreso tra 200 e 300 Bq/m³;
- Comune di Funes (codice 33), ove affiorano il basamento metamorfico, parte della sequenza vulcanica e sedimentaria, mostra valori di concentrazione di radon <200 Bq/m³;
- Comune di Chiusa (codice 22), ove affiorano il basamento metamorfico e le Dioriti di Chiusa, mostra valori di concentrazione di radon compreso tra 200 e 300 Bq/m³;
- Comune di Laion (codice 39), ove affiora il basamento metamorfico, mostra valori di concentrazione di radon <200 Bq/m³;
- Oltre alla mappa di Figura 123, si riportano i valori tabellari, estratti dal database dell'Agenzia provinciale per l'ambiente (Provincia autonoma di Bolzano) e la classificazione del rischio (Figura 123).

Radon in Südtirol - Radonkonzentration in bewohnten Gebäuden (Wintersemester) - Jahr 2003
Radon in Alto Adige - Concentrazione di radon in edifici abitati (semestre invernale) - anno 2003

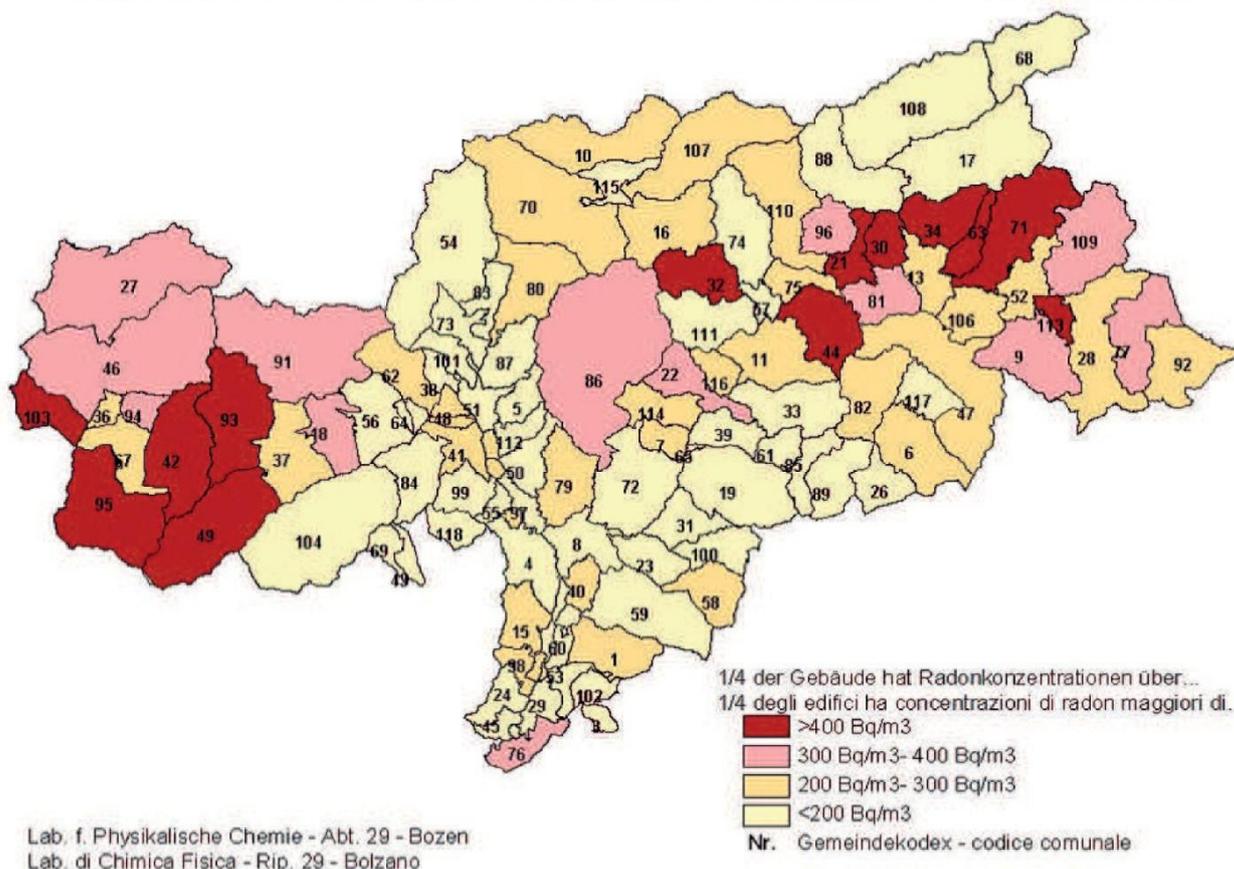


Figura 123: Concentrazione di radon in edifici in Alto Adige – anno 2003
(http://ambiente.provincia.bz.it/images/radiazioni_08_radon_10_mappa_radon.png).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE:														
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica		<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RG</td> <td>GE0000002</td> <td>B</td> <td>174 di 189</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	174 di 189
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	174 di 189									

Si segnala che questi valori di concentrazione di radon sono stati misurati all'interno di edifici e dipendono quindi dalla densità abitativa dei vari comuni, nonché dal reale substrato ove sono state realizzate le misure. Nel contesto geologico in cui insistono le opere in progetto, per quanto concerne il rischio radon, si deve porre attenzione nel momento in cui vengono attraversati il Granito di Bressanone, le Granodioriti di Tiles, le Dioriti di Chiusa, litotipi per cui il rischio radon si deve considerare significativo.

Codice	comune	nr. dati	m ed. a.	50° perc.	m ed. g.	m ax	<400 Bq/m³ [%]	400-1000 Bq/m³ [%]	>1000 Bq/m³ [%]	75° perc.
32	FORTEZZA	19	436	191	245	1409	63%	26%	11%	809
111	VARNA	22	125	96	101	530	96%	5%	0%	135
11	BRESSANONE	41	258	136	143	1621	78%	17%	5%	228
116	VELTURNO	20	170	122	137	540	95%	5%	0%	213
33	FUNES	20	176	104	106	1226	95%	0%	5%	194
22	CHIUSA	50	296	129	151	1949	76%	18%	6%	359
39	LAION	20	98	47	61	601	95%	5%	0%	107

Classificazione comuni rischio radon [in base al 75° perc.]	
< 200 Bq/m³	basso rischio radon
200 – 300 Bq/m³	leggero rischio radon
300 – 400 Bq/m³	medio rischio radon
> 400 Bq/m³	più elevato rischio radon

Tabella 23: Misure radon e classificazione del rischio in Alto Adige. Codice: il numero corrisponde al codice comunale in mappa; nr.dat: numero di case nelle quali sono state eseguite le misure; media a: media aritmetica in Bq/mt; 50° perc.: mediana in Bq/mt; media g.: media geometrica in Bq/mt; max.: valore massimo in Bq/mt; 75° Perc. / perc.: 75° percentile (utilizzato per la classificazione delle zone a rischio radon) in Bq/mt. (da: <http://ambiente.provincia.bz.it/radiazioni/mappa-radon.asp>).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	175 di 189

12. CHIMISMO DELLE ACQUE E POTENZIALI CONDIZIONI DI ATTACCO CHIMICO SU CALCESTRUZZO

12.1 PREMESSA E RIFERIMENTI NORMATIVI

Il presente paragrafo riguarda la descrizione del chimismo delle acque sotterranee che potranno interagire, in condizioni di saturazione dei terreni / ammassi rocciosi in cui verranno realizzate le opere in progetto, con il calcestruzzo di rivestimento definitivo delle gallerie e con le altre strutture sotterranee in cls o c.a. a contatto con il terreno.

