

ALMA MATER STUDIORUM A.D. 1088
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea Magistrale in Geologia e Territorio

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali

Tesi di Laurea Magistrale

Studio idrogeologico del settore nord-orientale dell'Altopiano carsico dei Sette Comuni (Asiago) con traccianti naturali e artificiali

Candidato:
Stefano Marighetti

Relatore:
Prof. Jo De Waele

Correlatore:
Dott.ssa Maria Filippini

Sessione Ottobre 2017
Anno Accademico 2016-2017

*All'avvincente storia del Gruppo Grotte Selva,
in particolare a Ruggero e alla sua vita da speleo.*

SOMMARIO

ABSTRACT	1
RIASSUNTO.....	2
1.0 INTRODUZIONE	4
1.1 Premessa	4
1.2 Scopo della ricerca.....	4
1.3 Impostazione della ricerca	4
1.4 Enti coinvolti.....	5
2.0 INQUADRAMENTO ALTOPIANO DI ASIAGO	6
2.1 Inquadramento geografico	6
2.2 Inquadramento meteo-climatico	7
2.3 Inquadramento geologico	9
2.3.1 Evoluzione geologica dell’Altopiano.....	9
2.3.2 Stratigrafia.....	10
2.3.3 Tettonica.....	14
2.4 Geomorfologia	15
2.5 Carsismo	16
2.5.1 Fenomeni carsici superficiali	16
2.5.2 Fenomeni carsici profondi: le grotte	17
2.6 Inquadramento idrogeologico	19
2.6.1 Caratterizzazione dell’idrostruttura.....	19
2.6.2 Bilancio idrogeologico	20
2.7 Inquadramento dei punti di monitoraggio	21
2.7.1 Strumenti installati presso i punti di monitoraggio	24
3.0 MATERIALI E METODI	26
3.1 Creazione datasheet “Idro Asiago”.....	26
3.2 Creazione mappe e modello 3D tramite software GIS	26
3.3 Organizzazione dell’attività di campagna.....	27
3.4 Monitoraggio idrofisico in situ (discontinuo).....	28
3.4.1 Misura T, pH, CE.....	28
3.4.2 Misura Portata Q	28

3.5 Monitoraggio idrofisico in continuo di T, CE, livello	30
3.6 Analisi del regime sorgivo per il calcolo delle riserve idriche	32
3.7 Monitoraggio idrochimico	34
3.8 Tracciamento	35
3.8.1 Traccianti.....	35
3.8.2 Fluorimetri e interpretazione della curva di restituzione del tracciante	36
3.8.3 Fluocaptori e loro rivelazione	38
3.8.4 Determinazione della quantità di tracciante da immettere	40
3.8.5 Campagne di tracciamento	42
4.0 PRESENTAZIONE DEI DATI.....	43
4.1 Assetto strutturale	43
4.2 Piovosità.....	44
4.3 Portata delle sorgenti del Canale del Brenta	45
4.4 Dati idrofisici in situ (discontinui).....	47
4.5 Dati del monitoraggio idrofisico in continuo.....	52
4.6 Dati idrochimici	58
4.7 Dati del tracciamento	62
5.0 DISCUSSIONE E ELABORAZIONE DEI DATI.....	74
5.1 Elaborazione dei dati idrofisici in situ	74
5.2 Elaborazione dei dati idrofisici in continuo	80
5.2.1 AS6-Peschiera	80
5.2.2 AS13-Parco Bigonde.....	82
5.2.3 AS17-Fosso	86
5.2.4 Confronto tra AS17, AS6 e AS13	87
5.2.5 CG4-By Pass (Grotta del Calgeron).....	89
5.2.6 BG2-Smaniotto (Grotta della Bigonda)	90
5.2.7 Confronto dei livelli dei punti di monitoraggio	93
5.3 Esaurimento delle sorgenti e calcolo delle riserve.....	94
5.4 Tracciamento	95
5.4.1 Prima campagna	95
5.4.2 Seconda campagna	96
5.4.3 Terza campagna.....	97
5.4.4 Quarta campagna.....	98

5.5 Elaborazione dei dati idrochimici	100
5.5.1 Classificazione delle acque	100
5.5.2 Analisi dei macrocomponenti inorganici	102
5.5.3 Analisi dei Lantanidi	104
6.0 CONCLUSIONI	107
ALLEGATO I: Descrizione dei punti di monitoraggio	111
BIBLIOGRAFIA	132
SITOGRAFIA	136
RINGRAZIAMENTI	138

INDICE DELLE FIGURE

Fig 2.1 Inquadramento area di studio	7
Fig 2.2 Precipitazioni e Temperature medie dal 1999 al 2016 presso Marcesina, Asiago, Lusiana	8
Fig 2.3 Precipitazioni e temperature medie presso la Piana di Marcesina-Rendole	8
Fig 2.4 Carta geologica, profilo NNW-SSE, legenda Altopiano di Asiago da CARG	9
Fig 2.5 A sinistra Altopiano settentrionale, a destra Piana di Marcesina.....	16
Fig 2.6 Condotti della Grotta della Bigonda. In alto a destra modello 3D di Diaclasi Due Venti e Galleria Bissa Bianca. A sinistra foto di Diaclasi Due Venti e in basso a destra foto Galleria Bissa Bianca.....	18
Fig 2.7 Caratterizzazione dell'idrostruttura	20
Fig 2.8 Sorgenti in Valsugana su base IGM 25000	21
Fig 2.9 Sorgenti in Canale del Brenta su base IGM 25000	22
Fig 2.10 Mappa e profili altimetrici riportanti le sorgenti in Valsugana.....	24
Fig 3.1 Installazione stramazzo presso AS13,4-Parco Bigonde.....	29
Fig 3.2 Associazione tipo di risposta sorgente all'assetto del reticolo carsico.....	31
Fig 3.3 Idrogramma AS6-Peschiera. Nel riquadro rosso si nota la tipica forma della curva di efflusso sorgivo	33
Fig 3.4 Dettaglio della curva di efflusso sorgivo nel riquadro rosso. La linea verde rappresenta il decremento mentre la linea rossa rappresenta l'esaurimento. La formula riportata approssima l'esaurimento tramite il modello di Maillet.	33
Fig 3.5 Sonda del fluorimetro.....	37
Fig 3.6 Associazione curva di restituzione fluorimetro all'assetto reticolo carsico.....	38
Fig 3.7 Rivelazione fluocaptori	39
Fig 4.1 Mappa riportante lineamenti tettonici e giaciture dell'area di studio.....	43
Fig 4.2 Confronto piovosità stazione meteo Palù e Barricata	45
Fig 4.3 A sinistra portata delle sorgenti di Oliero, a destra portata sorgente AS15	46
Fig 4.4 Portata massima e minima delle sorgenti del Canale del Brenta	47
Fig 4.5 Idrogramma AS6-Peschiera	53
Fig 4.6 Idrogramma AS13-Parco Bigonde	54
Fig 4.7 Idrogramma AS17	55
Fig 4.8 Variazioni livello BG2-Smaniotto	56
Fig 4.9 Idrogramma CG4-By Pass	57
Fig 4.10 Flusso idrico tra MS1 e AS6	63
Fig 4.11 Mappa tracciamenti effettuati.....	64
Fig 4.12 Curva di restituzione AS2A-Siori	65
Fig 4.13 Curva di restituzione AS1-Subiolo	66
Fig 4.14 Curva di restituzione AS15-Moretti.....	67
Fig 4.15 Curva di restituzione AS13-Parco Bigonde	68
Fig 4.16 Curva di restituzione AS6-Peschiera	69
Fig 4.17 Curva di restituzione AS6-Peschiera	70
Fig 4.18 Curva di restituzione AS17-Fosso	71
Fig 4.19 Curva di restituzione CG4-By-Pass	72

Fig 4.20 Curva di restituzione AS14-Cenci	73
Fig 5.1 Parametri idrofisici in situ	75
Fig 5.2 Temperatura sorgenti in Canale del Brenta.....	76
Fig 5.3 Conducibilità elettrica sorgenti in Canale del Brenta.....	76
Fig 5.4 Temperatura sorgenti in Valsugana alla base del versante	77
Fig 5.5 Temperatura sorgenti in Valsugana sul fondovalle.....	77
Fig 5.6 Temperatura, Conducibilità e pH dell'acqua di grotta	79
Fig 5.7 Portata dell'acqua di grotta	80
Fig 5.8 Idrogramma AS-6. Grafico relativo a tutto il monitoraggio.	80
Fig 5.9 Idrogramma AS-6. Evento meteorico del 04/03 amplificato dall'effetto dello scioglimento della neve sull'altopiano. Tipo di risposta a micro sostituzione.....	81
Fig 5.10 Idrogramma AS-6. Evento meteorico del 26/04. Tipo di risposta a micro sostituzione.....	81
Fig 5.11 Idrogramma AS6. Evento del 14/06. Tipo di risposta a micro pistonaggio.....	82
Fig 5.12 Idrogramma AS13. Grafico relativo a tutto il periodo di monitoraggio.	83
Fig 5.13 Idrogramma AS13. Cicli circadiani.	84
Fig 5.14 Idrogramma AS13. Aumento di livello del 17/03. Tipo di risposta a micro sostituzione	85
Fig 5.15 Idrogramma AS13. Evento del 25/06. Tipo di risposta a micro pistonaggio.....	85
Fig 5.16 Idrogramma AS13. Evento del 24/07. Tipo di risposta a micro sostituzione	86
Fig 5.17 Idrogramma AS17. Grafico relativo a tutto il periodo di monitoraggio.	86
Fig 5.18 Confronto T AS17-AS6-AS13	87
Fig 5.19 Confronto CE AS6-AS13.....	88
Fig 5.20 Confronto portata AS6-AS17	89
Fig 5.21 Idrogramma CG4. Grafico relativo a tutto il periodo di monitoraggio.	89
Fig 5.22 Idrogramma CG4. Analisi evento 25/06. Tipo di risposta a micro pistonaggio. ..	90
Fig 5.23 Gallerie inferiori della Grotta della Bigonda.....	90
Fig 5.24 Livello BG2-Smaniotto. Grafico relativo a tutto il periodo di monitoraggio.	91
Fig 5.25 Livello BG2-Smaniotto. Eventi di fine marzo.	91
Fig 5.26 Livello BG2-Smaniotto. Evento del 25/04.....	92
Fig 5.27 Livello BG2-Smaniotto. Evento del 24/07.....	92
Fig 5.28 Confronto tra livelli idrici delle sorgenti in Valsugana.....	93
Fig 5.29 Incremento livelli idrici in Valsugana del 26/04.....	93
Fig 5.30 Idrogramma AS-6. Nel riquadro rosso è evidenziato uno pseudoesaurimento....	94
Fig 5.31 Pseudoesaurimento in seguito a evento meteorico del 05/06. La linea verde rappresenta il decremento mentre la linea rossa rappresenta l'esaurimento.	94
Fig 5.32 AS13-Parco Bigonde in seguito al tracciamento del 07/01/2017	95
Fig 5.33 Profilo N-S della Grotta della Bigonda riportante i punti di tracciamento interni e la sorgente monitorata AS13	96
Fig 5.34 Curva di restituzione AS13. Tracciamento bis da BG9-Cigno nella Grotta della Bigonda a AS13-Parco Bigonde.....	97
Fig 5.35 Curva di restituzione di AS6 in seguito a terza campagna di tracciamento.	97
Fig 5.36 Curva di restituzione di AS6.	98
Fig 5.37 Curva di restituzione di AS6 in seguito alla quarta campagna di tracciamento....	99

Fig 5.38 Curva di restituzione di AS6 in seguito a terza campagna di tracciamento. Arrivo del 26/05.	99
Fig 5.39 Diagramma di Schoeller relativo a tutte le analisi disponibili.	100
Fig 5.40 Parametri chimico-fisici delle acque analizzate. I colori indicano le condizioni idriche delle sorgenti: verde in magra, arancio in morbida, rosso in piena.	102
Fig 5.41 Grafici “ $\text{HCO}_3^- / \text{Ca}^{2+}$ e Mg^{2+} ” e rapporto “Mg/Ca”.....	103
Fig 5.42 Rapporto Mg/Ca relativo a tutti i campioni. I colori indicano le condizioni idriche delle sorgenti: verde in magra, arancio in morbida, rosso in piena.	103
Fig 5.43 Saturazione Calcite e Dolomite.....	104
Fig 5.44 Diagramma dei Lantanidi relativo alle sorgenti del Canale del Brenta e fiume Brenta.	105
Fig 5.45 Diagramma dei Lantanidi relativo alle sorgenti in Valsugana.....	105
Fig 5.46 Diagramma dei Lantanidi relativo alle acque di grotta.....	106

INDICE DELLE TABELLE

Tab 2.1 Strumenti per il monitoraggio installati.....	25
Tab 3.1 Formule per stimare la quantità di tracciante per la colorazione.....	40
Tab 3.2 Calcolo della quantità di tracciante per la seconda campagna di tracciamento.....	41
Tab 3.3 Calcolo della quantità di tracciante per la quarta campagna di tracciamento.....	42
Tab 4.1 Portata sorgenti del Canale del Brenta.....	46
Tab 4.2 Dati idrofisici in situ.....	48
Tab 4.3 Campionamenti per analisi chimica.....	59
Tab 4.4 Macrocomponenti inorganici.....	60
Tab 4.5 Metalli.....	61
Tab 4.6 Lantanidi.....	62
Tab 4.7 Tracciamenti effettuati.....	62
Tab 5.1 Statistica T AS6-AS17-AS13.....	87

ABSTRACT

The Seven Comuni Plateau (Asiago), feeds a large karst aquifer whose main springs are located in the Brenta Valley (Canale del Brenta) and they are called Ponte Subiolo, Fontana Moretti, Cogol dei Siori e Cogol dei Veci. Together, these springs provide on average 7,7 m³/s of water. If is considered a recharge of the acquifer of 20 m³/s, it is noticed that only 40% of the water flows out to these springs. In this research it is characterized a part of the water that infiltrates the karst massif and does not flow to the main springs. Here the North-Eastern area of the Plateau is studied, which corresponds to an area of 200 km². In this area, there are 60 km of karstic conduits where the water is transported from the summit to the springs located at the base of the steep northern slope of the Plateau. The caves on the top of the Plateau are predominantly vertical and descend for hundreds, sometimes thousands of meters inside the massif. The most famous are Malga Fossetta Abyss (Abisso di Malga Fossetta), Abyss of Mystery (Abisso del Mistero), Grankio Abyss (Abisso del Grankio). The caves on the northern slope are predominantly sub-horizontal and are called Bigonda Cave (Grotta della Bigonda) and Calgeron Cave (Grotta del Calgeron). The monitoring points, located both in the caves and on the valley floor, are 52, of which 32 were periodically sampled for chemical analysis, and it was measured the temperature, the electrical conductivity, the pH, and sometimes the discharge. Following the first year of monitoring, the three main springs of the study area were identified, they are located in Valsugana valley and they are called Parco Bigonde, Fosso and Peschiera. They have been monitored with dataloggers for measurement of electrical conductivity, temperature and level of the water. The same type of datalogger was used in the main stream of the Calgeron Cave. A datalogger for measurement of level was installed in the Bigonda cave in the siphon located at the lower altitude of the cave. The monitoring revealed that T and EC are constant. This suggest the springs have diffuse dominated flow. However, micro mixed flow and micro piston flow have been identified. An analogous behavior presents the stream in the Calgeron cave. The springs in Valsugana slowly pull out the neoinfiltration water through a large saturated zone. Therefore, in case of heavy raining the springs do not efficiently flow out the water supply and the phreatic level of the karstic massif rises and leads to the discharge of water from the entrance of the Bigonda cave and in extreme cases from the entrance of the Calgeron cave. This is shown by the rapid variations of the level of the lower siphon monitored in the Bigonda cave that after weaker rainflow, the level raises periodically and it floods the lower galleries of the Bigonda cave. A multiple dye-tracer tests was done, which has shown the connection of the outer galleries of the Bigonda cave with the spring Parco Bigonde. The tracing from the Abyss of Mystery, located in a central area of the study area, has shown the exclusive connection to the spring Peschiera located in Valsugana Valley and no connection to the main springs of the entire Plateau located in Brenta Valley. The chemical analysis that are available allow to classify the waters as calcium bicarbonate. They are distinguished in families according to the content of Alkali, Chlorides, Sulfates, according to the trend of Lantanids and according to the content of Calcium and Magnesium.

RIASSUNTO

L'Altopiano dei Sette Comuni o di Asiago, alimenta un grande acquifero carsico le cui sorgenti principali sono situate nel Canale del Brenta e sono nominate Ponte Subiolo, Fontana Moretti, Cogol dei Siori e Cogol dei Veci. Assieme queste sorgenti forniscono mediamente $7,7 \text{ m}^3/\text{s}$ d'acqua. Se si considera una ricarica dell'acquifero di $20 \text{ m}^3/\text{s}$ si nota che solo il 40% delle acque fuoriesce a tali sorgenti. In questo elaborato viene caratterizzata una parte dell'acqua che si infiltra nel massiccio carsico e non defluisce alle sorgenti principali.

In particolare viene studiato il settore nord orientale d'Altopiano, che corrisponde a un area di circa 200 km^2 . All'interno di quest'area si sviluppano circa 60 km di condotti carsici in cui l'acqua viene trasportata dalla sommità alle sorgenti alla base del ripido versante settentrionale dell'Altopiano. Le grotte presenti sulla sommità dell'Altopiano sono ad andamento prevalentemente verticale e scendono per centinaia, talvolta migliaia di metri all'interno del massiccio. Le più famose sono Abisso di Malga Fossetta, Abisso del Mistero, Abisso del Grankio. Le grotte presenti sul versante settentrionale sono ad andamento prevalentemente suborizzontale e sono la Grotta della Bigonda e la Grotta del Calgeron. I punti di monitoraggio, situati sia in grotta che sul fondovalle, sono 52 di cui 32 sono stati campionati periodicamente per l'analisi chimica, e sono stati rilevati in situ i parametri di temperatura, conducibilità elettrica specifica, pH e talvolta portata.

In seguito al primo anno di monitoraggio sono state identificate le tre sorgenti principali del settore d'Altopiano studiato, site in Valsugana, nominate Parco Bigonde, Fosso e Peschiera. Esse sono state monitorate in continuo tramite datalogger che rilevano l'andamento di temperatura, conducibilità elettrica e livello. Un datalogger analogo viene utilizzato per il monitoraggio del torrente con portata maggiore della Grotta del Calgeron. Un datalogger per la misura di livello è stato installato nel sifone posto alla quota altimetricamente più bassa della grotta della Bigonda.

Il monitoraggio in continuo ha rivelato una risposta delle sorgenti in Valsugana del tipo a omogeneizzazione, in quanto i parametri fisico-chimici rimangono pressoché costanti. Vengono comunque identificate delle micro risposte di sostituzione e di pistonaggio. Un comportamento analogo lo presenta il torrente della Grotta del Calgeron.

Le sorgenti in Valsugana, drenano lentamente l'acqua di neoinfiltrazione, attraverso un'ampia zona satura. Quindi in caso di ingenti precipitazioni le sorgenti non drenano efficacemente l'apporto idrico e il livello freatico interno aumenta e porta alla fuoriuscita di acqua dall'ingresso della Grotta della Bigonda e in casi estremi dalla Grotta del Calgeron. Questo è confermato dalle rapide variazioni di livello che presenta il sifone monitorato in Bigonda che anche in seguito a eventi meteorici deboli, aumenta di livello allagando periodicamente le gallerie inferiori della Grotta della Bigonda.

Viene inoltre effettuato un tracciamento multiplo delle acque che ha dimostrato il collegamento delle gallerie più esterne della grotta della Bigonda con la sorgente Parco Bigonde. Il tracciamento dall'Abisso del Mistero, situato in una zona centrale dell'intero massiccio ha dimostrato l'esclusiva connessione con la sorgente Peschiera ubicata in Valsugana e nessun collegamento con le risorgive principali di tutto l'Altopiano site nel Canale del Brenta.

Le analisi chimiche di cui si dispongono permettono di classificare le acque come bicarbonato calciche. Esse vengono distinte in famiglie in base al contenuto di Alcalini, Cloruri, Solfati, in base all'andamento dei Lantanidi e se esse presentano un'impronta dolomitica.

1.0 INTRODUZIONE

1.1 Premessa

L'acqua è l'alimento principale di ogni essere vivente, consumato con continuità e di più di ogni altro alimento dall'uomo. Essa assolve anche la funzione di pulire ed igienizzare, contribuendo così a prevenire le malattie ed assicurare un miglior livello di qualità della vita. In Italia il consumo medio pro capite d'acqua potabile al giorno è di 215 litri, utilizzata anche per usi in cui non servirebbe che essa sia potabile. Questo è un dato che fa riflettere considerando che oggi, sulla Terra, 1 miliardo e 400.000 persone non hanno accesso all'acqua potabile. Inoltre, secondo una stima OCSE da qui al 2050 ci sarà un aumento della domanda mondiale di acqua del 55%. Il corretto utilizzo della risorsa idrica e la sua accurata conoscenza costituiscono una tematica fondamentale di oggi e del prossimo futuro.

Tra le riserve di acqua dolce gli acquiferi sotterranei, e gli acquiferi carsici in particolare, sono i più importanti, per qualità e quantità d'acqua. Essi costituiscono un importantissima risorsa che va protetta e salvaguardata (Civita, 1994).

L'Altopiano di Asiago, con i suoi 600 km² di ampiezza è uno dei maggiori massicci carsici italiani che alimenta un acquifero le cui sorgenti principali forniscono recentemente una media da 7 a 8 m³/s d'acqua (Boso & D'Alberto, 2006). Il monitoraggio e soprattutto la protezione dell'acquifero sono tematiche studiate e divulgate tra la popolazione locale già a partire dagli anni '60. Tuttavia gli studi condotti finora si sono focalizzati solo nella zona centrale d'altopiano, quella che sovrasta le sorgenti principali. Le restanti aree del massiccio sono poco o per niente conosciute.

1.2 Scopo della ricerca

Questo studio si propone di aggiungere un tassello alla comprensione delle dinamiche idrogeologiche e idrochimiche dell'intero sistema carsico, concentrandosi sul settore nord orientale dell'Altopiano in un'area di circa 200 km². All'interno di questo settore si sviluppano oltre 60 km di condotti carsici, attraversati da corsi d'acqua che possono avere portate di decine di litri al secondo. A questo settore d'Altopiano competono verso nord tre sorgenti principali che sono Parco Bigonde, Fosso e Peschiera mentre le sorgenti più importanti di tutto l'Altopiano sono situate all'estremo sud-est dell'area di studio e sono Ponte Subiolo, Fontana Moretti, Cogol dei Siori e Cogol dei Veci.

L'eccezionale conoscenza tridimensionale dell'area in oggetto permette di studiare l'evoluzione delle caratteristiche chimiche e fisiche delle acque, dal momento dell'infiltrazione dalla sommità dell'Altopiano, al loro percorso attraverso grotte da verticali a orizzontali fino alla loro espulsione tramite le sorgenti situate sul fondovalle.

1.3 Impostazione della ricerca

La prima fase del lavoro è consistita in un'attenta ricerca bibliografica per reperire i dati e gli studi pregressi. In seguito viene eseguito il censimento di tutte le sorgenti presenti nell'area di studio. La fase successiva ha previsto la stesura di un datasheet per la raccolta di tutti i dati e informazioni della ricerca. In particolare sono tabulati per ogni punto di

monitoraggio sia in grotta che nelle sorgenti in fondovalle i parametri in situ di temperatura, conducibilità elettrica, pH e quando possibile di portata. Ogni punto di monitoraggio è opportunamente documentato con foto e video. Tali dati sono stati raccolti a partire da dicembre 2015 e sono tutt'ora in fase di raccolta.

In occasione delle diverse condizioni idriche delle sorgenti, sono avvenuti i campionamenti per analisi idrochimica.

In seguito al primo anno di monitoraggio vengono identificate le sorgenti più importanti, sia in grotta che sul fondovalle. Nella fase successiva di studio esse vengono monitorate tramite datalogger per la misura in continuo di livello, temperatura e conducibilità elettrica. Tale fase è iniziata a dicembre 2016 e in parte sta continuando tuttora. Contemporaneamente inizia la fase di tracciamento delle acque, con installazione di fluorimetri e fluocaptori. I datalogger e i fluorimetri sono installati sia nei corsi d'acqua in grotta che nelle sorgenti sul fondovalle.

In seguito al lavoro in campagna si è provveduto alla stesura dell'elaborato in oggetto. Esso si sviluppa in 6 capitoli. Il primo capitolo corrisponde alla presente introduzione. Nel secondo capitolo viene inquadrata l'area di studio dal punto di vista geografico, meteorologico, geologico con particolare riferimento alle litologie e le strutture tettoniche che caratterizzano l'idrostruttura. Vengono fornite informazioni sulla geomorfologia con particolare riferimento al carsismo superficiale e profondo con lo sviluppo delle grotte. Viene fornito un inquadramento idrogeologico con caratterizzazione dell'acquifero e bilancio idrogeologico. Infine vengono descritti i punti di monitoraggio. Nel terzo capitolo vengono presentate le modalità di lavoro, le attrezzature e strumenti utilizzati descrivendone il principio di funzionamento. Nel quarto capitolo vengono presentati tutti i dati raccolti in quasi due anni di monitoraggio. Nel quinto capitolo i dati presentati vengono elaborati e discussi. Il sesto capitolo è dedicato alla sintesi delle informazioni ricavate, tramite una discussione conclusiva.

1.4 Enti coinvolti

La raccolta dati di base è stata possibile grazie all'attività e alla decennale esperienza del Gruppo Grotte Selva, associazione locale esperta dell'area in oggetto. Grazie ai suoi membri è stato possibile determinare i parametri fisici delle acque, effettuarne il campionamento ed eseguire il tracciamento. Il Dipartimento BiGea dell'Università di Bologna ha fornito il supporto scientifico, ha messo a disposizione una sonda multiparametrica portatile, due fluorimetri, contenitori per il campionamento, il materiale per la costruzione e rivelazione dei fluocaptori. Il laboratorio di ricerche idrogeologiche del Politecnico di Torino si è occupato dell'analisi chimica delle acque campionate. La commissione scientifica della Federazione Speleologica Veneta ha fornito una sonda multiparametrica con datalogger. ARPAV (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Veneto) ha fornito il database che raccoglie tutti i dati in loro possesso relativi a censimento delle sorgenti, analisi chimiche, misura parametri fisici delle acque. Il Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento ha fornito 22 kg di traccianti e si è occupato di scaricare i dati dalle quattro sonde multiparametriche con datalogger e dai sette fluorimetri messi a disposizione. Il Gruppo Grotte Valdagno e il Geo Cai Bassano hanno partecipato a una delle campagne di tracciamento.