La tematica discussa riguarda la possibilità che nell'area di progetto esistano acque sotterranee con caratteristiche chimiche tali da poter determinare un ambiente chimicamente aggressivo nei confronti del calcestruzzo che si prevede di utilizzare per la costruzione dei conci prefabbricati, segnatamente attraverso il processo di dilavamento della calce contenuta nel cemento legante del cls, come definito dalla normativa di settore (UNI 11104; UNI EN 206-1: 2016).

Il processo di dilavamento della calce può avvenire ad opera di acque definite "pure" o minimamente mineralizzate, quali ad esempio le acque di precipitazione meteorica o le acque di scioglimento del manto nevoso o dei ghiacciai, che, essendo acque che non hanno interagito, se non in modo molto limitato, con suoli e rocce, sono acque che presentano elevati contenuti di CO₂; quest'ultima infatti non è ancora stata coinvolta nei processi di dissoluzione che implicano il consumo di acido carbonico. La normativa non definisce parametri chimici di riferimento per le acque "pure", mentre la presenza di CO₂ aggressiva, ossia anidride carbonica libera in soluzione e di conseguenza il pH sono due parametri fondamentali per la definizione della classe di attacco chimico e sono elencati con i rispettivi limiti nel *prospetto 2 - "Valori limite per le classi di esposizione all'attacco chimico nel suolo naturale e nell'acqua del terreno"* della normativa sopra richiamata. La stessa normativa specifica (prospetto 2) che gli ambienti chimicamente aggressivi sono basati sul suolo naturale e l'acqua contenuta nel terreno a temperature comprese tra 5° C e 25° C ed una velocità dell'acqua sufficientemente bassa da poter approssimare condizioni statiche.

12.2 CRITERI UTILIZZATI

Sulla base di quanto specificato dalla normativa e dal precedente paragrafo (velocità dell'acqua sufficientemente bassa da poter approssimare condizioni statiche), si considerano significativi i dati delle acque sotterranee misurati nei piezometri realizzati durante le varie campagne di indagine del progetto e monitorati.

Ai fini pratici, i parametri che possono essere utilizzati per considerare un'acqua "pura" sono il pH e la conducibilità elettrica.

Il pH, che è anche uno dei criteri di definizione della classe di esposizione all'attacco chimico previsto dalla normativa, è direttamente correlato alla presenza in soluzione di CO₂ libera, quindi aggressiva: in un'acqua naturale, minore è il suo valore di pH, maggiore è il suo contenuto di CO₂ libera. La normativa definisce condizioni di attacco chimico classificabile solo per valori di pH dell'acqua minori o uguali a 6,5 (limite inferiore di acidità per la classe XA1), poiché in effetti al di sotto di tali valori si ha una presenza di CO₂ in quantità significative. Il valore di riferimento del pH delle acque meteoriche continentali è variabile tra 4 e 6,

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 176 di 189	

come indicato in tabella in Figura 124 (con rif. bibl.). Valori analoghi possono essere presenti nelle acque di primo scioglimento di nevi e ghiacci.

Tab. 8.1 - *Concentrazioni tipiche (in mg/l) dei costituenti principali nelle piogge continentali e marine (da BERNER & BERNER, 1996).*

- Typical concentrations (in mg/l) of major constituents in continental and marine rainwater (from BERNER & BERNER, 1996).

	Na ⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	pH
C R	0.2 – 1	0.05 – 0.5	0.1 – 0.3 ^a	0.1 – 3 ^a	0.1 – 0.5 ^b	0.2 – 2	1 – 3 ^{ab}	0.4 – 3 ^b	4 – 6
M-C R	1 – 5	0,4 – 1,5	0.2 – 0.6	0.2 – 1.5	0.01 – 0.05	1 – 10	1 – 3		5 – 6

C R = Continental Rain; M-CR = Marine and Coastal Rain
a) In aree continentali remote K⁺ = 0.02-0.07; Ca⁺⁺ = 0.02-0.20; SO₄⁻ = 0.2-0.8
b) in aree inquinate NH₄⁺ = 1-2; SO₄⁻ = 3-8; NO₃⁻ = 1-38

Figura 124: Tabella riportante le concentrazioni tipiche dei principali ioni disciolti nelle acque di pioggia e i valori tipici di pH.

Il valore di Conducibilità Elettrica Specifica (di seguito riportata con la sigla CES) delle acque, pur se non considerato in normativa, è direttamente correlato alla quantità di ioni disciolti ed è un indicatore fondamentale per stabilire se un'acqua possa essere definita "pura". Considerando che un'acqua piovana presenta una conducibilità inferiore a 20-25 mS/cm e assumendo che un'acqua pura non si discosti molto dall'acqua piovana, il suo valore di CES dovrà risultare prossimo a questo intervallo.

12.3 DATI DISPONIBILI PER LE ACQUE DELLA ZONA DI PROGETTO

Come anticipato, a questo scopo, si considerano i dati relativi alle misure in situ dei parametri chimici delle acque presenti nei piezometri installati nei fori di sondaggio nel corso delle campagne d'indagine 2012-13 e 2017-18 e sottoposti a monitoraggio per un arco temporale che va dal 2013 al 2021.

I piezometri monitorati nell'intera area di progetto sono in totale 61. Le misure eseguite variano da 1 a 21 per ciascun piezometro, per un totale di 633 dati. I piezometri, così come gli altri punti d'acqua monitorati, sono suddivisi in sottobacini per l'area di interesse.

I dati sopra descritti sono elencati nell'elaborato di PE cod. IBOU1BEZZRHGE0000006A – Report monitoraggio idrogeologico 2013-2021, che riprende ed aggiorna gli analoghi documenti di Progetto Definitivo integrando i dati del periodo 2019-2021.

12.4 ANALISI DEI DATI

I dati relativi alle misure di pH e CES eseguite nei piezometri sono stati rappresentati su grafici ad istogramma rappresentanti le frequenze statistiche delle misure in classi di valori significativi ai fini della valutazione dell'aggressività delle acque.

Le classi di valori considerati sono le seguenti:

- Per il pH: <6; 6-6,5; 6,5-7; 7-8; 8-9; 9-10; >10

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 177 di 189	

- Per la CES: <math><20\mu S/cm</math>; $20-50\mu S/cm$; $50-100\mu S/cm$; $100-300\mu S/cm$; $300-500\mu S/cm$; $500-700\mu S/cm$; $700-1000\mu S/cm$; $>1000\mu S/cm$

Per quanto riguarda l'area di progetto nel suo insieme, i grafici rappresentativi sono quelli riportati di seguito.

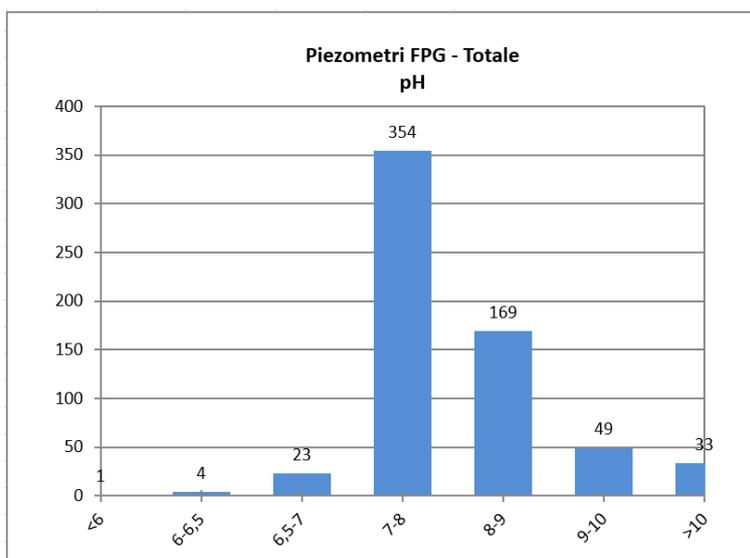


Figura 125: istogramma di frequenza delle classi di pH per le 633 misure eseguite nei piezometri dell'area di progetto.

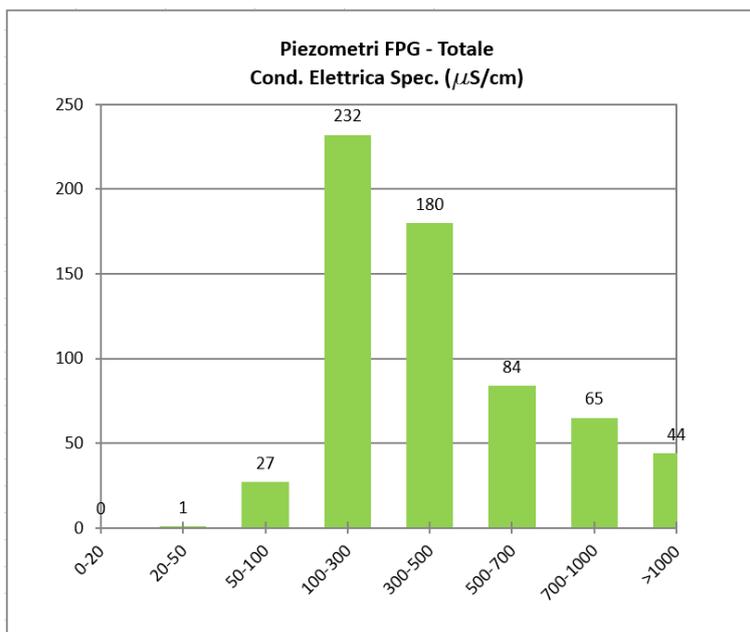


Figura 126: istogramma di frequenza delle classi di CES per le 633 misure eseguite nei piezometri dell'area di progetto.

Dall'osservazione dei grafici riportati sopra si evince che alcuni valori di pH e CES delle acque sotterranee potrebbero essere indicativi di ambienti chimicamente aggressivi: valori di pH inferiori a 6.5 sono stati

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica	IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	178 di 189

registrati in 5 misure su 633 (0,8 %), mentre per quanto riguarda la CES non vi sono valori inferiori a $20\mu S/cm$ (il valore più basso misurato, compreso nella classe $20-50\mu S/cm$, è pari a $44\mu S/cm$).

Questi valori puntuali, lontani dal valore medio del campione di misure, sono da considerarsi anomali e legati a condizioni esterne eccezionali quali acqua piovana (come, ad esempio, il Piezometro B_001250 – S2-2012) o vicinanza all'alveo attivo del fiume Isarco (come, ad esempio, il Piezometro B_001346 – C29) e sono quindi da escludere dal campione. Le stesse condizioni eccezionali si possono riscontrare anche in altri piezometri che presentano nello stesso periodo un valore più basso della media.

Sulla base dell'analisi dei dati dei piezometri si può asserire che, in generale, nelle acque sotterranee presenti nell'area di progetto non si riscontrano le condizioni che possono determinare un ambiente chimicamente aggressivo per il calcestruzzo e portare al dilavamento della calce contenuta nello stesso.

APPALTAZIONE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 179 di 189

13. BIBLIOGRAFIA

- Andrews, J. N., Kay R. L. F. (1982). Natural production of tritium in permeable rocks. *Nature*, 298, pp. 361-363.
- Birch F. (1950). Flow of heat in the Front Range (Colorado). *Bull. Geol. Soc. of America*, 61, pp. 667-630.
- Birch, F. (1954). Heat from radioactivity, in H. Faul, ed., *Nuclear geology; a symposium on nuclear phenomena in the earth sciences*: New York, John Wiley, p. 148–174.
- Celico P. (1986). *Prospezioni idrogeologiche Vol. 1. Liguori*.
- Civita M. (2005). *Idrogeologia applicata e ambientale*. Milano, CEA.
- Craig H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, vol. 133, pp. 1702–1703.
- De Martonne E. (1926). Aerisme, et indices d'aridité. *Comptesrendus de L'Academie des Sciences*, 182, 1395–1398.
- Dematteis A., Kalamaras G., Eusebio A. (2001). A system approach for evaluating springs drawdown due to tunneling - AITES-ITA 2001 World Tunnel Congress: Progress in tunnelling after 2000 – p. 257-264. Milano, 10-13 June 2001
- Gazzea N. (2006). Spazializzazione di dati climatici per la costruzione di indici di aridità alla scala nazionale. Studio APA (Agenzia Protezione dell'Ambiente), 250pp.
- Goodman R. E., Moye D. G., Van Schalkwyk A., Javandel I. (1965). Ground water inflows during tunnel driving. *Engineering Geology*, vol. 2, no. 1, pp. 39–56.
- Fanizzi L. (2016). Bilancio idrico annuale BIA col metodo del coefficiente fisiografico. *Scienza e inquinamento*, XX, 4.
- Harbaugh A. W. (2005). MODFLOW-2005: the U.S. Geological Survey modular ground-water model - The ground-water flow process.
- Harbaugh A. W., Banta E. R., Hill M. C., McDonald M. G. (2000). MODFLOW-2000, The U.S. Geological Survey modular ground-water model - User guide to modularization concepts and the ground-water flow process. US Geological Survey OpenFile Report 0092, U.S. Geological Survey, p. 121.
- Harbaugh A. W., McDonald M. G. (1996). Programmer's documentation for MODFLOW-96, an update to the U.S. Geological Survey modular finite-difference ground-water flow model.
- Kennessey B. (1930). Lefolyasi téniezok és retenciok. *Vizugy Koziemènyek*, 12(1), 55–76.
- Jaboyedoff M. (1999). Modèles thermiques simples de la croute terrestre: un regard sur les Alpes. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.* 86/4, pp. 229-271.
- Jacob, C.E. & Lohman, S.W. (1952). Nonsteady flow to a well of constant drawdown in an extensive aquifer. *Transaction of the American Geophysical Union*, 33 (4), 559-569
- Lehmann, B. E., Davis S. N., Fabryka-Martin, J. T. (1993). Atmospheric and subsurface sources of stable and radioactive nuclides used for groundwater dating. *WRR*, 29:2027–2040.
- Loew, S. (2002). Grounwater hydraulics and environmental impacts of tunnels in crystalline rocks. *Proc. Of the 9th Congress of the int. Ass. for Engineering Geology and the Environment*. Durban. In van Roy and Jerry eds.: *Engineering Geology for Developing Countries*.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrogeologica		IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	180 di 189

Longinelli A., Anglesio E., Flora O., Iacumin P., Selmo E. (2006). Isotopic composition of precipitation in Northern Italy: reverse effect of anomalous climatic events. *Journal of Hydrology*, vol. 329, pp. 471–476.