2.0 INQUADRAMENTO ALTOPIANO DI ASIAGO

2.1 Inquadramento geografico

L'Altopiano di Asiago o Altopiano dei Sette Comuni, è localizzato nelle Alpi nord orientali italiane a confine tra la regione Veneto e Trentino. Esso si sviluppa in un'area di circa 600 km², divisibile in un altopiano meridionale con quote fino ai 1000m, in una conca mediana depressa, e in un altopiano settentrionale con quote massime superiori ai 2300 m. L'intero altopiano è delimitato da profonde incisioni vallive, a nord vi sono la Val di Barco, la Val di Sella e la Valsugana. In quest'ultima scorre il fiume Brenta. Verso est vi è il settore di Valsugana nominato Canale del Brenta in cui scorre il fiume Brenta. A sud vi è la scarpata tettonica di Bassano-Piovene che permette il raccordo con le colline Marosticane e la pianura veneta. A ovest vi è la Val d'Astico in cui scorre l'omonimo fiume. A nord ovest vi è l'unico lembo connesso in quota all'Altopiano di Lavarone (Mietto & Sauro, 2000).

La conca mediana, dove sorge il paese di Asiago, è la più popolata e conta 21200 abitanti che durante la stagione estiva arrivano a 95000 (Zavaroni, 2015), con una punta di 300000 persone in occasione dell'Adunata Nazionale degli Alpini del 2006. Tale numero di abitanti sembra essere sostenibile dall'ambiente e non influire particolarmente sulla qualità delle acque delle sorgenti carsiche situate alla base dell'Altopiano (Bellocchi et al, 2009). Ciò è possibile solo grazie all'attenta sensibilizzazione della popolazione locale alla protezione e salvaguardia dell'ambiente, grazie alla realizzazione di un efficiente sistema fognario e monitorando le rare discariche presenti.

Le restanti zone d'altopiano sono caratterizzate da boschi e pascoli destinati all'alpeggio. E' molto basso il numero di malghe, alberghi e rifugi presenti.

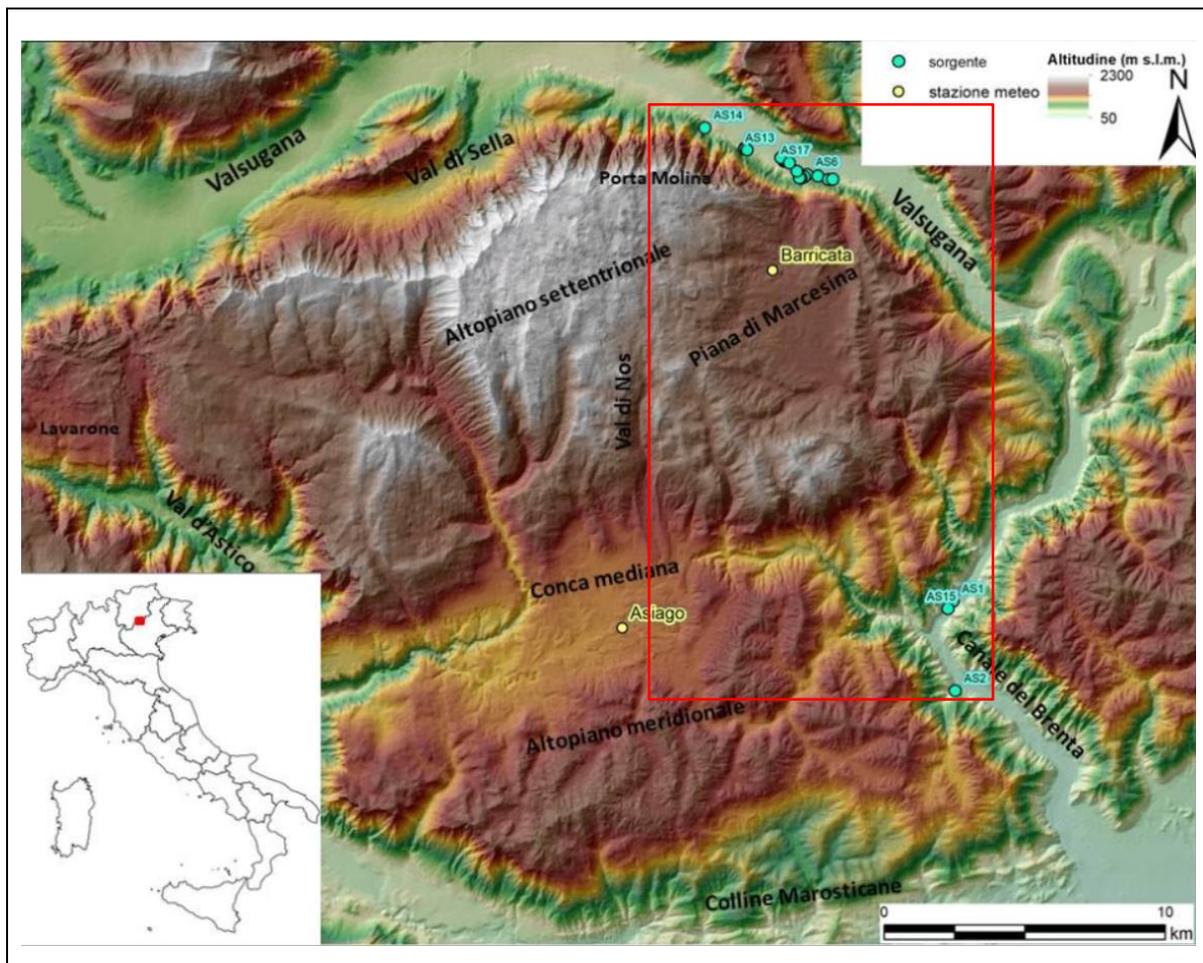


Fig 2.1 Inquadramento area di studio

In particolare questo elaborato si prefigge di studiare solo il settore nord orientale d’Altopiano limitato a nord dalla Valsugana e Val di Sella, a est dal Canale del Brenta, a sud dalla conca mediana di Asiago e a ovest dal lineamento tettonico in direzione Asiago-Val di Nos-Porta Molina.

2.2 Inquadramento meteo-climatico

L’Altopiano presenta un clima di tipo alpino caratterizzato da abbondanti precipitazioni distribuite su tutto l’arco dell’anno. Per lo studio meteo-climatico dell’Altopiano vengono analizzati i dati di precipitazione e temperatura di tre stazioni meteo. Tali stazioni sono distribuite nei diversi settori d’Altopiano e costituiscono un’approssimazione dei parametri climatici indagati per ogni settore. In particolare per il settore meridionale vengono considerati i dati rilevati dalla stazione meteo presso Lusiana, per la conca mediana la stazione meteo presso Asiago, per il settore settentrionale la stazione meteo presso Marcesina. I dati meteo sono raccolti e pubblicati in internet dal Centro meteorologico di Teolo di ARPAV, per un periodo che va dal 1999 al 2016. I grafici sottostanti mostrano in particolare l’andamento medio mensile delle precipitazioni e delle temperature delle tre suddette stazioni.

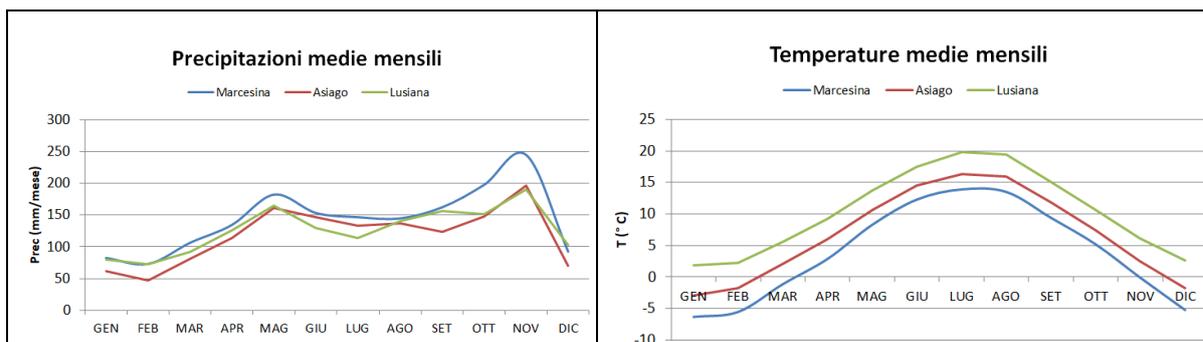


Fig 2.2 Precipitazioni e Temperature medie dal 1999 al 2016 presso Marcesina, Asiago, Lusiana

Per quanto riguarda le precipitazioni, si notano due picchi, il primo a maggio e il secondo più accentuato a novembre. La zona più piovosa è quella settentrionale, determinata tramite i dati rilevati dalla stazione meteo di Marcesina. Essa misura un picco di 250 mm medi nel mese di novembre e dei valori medi annui di 1688 mm. La conca mediana di Asiago presenta i valori di precipitazione inferiori con un valore minimo a febbraio con 50 mm medi al mese e un valore massimo di 200 mm nel mese di novembre. Quest'ultima misura un valore annuo medio di precipitazioni di 1392 mm. Lusiana che rappresenta il settore meridionale possiede grossomodo dei valori intermedi tra gli altri due settori.

Le temperature mostrano i valori massimi nei mesi di luglio e agosto e i minimi a gennaio e febbraio. Il settore settentrionale, rappresentato da Marcesina, corrisponde alle quote maggiori, e presenta temperature medie mensili più rigide con una minima di -5°C e un massimo di 14°C . Il settore meridionale rappresentato da Lusiana, presenta le temperature più elevate con un valore minimo a gennaio di 2°C e un valore massimo di 20°C a luglio. La conca mediana rappresentata da Asiago possiede dei valori di temperatura intermedi tra i due settori.

Analizzando nel dettaglio la stazione meteo di Marcesina, che corrisponde all'area di studio del presente elaborato, si nota l'andamento di precipitazioni e temperature mensili negli anni di monitoraggio dal 1999 al 2016. In particolare si nota nel grafico che rappresenta le precipitazioni che l'anno 2003 è stato il meno piovoso e il 2014 il più piovoso. Da notare anche il picco di precipitazione di 650 mm nel mese di novembre 2002.

La temperatura media annua è di $4,1^{\circ}\text{C}$.

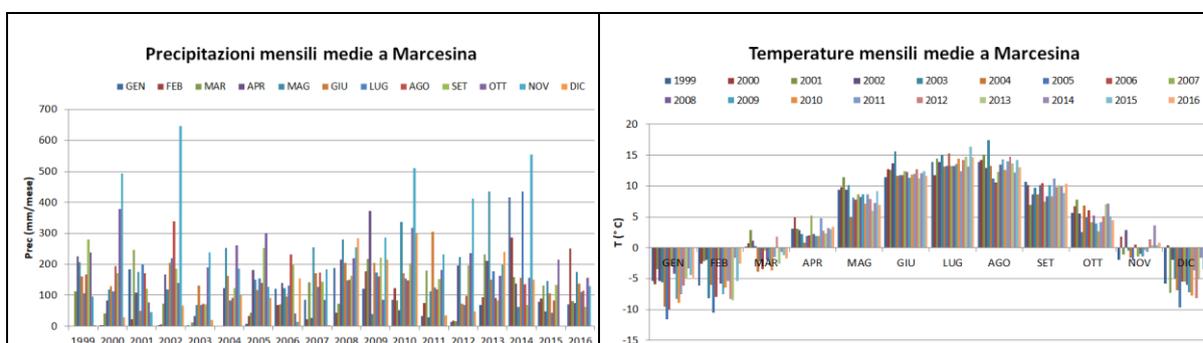


Fig 2.3 Precipitazioni e temperature medie presso la Piana di Marcesina-Rendole

Per quanto riguarda le precipitazioni nevose, si verificano soprattutto alle quote più elevate nel periodo che va da Dicembre a Febbraio e producono un accumulo al suolo permanente fino ai mesi di Marzo e Aprile.

La piovosità è direttamente proporzionale allo sviluppo di carsismo e formazione di grotte.

2.3 Inquadramento geologico

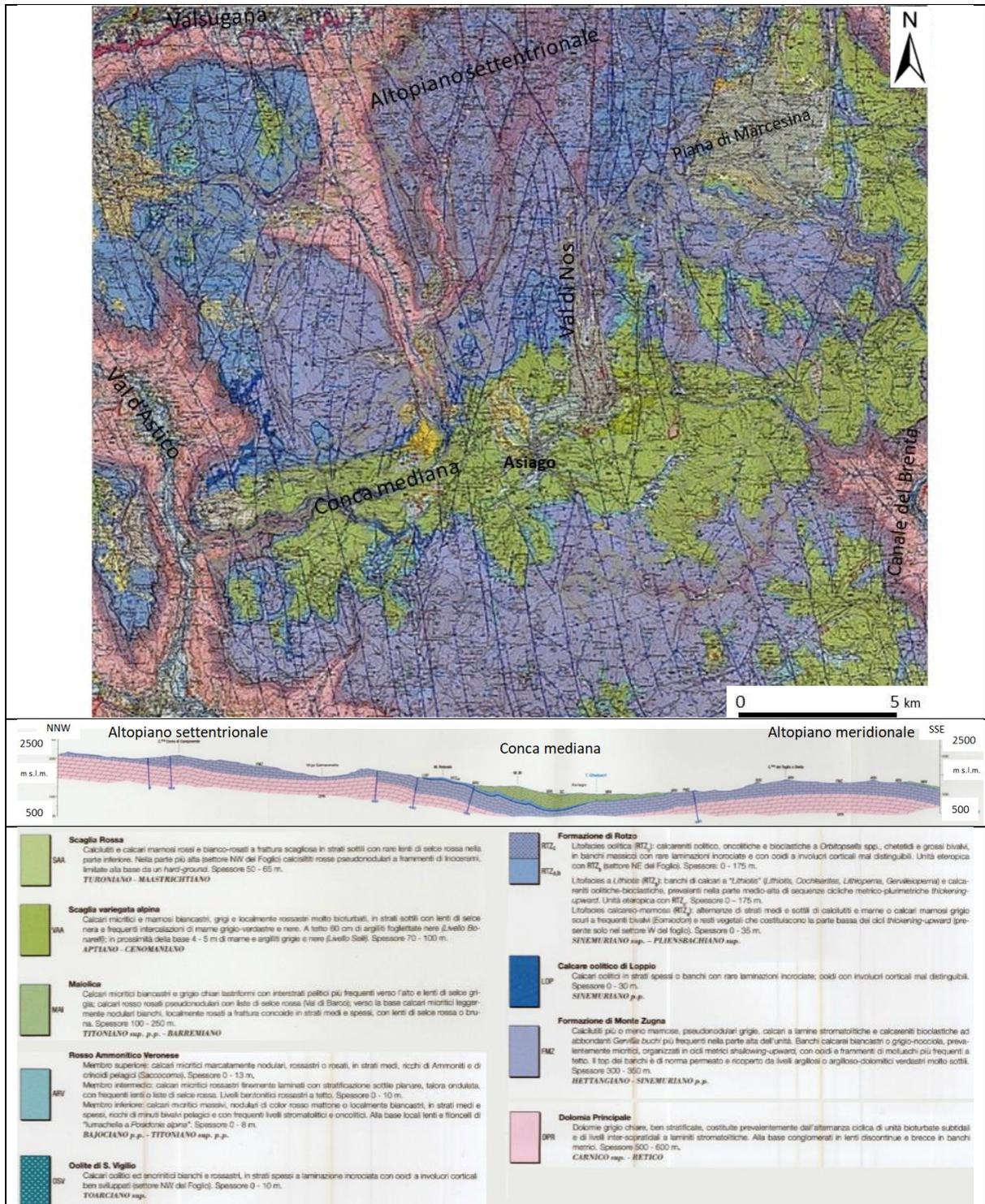


Fig 2.4 Carta geologica, profilo NNW-SSE, legenda Altopiano di Asiago da CARG

2.3.1 Evoluzione geologica dell'Altopiano

Studiando le rocce che compongono l'Altopiano di Asiago è possibile ricostruire la storia geologica evolutiva dell'area che inizia dal Basamento metamorfico alpino che rappresenta

l'ultima fase dell'orogenesi Ercinica Prepermiana. La catena ercinica fu in parte consumata in fase post collisionale originando importanti depositi vulcanici del Gruppo Vulcanico Atesino.

Il paesaggio era caratterizzato da corpi vulcanici ormai estinti e da brandelli della catena metamorfica ercinica. Alla base di questi massicci in fase di erosione, si è impostato un ambiente di piana alluvionale che durò fino al Permiano superiore. In questo periodo un braccio di mare della Tetide iniziò ad avanzare da est sommergendo i depositi alluvionali dapprima con depositi evaporitici poi con successioni terrigene e calcaree. Solo nel Triassico inferiore, con la nuova proliferazione degli organismi viventi in seguito all'estinzione P/T si instaurarono delle piattaforme carbonatiche in un ambiente di mare calmo, con raro apporto terrigeno e con clima tropicale. Queste piattaforme vennero ciclicamente annegate, carsificate o sepolte da corpi vulcanici per tutto il Triassico. La tettonica distensiva che aveva caratterizzato il Triassico e che porterà all'apertura dell'oceano Atlantico, si accentua nel Giurassico con la suddivisione dell'area in un alto strutturale chiamato Trento Plateau, rappresentato dall'Altopiano di Asiago, limitato ai lati dal Bacino Lombardo e dal Bacino Bellunese. La tettonica estensionale è continua e porta all'annegamento anche del Trento Plateau fino a trasformarlo nel Cretacico in un bacino profondo oltre 1000 m. Successivamente iniziò ad aumentare la quantità di sedimento terrigeno in bacino. Questo fatto testimonia l'inizio della fase Eoalpina che porta alla collisione tra la placca Europea e la microplacca Adria. In questa microplacca sono presenti i depositi testimoni degli ambienti precedentemente descritti. Essa è spinta dal continente Africano contro la placca Europea causando la subduzione di quest'ultima. La formazione delle Alpi si sviluppa in fasi ad intensa compressione alternate a momenti di stasi in cui si riconoscono la fase Mesoalpina e la fase Neoalpina. E' in corrispondenza di quest'ultima fase orogenetica, in particolare nel Miocene superiore che si attiva la linea Bassano-Valdobbiadene, un sovrascorrimento SSE vergente e la sua faglia coniugata Linea Val Sella, situata più a nord. L'azione coniugata di queste due faglie porta all'esumazione a pop-up dell'Altopiano di Asiago (Zanferrari et al, 1982). Nel contempo la crisi del Mediterraneo Messiniana causa la principale escavazione delle valli che circondano l'altopiano (Bini et al. 1978) fino a 100 m sotto il livello del mare attuale (Felber et al. 2000). Sulle rocce affioranti dell'altopiano si verificano processi d'alterazione pedogenetica, che generano una serie ciclica di paleosuoli, che vengono crioturbati e intercalati da depositi colluviali, generati dall'effetto climatico delle fasi glaciali-interglaciali Pleistoceniche (Magaldi & Sauro 1982). Tali cicli stanno attualmente modellando l'altopiano.

2.3.2 Stratigrafia

Le rocce più antiche affiorano nella Val di Sella, tributaria della Valsugana che limita a nord l'altopiano di Asiago. Sono composte da metamorfiti prepermiane di basso grado deformate e metamorfosate principalmente dall'orogenesi ercinica. In particolare sono composte in quest'area da filladi quarzifere e sericitiche con lenti di quarzo. Queste rocce erciniche compongono il Basamento Metamorfico Alpino. Esse furono in parte consumate in fase post collisionale causando importanti eruzioni vulcaniche con prodotti vulcanici e vulcanoclastici che affiorano solo sul versante opposto della Valsugana, nella Catena del Lagorai (D'Amico, 1964).

Nel Permiano superiore le sopradescritte rocce vennero erose producendo dei depositi alluvionali, localmente lagunari. Sempre in Val di Sella questi depositi sono testimoniati

dall'Arenaria di Val Gardena che è costituita da arenarie quarzose feldspatiche, a grana da media a grossolana, passanti verso l'alto ad arenarie fini e peliti di colore rosso e grigie, con intercalazioni di dolomie grigie, che preludono alla sovrastante Formazione a Bellerophon (Barbieri & Grandesso 2007). Durante la deposizione di quest'ultima Formazione l'ambiente evolve in marino marginale, con depositi evaporitici che sfumano verso l'alto in calcari scuri in strati centimetrici.

Superiormente si riscontra la Formazione di Werfen che appare in quest'area esigua e mancano alcuni membri rispetto allo stratotipo dolomitico. Tale Formazione è composta da vari litotipi da carbonatici a terrigeni con stratificazione sottile, depositi dal Permiano superiore al Triassico inferiore (Ghetti & Neri, 1983).

Un clima tropicale e un mare calmo, hanno favorito nell'Anisico inferiore la nascita delle prime piattaforme carbonatiche. La Dolomia del Serla che affiora raramente in Val di Sella, è formata da dolomie ben stratificate e wackestone a peloidi con frequenti intercalazioni pelitiche grigie o rossastre. Il suo spessore totale si aggira sui 50-70 m (Gianolla et al, 1998).

La Formazione a Gracilis affiora nel versante settentrionale d'Altopiano e rappresenta un ambiente che varia da laguna evaporitica con apporto terrigeno a piattaforma interna con spessore compreso da 40 a 50 m.

La Dolomia della Valsugana (De Zanche & Mietto, 1989) è costituita nella parte inferiore da intercalazioni di siltiti e arenarie quarzose fini, in cui aumentano gradualmente gli intervalli dolomitici, fino a diventare un'unità dolomitica massiccia come si osserva nei pressi della Val di Sella. L'ambiente di sedimentazione è una rampa carbonatica di età Anisico medio e si presenta con una potenza di 200-250m.

Il Gruppo delle Zwischenbildungen (De Zanche & Mietto, 1989) raggruppa diverse unità litostratigrafiche bacinali che documentano il Triassico medio alle pendici settentrionali dell'Altopiano di Asiago e Val di Sella per uno spessore di 100-150 m. I depositi che caratterizzano tale gruppo variano da marne bituminose a arenarie che sfumano in calcari, e ricoprono un'età tra Anisico superiore e Ladinico.

Tra il Ladinico e il Carnico si verifica un'elevata e continua subsidenza dell'area che porta al deposito di uno spessore di 100 m della Formazione Dolomia dello Sciliar che testimonia una laguna carbonatica peritidale. Essa è composta da dolomie saccaroidi, bianche o grigie chiare, con stratificazione grossolana, che scompare nella parte superiore. A tetto vi è il contatto erosivo con la Dolomia Principale anche se localmente il contatto tra queste Formazioni è testimoniato da marne, argilliti, calcari marnosi e dolomie corrispondenti alla Formazione di Travenanzes (ex Raibl).

Nell'area della Val d'Astico in alcuni lembi isolati affiorano le "Vulcaniti ladiniche" ossia riodaciti in colate sottomarine fortemente fratturate e alterate. A causa di queste eruzioni la piattaforma carbonatica dello Sciliar è morta.

La Dolomia Principale è un potente complesso di dolomie stratificate esteso su gran parte del Sudalpino. E' caratterizzata da una grande omogeneità di facies prevalentemente peritidali, di età dal Carnico superiore al Retico. Essa è la costituente principale delle pareti che circondano l'Altopiano. E' costituita prevalentemente da dolomie chiare, da grigie a biancastre ben stratificate. Presenta dei cicli con livelli pluridecimetrici bioturbati talora

fossiliferi a bivalvi *Neomegalodon* e gasteropodi *Worthenia*, e livelli stromatolitici che talvolta presentano evidenze di esposizione subaerea come tepee e mud-crack. Lo spessore totale della Dolomia Principale è variabile dai 500 ai 600 m.

La fine del Triassico è caratterizzata da un'intensa tettonica estensiva che porterà l'ambiente in cui si stanno depositando le sopradescritte Formazioni a evolvere nell'alto strutturale chiamato Piattaforma di Trento (Trento Plateau) limitato ai lati dal Bacino Lombardo e dal Bacino Bellunese.

In questo nuovo ambiente nel Giurassico inferiore si deposita il Gruppo dei Calcari Grigi. Suddiviso in Formazione di Monte Zugna, Calcarea Oolitica di Loppio e Formazione di Rotzo. Il Monte Zugna costituisce la parte sommitale della scarpata che limita a nord l'Altopiano di Vezzena e il crinale settentrionale di Cima Portule-M. Ortigara fino a M. Meatta. E' presente nella parte più alta della Val d'Astico, della Valsugana e dell'area di Valstagna (Masetti et al, 1998). Sono sequenze cicliche di calcari micritici e oolitico-bioclastici biancastri o nocciola in strati medi o in banchi. Nel settore sud-orientale dell'Altopiano il Gruppo dei Calcari Grigi è composto solo dal Monte Zugna e subito si sovrappone al Rosso Ammonitico Veronese. Lo spessore del Monte Zugna è stimabile in 300-350m. Il Calcarea oolitica di Loppio è rappresentato nel settore occidentale dell'Altopiano con spessori che si riducono da ovest a est dai 30m di Cima Vezzena a 15 m dell'Alta Val d'Assa fino ai 3 m di Cesuna. E' una successione di calcareniti oolitiche (grainstone) biancastre o grigio chiare, massive, in strati metrici. La Formazione di Rotzo è suddivisa dal basso in calcareniti e calcilutiti calcareo-marnose spesse 35 m nel settore occidentale d'altopiano che si riducono gradualmente sia verso est che verso sud. Superiormente presenta una facies a bivalvi *Lithiotis* caratterizzata da banchi metrici con alternanze calcareo-marnose, in eteropia con una facies oolitica. Lo spessore totale si aggira sui 130-150 m. L'Oolite di San Vigilio è presente solo nel settore nord-occidentale dell'Altopiano appoggiando direttamente sulla Formazione di Rotzo con spessori da dieci centimetri a una decina di metri. Essa è rappresentata da calcareniti oolitico-oncolitiche ed encriniti bianco-giallastre e rossastre.

Superiormente al Gruppo dei Calcari Grigi vi è una superficie di disconformità caratterizzata localmente da tasche metriche riempite da rudstone bioclastici bianco rosati che costituiscono la "lumachella a Posidonia alpina" con componente allochimica data da bivalvi pelagici. La sua deposizione è avvenuta in ambiente subaereo in occasione di ripetute mareggiate che hanno causato l'accumulo di bioclasti in cavità carsiche (Sturani, 1971). Tale unità sfuma superiormente nella Formazione del Rosso Ammonitico Veronese che segna il passaggio rapido da condizioni di piattaforma a quelle di altofondo pelagico.

Il Rosso Ammonitico Veronese è costituito da wackestone-packstone rossastri o localmente biancastri in banchi metrici, massicci, a prevalente facies pseudonodulare in matrice rosso mattone che rappresenta il riempimento di gallerie di bioturbazione. Il passaggio alla sovrastante Maiolica è graduale, con progressiva diminuzione della nodularità e della colorazione rossastra che tende verso toni bianco rosati. Il suo spessore complessivo è di 30 m e rappresenta almeno 30 Ma rappresentando una successione condensata e lacunosa con tassi di sedimentazione di qualche mm/ka. La deposizione di questa formazione ebbe luogo su un plateau pelagico in progressivo approfondimento da un centinaio a alcune centinaia di metri.