Longinelli A., Selmo E. (2003). Isotopic composition of precipitation in Italy: a first overall map. *Journal of Hydrology*, vol. 270, pp. 75–88.

Mazor E. (1997). *Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology*. Marcel Dekker Inc., New York, p. 413.

Penna D., Engel M., Mao L., Dell’Agnese A., Bertoldi G., Comiti F. (2004). Tracer-based analysis of spatial and temporal variations of water sources in a glacierized catchment. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 18, pp. 5271–5288.

Perrochet, P. & Dematteis, A. (2007). Modeling Transient Discharge into a Tunnel Drilled in a Heterogeneous Formation. *Ground Water*, 45/6, 786-790.

Pistocchi A. & Neri D. (2000). Analisi GIS-based dei fenomeni idrologici per la pianificazione territoriale. *Ingegneria ambientale*, 7-8.

Rybach, L. (1986). Amount and significance of radioactive heat sources in rocks, in J. Burrus, ed., *Thermal modeling of sedimentary basins*, Collection Colloques et Seminares 44: Paris, Editions Technip, p. 311–322

Tonini D. (1959). *Elementi di Idrografia e Idrologia*1. Libr. Univ. Venezia (Ristampa 1983).

Torri R., Dematteis A., Delle Piane L. (2007). Drawdown hazard of springs and wells in tunnelling: predictive model and verification. *Proc. XXXV IAH Congress, Groundwater and Ecosystems*, Lisbon 17-21 Sept, 10 pp.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 181 di 189

14. APPENDICE 1 – INTERFERENZA SULLE SORGENTI

Codice	Tipo	Uso	Portata (l/s)	TS	DT	ET	IF	FF	MK	OV	PZ	PI	DHI _{nn}	DHI	Grado Pericolosità
B_000012	Sorgente	n.n.	0,1	1,0	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	71,76	0,049	Trascurabile
B_000018	Sorgente	n.n.	0,7	1,5	1,5	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	124,20	0,085	Trascurabile
B_000022	Sorgente	n.n.	0,1	1,0	1,5	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	82,80	0,057	Trascurabile
B_000023	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,5	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	124,20	0,085	Trascurabile
B_000032	Sorgente	P	0,3	1,0	1,7	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	93,84	0,064	Trascurabile
B_000055	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,3	0,4	2,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	71,76	0,049	Trascurabile
B_000056	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,3	0,4	1,0	1,0	0,3	0,9	1,0	0,83	64,66	0,044	Trascurabile
B_000058	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,3	0,4	1,0	1,0	0,3	0,9	1,0	0,83	64,66	0,044	Trascurabile
B_000072	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,3	0,4	1,0	1,0	0,3	0,9	1,0	0,83	64,66	0,044	Trascurabile
B_000081	Sorgente	P	0,6	1,0	0,5	0,4	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	7,16	0,005	Trascurabile
B_000085	Sorgente	n.n.	0,1	1,0	1,3	0,4	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	23,92	0,016	Trascurabile
B_000101	Sorgente	P	0,7	1,0	1,3	0,4	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	18,62	0,013	Trascurabile
B_000125	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,3	0,4	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	43,91	0,030	Trascurabile
B_000130	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,3	0,4	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	43,91	0,030	Trascurabile
B_000142	Sorgente	P	0,1	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	161,10	0,110	Bassa
B_000148	Sorgente	Ir	0,1	1,0	1,7	2,0	1,5	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	370,77	0,254	Media
B_000149	Sorgente	Ir	0,4	1,0	1,7	2,0	2,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	494,36	0,338	Alta
B_000155	Sorgente	D	0,8	1,0	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	107,40	0,074	Trascurabile
B_000157	Sorgente	n.n.	2,4	1,5	1,7	2,0	1,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	370,77	0,254	Media
B_000174	Sorgente	P	-	1,0	1,7	2,0	1,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	247,18	0,169	Bassa
B_000190	Sorgente	P	0,3	1,5	1,3	2,0	2,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	279,24	0,191	Bassa
B_000192	Sorgente	P	0,3	1,5	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	219,57	0,150	Bassa
B_000194	Sorgente	P	0,5	1,5	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	219,57	0,150	Bassa
B_000204	Sorgente	n.n.	0,3	1,5	1,3	2,0	1,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	283,53	0,194	Bassa
B_000214	Sorgente	P	1,0	1,0	1,3	2,0	1,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	189,02	0,129	Bassa
B_000215	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	182,58	0,125	Bassa
B_000223	Sorgente	D	0,1	1,0	1,5	2,0	2,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	214,80	0,147	Bassa
B_000227	Sorgente	P	0,3	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000229	Sorgente	n.n.	0,4	2,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	186,16	0,127	Bassa
B_000232	Sorgente	n.n.	0,2	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000234	Sorgente	D	0,0	1,0	1,7	2,0	1,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	247,18	0,169	Bassa
B_000235	Sorgente	P	0,2	1,5	1,3	1,2	2,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	167,54	0,115	Bassa
B_000252	Sorgente	Ir	0,2	1,0	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	107,40	0,074	Trascurabile
B_000260	Sorgente	P	0,5	1,5	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	182,58	0,125	Bassa
B_000263	Sorgente	P	0,2	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_000267	Sorgente	n.n.	0,2	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	161,10	0,110	Bassa
B_000274	Sorgente	D	0,8	1,0	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	107,40	0,074	Trascurabile
B_000282	Sorgente	Ir	0,2	1,0	1,7	2,0	1,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	247,18	0,169	Bassa
B_000311	Sorgente	n.n.	0,5	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	84,24	0,058	Trascurabile
B_000346	Sorgente	n.n.	0,2	2,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	168,48	0,115	Bassa
B_000354	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,3	2,0	1,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	189,02	0,129	Bassa
B_000357	Sorgente	P	0,2	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	161,10	0,110	Bassa
B_000359	Sorgente	D	0,1	2,0	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	214,80	0,147	Bassa
B_000360	Sorgente	n.n.	0,1	1,5	1,5	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	253,35	0,173	Bassa
B_000362	Sorgente	D	0,1	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	161,10	0,110	Bassa
B_000363	Sorgente	n.n.	Secca	1,0	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	97,20	0,067	Trascurabile

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"						
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 182 di 189		

Codice	Tipo	Usa	Portata (l/s)	TS	DT	ET	IF	FF	MK	OV	PZ	PI	DHI _{nn}	DHI	Grado Pericolosità
B_000364	Sorgente	P	0,8	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000385	Sorgente	lr	0,8	1,5	1,3	1,2	2,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	340,24	0,233	Media
B_000394	Sorgente	n.n.	0,3	2,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	186,16	0,127	Bassa
B_000398	Sorgente	n.n.	0,3	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000411	Sorgente	n.n.	0,2	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000444	Sorgente	n.n.	0,4	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000464	Sorgente	n.n.	7,5	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_000472	Sorgente	n.n.	5,6	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_000473	Sorgente	n.n.	0,1	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_000482	Sorgente	n.n.	0,5	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_000485	Sorgente	n.n.	0,3	1,0	0,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	35,80	0,025	Trascurabile
B_000491	Sorgente	n.n.	9,5	1,0	0,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	35,80	0,025	Trascurabile
B_000494	Sorgente	n.n.	1,3	1,0	0,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	35,80	0,025	Trascurabile
B_000495	Sorgente	n.n.	2,9	1,0	0,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	35,80	0,025	Trascurabile
B_000496	Sorgente	n.n.	1,2	1,0	0,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	35,80	0,025	Trascurabile
B_000506	Sorgente	n.n.	0,2	1,0	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,5	1,0	0,60	155,22	0,106	Bassa
B_000508	Sorgente	P	0,2	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	119,60	0,082	Trascurabile
B_000511	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,3	2,0	2,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	239,20	0,164	Bassa
B_000536	Sorgente	n.n.	0,8	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000542	Sorgente	P	> 10	1,5	0,5	2,0	2,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	107,40	0,074	Trascurabile
B_000563	Sorgente	P	0,1	1,5	1,3	0,4	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	35,88	0,025	Trascurabile
B_000575	Sorgente	P	0,3	1,0	1,5	2,0	1,5	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	161,10	0,110	Bassa
B_000579	Sorgente	lr	0,0	1,5	1,9	2,0	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	262,20	0,180	Bassa
B_000583	Sorgente	n.n.	0,1	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_000585	Sorgente	D	0,0	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	145,80	0,100	Trascurabile
B_000586	Sorgente	n.n.	0,1	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	126,36	0,087	Trascurabile
B_000595	Sorgente	P	0,0	1,5	1,7	2,0	2,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	365,16	0,250	Media
B_000598	Sorgente	n.n.	0,1	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	84,24	0,058	Trascurabile
B_000599	Sorgente	D	0,1	1,5	1,7	2,0	1,5	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	273,87	0,187	Bassa
B_000600	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000603	Sorgente	D	0,1	1,5	1,7	2,0	1,5	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	273,87	0,187	Bassa
B_000606	Sorgente	n.n.	1,4	1,0	0,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	32,40	0,022	Trascurabile
B_000607	Sorgente	n.n.	0,9	1,0	0,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	32,40	0,022	Trascurabile
B_000609	Sorgente	lr	3,1	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	84,24	0,058	Trascurabile
B_000610	Sorgente	n.n.	1,7	1,0	0,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	32,40	0,022	Trascurabile
B_000611	Sorgente	n.n.	0,6	1,0	0,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	32,40	0,022	Trascurabile
B_000612	Sorgente	n.n.	0,4	1,0	0,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	32,40	0,022	Trascurabile
B_000613	Sorgente	P	1,3	1,0	0,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	32,40	0,022	Trascurabile
B_000615	Sorgente	n.n.	1,5	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000616	Sorgente	n.n.	0,2	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000617	Sorgente	n.n.	0,3	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000619	Sorgente	n.n.	1,4	1,0	0,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	32,40	0,022	Trascurabile
B_000620	Sorgente	n.n.	0,4	1,0	1,3	2,0	1,5	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	126,36	0,087	Trascurabile
B_000621	Sorgente	D	0,3	1,5	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	182,58	0,125	Bassa
B_000622	Sorgente	P	0,5	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	84,24	0,058	Trascurabile
B_000624	Sorgente	n.n.	0,5	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	126,36	0,087	Trascurabile
B_000625	Sorgente	P	0,5	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	126,36	0,087	Trascurabile
B_000628	Sorgente	n.n.	1,7	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 183 di 189	

Codice	Tipo	Usa	Portata (l/s)	TS	DT	ET	IF	FF	MK	OV	PZ	PI	DHI _{nn}	DHI	Grado Pericolosità
B_000630	Sorgente	n.n.	0,4	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000631	Sorgente	n.n.	0,5	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	126,36	0,087	Trascurabile
B_000632	Sorgente	n.n.	0,0	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000633	Sorgente	n.n.	0,1	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000634	Sorgente	P	0,5	1,5	1,5	2,0	2,0	1,0	0,3	0,1	1,0	0,69	623,70	0,427	Alta
B_000635	Sorgente	n.n.	0,2	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	84,24	0,058	Trascurabile
B_000636	Sorgente	n.n.	0,0	1,5	1,3	2,0	2,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	252,72	0,173	Bassa
B_000637	Sorgente	P	0,2	1,5	1,5	2,0	1,5	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	218,70	0,150	Bassa
B_000638	Sorgente	P	0,1	1,0	1,5	2,0	2,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	436,20	0,299	Media
B_000640	Sorgente	n.n.	0,5	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	126,36	0,087	Trascurabile
B_000641	Sorgente	n.n.	0,0	2,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	168,48	0,115	Bassa
B_000642	Sorgente	P	0,1	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	126,36	0,087	Trascurabile
B_000645	Sorgente	P	1,3	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	126,36	0,087	Trascurabile
B_000647	Sorgente	n.n.	0,2	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	126,36	0,087	Trascurabile
B_000648	Sorgente	P	0,8	1,0	1,3	2,0	2,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	378,04	0,259	Media
B_000649	Sorgente	P	-	1,0	1,3	2,0	2,0	1,0	0,3	0,1	1,0	0,69	360,36	0,247	Media
B_000650	Sorgente	D	0,1	1,0	1,3	2,0	2,0	1,0	0,3	0,1	1,0	0,69	360,36	0,247	Media
B_000651	Sorgente	n.n.	0,4	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	126,36	0,087	Trascurabile
B_000652	Sorgente	P	0,2	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	145,80	0,100	Trascurabile
B_000653	Sorgente	n.n.	0,2	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	126,36	0,087	Trascurabile
B_000654	Sorgente	n.n.	1,2	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	126,36	0,087	Trascurabile
B_000656	Sorgente	P	0,2	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	145,80	0,100	Trascurabile
B_000661	Sorgente	P	0,1	1,0	1,9	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	136,04	0,093	Trascurabile
B_000663	Sorgente	P	0,2	1,5	1,7	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	140,76	0,096	Trascurabile
B_000664	Sorgente	lr	0,0	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	145,80	0,100	Trascurabile
B_000667	Sorgente	P	0,4	1,5	1,3	0,4	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	27,92	0,019	Trascurabile
B_000671	Sorgente	n.n.	0,2	1,5	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	107,64	0,074	Trascurabile
B_000740	Sorgente	P	2,9	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	84,24	0,058	Trascurabile
B_000741	Sorgente	n.n.	5,0	1,0	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,1	1,0	0,53	137,54	0,094	Trascurabile
B_000742	Sorgente	P	> 10	1,5	1,3	2,0	1,5	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	189,54	0,130	Bassa
B_000745	Sorgente	n.n.	> 10	1,5	1,3	2,0	1,5	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	189,54	0,130	Bassa
B_000748	Sorgente	P	0,3	1,0	1,5	2,0	1,0	0,6	0,3	0,1	1,0	0,53	158,70	0,109	Bassa
B_000752	Sorgente	P	0,6	1,0	1,5	2,0	1,5	0,6	0,3	0,1	1,0	0,53	238,05	0,163	Bassa
B_000753	Sorgente	P	0,3	1,0	1,7	2,0	1,5	0,6	0,3	0,1	1,0	0,53	269,79	0,185	Bassa
B_000757	Sorgente	P	0,3	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	84,24	0,058	Trascurabile
B_000761	Sorgente	P	52,7	1,0	1,3	2,0	2,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	292,76	0,200	Media
B_000770	Sorgente	lr	0,5	1,0	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	107,40	0,074	Trascurabile
B_000772	Sorgente	P	0,2	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_000773	Sorgente	n.n.	-	1,0	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,1	1,0	0,53	137,54	0,094	Trascurabile
B_000777	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	83,77	0,057	Trascurabile
B_000787	Sorgente	n.n.	-	1,0	0,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	35,80	0,025	Trascurabile
B_000789	Sorgente	P	3,2	1,5	1,3	1,2	2,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	167,54	0,115	Bassa
B_000790	Sorgente	D	0,2	1,0	1,5	2,0	1,5	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	161,10	0,110	Bassa
B_000791	Sorgente	P	0,1	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_000796-8	Sorgente	P	3,5	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000815	Sorgente	n.n.	0,1	1,0	1,5	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	168,90	0,116	Bassa
B_000816	Sorgente	D	0,2	1,0	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	107,40	0,074	Trascurabile