La Maiolica è presente lungo la fascia mediana che attraversa la conca di Asiago, e sulla sommità delle dorsali sommitali dell'Altopiano. Essa è costituita da calcari micritici

(mudstone e wackestone) suddivisi in strati spessi da 20 cm al metro attraversati da marcate superfici stilolitiche. La selce è presente in noduli e liste di colore rosso, bruno o giallastro. La sua potenza è stimata in 250 m mentre verso nord ovest è stimata 100 m. Essa rappresenta un deposito pelagico su di un plateau profondo alimentato da abbondante pioggia planctonica.

La Maiolica passa transizionalmente alla Scaglia Variegata Alpina che affiora con una potenza dai 70 ai 100 m in Val di Barco e nella conca mediana di Asiago. Essa è costituita da calcari micritici e marnoso biancastri, in strati sottili con frequenti intercalazioni centimetriche di marne e argilliti grigie e nere. La selce nodulare è nera. In questa formazione sono presenti due orizzonti di marne grigio scure con black shales ricche di materia organica che testimoniano due eventi anossici correlabili con il Livello Selli e Bonarelli (Premoli Silva et al 1999).

La Scaglia Rossa è rappresentata in settori molto limitati dell'Altopiano, affiora con una potenza di una cinquantina di metri in Val di Barco e nella conca mediana di Asiago. E' costituita da calcilutiti e calcari marnosi bianco rosati a stratificazione piano parallela con selce rossa e bruna nodulare. La Formazione è limitata superiormente dal contatto con le vulcaniti eoceniche.

Tali vulcaniti prendono il nome di Vulcaniti basaltiche dell'Alpone e sono collegate a tettonica distensiva paleogenica, localizzate solo nell'estremo settore nord-occidentale. Esse sono potenti una decina di metri e sono formate da arenarie e breccie nerastre con clasti di basalto vetroso. Legati a questo vulcanismo, nel resto dell'altopiano, si rinvengono filoni e neck basaltici (De Vecchi, 1995).

La Formazione di Pradelgiglio è presente in piccoli affioramenti, potenti 12 m, nella conca mediana di Asiago ed è costituita da biocalcareni grigie e nocciola in strati decimetrici intercalate a marne a globigerine e nummuliti riferibili al margine orientale del Lessini Shelf instaurato a partire dall'Eocene medio.

Le litologie più recenti fino al Pleistocene sono state erose e non sono presenti nella successione stratigrafica dell'Altopiano. Dal Pleistocene all'attuale vengono definiti dei Supersintemi.

In riferimento al LGM nella parte centrosettentrionale d'Altopiano dovevano essere presenti numerosi ghiacciai locali di cui quello più esteso entrava sia nel bacino dell'Astico che in quello del Brenta. In Val di Sella, in Valsugana e in Val d'Astico confluivano diramazioni del ghiacciaio Atesino che si manteneva nel solco delle valli senza interessare la sommità. I depositi legati al glacialismo locale sono cartografati all'interno del Supersintema dei Sette Comuni. I depositi legati a dinamica post glaciale sono raggruppati nel Sintema del Po. Prima del LGM vi sono depositi correlabili a più eventi sedimentari legati ad almeno due espansioni glaciali cioè la Formazione del Lagonsin e il Sintema di Cost'Alta racchiusi nel Supersintema di Asiago. I till d'ablazione sono diamicton massivi a supporto di matrice contenenti 30-40% di clasti eterometrici da subangolosi a subarrotondati. I till indifferenziati sono costituiti da diamicton massivi a clasti eterometrici e matrice limoso-sabbiosa. Non sono osservabili till d'alloggiamento. I till contengono ciottoli di origine locale potenti da 1 a decine di metri. Il limite inferiore è una superficie erosiva sul substrato roccioso mentre il limite superiore coincide talvolta con la superficie topografica. In Marcesina la distribuzione dei massi erratici indica che nel corso di una o più glaciazioni, i ghiacciai sono arrivati a sommergere Cost'Alta fino alla quota di

1480 m. In questo settore della piana della Marcesina una corrente glaciale si sviluppava lungo il corso de La Valle per diffluenza dalla massa principale, che si accumulava nella piana, unendosi presso Malga Valvachetta con una seconda corrente più importante che si sviluppava sulla conca del T. Ombra fluendo a nord fino a collegarsi con il ghiacciaio del Brenta. Verso sud invece il ghiacciaio collassava mantenendosi entro il solco della Val Grande. I depositi fluvioglaciali sono formati da ghiaie sabbiose grossolanamente stratificate a ciottoli embriciati da subangolosi a subarrotondati composti esclusivamente da litologie locali.

2.3.3 Tettonica

Essendo le strutture pre-Carniche sepolte o affioranti in minima parte solo in Val di Sella è possibile ricostruire l'assetto strutturale dell'Altopiano solo partendo dalla Dolomia Principale. In essa sono presenti orizzonti di breccie associati a piccole faglie sinsedimentarie che testimoniano la lenta e costante fase triassica di rifting che porterà all'apertura dell'oceano Atlantico centro-settentrionale. L'Altopiano di Asiago a cavallo tra Triassico e Giurassico è parte dell'horst Trento Plateau delimitato a est dal Bacino Bellunese e a ovest dal Bacino Lombardo. E' proprio in quest'ultimo bacino che si accentua la tettonica distensiva coinvolgendo in maniera minore l'Altopiano di Asiago che ha sviluppato solo delle variazioni di spessore delle Formazioni al suo interno dovute al rifting (Bertotti et al, 1993). Specialmente nel settore Nord-orientale dell'Altopiano di Asiago, in Marcesina sono presenti dei fasci NNE-SSW di faglie subverticali, che corrispondono all'orientazione tipica di queste strutture. Il rifting è continuato facendo evolvere il Trento Plateau in plateau pelagico durante il Giurassico Questa dinamica è testimoniata dalle variazioni di facies e dagli slumping del Rosso Ammonitico (Martire, 1996).

Il rifting paleogenico è associato a attività vulcanica mafica e ultramafica (De Vecchi & Sede, 1995). Tale tettonica estensiva potrebbe essere associata al bulging dell'avampese della catena dinarica dove l'asse principale orizzontale minimo del paleostress coincideva con quello prodotto dalla concomitante orogenesi alpina (Zampieri, 1995b). Il magmatismo sincollisionale potrebbe essere dovuto allo slab breakoff (Von Blanckenburg & Davies, 1995). E' presente un fascio pervasivo di faglie ad alto angolo orientate NNO-SSE, mancando però per erosione i terreni terziari non è possibile determinare con certezza quali di queste faglie siano state attive o si siano riattivate durante il Paleogene.

Alla fase di contrazione Neogenica si deve il sollevamento dell'Altopiano, nel contesto di raccorciamento del margine adriatico mediante sviluppo di sovrascorrimenti SSE vergenti. In sezione l'Altopiano risulta delimitato da due faglie inverse antitetiche convergenti verso il basso di cui la principale è la faglia di Bassano-Valdobbiadene immergente a NNO mentre la coniugata è la linea Val Sella immergente a SSE. Analizzando in pianta gli effetti superficiali dovuti alla cinematica di queste strutture si notano pieghe anticlinali e sinclinali appaiate che interessano tutta la porzione centrale e nord orientale d'Altopiano, con andamento OSO-ENE. L'elemento strutturale con maggior continuità è la sinclinale di Gallio (Barbieri, 1987) che attraversa tutto l'Altopiano tra Tonezza e Lazzaretti. Associato a questo importante elemento vi è l'anticlinale su cui è modellata la scarpata meridionale d'Altopiano. Durante questa fase le strutture delle fasi tettoniche precedenti sono state riattivate provocando transtensioni e transpressioni (Zampieri et al, 2003). In sezione l'Altopiano di Asiago può essere descritto come un pop-up delimitato da faglie coniugate convergenti verso il basso di cui la principale e prima a enuclearsi è la faglia Bassano. In

conseguenza si generano in ordine le antitetiche Val Sella, la faglia cieca a nord della sinclinale di Gallio, le faglie che enucleano nella sinclinale di Gallio.

2.4 Geomorfologia

Come precedentemente accennato, l'altopiano è essenzialmente composto da un massiccio carbonatico circondato da profonde valli. Tale massiccio può essere distinguibile da sud verso nord in scarpata tettonica meridionale, altopiano meridionale che sovrasta questa scarpata, nella conca mediana di Asiago, nell'altopiano settentrionale e nella scarpata settentrionale.

La scarpata tettonica meridionale borda l'altopiano da sud mettendolo in connessione con la pianura veneta. Qui i principale processi sono legati alla gravità e all'erosione lineare in corrispondenza della rete idrica.

L'altopiano meridionale si sviluppa in corrispondenza di blande pieghe spianate dall'erosione articolato in valli, dorsali e conche chiuse di tipo carsico. Le valli fluviali sono relitte e si sviluppano in direzione N o NE (Castiglioni et al, 1988).

La conca mediana si sviluppa in corrispondenza della sinclinale di Gallio dove affiorano al nucleo le formazioni cretacic eoceniche meno erodibili delle formazioni giurassiche attorno. I processi geomorfici in atto sono soprattutto legati all'attività di trasporto torrentizio concentrato nelle vallecole più importanti. Sono presenti delle forme relitte legate al modellamento fluvioglaciale, glaciali e periglaciali, ne sono un esempio le colline corrispondenti a morene laterali o frontali di ghiacciai locali o di provenienze atesina attribuibili all'LGM ma anche a eventi più antichi.

L'altopiano settentrionale si estende sino al ciglio settentrionale sulla Val di Sella e Valsugana. Questa è l'area più estesa e più elevata. Verso sud son presenti tracce di modellamento glaciale e carsico. La parte centrale è costituita da un rilievo tabulare dalla morfologia tormentata, minutamente articolato in conche, depressioni chiuse, doline, con affioramento della roccia nuda nel settore più elevato. Quest'area corrisponde all'antica area di accumulo del più importante ghiacciaio locale da cui si sviluppavano le lingue glaciali che scorrevano verso i margini dell'area o verso la conca mediana. L'altopiano di Marcesina nel settore nord orientale, costituisce un area di 5 km², presenta un'estesa coltre glaciale formata per il confluire di varie lingue provenienti dall'altopiano settentrionale centrale. Morfologicamente il paesaggio è di tipo glaciale per accostamento a dossi e depressioni allungate dovute a cordoni morenici terminali e di ritiro. In seguito al miglioramento climatico le forme glaciali si evolsero da conche intermoreniche a piccoli bacini e poi torbiere o piane fluvioglaciali.

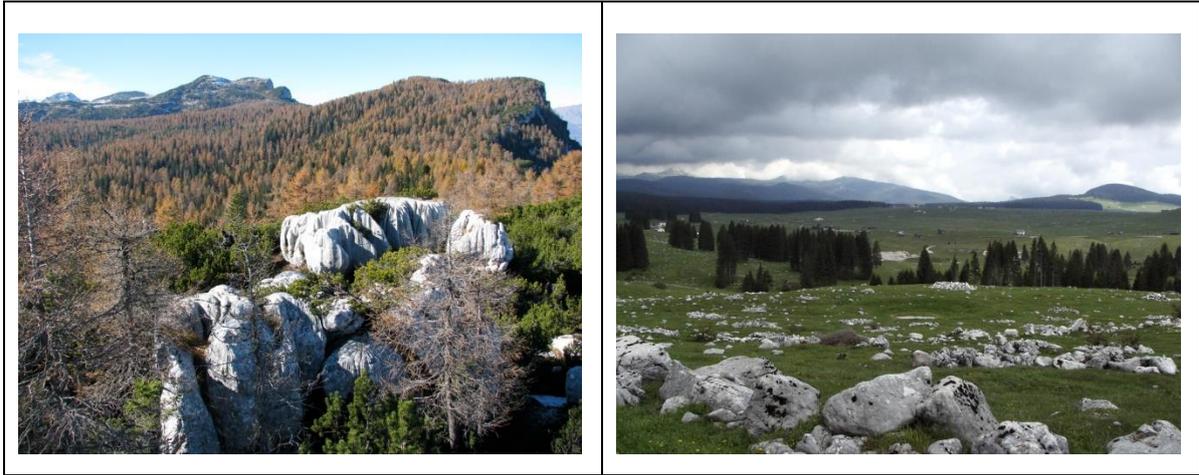


Fig 2.5 A sinistra Altopiano settentrionale, a destra Piana di Marcesina

La scarpata a nord si sviluppa su un dislivello di 1000 m terminando sul fondo della Val Sella sull'omonimo sovrascorrimento, la morfologia è marcata da debris flow e valanghe che hanno prodotto varie generazioni di depositi incisi e talora terrazzati dallo sviluppo delle valli legate al trasporto torrentizio.

Le principali valli interne o ai margini dell'altopiano si presentano come profondi solchi dai fianchi molto ripidi modellati nelle formazioni giurassiche e triassiche. Nelle valli più ampie è ben riconoscibile un'impronta di modellamento glaciale, nelle altre valli è più importante il ruolo dell'approfondimento torrentizio.

2.5 Carsismo

2.5.1 Fenomeni carsici superficiali

L'Altopiano di Asiago presenta un'ampia varietà di condizioni ambientali determinate dalla sua escursione altimetrica e relative caratteristiche di piovosità, temperatura e copertura di suolo e vegetazione. In esso quindi i fenomeni carsici variano da zona a zona. Si può quindi distinguere l'altopiano in diversi settori con peculiari caratteri morfocarsici (Sauro, 1995). Il settore meridionale è caratterizzato da una estesa copertura detritica e vegetale, la morfologia dominante è quella fluviocarsica di cui sono testimoni molte valli secche accompagnata da una diffusa presenza di doline di svariate dimensioni fino a depressioni di crollo. Il sistema centrale della conca di Asiago presenta invece una morfologia di tipo fluvio-periglaciale, risultante dalla interazione fra vari processi, in condizioni climatiche più fredde delle attuali, nei quali ha giocato un ruolo importante l'azione di gelo-disgelo unita alla rimozione del detrito da parte di torrenti glaciali. La parte settentrionale è caratterizzata da un carso nudo dovuto all'altitudine. I processi di modellazione sono di tipo glacio-carsico risultante da azione dei ghiacciai Pleistocenici e processi carsici nelle fasi di miglioramento climatico. Le forme più comuni sono i campi solcati e le conche glaciocarsiche. Queste ultime sono grandi depressioni generalmente chiuse situate sul fondo di circhi e valloni glaciali modellate sia da processi glaciali che carsici. Il paesaggio a carso nudo permette la formazione di tutte le forme micro e macro carsiche descritte in letteratura quali doline, campi carreggiati, crepacci, vaschette, solchi ecc (Perna & Sauro, 1979; Frigo, 1995).

2.5.2 Fenomeni carsici profondi: le grotte

Dalla sommità dell'Altopiano vi sono molte cavità ad andamento prevalentemente verticale che si spingono a grande profondità. In Val Galmarara vi è il Vludermaus Kuvela che si sviluppa per 3 km a una profondità di 600 m. Tra Monte Chiesa e Monte Zingarella si collocano Abisso del Nido (-466 m) e Abisso del Corno (-472 m). Sul massiccio del M. Verena è presente l'Abisso Spiller (-400 m). Nella conca di Asiago presso Canove si apre il gigantesco Giacominerloch che si spinge fino a -507 m e 3km di sviluppo. Nella parte meridionale d'Altopiano si trova il complesso Abri Sassi (-350 m, 2 km sviluppo) e l'Abisso Obelix (-800).

Nel settore nord-orientale d'altopiano, che corrisponde all'area oggetto di questo elaborato, in un area di 200 km² si sviluppano oltre 60 km di cavità. Le cavità poste sulla sommità dell'Altopiano sono ad andamento prevalentemente verticale mentre quelle poste sul versante in Valsugana e in Canale del Brenta sono ad andamento prevalentemente suborizzontale.

La grotta più profonda di quest'area è l'Abisso di Malga Fossetta, una cavità che presenta un dislivello di oltre -1000 m. E' posta a una quota di 1744 m s.l.m., 650 m a nord ovest della Malga Fossetta, nel "Bosco dei Laresi". La cavità è caratterizzata da un'alternanza di cunicoli meandrici e pozzi discendenti verticali, impostati su un sistema di faglie e fratture. Fino a -600 m vi sono irriferiti stillicidi. In seguito vi è un torrente attivo anche in magra invernale dalla portata di 0,5 l/min. La grotta si sviluppa per i primi 100 m in marne, in seguito si sviluppa nella Dolomia Principale (Miorandi et al 2005).

L'Abisso del Grankio è posto a 2,2 km a sud est di Malga Fossetta, in un'ampia dolina della Val Gozza. L'ingresso è posto a una quota di 1440 m s.l.m.. E' una grotta a prevalente sviluppo verticale fino a oltre -500 m (Dalle Tezze, 2010). Essa presenta una serie di stretti cunicoli e pozzi impostati su un sistema di faglie e fratture. Da -70 a -210 m la cavità presenta un unico pozzo discendente del diametro di circa 30 m. Sul fondo della grotta l'acqua di stillicidio si raccoglie in un torrente che scende in uno stretto laminatoio intransitabile.

L'Abisso Mae e Spae, è ubicato nella stessa dolina dell'Abisso del Grankio, 170 m a nord ovest di quest'ultimo. L'ingresso è posto a una quota di 1450 m s.l.m. Fino a una profondità di -40 m è caratterizzato da una serie di stretti cunicoli e pozzi. In seguito si apre un pozzo verticale del diametro di 30 m che scende fino a -186 m dove è otturato da massi di crollo.

Il Pozzo dei 5 (Pozzo Senza Elle) è situato circa 300m a sud est dell'Abisso del Grankio, in località Bosco del Lagonsin. Si apre a una quota di 1518 m s.l.m. e scende sino a -70 m con pozzi del diametro massimo di 10 m. A -40 m vi è uno stillicidio proveniente da una stretta fessura caratterizzata da un locale colore rosso bruno. In questo punto è stato eseguito il campionamento per l'analisi chimica.

L'Abisso del Mistero è posto 1 km a sud ovest dell'albergo Barricata, è la cavità posta in una zona centrale dell'area di studio. Si apre a una quota di 1424 m s.l.m. La cavità è caratterizzata da stretti cunicoli alternati a pozzi verticali fino a circa -50 m in cui vi è un pozzo profondo 100m del diametro di una quarantina di metri. La cavità scende fino a -190 m dove le acque di stillicidio si radunano in un torrente di 0,5 l/s che scarica in uno stretto laminatoio. In questo torrente è stato effettuato il tracciamento.

Le cavità ad andamento prettamente suborizzontale si sviluppano a quote più basse, ed hanno gli ingressi sui versanti dell'Altopiano.

Le grotte più importanti presenti sul versante settentrionale, in Valsugana sono la Grotta della Bigonda e la Grotta del Calgeron.

La Grotta della Bigonda è la più sviluppata dell'altopiano con oltre 37 km di condotti (Marighetti et al, 2016). Essa ha il suo unico ingresso a una quota di 400 m, circa un centinaio di metri sopra il paese di Selva di Grigno, situato sul fondovalle. Essa è una grotta costituita da più livelli epifreatici che testimoniano l'abbassamento della tavola d'acqua interna. Tali livelli sono uniti da diaclasi (Fig 1.6). La grotta si sviluppa verso sud ovest, verso l'interno dell'altopiano, diramandosi nei pressi degli Abissi sopradescritti. Al suo interno vi sono un gran numero di sifoni e corsi d'acqua, tra cui un torrente di una cinquantina di litri al secondo in condizioni idriche di magra invernale. In caso di precipitazioni importanti, dall'ingresso può fuoriuscire un torrente della portata di circa 7 m³/s, fungendo da troppo pieno dell'idrostruttura.

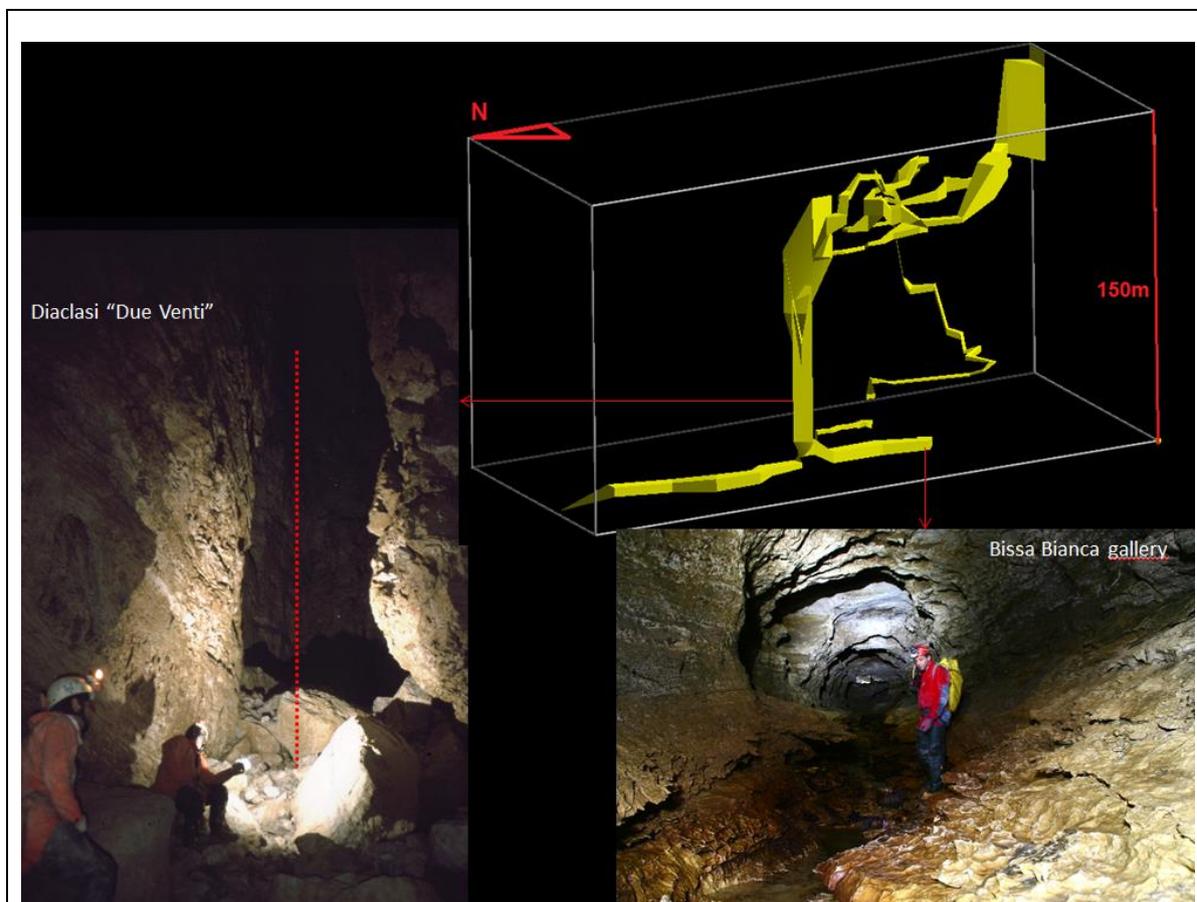


Fig 2.6 Condotti della Grotta della Bigonda. In alto a destra modello 3D di Diaclassi Due Venti e Galleria Bissa Bianca. A sinistra foto di Diaclassi Due Venti e in basso a destra foto Galleria Bissa Bianca.

Nel versante settentrionale dell'altopiano, circa 3 km verso est, a una quota di 450 m s.l.m. vi è la Grotta del Calgeron (o GB Trener). Essa si sviluppa per circa 5 km, è caratterizzata da gallerie suborizzontali che si approfondiscono verso sud con andamento a denti di sega. La grotta si sviluppa sotto a M. Aveati che costituisce il bacino di drenaggio. E' caratterizzata da vari sifoni e corsi d'acqua interni della portata massima monitorata finora di 1 l/s.

La Grotta della Bigonda e del Calgeron si sviluppano interamente nella Dolomia Principale e rappresentano antiche cavità valclusiane connesse ad un paleolivello della Valsugana (Borsato, 1995).

Ai piedi del versante centro-orientale d'altopiano, nel Canale del Brenta, nel comune di Valstagna, vi sono tre grotte sommerse che corrispondono alle sorgenti principali dell'intero Altopiano. Tali grotte sono le due sorgenti di Oliero e la sorgente di Ponte Subiolo.

Le sorgenti di Oliero sono formate da due risorgive che si aprono a 50 metri di distanza, nominate Cogol dei Siori e Cogol dei Veci. Queste grotte sono tuttora in fase di esplorazione con tecniche speleosubacquee. Il Cogol dei Siori si sviluppa in sifone per 3603 m con profondità massima di -70m. Dalla sua galleria principale, tramite una diramazione situata a circa 1 km dall'ingresso è possibile raggiungere la galleria principale del Cogol dei Veci. Questo percorso ad anello è lungo 5170 m.

Il Cogol dei Veci si trova 50 m più a sud del Cogol dei Siori. E' composto da un primo sifone lungo 2562 m con profondità massima di 57 m, oltre il primo sifone vi è una galleria aerea lunga 300 m che conduce a un secondo sifone lungo 1150 m con profondità massima di 46 m. Oltre il secondo sifone vi è un'ampia galleria aerea con morfologia freatica lunga all'incirca 3 km che porta ai piedi di una cascata alta 30 m, finora non ancora risalita (Sauro, 2012).

Circa 3 km più a nord delle risorgive di Oliero, nel Canale del Brenta, è presente la risorgiva dell'Elefante Bianco (o Ponte Subiolo) costituita da un lago del diametro di 20 m. In caso di piena dal lago fuoriesce un torrente di $4 \text{ m}^3/\text{s}$ (Celi, 1995). Il lago è profondo una ventina di metri, da qui parte la grotta sommersa che si approfondisce per altri 120 m.

2.6 Inquadramento idrogeologico

2.6.1 Caratterizzazione dell'idrostruttura

Tramite l'analisi della conformazione geologica dell'Altopiano è possibile caratterizzare la sua idrostruttura. Il limite basale è composto dal Basamento Metamorfico alpino impermeabile, soprastato dalla successione terrigena fratturata del Permiano-Triassico inferiore che costituisce l'acquitrando. La successione dal Triassico medio al Giurassico medio, composta da calcari e dolomie permeabili, costituisce l'acquifero. La successione stratigrafica è di seguito riassunta con gli spessori definiti da foglio CARG Asiago. Sulla destra è riportata una colonna stratigrafica con sigle derivata dalla Carta Geologica al 100000. Da notare che le Formazioni riportate nel CARG Asiago 50000 differiscono da quelle riportate nella carta geologica al 100000.