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 184 di 189	

Codice	Tipo	Uso	Portata (l/s)	TS	DT	ET	IF	FF	MK	OV	PZ	PI	DHI _{nn}	DHI	Grado Pericolosità
B_000823	Sorgente	D	0,2	1,0	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	107,40	0,074	Trascurabile
B_000825	Sorgente	n.n.	8,0	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000828	Sorgente	P	0,2	1,0	1,7	2,0	2,0	1,0	0,3	0,1	1,0	0,69	471,24	0,323	Alta
B_000830	Sorgente	P	-	1,0	1,5	0,4	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	27,60	0,019	Trascurabile
B_000834	Sorgente	P	9,8	1,5	1,3	2,0	2,0	1,0	0,3	0,1	1,0	0,69	540,54	0,370	Alta
B_000835	Sorgente	P	9,6	1,5	1,3	2,0	2,0	1,0	0,3	0,1	1,0	0,69	540,54	0,370	Alta
B_000838	Sorgente	D	0,1	1,0	1,7	2,0	2,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	494,36	0,338	Alta
B_000850	Sorgente	n.n.	0,1	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_000855	Sorgente	n.n.	0,8	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000857	Sorgente	lr	0,4	1,5	1,7	2,0	2,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	574,26	0,393	Alta
B_000860	Sorgente	P	0,2	1,0	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	121,72	0,083	Trascurabile
B_000873	Sorgente	P	0,2	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000879	Sorgente	P	0,2	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000882	Sorgente	P	-	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000884	Sorgente	P	0,4	1,0	1,7	2,0	1,5	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	287,13	0,197	Bassa
B_000886	Sorgente	D	0,1	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	161,10	0,110	Bassa
B_000887	Sorgente	D	0,2	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	161,10	0,110	Bassa
B_000888	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000891	Sorgente	D	-	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	161,10	0,110	Bassa
B_000900	Sorgente	P	0,1	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_000904	Sorgente	n.n.	0,5	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000914	Sorgente	P	1,9	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_000919	Sorgente	P	8,4	1,5	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	219,57	0,150	Bassa
B_000920	Sorgente	P	6,2	1,5	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	219,57	0,150	Bassa
B_000927	Sorgente	n.n.	5,4	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_000930	Sorgente	P	0,8	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_000933	Sorgente	n.n.	1,0	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_000934	Sorgente	n.n.	0,5	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_000936	Sorgente	n.n.	-	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_000949	Sorgente	P	0,2	2,0	1,3	0,4	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	37,23	0,025	Trascurabile
B_000985	Sorgente	P	0,7	1,0	1,3	0,4	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	16,85	0,012	Trascurabile
B_001055	Sorgente	P	0,4	1,0	1,3	0,4	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	16,85	0,012	Trascurabile
B_001083	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	234,60	0,161	Bassa
B_001099	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	146,38	0,100	Bassa
B_001104	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	146,38	0,100	Bassa
B_001106	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_001109	Sorgente	n.n.	0,5	1,5	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	219,57	0,150	Bassa
B_001114	Sorgente	P	3,5	1,5	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	219,57	0,150	Bassa
B_001115	Sorgente	P	4,2	1,5	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	219,57	0,150	Bassa
B_001116	Sorgente	P	5,6	1,5	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	219,57	0,150	Bassa
B_001120	Sorgente	P	0,1	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	126,36	0,087	Trascurabile
B_001124	Sorgente	n.n.	0,4	1,0	1,5	1,2	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	101,34	0,069	Trascurabile
B_001128	Sorgente	P	0,5	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	84,24	0,058	Trascurabile
B_001129	Sorgente	n.n.	0,0	1,5	1,3	2,0	1,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	283,53	0,194	Bassa
B_001137	Sorgente	n.n.	0,3	1,5	1,7	2,0	2,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	574,26	0,393	Alta
B_001139	Sorgente	n.n.	0,0	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	161,10	0,110	Bassa
B_001140	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,1	1,0	0,53	137,54	0,094	Trascurabile
B_001141	Sorgente	P	0,1	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	126,36	0,087	Trascurabile