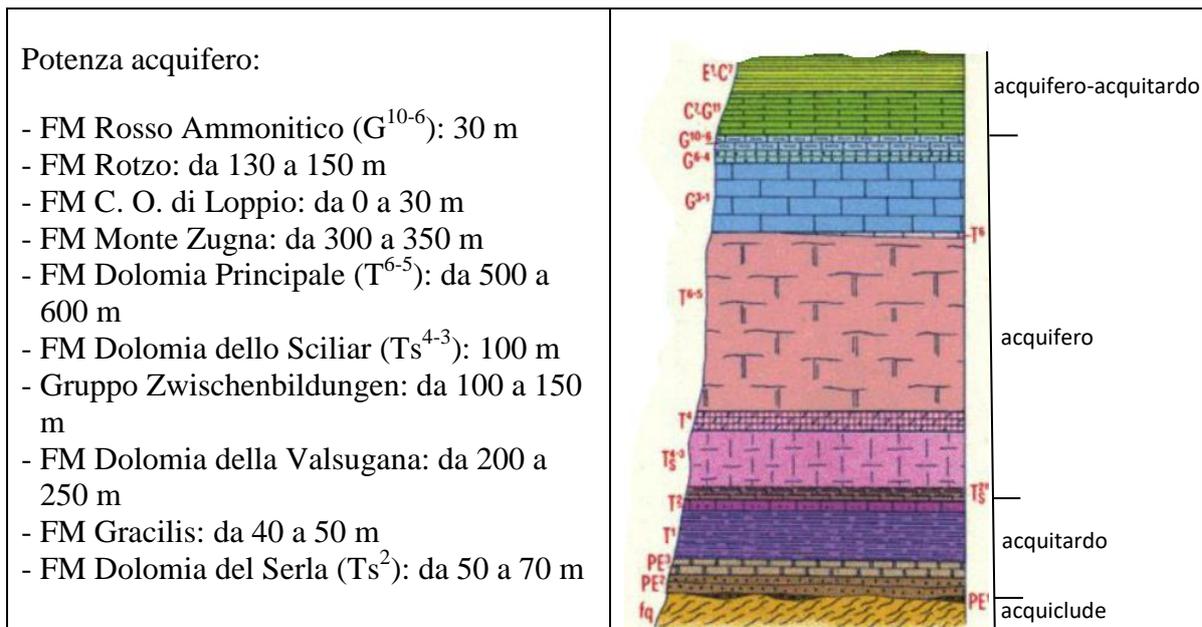


Fig 2.7 Caratterizzazione dell'idrostruttura

Sommando gli spessori delle Formazioni soprariportate, ne risulta che la potenza dell'acquifero varia da 1450 m a 1780 m.

Solo nella conca mediana e nel settore nord orientale, sopra all'acquifero sono presenti litologie Cenozoiche composte da fanghi carbonatici della Maiolica, potente dai 100 ai 250 m, che costituiscono l'acquitardo. La sua caratteristica è di rallentare l'infiltrazione dell'acqua. Tuttavia grazie all'elevata fratturazione dell'Altopiano e la presenza di numerose cavità verticali, il sopradescritto acquitarido presenta localmente delle aree di infiltrazione concentrata in cui l'acqua scorre rapidamente.

Talvolta l'acquifero o l'acquitardo sono coperti localmente da depositi glaciali che costituiscono a seconda della loro permeabilità o un acquifero confinato o un acquiclide.

E' fondamentale osservare l'assenza di corsi d'acqua sulla superficie dell'Altopiano nonostante gli apporti meteorici di 1680 mm/anno. L'acqua si infiltra rapidamente nel sottosuolo attraverso il complesso sistema di fratture, tramite un'infiltrazione diffusa o concentrata da forme carsiche quali doline. In poche decine di metri di profondità, l'acqua infiltrata può confluire in condotti principali. Tali condotti possono raggiungere le decine di metri di diametro, scendendo verticali all'interno del massiccio per centinaia di metri. Generalmente sul fondo di queste cavità le acque si raccolgono in un unico torrente che scorre in maniera vadosa seguendo l'immersione degli strati in condotti non umanamente transitabili (Zampieri, 1995). Verosimilmente queste cavità proseguono verticali fino al livello degli attuali fondovalle. Da questa quota, tramite un complesso di fratture o tramite gallerie freatiche suborizzontali, l'acqua viene convogliata alle risorgive poste alla base dell'Altopiano a una quota prossima a quella del fondovalle.

2.6.2 Bilancio idrogeologico

La ricarica dell'acquifero deriva dalle infiltrazioni meteoriche. Per effettuare il bilancio idrogeologico viene considerato il valore di precipitazione medio annuo, le portate defluenti dalle sorgenti principali, eventuali connessioni idriche sotterranee con l'acquifero poroso dei fondovalle (Pilli et al, 2012).

Quest'ultimo parametro viene alla luce nel calcolo del bilancio dell'acquifero poroso di pianura, le infiltrazioni idriche superficiali non possono essere considerate l'unico componente della ricarica perché esisterebbe un deficit che viene ricoperto dal contributo carsico che giunge dal basso.

Tale considerazione concorderebbe con un'interpretazione quantitativa afflussi e deflussi dell'acquifero prealpino che considera una parte di scambio idrico sotterraneo tra i due acquiferi: fra i $29,5 \text{ m}^3/\text{s}$ di ricarica e i $15 \text{ m}^3/\text{s}$ deflusso sorgentizio, intercorre un 50% di acqua interessante l'acquifero che ragionevolmente potrebbe essere attribuita a perdite diverse dalle sole evapotraspirazione e drenaggio superficiale. Si considera perciò, che circa due terzi delle precipitazioni, dopo brevi percorsi superficiali, vengono assorbiti dal massiccio carsico.

Per cui essendo $19,6 \text{ m}^3/\text{s}$ l'infiltrazione efficace calcolata sottraendo l'evapotraspirazione, e $15 \text{ m}^3/\text{s}$ i deflussi sorgentizi si potrebbero stimare per differenza $4,6 \text{ m}^3/\text{s}$ di perdite sotterranee dell'acquifero carsico e deflusso alle sorgenti minori. Tale volume d'acqua tuttavia non è misurabile direttamente (Zavaroni, 2015).

2.7 Inquadramento dei punti di monitoraggio

In questo elaborato vengono analizzate tutte le sorgenti sia perenni che temporanee presenti in Valsugana e le sorgenti maggiori dell'Altopiano situate nel Canale del Brenta. Vengono inoltre analizzati i corsi d'acqua più rilevanti posti all'interno delle grotte della Bigonda, del Calgeron, del Pozzo dei 5 e dell'Abisso del Mistero. Le caratteristiche delle sorgenti sono riportate in Allegato I. Nella mappa sottostante è possibile osservare l'ubicazione delle sorgenti.

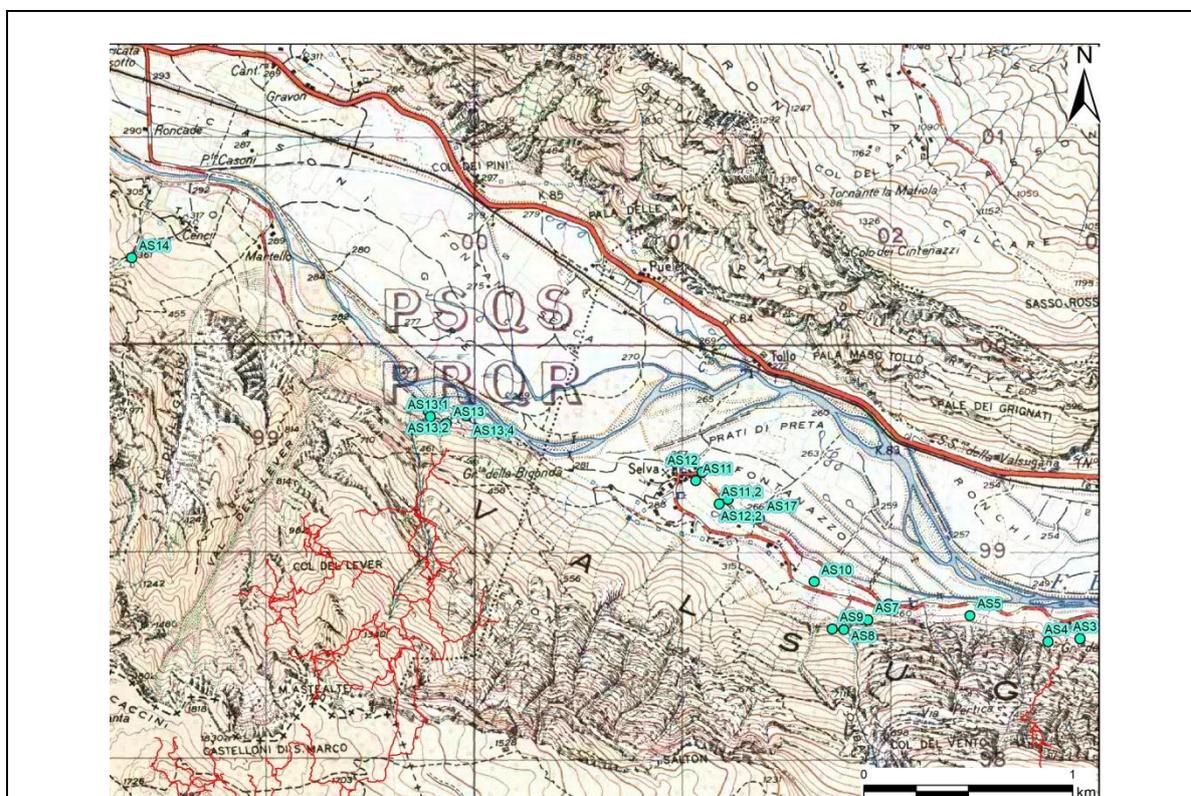


Fig 2.8 Sorgenti in Valsugana su base IGM 25000

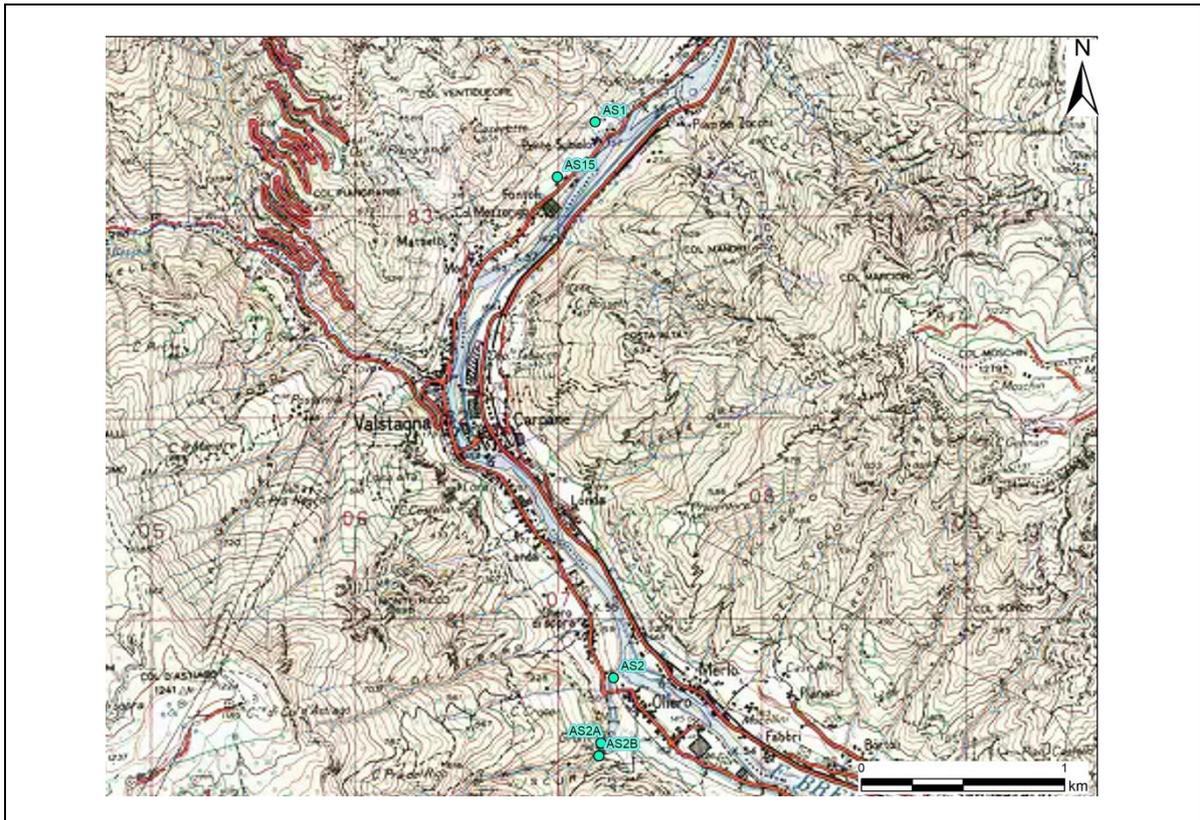
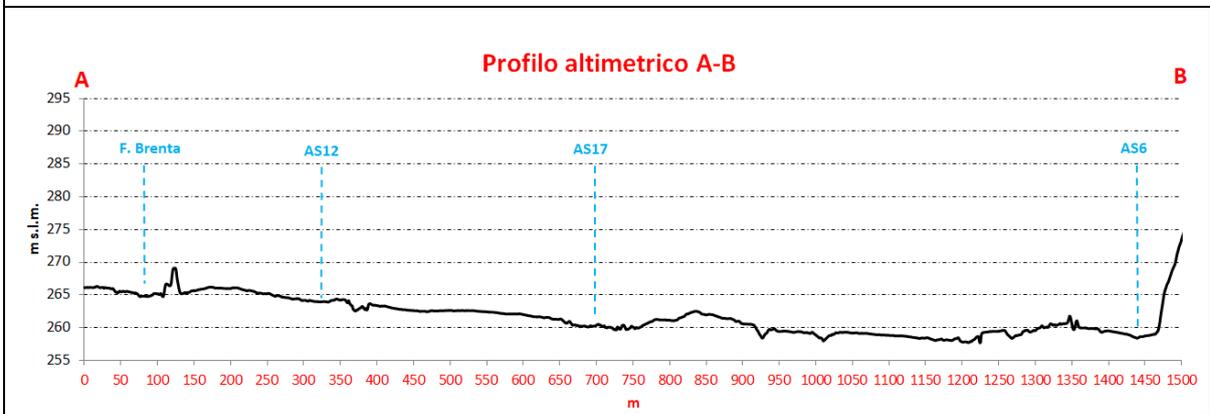
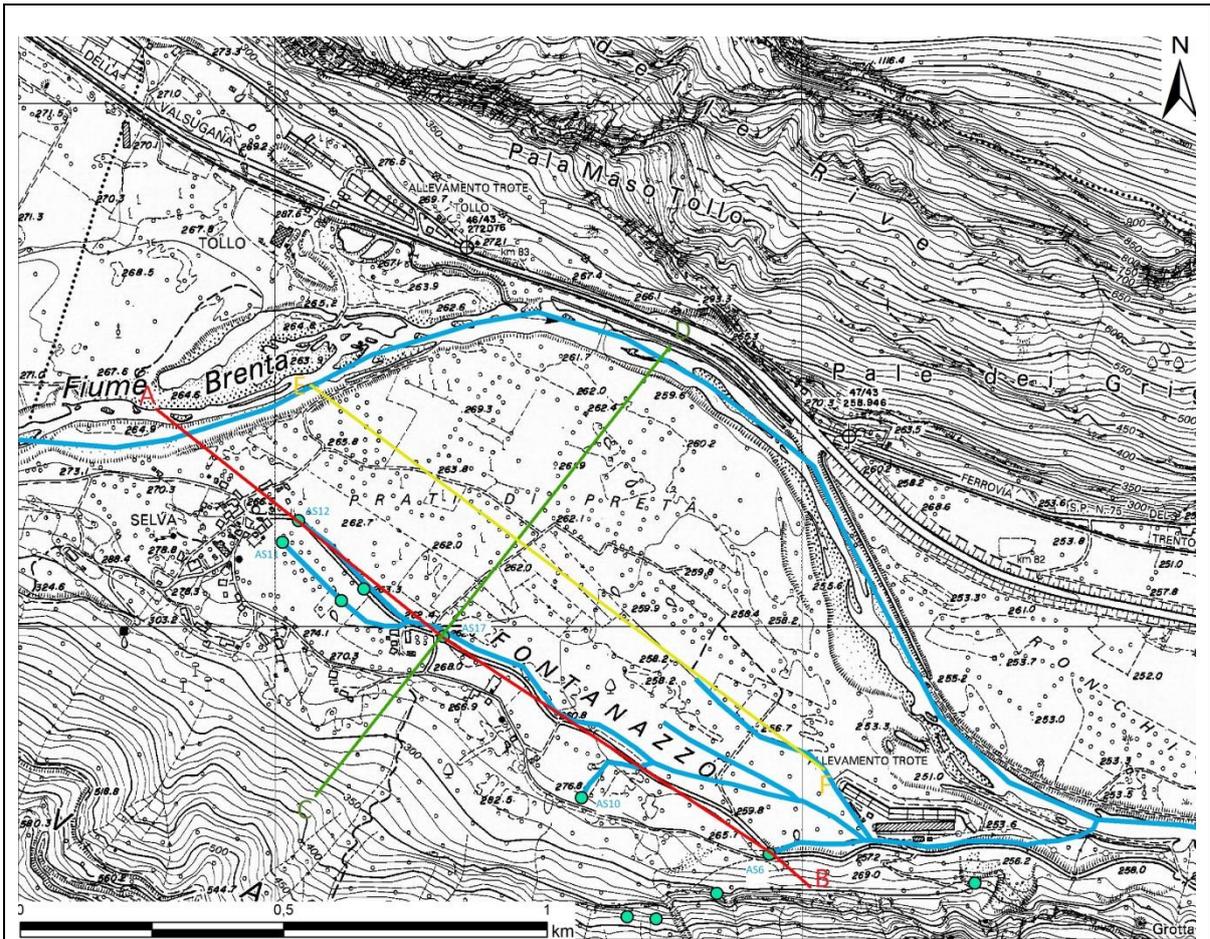


Fig 2.9 Sorgenti in Canale del Brenta su base IGM 25000

I punti di monitoraggio presenti in Valsugana possono essere suddivisi in due categorie. La prima raggruppa le sorgenti situate alla base del versante settentrionale dell'Altopiano, che nascono da roccia o da detrito di versante pedogenizzato. La seconda categoria raggruppa le sorgenti situate sul fondovalle che nascono dagli antichi depositi del fiume Brenta. Per quanto riguarda quest'ultima categoria, le sorgenti sono state convogliate in fossati, scavati artificialmente per prosciugare l'antica zona paludosa attorno all'abitato di Selva di Grigno. Intorno agli anni '80, in prossimità di Selva, vennero cavati dal fiume Brenta migliaia di metri cubi di materiale, abbassando il letto naturale del Brenta e di conseguenza la falda. Scomparve quindi la zona palustre e le sorgenti si disattivarono o diminuirono la loro portata. Per regolarizzare il letto del fiume Brenta venne edificata una briglia a scalini alta 4 metri.



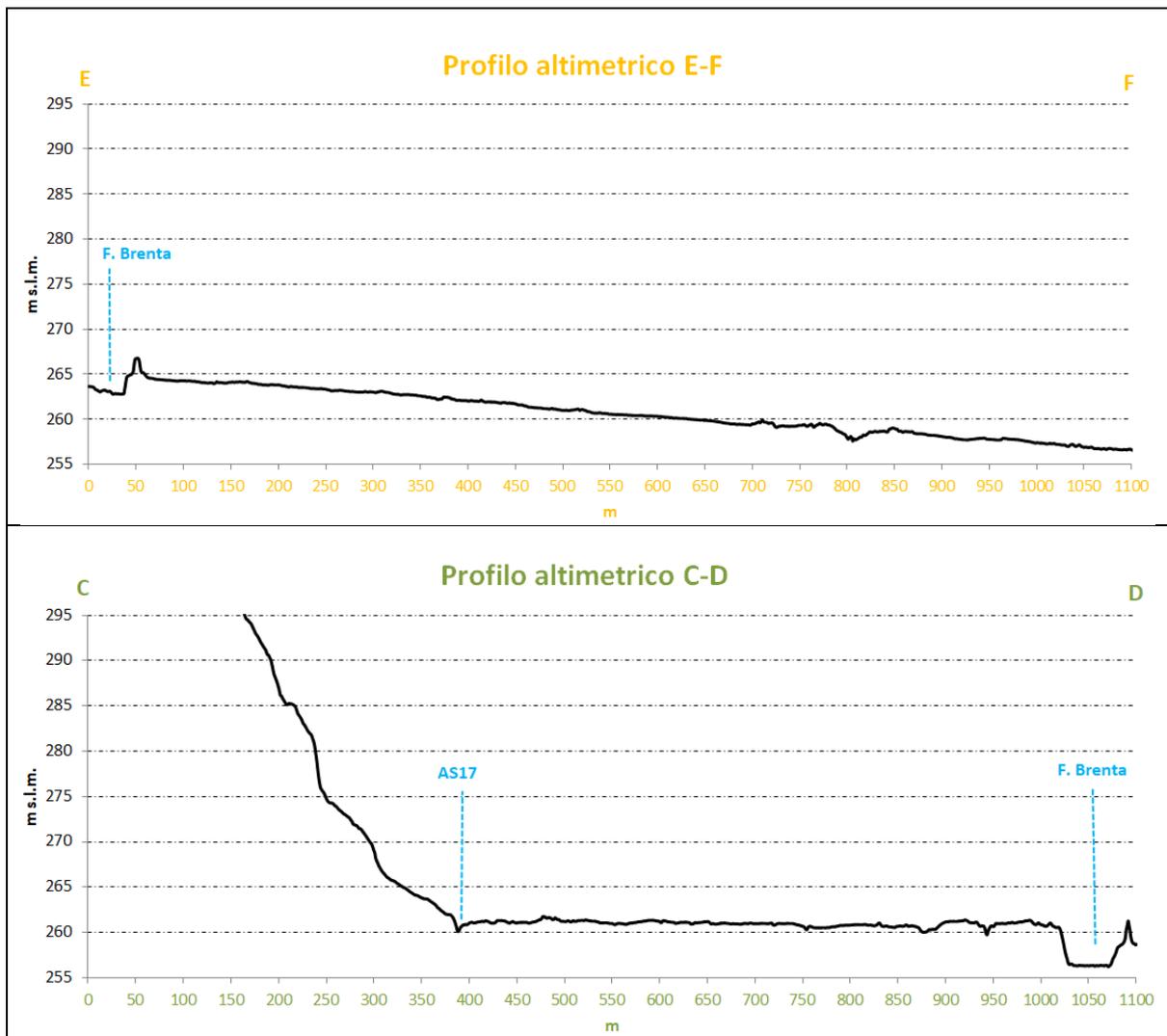


Fig 2.10 Mappa e profili altimetrici riportanti le sorgenti in Valsugana

La porzione di fondovalle presente in prossimità dell'abitato di Selva, tra il versante settentrionale d'altopiano e il fiume Brenta è caratterizzata da una piana debolmente inclinata da nord-ovest verso sud-est con una pendenza del 7 ‰, mentre è pressappoco orizzontale da sud-ovest verso nord-est.

I corsi d'acqua presenti in quest'area aumentano di portata scorrendo da nord-ovest verso sud-est. Inoltre vi è una diminuzione della portata dai corsi d'acqua situati a sud-ovest, verso il versante, rispetto ai corsi situati più a nord-est, verso il Brenta.

Dai profili altimetrici soprastanti si può supporre che le sorgenti situate sul fondovalle sono dovute all'affioramento della piezometrica. Non si esclude che tali sorgenti siano influenzate dalla falda interna all'altopiano carsico. Tali supposizioni saranno avvalorate dai risultati dell'analisi chimica dei campionamenti d'acqua eseguiti in questa ricerca.

2.7.1 Strumenti installati presso i punti di monitoraggio

In seguito al primo anno di monitoraggio, vengono individuati dei punti di monitoraggio con caratteristiche peculiari, in cui vengono installate delle sonde particolari, descritte nel capitolo dei metodi. Tali sonde sono riassunte nella tabella sottostante in ordine cronologico di installazione.

Tab 2.1 Strumenti per il monitoraggio installati

Punto di monitoraggio		Strumento	Parametro misurato	Periodo installazione	
ID	Nome			da	a
AS11	Taba	Fluorimetro	Traccianti	22/12/2016	05/01/2017
AS6	Peschiera	Fluorimetro	Traccianti	22/12/2016	29/06/2017
AS6	Peschiera	Sonda CTD	T, CE, Liv	05/01/2017	installata
AS17	Fosso	Fluorimetro	Traccianti	05/01/2017	08/06/2017
AS17	Fosso	Sonda T-Liv	T, Liv	05/01/2017	08/06/2017
AS1	Subiolo	Sonda CTD	T, CE, Liv	07/01/2017	06/08/2017 (rotta)
BG7	Bicio	Fluorimetro	Traccianti	14/01/2017	installata
AS2B	Veci	Sonda livello	Liv	05/02/2017	29/07/2017 (rotta)
AS13	Parco Bigonde	Fluorimetro	Traccianti	01/03/2017	15/06/2017
AS13	Parco Bigonde	Sonda CTD	T, CE, Liv	03/03/2017	installata
BG2	Smaniotto	Sonda livello	Liv	04/03/2017	09/08/2017
AS2A	Siori	Fluorimetro	Traccianti	14/03/2017	18/08/2017
AS1	Subiolo	Fluorimetro	Traccianti	17/03/2017	15/06/2017
AS15	Moretti	Fluorimetro	Traccianti	29/03/2017	02/08/2017
CG4	By Pass	Fluorimetro	Traccianti	14/05/2017	24/07/2017
CG4	By Pass	Sonda CTD	T, CE, Liv	14/05/2017	15/08/2017
AS14	Cenci	Fluorimetro	Traccianti	18/05/2017	12/06/2017

3.0 MATERIALI E METODI

3.1 Creazione datasheet “Idro Asiago”

La fase del presente lavoro, successiva alla ricerca bibliografica, è stata la creazione di un datasheet in Excel finalizzato a organizzare e pianificare il lavoro da svolgere e avere delle schematiche informazioni sull’area di studio.

Questo file è composto da vari fogli, il primo è nominato “Inquadramento” e racchiude una descrizione geografica e geologica dell’area di studio. Vengono fornite le informazioni sulle grotte presenti che assieme formano un reticolo di circa 60 km di sviluppo che attraversa il massiccio carsico in esame. Le descrizioni sono correlate da opportune carte geologiche e topografiche riportanti le sorgenti e le grotte.

Il secondo foglio è nominato “Bibliografia” e raccoglie tutto ciò che è stato scritto in quest’area, schematizzata in una tabella riportante luogo specifico, autori, anno, titolo articolo, note che riassumono l’articolo.

Il terzo foglio contiene una descrizione dei punti di monitoraggio esterni, quindi il nome delle sorgenti, la sigla identificativa, e una loro descrizione. Questo costituisce il censimento delle sorgenti presenti, tale lavoro è facilitato dalla personale conoscenza delle sorgenti.

Il quarto foglio riporta i parametri di T, pH, CE, Q dei punti di monitoraggio esterni con descrizione delle condizioni meteorologiche dei giorni precedenti.

Il quinto foglio riporta la descrizione dei punti di monitoraggio in grotta, quindi il nome dei punti di monitoraggio, la sigla identificativa, e una loro descrizione. Sono qui inserite le mappe delle grotte visualizzate nei profili N-S, E-O e in pianta, con l’ubicazione dei punti monitorati.

Il sesto foglio riporta i parametri di T, pH, CE, Q dei punti di monitoraggio interni con condizioni meteorologiche dei giorni precedenti.

Il settimo foglio nominato “Tracciamento” presenta una sintesi geologico-strutturale dell’area di studio unita a deduzioni sui percorsi dei corsi d’acqua ipogei e alle sorgenti esterne. Con l’effettivo tracciamento questo foglio è aggiornato con una tabella che riporta il punto di immissione e rilevazione del tracciante. Data e ora di immissione e ricezione, tipologia di tracciante e quantità.

L’ottavo foglio nominato “Strumenti” riporta gli strumenti presenti ai vari punti di monitoraggio con parametri misurati e data installazione e disinstallazione.

Il nono foglio nominato “Collaboratori” presenta tutti gli enti e le associazioni che hanno collaborato a tale tesi, riportando il loro ruolo, eventuali materiali e strumentazione forniti.

Il decimo foglio è nominato “Attività” ed è un diario dell’attività svolta per il lavoro di tesi. E’ composto da una tabella riportante data, orari, luogo, breve descrizione dell’attività svolta, nome partecipanti e ente o associazione di appartenenza, e delle celle da spuntare se presenti foto, video o una dettagliata relazione.

Il datasheet “Idro Asiago” è un indispensabile base grazie al cui è stato possibile svolgere il lavoro di raccolta dati in maniera ordinata, schematica e semplice.

3.2 Creazione mappe e modello 3D tramite software GIS

Tutte le mappe presenti in questo elaborato sono state create tramite software ArcMap® di ESRI. Per la loro realizzazione è stata creata una cartella nominata “IDRO Asiago_GIS” collegata al documento mappa di ArcMap® contenente dei dati raster utilizzati come base

quali: un DEM con risoluzione 20 m/pixel di tutta Italia, un DTM lidar con risoluzione 0,5 m/pixel, la carta tecnica del Trentino al 10000, la mappa IGM 25000 dell'Altopiano di Asiago.

Il DEM con risoluzione 20 m/pixel italiano è fornito dal Ministero dell'Ambiente tramite il Portale Cartografico Nazionale. I dati di elevazione sono ricavati dalle isoipse delle tavolette IGM e a causa dell'imperfezione di questa elaborazione sono presenti artefatti. Per questo lavoro è estrapolata solo l'area competente all'Altopiano di Asiago.

Il DTM lidar con risoluzione 0,5 m/pixel viene scaricato dal Portale Cartografico Trentino, solo per l'area relativa al paese di Selva di Grigno. Esso viene utilizzato per la realizzazione di profili altimetrici per valutare il rapporto tra i punti di monitoraggio, il versante e il fiume Brenta. I profili altimetrici vengono creati tramite 3D Analyst di ArcMap®, esportando i dati in Excel per una miglior rappresentazione grafica.

Pertanto se le mappe da realizzare necessitano di elevato dettaglio viene utilizzato come base il DTM lidar, altrimenti viene utilizzato il DEM 20 m.

La carta tecnica del Trentino al 10000 viene scaricata dal Portale Cartografico Trentino.

La mappa IGM 25000 dell'Altopiano è ottenuta tramite i servizi WMS presenti nel software GIS ed è servita come base cartografica per la localizzazione dei luoghi di interesse (cime, paesi, rifugi, strade...)

In seguito a elaborazioni con ArcMap® nella cartella "IDRO Asiago_GIS" sono presenti hillshade del DEM dell'area competente all'Altopiano e vari dati vettoriali quali lineamenti tettonici, stazioni meteo, sorgenti e punti tracciamento.

I lineamenti tettonici raggruppano faglie, joint, anticlinali, sinclinali e sono state ricavate dalla georeferenziazione del foglio CARG 82 Asiago e ricalcate. Con lo stessa procedura vengono riportate le giaciture di strato.

Tramite le carte IGM e coordinate GPS sono state ricavate le posizioni delle sorgenti, delle stazioni meteo, dei punti di immissione del tracciante. Questi dati vettoriali contengono informazioni quali nome, sigla identificativa, portata media.

Per quanto riguarda le grotte la loro topografia è stata determinata tramite l'approssimazione dei disegni pubblicati, ad eccezione della Grotta della Bigonda di cui si ha la totale topografia in 3D e della Grotta del Calgeron di cui si ha il 70% della topografia. Le grotte sono inserite in GIS e sovrapposte alle carte.

Tramite software ArcScene® è stato creato il modello 3D dell'area di studio inserendo il DEM 20m/pixel e relativo Hillshade. Sono inseriti i lineamenti tettonici, le sorgenti e la topografia 3D delle grotte. Il risultato è una eccezionale visualizzazione della struttura superficiale e interna dell'altopiano.

3.3 Organizzazione dell'attività di campagna

Il lavoro da svolgere in campagna consiste nella raccolta dei dati di temperatura, conducibilità, pH, portata con documentazione video-fotografica dei vari punti di campionamento nelle diverse condizioni idrologiche. In periodi prestabiliti viene effettuato

il campionamento delle acque. Inoltre è effettuato il tracciamento delle acque con periodici analisi alle sorgenti di captori e fluorimetri. Tutte queste operazioni che verranno spiegate nel capitolo loro dedicato, hanno richiesto un'elevata quantità di tempo e persone di vari enti e associazioni. Non tutte le attività sono state svolte personalmente dal laureando ma sono state opportunamente coordinate tramite incontri informativi e realizzazione di vademecum per la spiegazione del lavoro da svolgere. I vademecum sono correlati da moduli opportunamente redatti a seconda dell'attività da svolgere e da compilare a cura degli operatori.

3.4 Monitoraggio idrofisico in situ (discontinuo)

3.4.1 Misura T, pH, CE

Dei 52 punti di monitoraggio descritti solo di 44 vengono determinati i parametri di T, pH, CE almeno una volta.

Le misure in situ vengono eseguite tramite sonda multiparametrica portatile Hanna Instruments Combo che fornisce parametri di:

- Temperatura T in un range da 0,0 a 60,0°C con risoluzione di 0,1° C e una precisione di $\pm 0,5^\circ\text{C}$
- pH da 0,00 a 14,00 con una risoluzione di pH 0,01 e una precisione di pH a 20°C di $\pm 0,01$ pH
- Conducibilità elettrica con una risoluzione di 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e una precisione di CE a 25°C di $\pm 2\%$

Tale sonda fornisce un valore di CE già compensato a 25° C.

3.4.2 Misura Portata Q

La portata dei punti monitorati viene determinata tramite i seguenti metodi:

- Metodo volumetrico: Consiste nel misurare il tempo necessario a riempire un contenitore di volume noto. La prova viene ripetuta almeno una decina di volte per avere una media valida delle misure. La portata si ottiene dividendo il volume noto per il tempo necessario a riempirlo.
- Sonda con livello: Viene installata nell'alveo una sonda che misura il livello dell'acqua. Se l'alveo presenta una sezione a forma rettangolare è possibile determinare la portata tramite una formula empirica sviluppata dai tecnici del Servizio Geologico di Trento. Tale metodo fornisce solo una stima della portata con degli errori che potrebbero essere non indifferenti.
- Stramazzo: Viene inserito uno stramazzo nell'alveo del corso d'acqua da monitorare. L'acqua fluisce attraverso lo stramazzo tramite la particolare forma dello scarico che può essere a trapezio, a rettangolo, triangolare con apertura variabile. La misura della portata avviene utilizzando delle apposite formule geometriche. Nel caso dello stramazzo triangolare utilizzato nel presente elaborato le variabili sono l'altezza dell'acqua dal pelo al vertice dello scaricatore e la profondità dell'acqua dal fondo al vertice dello scaricatore.

- Marcatore salino: Consiste nel versare una soluzione a concentrazione salina nota nel corso d'acqua. A una certa distanza, dell'ordine di qualche decina di metri, dal punto di immissione viene rilevata la variazione della conducibilità elettrica del corso d'acqua nel tempo. La variazione di conducibilità elettrica sarà proporzionale alla concentrazione della soluzione salina immessa. Il risultato della misura della variazione di conducibilità del corso d'acqua nel tempo sarà una curva gaussiana asimmetrica (D'Agostino, 2004).

Tali metodi vengono scelti a seconda della configurazione del corso d'acqua da analizzare e della sua portata.

Il metodo volumetrico è utilizzato principalmente nei punti di monitoraggio in grotta dove le portate sono dell'ordine di pochi litri al secondo ed è comune individuare una zona in cui l'acqua è incanalata, possibilmente in presenza di una cascata che permette una sua facile raccolta. Come spiegato nel capitolo dedicato all'organizzazione dell'attività in campagna per questa prova viene compilato un apposito modulo in cui è riportato anche la tipologia di contenitore, la tipologia di cronometro utilizzato. Il contenitore utilizzato poteva essere una brocca da un litro, un secchio da dieci litri, mentre il cronometro poteva essere un orologio da polso Casio con cronometro o un cellulare con l'applicazione cronometro.

La misura di portata tramite stramazzo è utilizzata solo nel punto AS13,4-Parco Bigonde-Bassa. Il gruppo di sorgenti AS13 in morbida ha una portata totale stimata di oltre 600 l/s. In magra invernale la portata diminuisce a 5-6 l/s e l'unica sorgente attiva è quella altimetricamente più bassa nel cui alveo è inserito lo stramazzo.



Fig 3.1 Installazione stramazzo presso AS13,4-Parco Bigonde

Per molti punti di monitoraggio, soprattutto quelli in grotta non è stato possibile ricavare il valore di portata a causa delle difficoltà di operare in quegli ambienti raggiungibili da poche persone, per pochi periodi all'anno.

Talvolta vi è solo un controllo visivo delle sorgenti senza determinazione dei parametri fisici.

3.5 Monitoraggio idrofisico in continuo di T, CE, livello

In seguito al primo anno di monitoraggio, vengono identificati i punti più importanti dell'area in base a loro peculiari caratteristiche. Vengono pertanto installate tre tipologie di sonde multiparametriche con datalogger delle ditte OTT e STS.

- Sonda OTT datalogger per misure di livello, temperatura e conducibilità:
 - o Livello Liv da 0 a 20m o da 0 a 40m, con risoluzione di 0,001 m e una precisione di $\pm 0,05\%$
 - o Temperatura T per un range da -25 a $+70^\circ\text{C}$, con risoluzione di $0,01^\circ\text{C}$ e una precisione di $\pm 0,1^\circ\text{C}$
 - o Conducibilità elettrica specifica CE per un range da 0,001 a 2000 mS/cm, con risoluzione di 0,001 mS/cm e una precisione di $\pm 0,001$ mS/cm
 - o Orologio con una precisione di ± 1 minuto/mese (a 25°C)
- Sonda STS datalogger per misure di livello, temperatura e conducibilità DL/N
 - o Livello Liv (misura di pressione relativa) da 0 a 20 m fino a 250 m con una risoluzione di 0,01% e una precisione di 0,1%
 - o Temperatura T range da -5 a $+50^\circ\text{C}$ con una risoluzione di $0,1^\circ\text{C}$ e una precisione di $0,25^\circ\text{C}$
 - o Conducibilità elettrica specifica CE da 20 $\mu\text{S/cm}$ a 20 mS/cm con una risoluzione di 1 $\mu\text{S/cm}$ e una precisione di $\pm 2\%$
- Sonda STS datalogger per misure di livello con misura di pressione assoluta.

Tutte le sonde forniscono un valore di CE compensato a 25°C e un valore di livello corretto per la pressione atmosferica.

In Valsugana vengono monitorate tre sorgenti in continuo:

- Presso AS6-Peschiera dal 22/12/2016 viene installata una sonda OTT con lettura ogni 15 minuti di liv, T, CE. Attualmente è ancora in funzione.
- Presso AS17 dal 05/01/2017 al 08/06/2017 viene installata una sonda STS con lettura oraria di livello e temperatura.
- Presso AS13-Parco Bigonde dal 03/03/2017 viene installata una sonda OTT con lettura ogni 15 minuti di liv, T, CE. Attualmente è ancora in funzione.

Presso il Punto BG2-Lago Smaniotto dal 04/03/2017 al 09/08/2017 viene installata una sonda di livello assoluto STS che misura un valore massimo di 30 m. Questo è uno dei punti altimetricamente più bassi della grotta della Bigonda, posto a una quota di 90 m sotto il livello d'ingresso che corrisponde a 310 m s.l.m.. L'acquifero interno in morbida si alza a partire da questo punto e in caso di importanti precipitazioni il livello aumenta fino a trascinare dall'ingresso.

Presso il punto CG4 posto all'interno della Grotta del Calgeron viene installato dal 14/05/2017 al 15/08/2017 una sonda OTT con lettura ogni 15 minuti di liv, T, CE.

Presso il punto AS2B-Veci viene installata una sonda di livello a ultrasuoni costruita e programmata con il sistema Arduino dal dott. Geol. Alberto Riva. Viene installata dal 05/02/2017 al 29/07/2017 e per problemi legati alla sonda non è finora stato possibile scaricare i dati.

Tutti i dati ottenuti vengono gestiti tramite software Microsoft Excel e messi in relazione alle precipitazioni. I grafici ottenuti sono indispensabili per la comprensione dell'assetto del reticolo carsico.

Per determinare l'assetto del reticolo carsico si considera che la circolazione delle acque sotterranee, in assenza di apporti infiltrativi, viene sostenuta dalla lenta cessione del flusso idrico da parte del reticolo delle discontinuità dell'ammasso roccioso verso i condotti carsici. In seguito ad apporti infiltrativi (precipitazioni) entrano nel sistema le acque di neoinfiltrazione. L'effetto delle acque di neoinfiltrazione sulle caratteristiche chimico-fisiche della sorgente restituirà una risposta di sostituzione, pistonaggio o omogeneizzazione delle acque.

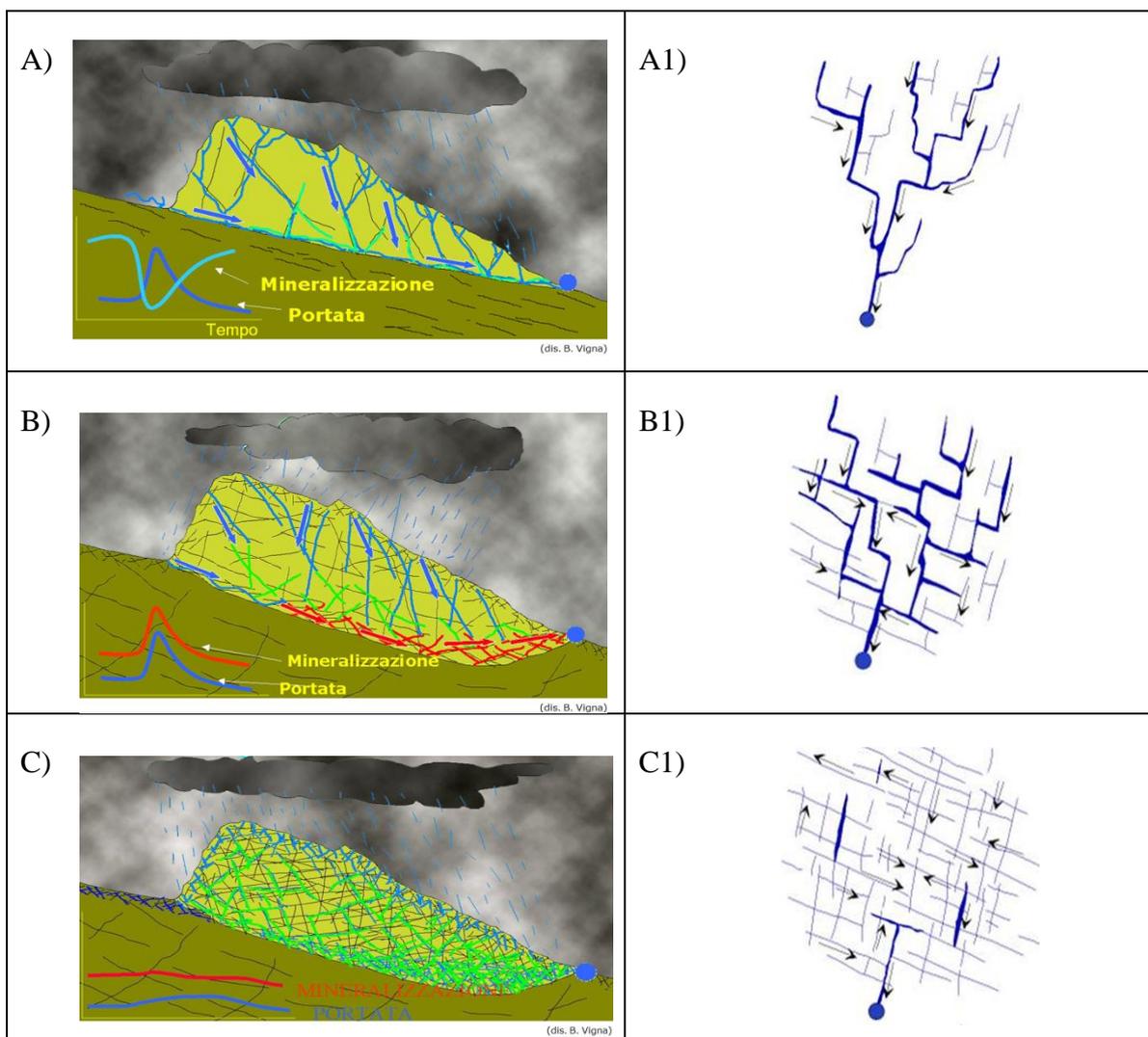


Fig 3.2 Associazione tipo di risposta sorgente all'assetto del reticolo carsico

La risposta di sostituzione (A) è associata a un acquifero molto carsificato, con assenza di una zona saturata, in cui le acque di neoinfiltrazione arrivano velocemente alla sorgente con netta diminuzione della mineralizzazione ed evidenti variazioni della temperatura.

La risposta di pistonaggio (B) è associata a un acquifero carsificato e con ampia zona saturata, in cui le acque di neoinfiltrazione rimobilizzano le acque presenti nell'acquifero

con conseguente aumento della mineralizzazione e della temperatura delle acque alla sorgente.

La risposta di omogeneizzazione (C) è associata a un acquifero poco carsificato con circolazione prevalentemente impostata nelle discontinuità dell'ammasso roccioso in cui le acque di neoinfiltrazione circolano molto lentamente nella rete di drenaggio. Alla sorgente si osserva nel tempo un blando aumento della portata mentre la mineralizzazione e la temperatura rimangono piuttosto costanti.

Generalmente alla risposta di sostituzione è associato un sistema a dreno dominante (A1) in cui vi sono importanti vie di drenaggio preferenziale organizzate, con condotti sifonanti ma in assenza di una zona satura tradizionale. La risposta di pistonaggio è associata a un sistema a dreni interconnessi (B1) in cui sono presenti numerose vie di drenaggio interdipendenti, con una circolazione semidispersiva nella rete di condotti e fratture e presenza di più zone sature semidipendenti. Il tipo di risposta a omogeneizzazione è associabile a un sistema a circolazione dispersiva (C1) in cui non vi sono vie a drenaggio preferenziale, vi è una circolazione dispersiva nella rete di fratture, presenza di una zona satura tradizionale.

3.6 Analisi del regime sorgivo per il calcolo delle riserve idriche

Il regime sorgivo descrive la variazione della portata nel tempo. Esso dipende dalla configurazione interna dell'acquifero, dalle dimensioni del bacino di alimentazione e dalle precipitazioni.

La forma della curva di efflusso sorgivo si suddivide in un primo tratto crescente, detto curva di ricarica o di riempimento, seguito da un tratto decrescente, detto curva di svuotamento, a sua volta suddiviso in una curva di decremento ed una curva di esaurimento. La curva di decremento è caratterizzata dal tratto più pendente, in cui il regime è ancora perturbato dall'infiltrazione delle precipitazioni efficaci. La curva di esaurimento è meno pendente, il regime idrico non è più perturbato e il comportamento della sorgente rappresenta le effettive caratteristiche dell'acquifero.

Come anticipato la forma della curva di efflusso è influenzata dalle caratteristiche del reticolo carsico che governa il deflusso idrico:

- una curva ad impulso unico è tipica di acquiferi a dreno dominante
- una curva ad impulsi multipli indica che il reticolo è costituito da dreni indipendenti, aventi tempi di risposta diversi
- una curva dispersiva è tipica di una rete fortemente interconnessa

Esistono vari modelli per l'interpretazione della curva di svuotamento delle sorgenti, uno dei più efficaci è quello di Maillet (Maillet, 1905) che prevede l'approssimazione dell'andamento della curva di esaurimento a un decremento di tipo esponenziale.

La formula di Maillet è:

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$

dove:

t_0 = tempo di inizio svuotamento

Q_0 = portata massima riferita al solo esaurimento

L'immagazzinamento dinamico è dato dalla formula:

$$W_0 \text{ (m}^3\text{)} = 86400 Q_0/\alpha$$

La riserva regolatrice che rappresenta il volume immagazzinato a fine esaurimento è data dalla formula:

$$W_r \text{ (m}^3\text{)} = 86400 Q_t/\alpha$$

La risorsa dinamica o capacità di svuotamento rappresenta il volume d'acqua che la sorgente ha scaricato durante la fase di esaurimento ed è determinata tramite la formula:

$$W_d = W_0 - W_r$$

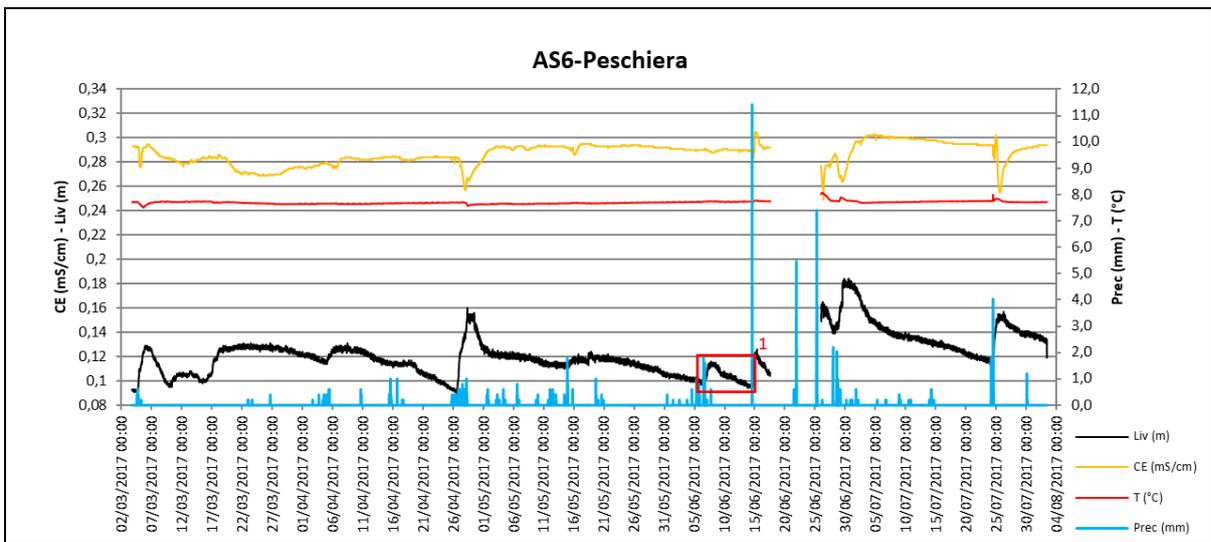


Fig 3.3 Idrogramma AS6-Peschiera. Nel riquadro rosso si nota la tipica forma della curva di efflusso sorgivo

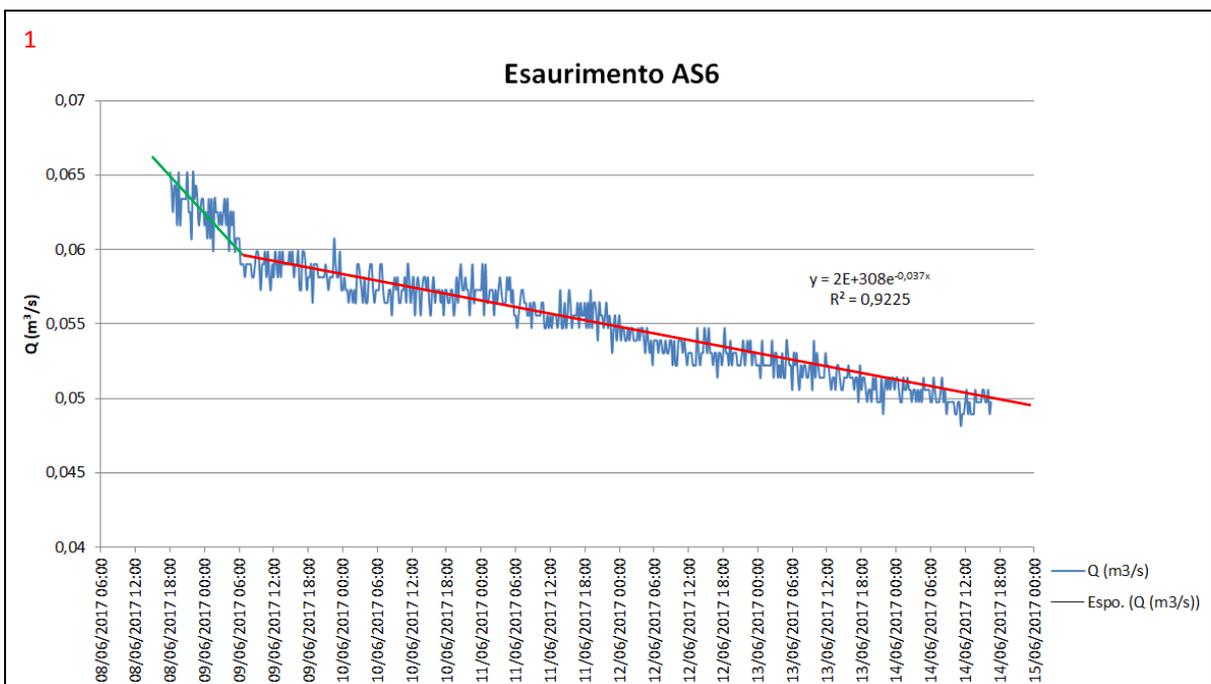


Fig 3.4 Dettaglio della curva di efflusso sorgivo nel riquadro rosso. La linea verde rappresenta il decremento mentre la linea rossa rappresenta l'esaurimento. La formula riportata approssima l'esaurimento tramite il modello di Mailliet.

3.7 Monitoraggio idrochimico

Dei 52 punti di monitoraggio descritti solo 32 punti sono stati campionati almeno una volta. Il campionamento è effettuato in diverse condizioni idriche nei vari periodi dell'anno. Ciascuna campagna di campionamento deve essere svolta in un periodo breve, al massimo della durata di pochi giorni. I campionamenti ravvicinati sono indispensabili per poter correlare i risultati delle analisi in quanto gli acquiferi carsici sono caratterizzati da una rapida variabilità.