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	RG	GE0000002	B	185 di 189

Codice	Tipo	Uso	Portata (l/s)	TS	DT	ET	IF	FF	MK	OV	PZ	PI	DHI _{nn}	DHI	Grado Pericolosità
B_001142	Sorgente	n.n.	0,3	1,5	1,7	2,0	1,5	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	273,87	0,187	Bassa
B_001143	Sorgente	n.n.	0,4	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	84,24	0,058	Trascurabile
B_001146	Sorgente	n.n.	0,2	1,5	1,5	2,0	2,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	654,30	0,448	Alta
B_001147	Sorgente	n.n.	1,1	1,5	1,5	2,0	2,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	654,30	0,448	Alta
B_001172	Sorgente	D	0,1	2,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	168,48	0,115	Bassa
B_001173	Sorgente	P	0,7	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	161,10	0,110	Bassa
B_001174	Sorgente	P	0,4	1,5	1,3	2,0	2,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	252,72	0,173	Bassa
B_001184	Sorgente	n.n.	0,1	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,5	1,0	0,39	101,92	0,070	Trascurabile
B_001217	Sorgente	n.n.	0,2	1,0	1,5	2,0	1,5	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	253,35	0,173	Bassa
B_001229	Sorgente	n.n.	0,3	1,0	1,7	2,0	1,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	247,18	0,169	Bassa
B_001230	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	121,72	0,083	Trascurabile
B_001231	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	182,58	0,125	Bassa
B_001233	Sorgente	n.n.	0,1	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	126,36	0,087	Trascurabile
B_001240	Sorgente	n.n.	0,3	1,5	1,5	2,0	2,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	654,30	0,448	Alta
B_001241	Sorgente	n.n.	0,2	1,0	1,9	2,0	1,5	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	320,91	0,220	Media
B_001242	Sorgente	n.n.	-	1,0	1,9	2,0	1,5	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	320,91	0,220	Media
B_001247	Sorgente	lr	0,5	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_001409	Sorgente	n.n.	0,1	1,0	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	146,38	0,100	Bassa
B_001420	Sorgente	n.n.	0,2	1,0	1,7	2,0	1,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	247,18	0,169	Bassa
B_001421	Sorgente	n.n.	0,1	1,0	1,7	2,0	1,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	247,18	0,169	Bassa
B_001422	Sorgente	P	-	1,5	1,7	2,0	1,5	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	273,87	0,187	Bassa
B_001424	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,9	2,0	1,0	0,1	0,7	0,9	1,0	0,55	208,24	0,143	Bassa
B_001425	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,5	1,0	0,39	176,40	0,121	Bassa
B_001426	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	207,00	0,142	Bassa
B_001428	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,7	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	287,13	0,197	Bassa
B_001429	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	161,10	0,110	Bassa
B_001430	Sorgente	lr	-	1,5	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	182,58	0,125	Bassa
B_001431	Sorgente	lr	0,1	1,5	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	182,58	0,125	Bassa
B_001432	Sorgente	lr	0,1	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	161,10	0,110	Bassa
B_001433	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	182,58	0,125	Bassa
B_001434	Sorgente	lr	0,2	1,5	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	182,58	0,125	Bassa
B_001435	Sorgente	A	0,7	1,5	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	182,58	0,125	Bassa
B_001436	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,5	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	253,35	0,173	Bassa
B_001437	Sorgente	n.n.	Secca	1,0	1,5	2,0	1,5	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	161,10	0,110	Bassa
B_001438	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	161,10	0,110	Bassa
B_001439	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	161,10	0,110	Bassa
B_001440	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	161,10	0,110	Bassa
B_001441	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,5	1,0	0,60	232,83	0,159	Bassa
B_001442	Sorgente	D	0,0	1,5	1,5	2,0	1,0	0,6	0,3	0,5	1,0	0,60	268,65	0,184	Bassa
B_001443	Sorgente	n.n.	1,1	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_001444	Sorgente	D	0,1	1,5	1,7	2,0	1,0	0,6	0,3	0,5	1,0	0,60	304,47	0,208	Media
B_001445	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	182,58	0,125	Bassa
B_001448	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	71,76	0,049	Trascurabile
B_001449	Sorgente	n.n.	0,1	1,0	1,5	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	82,80	0,057	Trascurabile
B_001450	Sorgente	n.n.	0,1	1,0	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	97,20	0,067	Trascurabile
B_001451	Sorgente	D	0,0	1,0	1,5	2,0	1,0	0,6	0,3	0,1	1,0	0,53	158,70	0,109	Bassa
B_001452	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	97,20	0,067	Trascurabile
B_001453	Sorgente	n.n.	Non misurabile	1,5	1,7	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	287,13	0,197	Bassa

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 186 di 189

Codice	Tipo	Usa	Portata (l/s)	TS	DT	ET	IF	FF	MK	OV	PZ	PI	DHI _{nn}	DHI	Grado Pericolosità
B_001454	Sorgente	n.n.	-	1,0	1,5	2,0	1,0	0,6	0,3	0,1	1,0	0,53	158,70	0,109	Bassa
B_001456	Sorgente	n.n.	0,2	1,5	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,1	1,0	0,53	206,31	0,141	Bassa
B_001457	Sorgente	n.n.	0,1	1,5	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	182,58	0,125	Bassa
B_001458	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,5	1,0	0,39	199,92	0,137	Bassa
B_001460	Sorgente	n.n.	0,3	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	126,36	0,087	Trascurabile
B_001461	Sorgente	n.n.	0,3	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	126,36	0,087	Trascurabile
B_001462	Sorgente	D	-	1,5	1,5	2,0	1,0	0,6	0,3	0,1	1,0	0,53	238,05	0,163	Bassa
B_001463	Sorgente	n.n.	0,2	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	126,36	0,087	Trascurabile
B_001464	Sorgente	n.n.	Non misurabile	1,5	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,1	1,0	0,53	206,31	0,141	Bassa
B_001465	Sorgente	n.n.	0,3	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	126,36	0,087	Trascurabile
B_001467	Sorgente	n.n.	Non misurabile	1,0	1,3	0,4	1,0	0,6	0,3	0,9	1,0	0,67	34,58	0,024	Trascurabile
B_001468	Sorgente	n.n.	0,3	1,5	1,5	0,4	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	41,40	0,028	Trascurabile
B_001469	Sorgente	n.n.	0,1	1,0	1,3	2,0	1,0	1,0	0,3	0,1	1,0	0,69	180,18	0,123	Bassa
B_001470	Sorgente	n.n.	0,4	1,0	1,3	2,0	1,5	1,0	0,3	0,1	1,0	0,69	270,27	0,185	Bassa
B_001471	Sorgente	P	0,6	1,0	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	107,40	0,074	Trascurabile
B_001472	Sorgente	n.n.	0,4	1,5	1,3	2,0	1,5	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	209,43	0,143	Bassa
B_001473	Sorgente	n.n.	0,7	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_001475	Sorgente	n.n.	-	1,5	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	219,57	0,150	Bassa
B_001476	Sorgente	n.n.	0,2	1,0	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	146,38	0,100	Bassa
B_001477	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_001479	Sorgente	n.n.	Non misurabile	1,0	1,5	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	168,90	0,116	Bassa
B_001480	Sorgente	n.n.	0,2	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_001481	Sorgente	n.n.	0,3	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_001482	Sorgente	n.n.	Secca	1,0	1,7	2,0	1,5	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	287,13	0,197	Bassa
B_001483	Sorgente	n.n.	1,0	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_001484	Sorgente	n.n.	-	1,0	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	55,85	0,038	Trascurabile
B_001485	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	55,85	0,038	Trascurabile
B_001486	Sorgente	n.n.	0,1	1,0	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	55,85	0,038	Trascurabile
B_001487	Sorgente	n.n.	0,2	1,0	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	55,85	0,038	Trascurabile
B_001488	Sorgente	n.n.	Molto bassa	1,0	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	55,85	0,038	Trascurabile
B_001490	Sorgente	n.n.	0,2	1,0	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	55,85	0,038	Trascurabile
B_001491	Sorgente	n.n.	0,2	1,0	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	50,54	0,035	Trascurabile
B_001493	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	84,24	0,058	Trascurabile
B_001494	Sorgente	n.n.	0,1	1,0	1,5	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	82,80	0,057	Trascurabile
B_001495	Sorgente	P	0,3	1,0	1,7	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	93,84	0,064	Trascurabile
B_001497	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	71,76	0,049	Trascurabile
B_001498	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	71,76	0,049	Trascurabile
B_001499	Sorgente	n.n.	0,7	1,5	1,3	2,0	2,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	252,72	0,173	Bassa
B_001501	Sorgente	P	-	1,0	1,9	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	213,94	0,146	Bassa
B_001503	Sorgente	P	0,4	1,5	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,5	1,0	0,39	176,40	0,121	Bassa
B_001504	Sorgente	Ir	-	1,5	1,7	1,2	2,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	344,56	0,236	Media
B_001505	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,5	1,2	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	64,44	0,044	Trascurabile
B_001506	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,5	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	107,40	0,074	Trascurabile
B_001507	Sorgente	P	0,2	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_001508	Sorgente	n.n.	0,3	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_001509	Sorgente	n.n.	0,2	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_001511	Sorgente	n.n.	Acqua su terreno	1,5	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	182,58	0,125	Bassa
B_001512	Sorgente	Ir	-	1,0	1,7	2,0	2,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	382,84	0,262	Media