Per ogni punto di monitoraggio viene prelevata una bottiglia da mezzo litro per il campione tal quale e un contenitore da 100 ml per il campione acidificato con acido nitrico. I campioni sono stati analizzati dal Laboratorio di Ricerche Idrogeologiche del Politecnico di Torino, con l'ausilio delle seguenti tecniche (in riferimento alle norme APAT-IRPA del 2003; cfr. Bibliografia):

- Titolazione per ioni calcio, magnesio e bicarbonato
- Cromatografia ionica per gli anioni
- Spettrofotometria con atomizzazione a fiamma per metalli
- ICP-MS per gli elementi della serie dei lantanidi

Le prime tre metodologie analitiche vengono effettuate sul campione tal quale. I dati ottenuti vengono tabulati in un foglio di calcolo Excel. Nella prima tabella vengono inserite le quantità in mg/l degli ioni identificati cioè Sodio, Ammonio, Potassio, Calcio, Magnesio, Fluoruri, Cloriti, Bromati, Cloruri, Nitriti, Bromuri, Nitrati, Fosfati, Solfati, Bicarbonati, Carbonati. Le concentrazioni dei sopraccitati ioni vengono trasformate da mg/l a meq/l, dividendo le concentrazioni mg/l per il relativo peso atomico. Le concentrazioni ottenute vengono graficate tramite il diagramma di Schoeller che permette una classificazione delle acque.

Vengono inoltre determinate le quantità in ppb di Alluminio, Vanadio, Cromo, Manganese, Ferro, Cobalto, Nichel, Rame, Zinco, Gallio, Arsenico, Selenio, Rubidio, Stronzio, Argento, Cadmio, Cesio, Bario, Tallio, Piombo, Bismuto, Uranio.

Tramite un foglio di calcolo sviluppato dai tecnici del Laboratorio di Ricerche Idrogeologiche del Politecnico di Torino viene determinata la saturazione in Calcite e Dolomite dei campioni.

Tramite ICP-MS, effettuata sul campione acidificato vengono determinati gli elementi della serie dei Lantanidi. L'acido serve per mantenere in soluzione i lantanidi e poterli quindi misurare. I valori misurati vengono riferiti tramite foglio di calcolo Excel al contenuto in lantanidi di uno shale, che funge da riferimento a livello globale. I valori così ricavati vengono inseriti in un grafico semilogaritmico (Piper, 1974). Analizzando tale grafico è possibile identificare patterns specifici per diversi tipi di roccia. Le rocce carbonatiche generalmente mostrano un picco negativo di Cerio e un picco positivo di Europio. Questo è dovuto al fatto che, nei fondali in cui si depositavano tali sedimenti, l'ambiente, spesso ossidante, era povero in cerio, precedentemente precipitato come ossido. L'abbondanza dell'Europio è dovuta alla sua capacità di scambio con il Calcio nella struttura della calcite (Aide & Aide, 2012). I Lantanidi sono meno mobili allo stato

ossidato rispetto allo stato ridotto, tendono a formare complessi abbastanza stabili con gli ioni carbonato e ossalato, possono venire adsorbiti da particelle colloidali in sospensione. (Cantrell e Byrne, 1987; Johannesson et al., 1996; Dia et al., 2000).

Viene effettuata una campagna di campionamento acque dedicate esclusivamente all'analisi del Trizio, un isotopo radioattivo dell'idrogeno. La quantità di Trizio nelle acque dipende dalla quantità di Trizio nell'atmosfera. A causa del suo tempo di dimezzamento relativamente breve (12-32 anni) le acque infiltrate prima del 1950 non contengono Tritio. Le concentrazioni di Trizio e dell'Elio 3 in cui si trasforma sono un marcatore che permette di identificare le acque giovani, cioè di età non superiore ai 50 anni.

In corrispondenza di ogni campionamento vengono acquisiti i parametri di pH, temperatura e conducibilità elettrica.

3.8 Tracciamento

La prova diretta di effettiva connessione idrica tra i vari punti di monitoraggio è il tracciamento. Grazie alle informazioni dedotte sarà possibile discriminare i vari bacini del sistema carsico. Inoltre esaminando la curva di arrivo del tracciante al punto di monitoraggio sarà possibile calcolare la velocità del flusso idrico e ricavare informazioni sulla tipologia del sistema carsico in esame.

Il tracciamento avviene versando una sostanza colorante in un punto del sistema. Essa percorre il reticolo di drenaggio e dopo un certo tempo può essere rilevata nei punti di monitoraggio tramite opportune attrezzature. La sostanza raggiunge il punto di monitoraggio con tempi e concentrazioni che dipendono dalle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero e dalle condizioni idrodinamiche del sistema. Di seguito sono descritti i tipi di traccianti utilizzati e le attrezzature quali fluorimetri e fluocaptori per il rilevamento dello stesso.

3.8.1 Traccianti

I traccianti utilizzati in questa prova sono uranina e tinopal e sono stati forniti dal Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento in seguito alla presentazione di una relazione tecnica esplicativa per ogni singola campagna di tracciamento.

L'uranina ($C_{20}H_{10}O_5Na_2$), o fluoresceina sodica, è una sostanza colorante che emette fluorescenza nell'intervallo del visibile e che viene comunemente usata nelle prove di tracciamento, per la sua assenza nelle acque naturali, per la sua stabilità e per la sua facile rilevabilità in concentrazioni bassissime (10^{-3} $\mu\text{g/l}$) mediante tecniche analitiche spettrofluorimetriche. Si presenta come una polvere rossa che in soluzione nelle acque a concentrazioni elevate varia da un colore verde fosforescente intenso al verde-giallino. Normalmente nei punti di campionamento non si corre alcun rischio di colorazione delle acque poiché l'effetto di diluizione la renderebbe non visibile ad occhio nudo alle basse concentrazioni. L'uranina non è tossica né per l'uomo né per l'ambiente (Behrens et al., 2001).

Il tinopal CBS-X ($C_{28}H_{20}O_6S_2 \cdot Na_2$), è uno sbiancante ottico comunemente usato nei detersivi per rendere bianchi i tessuti di cotone. Si tratta di una polvere giallina che in acqua diventa bianca-azzurra. È una sostanza colorante fluorescente spesso usata per gli esperimenti di tracciamento delle acque per il fatto che tende ad essere poco visibile a

concentrazioni anche elevate. Nei punti di campionamento non si corre alcun rischio di colorazione delle acque poiché l'effetto di diluizione lo rende non visibile ad occhio nudo alle basse concentrazioni. Esso non è tossico né per l'uomo né per l'ambiente (Behrens et al., 2001).

Nelle acque è naturalmente presente una minima quantità di sostanze fluorescenti, è indispensabile quindi determinare la fluorescenza naturale di ciascun punto di monitoraggio installando fluorimetri o fluocaptori un determinato periodo di tempo prima del tracciamento per la cosiddetta prova del bianco. Ciò permette quindi di discriminare la fluorescenza naturale da quella derivata dall'immissione di tracciante.

E' importante considerare la possibilità di adsorbimento della sostanza tracciante da parte del sedimento argilloso attraversato dalle acque, che vengono quindi in parte o totalmente filtrate dalla sostanza fluorescente immessa dando una risposta negativa ai captori. Questo fenomeno è particolarmente efficace per quanto riguarda il tinopal.

Nella descrizione dei traccianti si è sottolineata la non visibilità a occhio nudo presso le sorgenti di colore per non creare allarmismi nella popolazione locale. Infatti per evitare ciò la popolazione e le amministrazioni comunali competenti all'area di studio sono state informate del tracciamento tramite una serata informativa con proiezioni video e spiegazione dello studio idrogeologico in corso. Inoltre prima di effettuare la prova sono state avvisate tramite fax le forze dell'ordine, i vigili del fuoco, gli uffici tecnici comunali, provinciali, regionali.

3.8.2 Fluorimetri e interpretazione della curva di restituzione del tracciante

I fluorimetri utilizzati sono prodotti dalla ditta svizzera Schnegg. Due dei fluorimetri utilizzati sono messi a disposizione dall'Università di Bologna e sette fluorimetri sono messi a disposizione dal Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento. Prima di effettuare il tracciamento i due fluorimetri dell'Università di Bologna e il sistema di elaborazione dei dati sono stati accuratamente provati in laboratorio. I fluorimetri messi a disposizione del Servizio Geologico di Trento vengono gestiti in collaborazione con i loro tecnici.

Ciascun fluorimetro è composto da una sonda immersa in acqua e da un computer, contenuto in una valigetta stagna, che alimenta tutto lo strumento e comanda la registrazione dei dati rilevati dalla sonda. Computer e sonda sono connessi da un cavo dati.



Fig 3.5 Sonda del fluorimetro

La sonda può rilevare i traccianti uranina, rodamina e tinopal e la torbidità dell'acqua in funzione del tempo impostato, generalmente 15 minuti. Essa è costruita per far passare l'acqua all'interno del suo sistema ottico costituito da quattro lampade disposte su assi ortogonali tra loro. Ogni lampada viene accesa alternativamente, emettendo una radiazione che colpisce le particelle dei composti fluorescenti disciolti in acqua e registrandone la radiazione di risposta. Le lampade sono accese alternativamente per non sovrapporre le risposte dovute ai diversi traccianti e alla torbidità. La registrazione dei dati rilevati avviene in una scheda di memoria SD. Tali dati vengono codificati tramite il software dedicato FLUO in formato txt, importabile in un foglio Excel per la loro elaborazione grafica.

In caso di positività del tracciamento, il grafico risultante dai dati elaborati mostrerà delle curve di restituzione con forma caratteristica. Viene così identificato l'effettivo arrivo di tracciante, determinata la velocità del flusso idrico, definita la tipologia di acquifero che compete alla sorgente monitorata.

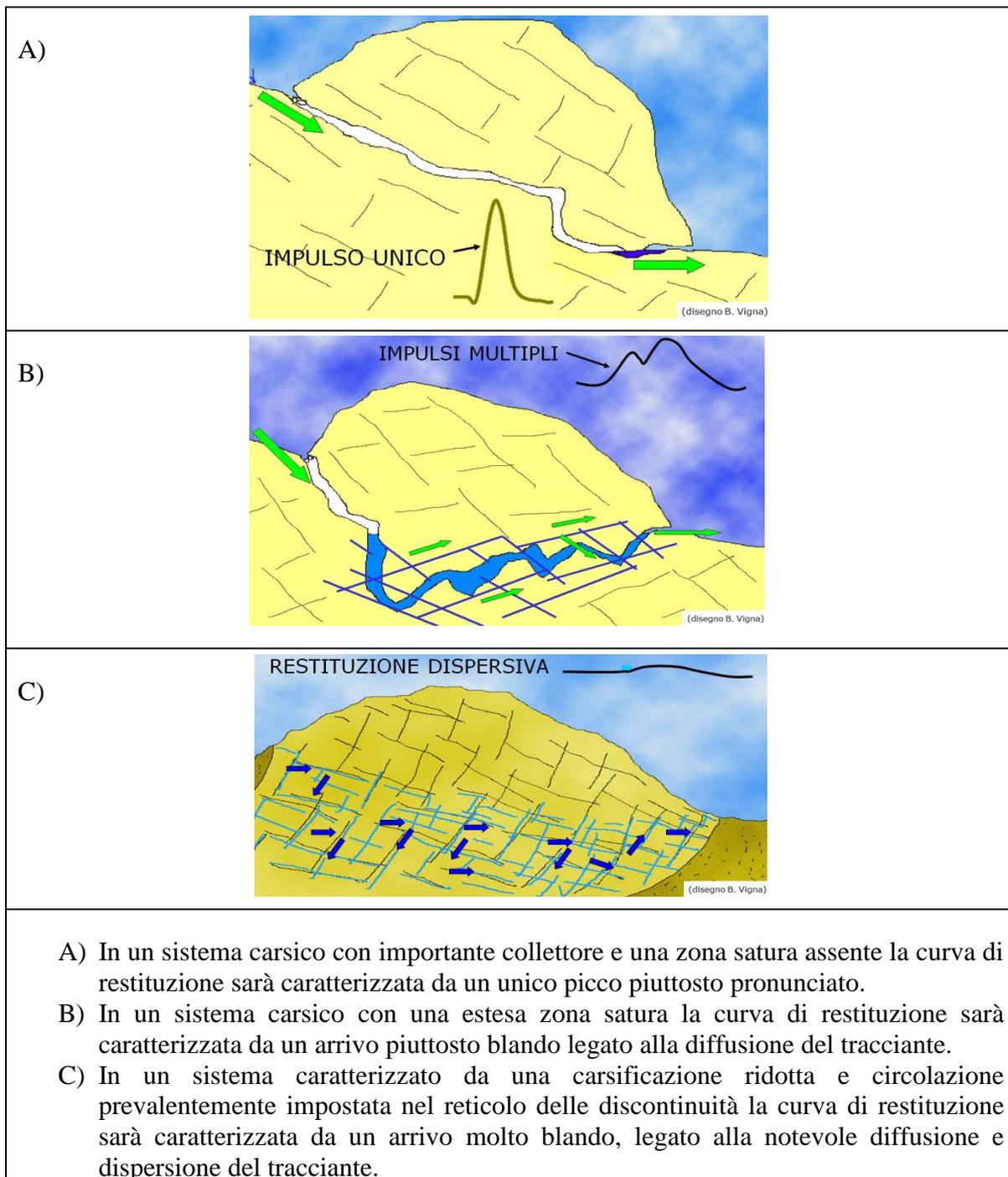


Fig 3.6 Associazione curva di restituzione fluorimetro all'assetto reticolo carsico.

3.8.3 Fluocaptori e loro rivelazione

I fluocaptori sono costituiti da granuli di carbone attivo o da una garza in cotone racchiusi in un contenitore in cotone o metallico. Per l'analisi dell'uranina è preferibile utilizzare il carbone attivo mentre per il tinopal la garza in cotone.

Per il tracciamento in oggetto i fluocaptori vengono assemblati utilizzando come contenitore una zanzariera nera, rigorosamente non sbiancata per la possibile contaminazione di tinopal.

L'analisi del captore in seguito al tracciamento avviene tramite un processo di estrazione dell'eventuale sostanza colorante trattenuta che risulta essere leggermente diverso se il nucleo del captore è costituito dai carboni attivi o dalla garza in cotone sterile.

Per la rivelazione dell'uranina si usano i captori con nucleo costituito da granuli di carbone attivo. Essi vanno lavati per eliminare eventuale deposito di fango che potrebbe mascherare la presenza di uranina adsorbita. In una provetta pulita vengono inserite 3-4 scaglie di idrato di sodio o di potassio (soda caustica o soda potassica) e 3-4 granelli di carbone. Nella stessa provetta viene versato una quantità di alcol etilico sufficiente a coprire le scaglie di soda e i granuli di carbone. Per le quantità di reagenti da immettere nella provetta vedere la figura sottostante.

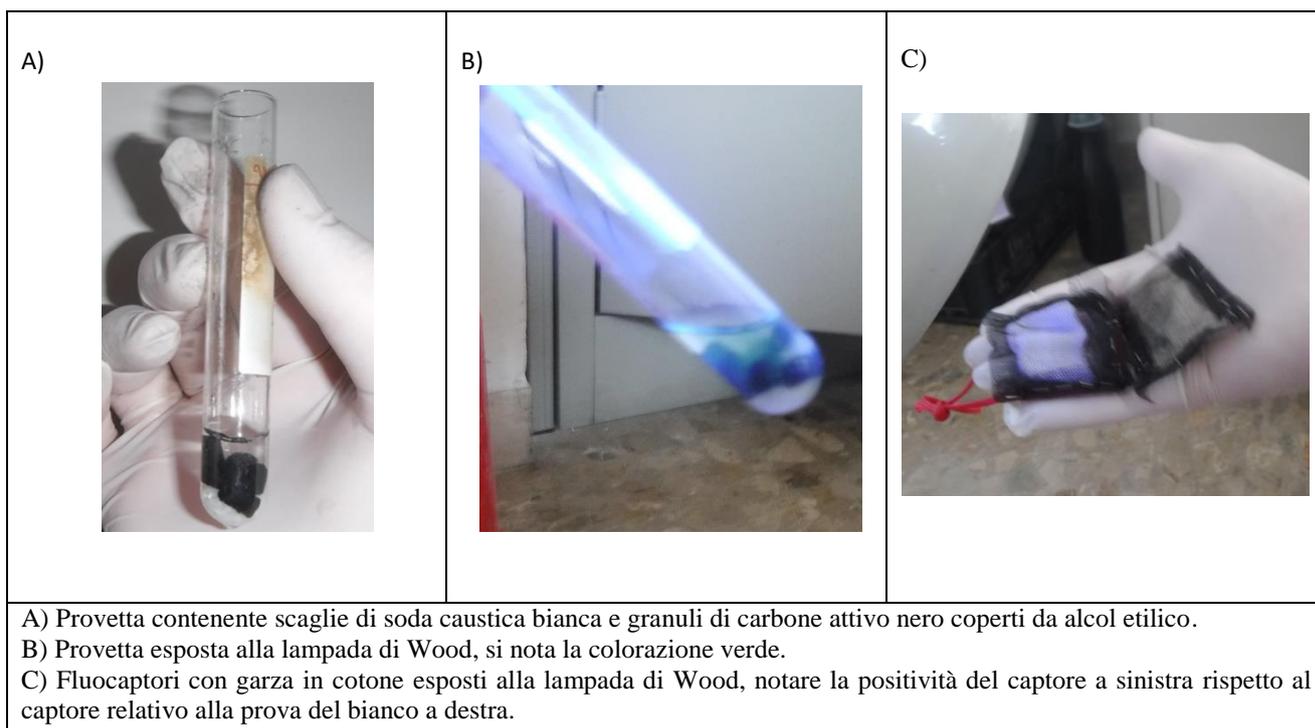


Fig 3.7 Rivelazione fluocaptori

E' necessario attendere un paio di minuti per l'efficace estrazione della sostanza colorante. Talvolta potrebbe essere necessario filtrare con un filtro carta se la sostanza ottenuta assume una colorazione nera e torbida. In seguito è necessario sottoporre la provetta contenente la sostanza estratta alla lampada di Wood, un particolare tipo di lampada a raggi UV, in un ambiente buio, e identificare visivamente il tipico colore verde che indica positività. Tale verifica deve essere eseguita confrontando il campione prelevato in seguito al tracciamento con un campione negativo relativo alla prova del bianco.

Per la rivelazione del tinopal è preferibile utilizzare dei captori con nucleo costituito da una garza in cotone sterile. Al contrario del carbone non bisogna lavare la garza per eliminare il fango in quanto l'eventuale tinopal trattenuto potrebbe essere dilavato. La garza va sottoposta allo stesso processo di estrazione con scaglie di soda caustica e alcol etilico. La verifica avviene come nel caso precedente con l'ausilio della lampada di wood, in un ambiente buio, confrontando il campione prelevato in seguito al tracciamento con un campione negativo relativo alla prova del bianco.

Per una più efficace rivelazione dei captori è preferibile utilizzare la lampada di Wood irraggiando i campioni dall'alto. In alternativa alla lampada di Wood è possibile utilizzare una lampada led irraggiando i campioni lateralmente, oppure con l'ausilio di un fluorimetro.

Il risultato della rivelazione sarà negatività o positività del captore. Tuttavia è possibile descrivere il risultato della rivelazione come debolmente o fortemente positivo oppure con negatività incerta. Queste ultime sono descrizioni empiriche, il cui risultato può variare a seconda dell'area di studio e del periodo di analisi.

3.8.4 Determinazione della quantità di tracciante da immettere

La stima della quantità di tracciante è legata a portata della sorgente, portata del punto di immissione, tipologia del sistema idrogeologico (da acquiferi molto permeabili a sistemi a permeabilità ridotta). Un eccessivo quantitativo di tracciante potrebbe causare colorazione delle sorgenti con allarmismi e lamentele nella popolazione locale mentre un ridotto quantitativo potrebbe comportare la non rilevabilità del tracciante alle sorgenti.

In letteratura sono presenti varie formule empiriche che restituiscono la quantità in kg di tracciante da immettere. Da notare è il fatto che tali formule contengono unità di misura che non si semplificano restituendo un quantitativo in kg di tracciante. Esse vengono riportate nella tabella sottostante.

Tab 3.1 Formule per stimare la quantità di tracciante per la colorazione

Martel & Fournier	$M = Q * L$
Aley & Fletcher	$M = 1,478 * \sqrt{L * \frac{Q}{v}}$
Heys	$M = \frac{L * Q^2}{q}$
Vigna-Marchiolati	$M = \sqrt{\frac{L * Q^2}{q}}$

Nelle suddette formule le variabili sono:

M = Massa del tracciante misurata in kg

L = Distanza dal punto di immissione alla sorgente monitorata misurata in km

Q = Portata della sorgente monitorata al momento dell'immissione di tracciante misurata in $\frac{m^3}{s}$

q = Portata del punto di immissione del tracciante misurata in $\frac{m^3}{s}$

v = Velocità del flusso idrico del torrente da tracciare in $\frac{m}{s}$

Di seguito le varie formule vengono confrontate tramite i dati reali ottenuti dal tracciamento da BG9-Cigno del 30/03/2017 e da MS1-Caimano del 21/05/2017. Queste due prove sono accomunate da valori di portata e velocità dell'acqua simili, ma possiedono una distanza di tracciamento di un ordine di grandezza di differenza. Tali campagne di tracciamento verranno descritte nel paragrafo a loro dedicato, qui si utilizzano solo i dati necessari alla valutazione delle suddette formule.

Il tracciamento da BG9-Cigno verso AS13-Parco Bigonde effettuato il giorno 30/03 presenta una portata Q di $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$, q di $0,0007 \text{ m}^3/\text{s}$, v di $0,5 \text{ m/s}$ e una lunghezza in pianta di tracciamento di 500 m .

Tab 3.2 Calcolo della quantità di tracciante per la seconda campagna di tracciamento.

Formule	Martel & Fournier	$M = 0,05 \text{ kg}$
	Aley & Fletcher	$M = 0,47 \text{ kg}$
	Heys	$M = 7,14 \text{ kg}$
	Vigna-Marchiolati	$M = 2,67 \text{ kg}$
Dati	Tracciante immesso	$M = 0,3 \text{ kg}$
	Picco massimo restituito	$6,34 \text{ ppb}$

Per tale prova si considera soddisfacente il picco ottenuto con il dato quantitativo di tracciante immesso. Pertanto confrontando il quantitativo di tracciante determinato tramite le formule si nota che la formula Martel & Fourier restituisce un quantitativo troppo basso, Aley & Fletcher restituisce il quantitativo più simile al dato reale, Heys e Vigna-Marchiolati restituiscono un quantitativo eccessivo.

Il tracciamento da MS1-Caimano verso AS6-Peschiera effettuato il giorno 21/05 presenta una portata Q di $0,07 \text{ m}^3/\text{s}$, q di $0,0005 \text{ m}^3/\text{s}$, v di $0,2 \text{ m/s}$ e una lunghezza in pianta di tracciamento di 4400 m .

Tab 3.3 Calcolo della quantità di tracciante per la quarta campagna di tracciamento.

Formule	Martel & Fournier	M = 0,308 kg
	Aley & Fletcher	M = 1,83 kg
	Heys	M = 43,12 kg
	Vigna-Marchiolati	M = 6,57 kg
Dati	Tracciante immesso	M = 10 kg
	Picco massimo restituito	13,08 ppb

Per tale prova si considera elevato il picco ottenuto con il quantitativo di tracciante immesso, si stima che anche metà del quantitativo di tracciante immesso sarebbe bastata ad ottenere un picco soddisfacente. Pertanto confrontando il quantitativo di tracciante determinato tramite le formule si nota che la formula Martel & Fourier e Aley & Fletcher restituiscono un quantitativo troppo basso, Heys restituisce un quantitativo eccessivo, Vigna-Marchiolati restituisce il quantitativo ottimale.

Considerando che le due prove sono accomunate da valori di portata e velocità dell'acqua simili, e l'unica variabile è la distanza di tracciamento si può concludere che per una distanza inferiore al km la formula più adatta per stimare il quantitativo di tracciante da immettere è Aley & Fletcher mentre per lunghezze di alcuni km la formula più adatta è Vigna-Marchiolati.

3.8.5 Campagne di tracciamento

In questo lavoro di tesi vengono effettuati 4 tracciamenti di cui uno ripetuto. L'immissione del tracciante avviene in due torrenti all'interno della Grotta della Bigonda, in un torrente della Grotta del Calgeron e nel torrente dell'Abisso del Mistero. Tutte le sorgenti censite da questo elaborato vengono monitorate con fluocaptorii. Le sorgenti considerate a maggior probabilità di connessione con i punti di tracciamento vengono monitorate con fluorimetri. A seconda della loro disponibilità vengono installati un massimo di sette fluorimetri.

L'immissione del tracciante è avvenuta ad opera degli speleologi del Gruppo Grotte Selva opportunamente istruiti con lezione frontale e ausilio di vademecum. In occasione del tracciamento dall'Abisso del Mistero vi è stata una collaborazione tra gli speleologi del Gruppo Grotte Selva, del Gruppo Grotte Valdagno e del Geo Cai Bassano.

L'immissione dei traccianti viene effettuata in un periodo che va dal 07/01/2017 al 21/05/2017. Il monitoraggio si sviluppa per un periodo più lungo che va dal 22/12/2016 al 18/08/2017, necessario alla prova del bianco e all'eventuale ricezione di tracciante alle sorgenti più distanti.

I dati rilevati dai fluorimetri vengono scaricati ogni 15-30 giorni e vengono analizzati attentamente in relazione alle precipitazioni e livelli d'acqua dei punti monitorati.