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 187 di 189

Codice	Tipo	Usa	Portata (l/s)	TS	DT	ET	IF	FF	MK	OV	PZ	PI	DHI _{nn}	DHI	Grado Pericolosità
B_001513	Sorgente	Ir	0,4	1,0	1,9	2,0	1,5	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	320,91	0,220	Media
B_001514	Sorgente	n.n.	0,5	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	93,08	0,064	Trascurabile
B_001515	Sorgente	n.n.	0,8	1,5	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	139,62	0,096	Trascurabile
B_001516	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	84,24	0,058	Trascurabile
B_001518	Sorgente	n.n.	Non misurabile	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	84,24	0,058	Trascurabile
B_001519	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	146,38	0,100	Bassa
B_001520	Sorgente	n.n.	Secca	1,0	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	50,54	0,035	Trascurabile
B_001521	Sorgente	n.n.	0,3	1,5	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	75,82	0,052	Trascurabile
B_001523	Sorgente	n.n.	0,4	1,5	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	107,64	0,074	Trascurabile
B_001526	Sorgente	n.n.	0,1	1,5	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	182,58	0,125	Bassa
B_001527	Sorgente	n.n.	Non misurabile	1,5	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	182,58	0,125	Bassa
B_001528	Sorgente	n.n.	0,2	1,0	0,5	1,2	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	21,48	0,015	Trascurabile
B_001529	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	55,85	0,038	Trascurabile
B_001530	Sorgente	n.n.	0,1	1,0	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	55,85	0,038	Trascurabile
B_001531	Sorgente	n.n.	0,1	1,0	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,5	1,0	0,39	133,28	0,091	Trascurabile
B_001532	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,3	2,0	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	119,60	0,082	Trascurabile
B_001533	Sorgente	n.n.	0,5	1,5	1,7	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	287,13	0,197	Bassa
B_001534	Sorgente	n.n.	0,1	1,5	1,3	0,4	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	35,88	0,025	Trascurabile
B_001535	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,3	2,0	1,0	0,6	0,3	0,1	1,0	0,53	137,54	0,094	Trascurabile
B_001536	Sorgente	n.n.	0,4	1,5	1,7	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	287,13	0,197	Bassa
B_001537	Sorgente	n.n.	0,0	1,0	1,7	2,0	1,0	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	191,42	0,131	Bassa
B_001538	Sorgente	A	-	1,0	1,7	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	93,84	0,064	Trascurabile

Legenda

Parametri calcolo indice DHI: TS=Tipo di sorgente; DT=Distanza dal tunnel; ET=Effetto topografico; IF=Intersezione con faglie; FF=Frequenza di fratturazione; MK=Permeabilità della roccia; OV=Spessore copertura; PZ=Ampiezza zona plastica; PI=Potential of inflow.

Colonna uso: P=Potabile; Ir=Irriguo; D=Domestico; A=Abbeveraggio animali; n.n.=uso non noto

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
05 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA Relazione idrogeologica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0000002	REV. B	FOGLIO. 188 di 189	

15. APPENDICE 2 – INTERFERENZA SUI POZZI

Codice	Tipo	Usa	TS	DT	ET	IF	FF	MK	OV	PZ	PI	DHI _{nn}	DHI	Grado Pericolosità
B_000026	Pozzo	n.n.	1,5	1,9	0,4	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	52,44	0,036	Trascurabile
B_000039	Pozzo	In	1,5	1,5	1,2	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	96,66	0,066	Trascurabile
B_000118	Pozzo	P	1,5	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	83,77	0,057	Trascurabile
B_000131	Pozzo	Ir	1,0	1,7	2,0	1,5	0,6	0,3	0,3	1,0	0,56	287,13	0,197	Bassa
B_000228	Pozzo	P	1,5	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	83,77	0,057	Trascurabile
B_000301	Pozzo	P	1,5	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	83,77	0,057	Trascurabile
B_000309	Pozzo	n.n.	1,0	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	55,85	0,038	Trascurabile
B_000368	Pozzo	n.n.	1,0	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,1	1,0	0,32	50,54	0,035	Trascurabile
B_000376	Pozzo	In	1,0	1,3	2,0	1,0	1,0	0,3	0,3	1,0	0,73	189,02	0,129	Bassa
B_000390	Pozzo	Ir	1,0	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	156,40	0,107	Bassa
B_000578	Pozzo	D	1,5	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	182,58	0,125	Bassa
B_000580	Pozzo	Ir	1,5	1,7	2,0	1,5	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	273,87	0,187	Bassa
B_000587	Pozzo	n.n.	1,5	1,9	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	157,32	0,108	Bassa
B_000605	Pozzo	Ir	1,0	1,9	2,0	1,5	0,1	0,3	0,5	1,0	0,39	223,44	0,153	Bassa
B_000618	Pozzo	Ir	1,5	1,7	2,0	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	182,58	0,125	Bassa
B_000662	Pozzo	P	1,5	1,7	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	140,76	0,096	Trascurabile
B_000679	Pozzo	n.n.	1,5	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	107,64	0,074	Trascurabile
B_000822	Pozzo	P	1,5	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	107,64	0,074	Trascurabile
B_000829	Pozzo	Pi	1,5	1,5	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	124,20	0,085	Trascurabile
B_000837	Pozzo	P	2,0	1,7	1,2	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	187,68	0,128	Bassa
B_001423	Pozzo	n.n.	1,0	1,9	2,0	1,0	0,1	0,3	0,9	1,0	0,46	174,80	0,120	Bassa
B_001427	Pozzo	n.n.	1,5	1,3	0,4	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	27,92	0,019	Trascurabile
B_001489	Pozzo	n.n.	1,0	1,3	1,2	1,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,36	55,85	0,038	Trascurabile