4.0 PRESENTAZIONE DEI DATI

4.1 Assetto strutturale

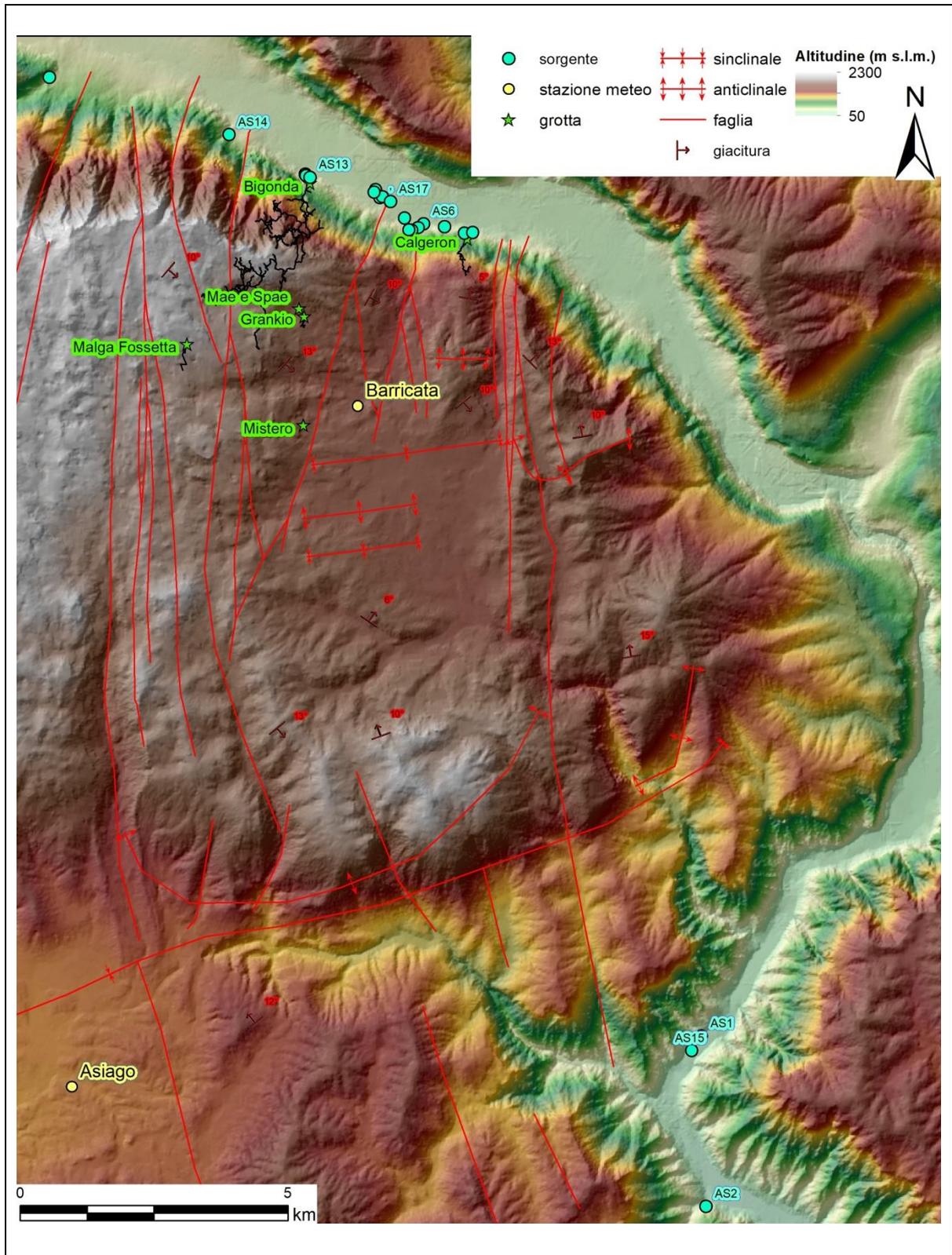


Fig 4.1 Mappa riportante lineamenti tettonici e giaciture dell'area di studio

Come spiegato nel capitolo relativo ai metodi, i lineamenti tettonici e le giaciture, vengono ricavate da foglio CARG 82 Asiago. Partendo dal presupposto che le acque all'interno di un sistema carsico si muovono seguendo i principali lineamenti tettonici e la stratificazione, vengono individuati i possibili percorsi preferenziali delle acque sotterranee. I lineamenti tettonici più estesi presentano una direzione da NNE-SSW a NNW-SSE, sono dovuti al rifting triassico e paleogenico, e sono rappresentati da joint e faglie dirette. Infatti su questi lineamenti si sono impostate le gallerie epifreatiche della Grotta della Bigonda (Marighetti et al, 2015). Una seconda direzione preferenziale di orientamento dei lineamenti tettonici è ENE-WSW, derivante dalla tettonica compressiva alpina. Tale compressione ha generato una serie di anticlinali e sinclinali specialmente in zona Barricata, che potrebbero costituire degli spartiacque sotterranei. Inoltre la compressione alpina ha riattivato in transtensione e transpressione i lineamenti preesistenti in direzione circa N-S, generando fratture secondarie di Riedel, con un angolo dai 15 ai 75° rispetto alla direzione principale di sforzo. Su quest'ultime fratture si impostano le gallerie freatiche in direzione grossomodo NW-SE della Grotta della Bigonda. Queste gallerie hanno subito un approfondimento vadoso in quanto sono orientate come l'immersione degli strati, che costituiscono un'altra via di drenaggio preferenziale (Marighetti et al, 2015). Considerando la direzione dei lineamenti presenti, delle giaciture, e dell'impostazione delle gallerie della Grotta della Bigonda è possibile individuare due direzioni preferenziali di drenaggio delle acque sotterranee che sono all'incirca N-S e NW-SE.

4.2 Piovosità

Nell'area di studio vi sono due stazioni meteo. Una stazione è posta sulla sommità dell'Altopiano nel bacino di alimentazione delle sorgenti, e una è posta sul fondovalle in prossimità delle sorgenti. Tali stazioni sono di proprietà di Meteotrentino. I dati delle suddette stazioni sono scaricabili da internet in formato csv.

Le due stazioni sono nominate T0407-Grigno (Barricata) posta a una quota di 1345 m s.l.m. e T0423-Grigno posta a una quota di 238 m s.l.m. nei pressi del paese Palù di Grigno.

Esse misurano l'altezza pluviometrica ogni 5 minuti.

I dati di precipitazione rilevati dalle due stazioni sono confrontati nel grafico sottostante. Si nota una buona corrispondenza degli eventi piovosi, con discrepanze importanti solo riguardo l'intensità degli eventi del 06/06, del 14/06, del 21/07 e del 24/07. Considerata la buona sovrapposibilità dei dati delle due sorgenti si utilizzano solo i dati relativi alla stazione Barricata.

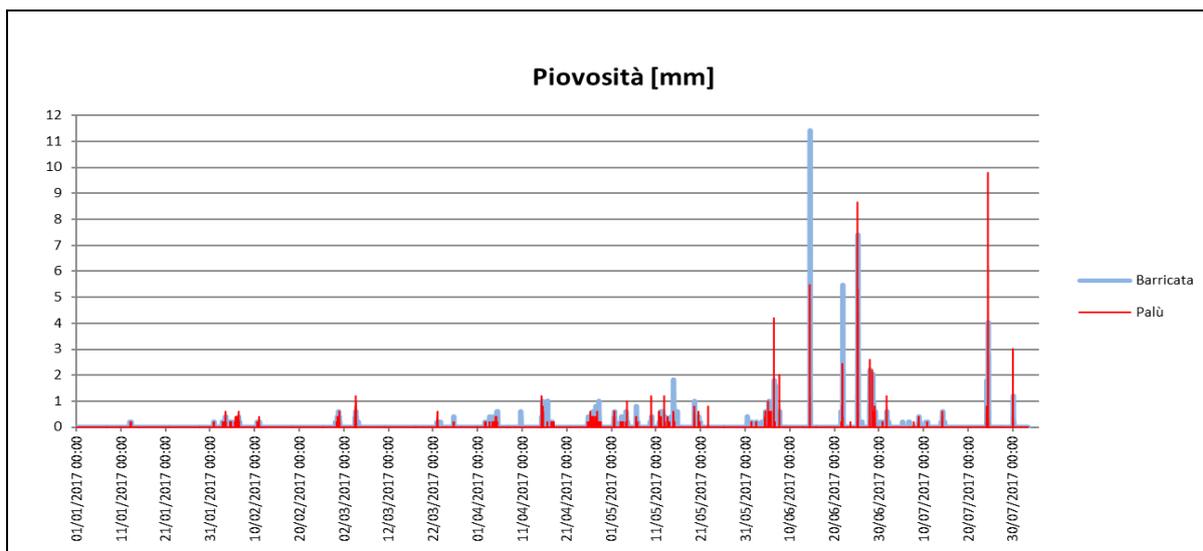


Fig 4.2 Confronto piovosità stazione meteo Palù e Barricata

4.3 Portata delle sorgenti del Canale del Brenta

Le sorgenti principali che competono a tutto l’Altopiano sono situate nel Canale del Brenta. In passato sono stati determinati dei valori di portata. Il periodo di monitoraggio più lungo è relativo al triennio 1924-1925-1926, ad opera del Magistrato alle acque, in cui è stata misurata la portata del fiume Oliero, quindi la somma di AS2A-Siori e AS2B-Veci. Ne è risultata una portata media annuale per l’anno 1924 e il 1925 di 13 m³/s mentre per il 1926 di 22 m³/s. L’anno 1926 presenta degli eventi parossistici di oltre 170 m³/s, non considerando questi eventi la portata media per l’anno 1926 è stata stimata di 15,4 m³/s.

Il secondo periodo di monitoraggio è relativo all’anno 1966 ed è stato condotto nell’ambito di un progetto di caratterizzazione idrogeologica delle sorgenti del Canale del Brenta (Dal Prà e Stevan 1969). Vennero misurate separatamente le portate di AS2A-Siori, AS2B-Veci e AS1-Subiolo. In detto studio si calcolò il deflusso annuo per il 1966 a partire dalla stima delle portate medie giornaliere, a loro volta determinate correlando le portate misurate settimanalmente con i dati pluviometrici dell’Altopiano, noti i tempi di risposta delle sorgenti alle precipitazioni di 6-12 ore (Boso & D’Alberto, 2006). Ne è risultata una portata media annua di 10,9 m³/s per il fiume Oliero e di 3,2 m³/s per le sorgenti di Ponte Subiolo.

Recentemente ARPAV ha svolto varie campagne di misura, in un periodo che va dal 2006 al 2012, della portata delle sorgenti AS2A-Siori, AS2B-Veci, AS1-Subiolo, AS15-Moretti, con l’utilizzo di mulinello idraulico o profilatore ADCP. Di seguito tali dati vengono discussi.

Tab 4.1 Portata sorgenti del Canale del Brenta

ID	Nome	Data	Q (l/s)	Metodo misura Q
AS1	Subiolo	18/05/2006	1140	ADCP
AS15	Moretti	22/03/2006	1301	Mulinello
AS15	Moretti	18/05/2006	800	ADCP
AS15	Moretti	23/06/2006	555	Mulinello
AS15	Moretti	23/06/2006	430	ADCP
AS15	Moretti	14/11/2006	310	ADCP
AS15	Moretti	05/03/2007	613	Mulinello
AS15	Moretti	20/02/2008	354	Mulinello
AS15	Moretti	19/05/2011	846	Mulinello
AS15	Moretti	14/07/2011	1010	Mulinello
AS15	Moretti	10/08/2011	902	Mulinello
AS15	Moretti	02/09/2011	588	Mulinello
AS15	Moretti	18/01/2012	402	Mulinello
AS15	Moretti	28/02/2012	430	Mulinello
AS15	Moretti	24/04/2012	411	Mulinello
AS2A	Siori	05/05/2006	8730	ADCP
AS2A	Siori	18/05/2006	8590	ADCP
AS2A	Siori	23/06/2006	2983	ADCP
AS2A	Siori	14/11/2006	1088	ADCP
AS2A	Siori	05/03/2007	2922	ADCP
AS2B	Veci	18/05/2006	5810	ADCP
AS2B	Veci	23/06/2006	1537	ADCP
AS2B	Veci	14/11/2006	600	ADCP
AS2B	Veci	05/03/2007	771	ADCP

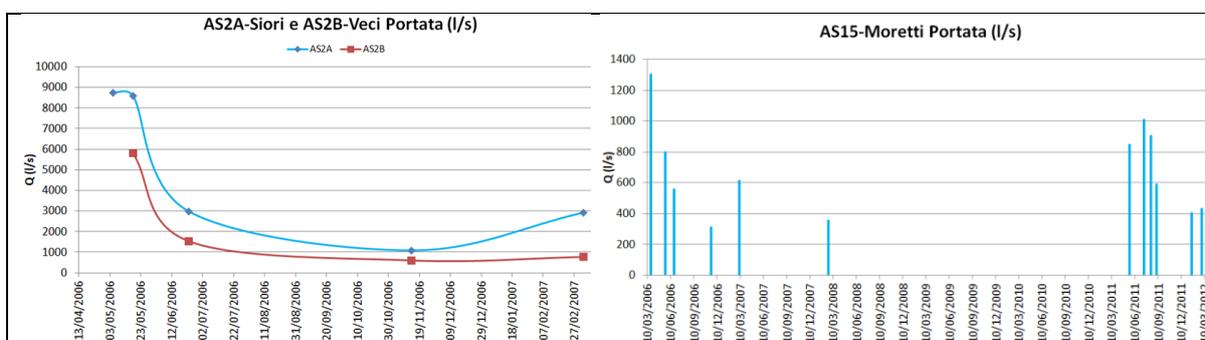


Fig 4.3 A sinistra portata delle sorgenti di Oliero, a destra portata sorgente AS15

Le sorgenti di Oliero sono le maggiori di tutto l'Altopiano, sono composte dalle vicine risorgive del Cogol dei Siori e del Cogol dei Veci, rispettivamente siglate AS2A e AS2B. Dal grafico soprastante si nota che la sorgente con portata maggiore è AS2A-Siori, che misura un massimo di 8730 l/s misurati a maggio 2006 e un valore minimo di 1088 l/s misurato a novembre 2006. AS2B-Veci possiede un valore massimo di 5810 l/s misurato a maggio 2006 e un valore minimo di 600 l/s misurato a novembre 2006.

Le sorgenti AS1-Subiolo e AS15-Moretti sono situate 3 km più a nord rispetto alle sorgenti di Oliero. AS1 è temporanea mentre AS15 è perenne e misura un valore massimo di 1301 l/s misurato a marzo 2006 e un valore minimo di 310 l/s misurato a novembre 2006.

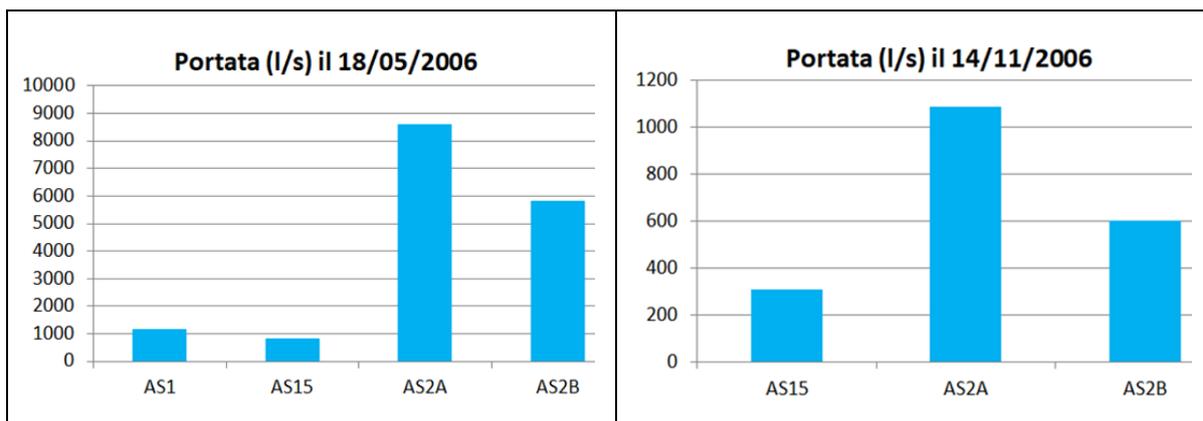


Fig 4.4 Portata massima e minima delle sorgenti del Canale del Brenta

Confrontando i dati di portata delle sorgenti principali del Canale del Brenta si nota in condizioni idriche di piena del giorno 18/05/2006, che la sorgente maggiore è AS2A-Siori con 8590 l/s seguita da AS2B-Veci con 5810 l/s. Le due sorgenti, situate 3 km più a nord rispetto alle due di Oliero, presentano una portata di 1140 l/s misurati a AS1-Subiolo e 800 l/s misurati a AS15-Moretti.

AS1-Subiolo è una sorgente temporanea di troppo pieno, e in condizioni idrologiche di magra forma un lago stagnante. Infatti il 14/11/2006 AS1 non è attiva, AS15-Moretti è la sorgente con portata minore, e misura 310 l/s, AS2B-Veci misura 600 l/s e la sorgente maggiore AS2A-Siori misura 1088 l/s.

Dai dati ARPAV risultano quindi delle misure di portata inferiori di molto rispetto a quelle descritte in bibliografia. Le due sorgenti di Oliero, unite alla sorgente Subiolo e Moretti, possiedono una portata minima di 1998 l/s, misurata il 14/11/2006. Il valore massimo di 16340 l/s viene misurato il 18/05/2006. Ne risulta una media della portata delle sorgenti del Canale del Brenta di 7700 l/s. Tali misure sono sporadiche, e permettono di ottenere solo una portata media indicativa, inferiore al valore medio fornito dagli studi precedenti.

Risulta evidente la necessità di eseguire un monitoraggio più efficace e con strumentazione moderna che riduca gli eventuali errori delle misure degli anni '20 e del '66. Solo a quel punto si potranno avere dei dati corretti per effettuare un bilancio idrologico migliore di quelli presenti in letteratura.

4.4 Dati idrofisici in situ (discontinui)

La raccolta dei parametri in situ è iniziata il 25/12/2015 e si è protratta fino al 26/07/2017. Tale attività è avvenuta nelle diverse condizioni idriche durante l'anno. I dati vengono raccolti per ogni periodo nel più breve tempo possibile, per avere una miglior correlazione tra i dati. Infatti bisogna considerare che gli acquiferi carsici sono sistemi estremamente variabili. Ne consegue che una correlazione tra parametri di diverse sorgenti, ottenuti in periodi molto diversi, non possono essere correlati. Nella tabella sottostante sono riassunti in ordine di data i valori dei parametri misurati.

Tab 4.2 Dati idrofisici in situ

Data	Nome	Id campione	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	Q (l/s)	Portata
25/12/2015	Subiolo	AS1	9,9	7,73	332	0	Magra
25/12/2015	Oliero	AS2	8,3	7,73	269		
29/12/2015	Daniela	CG1	7,2	7,59	299		
29/12/2015	Ramo Alto	CG2	7,4	7,66	299	0,05	
29/12/2015	Daniela Est	CG3	7,2	7,57	297	0,2	
30/12/2015	Terminale	BG1	6,7	8,09	205	1	
30/12/2015	Smaniotto	BG2	6,7	8,12	215	1	
03/01/2016	Cima Agostini	BG3	7,54	8,01	271		
07/01/2016	Apriti Sesamo	BG4	6,8	8,1	234	0,3	
07/01/2016	Fontanella	BG5	6,4	8,14	207	0,07	
07/01/2016	Due Venti	BG6	6,2	8,09	176		
07/01/2016	Bicio	BG7	6	8,17	217	1,3	
07/01/2016	Tiffgruba	BG8	6,3	7,96	218	0	
19/03/2016	Brenta Braus	AS0A	6,4	8,14	207		
19/03/2016	Colo Marzo	AS5				0	
19/03/2016	Peschiera	AS6	7,9	7,66	272		
19/03/2016	Laranocchia	AS8				0	
19/03/2016	Pelegrin	AS9				0	
28/03/2016	Brenta Braus	AS0A	9,8	8,71	305		
28/03/2016	Fosso Taba-Inizio	AS11	5,8	7,86	337	0,7	
28/03/2016	Fosso Taba-Villa Laura	AS11,1	7,3	8,19	330		
28/03/2016	Fosso Pippo-Inizio	AS12	8,4	7,22	361	0	
28/03/2016	Fosso Pippo-Lavatoio	AS12,1	7,8	8,21	343	0	
28/03/2016	Fosso Pippo-Villa Laura	AS12,2	6,9	7,73	330	0,001	
09/04/2016	Brenta Braus	AS0A	8,3	8,2	172		Morbida
09/04/2016	Giugi	AS10	7,8	7,8	238		
09/04/2016	Fosso Taba-Inizio	AS11	5,9	7,92	331	0,7	
09/04/2016	Fosso Taba-Villa Laura	AS11,1	6,5	7,96	328		
09/04/2016	Fosso Pippo-Inizio	AS12	6,2	7,84	335		
09/04/2016	Fosso Pippo-Villa Laura	AS12,2	6,8	7,92	329		

09/04/2016	Parco Bigonde-Laghetto	AS13	7	8,12	187	
09/04/2016	Parco Bigonde-Torrente	AS13,1	6,9	8,13	186	
09/04/2016	Parco Bigonde-Ovest	AS13,2	6,9	8,13	188	
09/04/2016	Cenci	AS14	8,5	8,25	246	
09/04/2016	Calchera	AS3	8,1	7,99	263	
09/04/2016	Orghenon	AS4	7,9	7,48	280	
09/04/2016	Colo Marzo	AS5	8	7,67	254	
09/04/2016	Peschiera	AS6	7,9	7,81	243	
09/04/2016	Peschiera alta	AS7	7,7	7,82	334	
09/04/2016	Laranocchia	AS8	7,7	7,76	236	
09/04/2016	Pelegrin	AS9	7,6	7,81	235	
13/05/2016	Subiolo	AS1	9,2	7,82	267	
13/05/2016	Giugi	AS10	7,7	7,91	262	
13/05/2016	Fosso Pippo-Inizio	AS12	7	7,85	274	
13/05/2016	Parco Bigonde-Laghetto	AS13	7,1	8,09	192	
13/05/2016	Cenci	AS14	8,9	8,15	246	
13/05/2016	Oliero	AS2	8,9	7,93	259	
13/05/2016	Orghenon	AS4				0
13/05/2016	Colo Marzo	AS5	8	7,78	264	
13/05/2016	Peschiera	AS6	7,9	7,86	262	
13/05/2016	Peschiera alta	AS7	7,7	7,91	264	
13/05/2016	Laranocchia	AS8	7,6	7,84	263	
13/05/2016	Pelegrin	AS9				0
16/05/2016	Parco Bigonde-Laghetto	AS13				0
16/05/2016	Parco Bigonde-Torrente	AS13,1				
16/05/2016	Parco Bigonde-Ovest	AS13,2				
09/12/2016	Brenta Braus	AS0A	3,6	8,49	254	
09/12/2016	Brenta Filippini	AS0B	4,8	8,35	275	
09/12/2016	Subiolo	AS1	9,9	7,91	337	0
09/12/2016	Giugi	AS10	7,1	8,16	282	
09/12/2016	Fosso Taba-Villa Laura	AS11,1	9,8	8,14	265	
09/12/2016	Parco Bigonde-Laghetto	AS13	6,5	8,29	207	
09/12/2016	Oliero	AS2	8,7	8,03	269	

Plena

Morbida

09/12/2016	Colo Marzo	AS5	7,7	7,98	283	
09/12/2016	Peschiera	AS6	7,8	8,05	283	
09/12/2016	Pozzo dei 5	PD5	3,9	8,51	292	
10/12/2016	Falchi	BG14	7,7	8,66	322	
10/12/2016	Cigno	BG9	7,4	8,57	245	1,1
18/12/2016	Brenta Braus	AS0A	1,3	8,53	277	
18/12/2016	Giugi	AS10				0
18/12/2016	Fosso Tab-Villa Laura	AS11,1	7,8	8,22	263	
18/12/2016	Parco Bigonde-Laghetto	AS13				0
18/12/2016	Pozzo Braus	AS16	8,9	7,96	253	
18/12/2016	Peschiera	AS6	7,7	8,10	280	
07/01/2017	Brenta Filippini	AS0B	3,2	8,49	335	
07/01/2017	Subiolo	AS1	9,1	8,05	328	
07/01/2017	Moretti	AS15	8,6	8,17	264	
07/01/2017	Siori	AS2A	8,5	8,05	264	
07/01/2017	Veci	AS2B	8,5	7,94	267	
14/01/2017	5 Sifoni	BG10	7,1	8,5	220	
14/01/2017	Apriti Sesamo	BG4	6,7	8,49	224	1
14/01/2017	Bicio	BG7	6,1	8,48	210	0,5
14/01/2017	Cigno	BG9	7,4	8,67	253	
15/01/2017	Brenta Braus	AS0A	1	8,75	311	
15/01/2017	Parco Bigonde-Laghetto	AS13	6,3	7,97	202	
16/01/2017	Fosso	AS17	7	8,2	277	
16/01/2017	Peschiera	AS6	7,9	8,19	275	
21/01/2017	Daniela	CG1				
21/01/2017	Ramo Alto	CG2	7,3	8,06	291	0,002
21/01/2017	Daniela Est	CG3				
21/01/2017	By Pass	CG4	7,7	8,56	262	0,17
28/01/2017	5 Sifoni	BG10	7,1	8,69	220	
28/01/2017	Apriti Sesamo	BG4	6,7	8,51	226	1
28/01/2017	Bicio	BG7	5,8	8,49	211	0,7
05/02/2017	Moretti	AS15	8,8	8,12	260	
05/02/2017	Siori	AS2A	8,8	7,91	263	

Magra

05/02/2017	Veci	AS2B	8,7	8,01	262			
06/02/2017	Parco Bigonde-S. Bassa	AS13	6,6	8,22	205			
06/02/2017	Peschiera	AS6	7,8	7,98	277			
04/03/2017	Bellin	BG13	7,1	8,33	263	0,4		
04/03/2017	Cigno	BG9				1		
15/03/2017	Fosso Taba	AS11				0	Morbida	
15/03/2017	Fosso Pippo	AS12				0		
18/03/2017	Giugi	AS10						
18/03/2017	Fosso Taba	AS11				0		
18/03/2017	Fosso Pippo	AS12				0		
29/03/2017	Brenta Braus	AS0A	11,5	9,24	230			
29/03/2017	Brenta Filippini	AS0B	11,8	8,7	274			
29/03/2017	Subiolo	AS1	9,9	8,21	242			
29/03/2017	Laghetto	AS13	6,9	8,39	198			
29/03/2017	Moretti	AS15	8,6	8,13	240			
29/03/2017	Fosso	AS17	7,1	8,17	317			
29/03/2017	Siori	AS2A	8,9	8,08	260			
29/03/2017	Veci	AS2B	8,9	8,07	267			
29/03/2017	Peschiera	AS6	7,8	8,01	263			
30/03/2017	Cigno	BG9	7,4	8,34	246	0,7		
09/04/2017	Ramo Alto	CG2	7,2	7,9	290	0,1		Magra
09/04/2017	Daniela Est	CG3	7,1	7,9	290	0,13		
09/04/2017	By Pass	CG4	7,7	7,8	255	0,33		
14/05/2017	By Pass	CG4	7,7	8,08	254	1		
18/05/2017	Cenci	AS14	9,4	8,12	242	0,2		
21/05/2017	Caimano	MS1	5	8	247	0,5		
12/06/2017	Cenci	AS14	9,8	8,05	240	0,2		
23/07/2017	Brenta Filippini	AS0B	15,3	8,53	303		Morbida	
23/07/2017	Subiolo	AS1	16,5	8,42	283			
23/07/2017	Moretti	AS15	8,9	8,22	246			
23/07/2017	Siori	AS2A	8,9	8,27	260			
23/07/2017	Veci	AS2B	8,9	8,21	258			
24/07/2017	Ramo Alto	CG2	7,2	8,1	283	0,6		

24/07/2017	By Pass	CG4	7,8	8,2	258	0,25
25/07/2017	Brenta Braus	AS0A	18,7	9,2	252	
25/07/2017	Giugi	AS10	8,2	8,21	238	
25/07/2017	Fosso Taba - Inizio	AS11	12,4		261	
25/07/2017	Fosso Taba - Villa Laura	AS11,1	12,5		262	
25/07/2017	Fosso Pippo- Villa Laura	AS12,2	12,4		273	
25/07/2017	Laghetto Bigonde	AS13	7,3	7,92	202	
25/07/2017	Fosso	AS17	11,2	8,19	268	
25/07/2017	Colo Marzo	AS5				
25/07/2017	Peschiera	AS6	8	8,28	240	
25/07/2017	Laranocchia	AS8				
26/07/2017	Giugi	AS10	8,2	8,21	238	

4.5 Dati del monitoraggio idrofisico in continuo

Tutti i dati ottenuti tramite le sonde con datalogger in continuo sono di seguito graficati in relazione alle precipitazioni rilevate dalla stazione meteo Barricata presente sulla sommità dell'Altopiano.

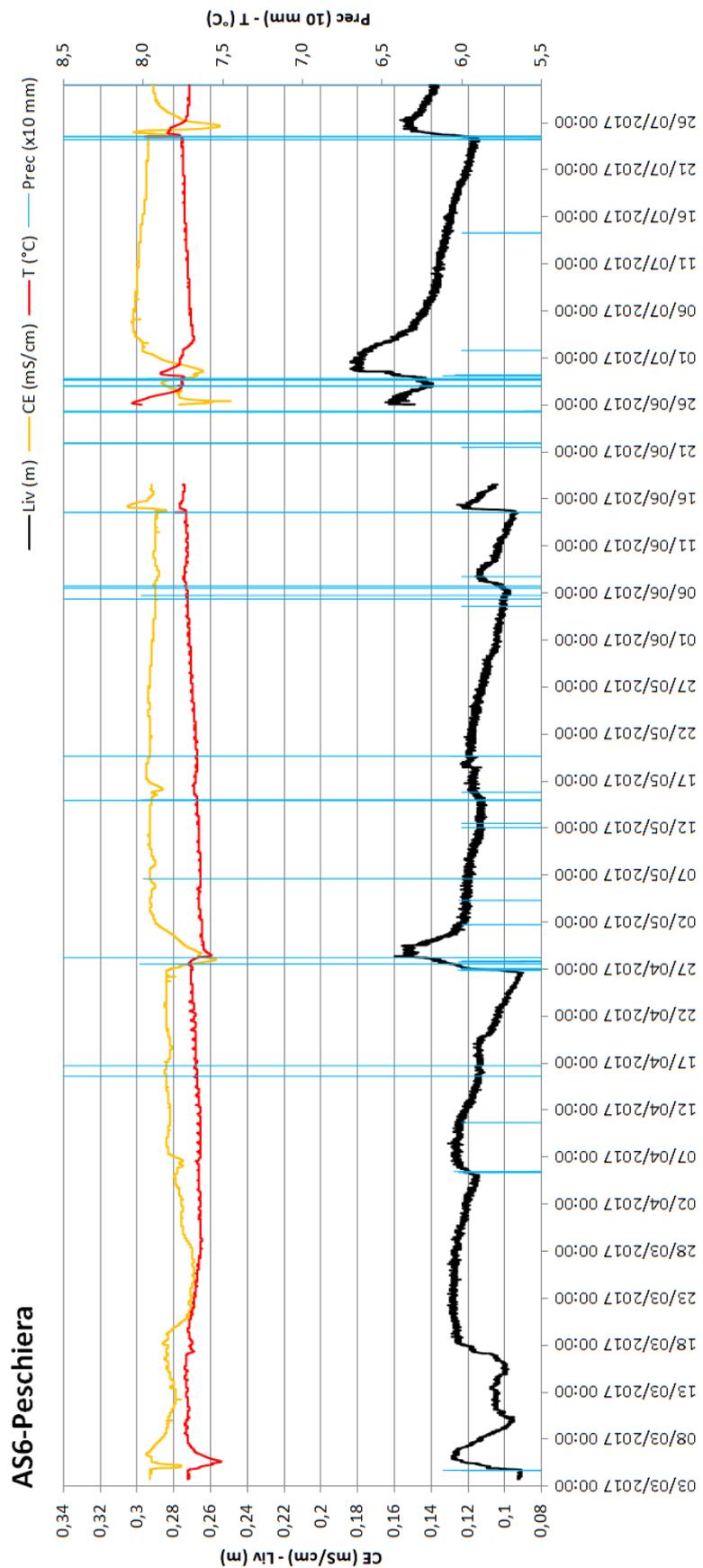


Fig 4.5 Idrogramma AS6-Peschiera

AS13-Parco Bigonde

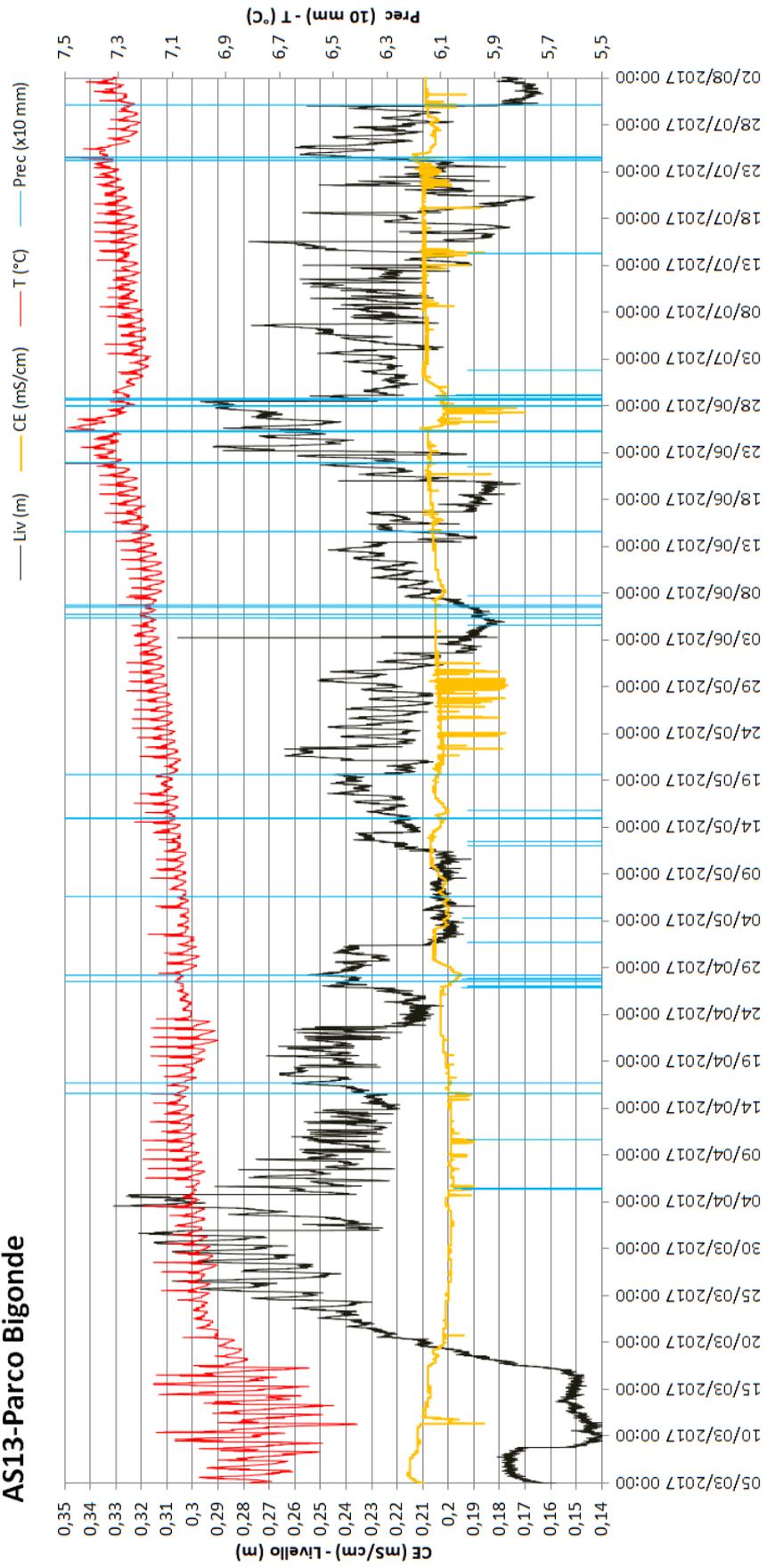


Fig 4.6 Idrogramma AS13-Parco Bigonde

T-Liv AS17-Fosso

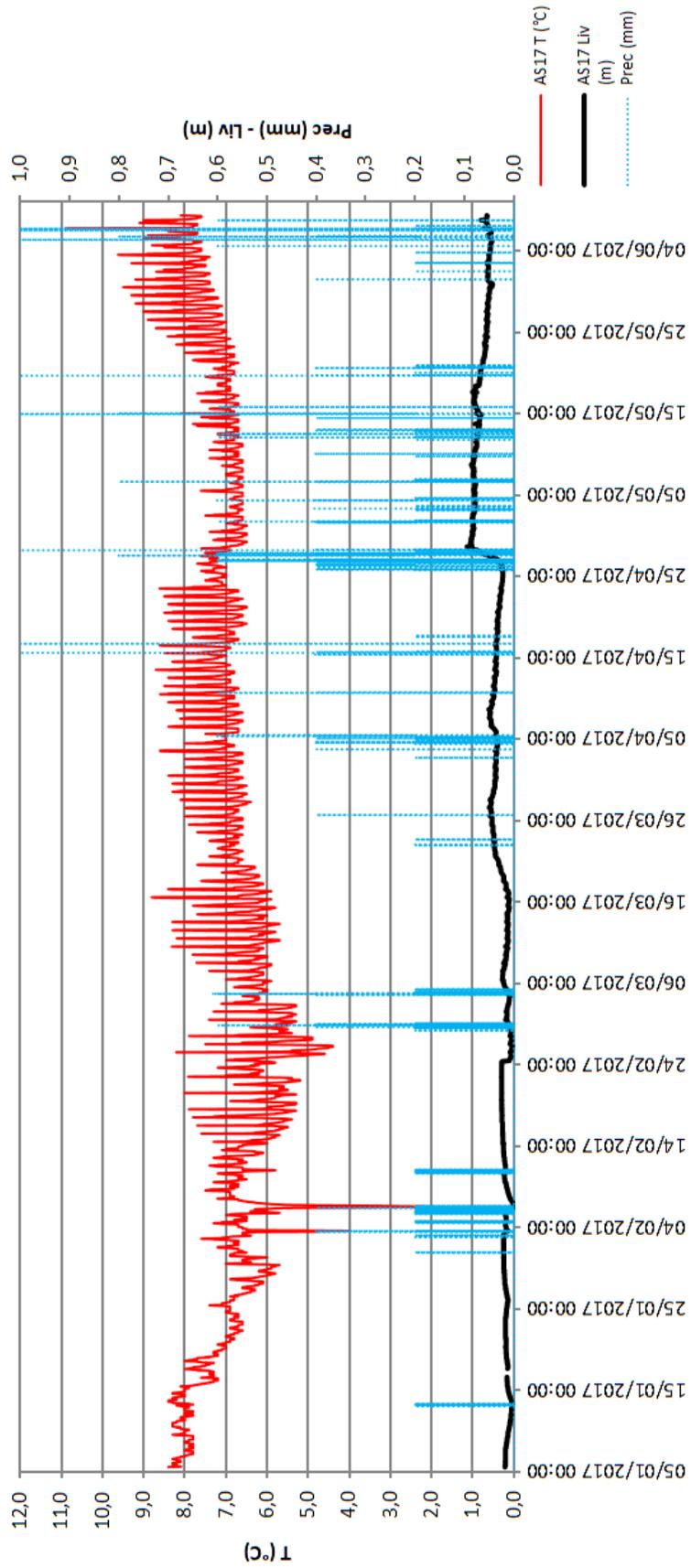


Fig 4.7 Idrogramma AS17

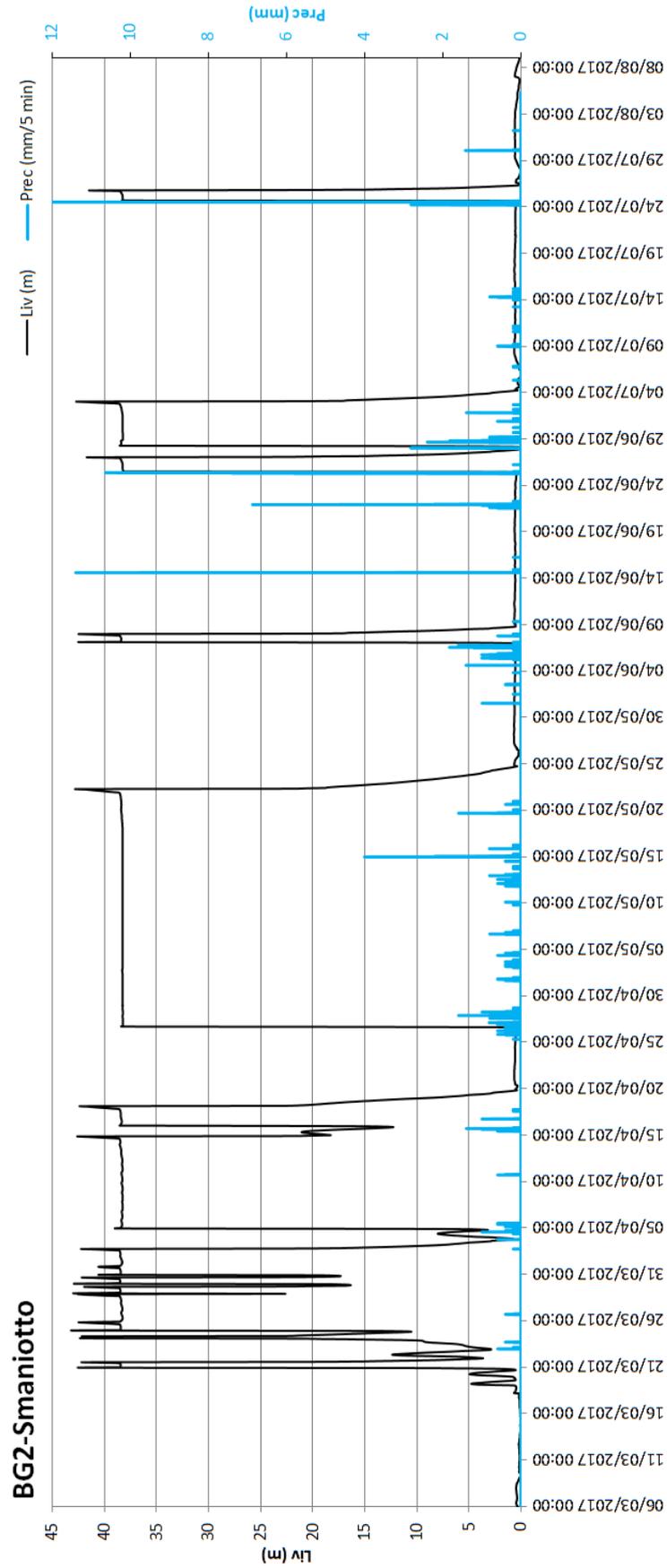


Fig 4.8 Variazioni livello BG2-Smaniotto

CG4-By Pass

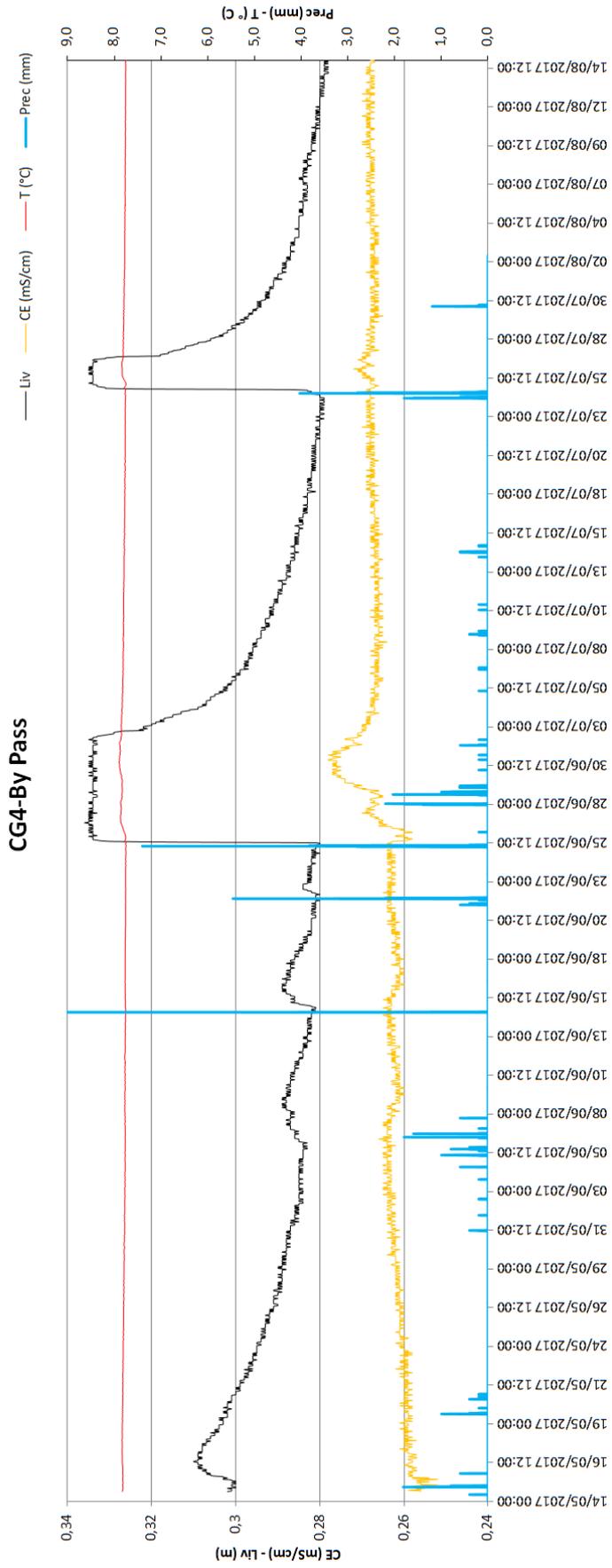


Fig 4.9 Idrogramma CG4-By Pass

4.6 Dati idrochimici

Nella tabella 4.4 sono riportati i campionamenti eseguiti nelle varie condizioni idriche. Da notare che i campionamenti sono evidenziati con diversi colori a seconda della condizione idrica. In magra in verde, in morbida in arancio mentre in piena in rosso.

Tab 4.4 Macrocomponenti inorganici

Id	Data	Nome	pH	T [°C]	CE a 25°C [µS/cm]	TH [°F]	Sodio [mg/l]	Ammonio [mg/l]	Potassio [mg/l]	Calcio [mg/l]	Magnesi o [mg/l]	Fluoruri [mg/l]	Cloriti [mg/l]	Bromati [mg/l]	Cloruri [mg/l]	Nitriti [mg/l]	Bromuri [mg/l]	Nitrati [mg/l]	Fosfati [mg/l]	Solfati [mg/l]	Bicarbonati [mg/l]	Carbona ti [mg/l]	TDS [mg/l]
AS0	09/04/2016	Brenta	8,20	8,3	173	15,2	0,279	0,061	0,25	47,99	7,71	0,01	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	2,46	0,00	2,81	177,630	0,000	239,29
AS01	25/12/2015	Subiolo	7,73	9,9	332	17,2	4,018	0,020	0,88	45,19	14,46	0,03	0,00	0,00	2,05	0,03	0,00	5,60	0,00	13,27	197,936	0,000	279,45
AS01	13/05/2016	Subiolo	7,82	9,2	267	14,0	1,112	0,031	0,54	48,89	4,26	0,02	0,00	0,00	2,04	0,00	0,00	3,86	0,00	2,06	160,716	0,000	222,39
AS02	25/12/2015	Ollero	7,73	8,3	269	14,0	1,072	0,027	0,46	42,95	7,96	0,01	0,00	0,00	1,65	0,02	0,00	4,56	0,00	2,62	159,960	0,000	220,18
AS02	13/05/2016	Ollero	7,93	8,9	259	13,5	1,380	0,020	0,51	44,29	5,92	0,02	0,00	0,00	2,43	0,00	0,00	4,17	0,00	2,11	156,579	0,000	216,01
AS05	13/05/2016	Colo Marzo	7,78	8,0	264	14,0	0,229	0,030	0,19	50,04	3,74	0,01	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00	2,77	0,00	1,37	165,768	0,000	224,23
AS06	13/05/2016	Peschiera	7,86	7,9	262	14,2	0,233	0,033	0,19	50,77	3,61	0,01	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	2,92	0,00	1,44	164,298	0,000	223,56
AS06	09/04/2016	Peschiera	7,82	7,7	243	12,8	0,230	0,018	0,21	47,71	2,23	0,01	0,00	0,00	0,35	0,13	0,00	2,82	0,00	1,21	151,192	0,000	205,86
AS07	13/04/2016	Peschiera Alta	7,91	7,7	264	14,2	0,244	0,049	0,26	51,57	3,25	0,01	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	2,78	0,00	1,32	165,854	0,000	225,36
AS08	13/05/2016	Laranocchia	7,84	7,6	263	13,7	0,233	0,037	0,19	48,84	3,64	0,01	0,00	0,00	0,34	0,06	0,00	2,75	0,00	1,24	159,856	0,000	216,93
AS10	13/05/2016	Pelegri	7,91	7,7	262	14,3	0,233	0,024	0,19	50,57	4,12	0,01	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00	2,85	0,00	1,23	175,744	0,000	235,03
AS12	13/05/2016	Fosso Pippo inizio	7,85	7,0	274	12,7	4,661	0,027	1,47	35,16	9,47	0,08	0,00	0,00	3,74	0,00	0,00	4,60	0,00	15,49	136,773	0,000	206,78
AS13	13/05/2016	Parco Bigondda-Laghetto	8,09	7,1	192	10,1	0,142	0,021	0,10	30,23	6,14	0,04	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	1,81	0,00	1,10	118,646	0,000	158,30
AS14	09/04/2016	Cenci	8,25	8,5	246	13,4	0,236	0,028	0,23	31,07	13,80	0,01	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	3,27	0,00	3,16	154,859	0,000	206,77
AS14	13/04/2016	Cenci	8,15	8,9	246	13,5	0,277	0,122	0,24	31,23	13,86	0,10	0,00	0,00	0,37	0,06	0,00	3,13	0,00	2,93	155,640	0,000	207,57
BG1	30/12/2015	G. Bigondda - Terminale	8,09	6,7	205	10,6	0,185	0,019	0,15	29,60	7,77	0,01	0,00	0,00	0,25	0,02	0,00	1,62	0,00	1,75	123,972	0,000	165,15
BG2	30/12/2015	G. Bigondda - Smaniotto	8,12	6,7	215	11,4	0,213	0,005	0,15	28,33	10,50	0,01	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	3,65	0,00	2,44	129,500	0,000	174,93
BG4	07/01/2016	G. Bigondda - Apriti Sesamo	8,10	6,8	234	12,3	0,244	0,023	0,14	27,55	13,25	0,01	0,00	0,00	0,39	0,03	0,00	4,61	0,00	2,77	140,001	0,000	188,73
BG5	07/01/2016	G. Bigondda - Fontanella	8,14	6,4	207	10,8	0,198	0,045	0,16	28,04	9,19	0,01	0,00	0,00	0,34	0,02	0,00	3,39	0,00	2,33	123,881	0,000	167,34
BG6	07/01/2016	G. Bigondda - Due Venti	8,09	6,2	176	9,2	0,192	0,036	0,25	20,53	9,93	0,02	0,00	0,00	0,31	0,02	0,00	1,48	0,00	1,26	106,906	0,000	140,71
BG7	07/01/2016	G. Bigondda - Bicio	8,17	6,0	217	11,7	0,210	0,004	0,19	29,78	10,47	0,01	0,00	0,00	0,31	0,01	0,00	1,72	0,00	1,65	139,068	0,000	183,23
BG8	07/01/2016	G. Bigondda - Trifurba	7,96	6,3	218	11,4	0,200	0,043	0,12	39,40	3,87	0,05	0,00	0,00	0,35	0,08	0,00	2,07	0,00	1,43	132,667	0,000	180,03
CG1	29/12/2015	G. Calgeron - Sifone Daniela	7,59	7,2	299	15,9	0,357	0,000	0,27	55,06	5,24	0,02	0,00	0,00	0,45	0,02	0,00	3,60	0,00	1,82	184,427	0,000	250,90
CG2	29/12/2015	G. Calgeron - Ramo Alto	7,66	7,4	299	16,1	0,375	0,007	0,28	49,91	8,76	0,02	0,00	0,00	0,51	0,03	0,00	3,19	0,00	1,90	187,514	0,000	252,11

Tab 4.5 Metalli

Id	Nome	Al (ppb)	V (ppb)	Cr (ppb)	Mn (ppb)	Fe (ppb)	Co (ppb)	Ni (ppb)	Cu (ppb)	Zn (ppb)	Ga (ppb)	As (ppb)	Se (ppb)	Rb (ppb)	Sr (ppb)	Ag (ppb)	Cd (ppb)	Cs (ppb)	Ba (ppb)	Tl (ppb)	Pb (ppb)	Bi (ppb)	U (ppb)
AS0	Brenta	11,37	0,30	0,00	0,37	0,00	0,01	0,00	0,97	10,18	0,82	0,14	0,27	0,31	35,69	0,00	0,00	0,00	4,32	0,00	0,63	0,00	0,58
AS01	Subiolo	1,20	0,97	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	1,54	12,16	2,48	1,09	0,29	0,63	59,66	0,13	0,17	0,03	13,70	0,01	0,21	1,35	0,55
AS01	Subiolo	81,66	0,37	0,00	6,70	58,19	0,08	0,00	0,66	0,92	5,93	0,24	0,39	0,36	56,96	0,00	0,02	0,00	31,18	0,00	0,00	0,00	0,10
AS02	Oliero	13,84	0,51	0,00	1,28	4,27	0,00	0,00	0,72	17,14	1,42	0,22	0,00	0,32	35,26	0,03	0,05	0,01	8,79	0,00	0,00	0,31	0,00
AS02	Oliero	19,86	0,28	0,00	0,40	3,72	0,00	0,00	0,23	0,25	0,76	0,10	0,00	0,18	34,10	0,00	0,00	0,00	4,07	0,00	0,00	0,00	0,22
AS05	Colo Marzo	18,53	0,31	0,00	0,47	1,29	0,00	0,00	0,17	0,23	0,70	0,09	0,00	0,21	34,59	0,00	0,00	0,00	3,83	0,00	0,00	0,00	0,21
AS06	Peschiera	23,44	0,33	0,00	0,44	4,00	0,00	0,00	0,23	1,21	0,70	0,14	0,08	0,23	34,41	0,00	0,01	0,00	3,75	0,00	0,00	0,00	0,20
AS06	Peschiera	18,63	0,27	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00	0,37	5,38	0,76	0,18	0,08	0,22	32,26	0,00	0,00	0,00	4,04	0,00	0,00	0,00	0,12
AS07	Peschiera Alta	33,61	0,29	0,00	0,82	12,77	0,00	0,00	0,17	0,55	0,58	0,07	0,00	0,22	34,09	0,00	0,00	0,00	3,74	0,00	0,00	0,00	0,13
AS08	Laranocchia	30,62	0,32	0,00	0,82	11,67	0,00	0,00	0,19	0,21	0,71	0,17	0,27	0,24	33,60	0,00	0,00	0,00	3,55	0,00	0,00	0,00	0,13
AS10	Peligrin	21,84	0,31	0,00	0,26	1,95	0,00	0,00	0,19	1,39	0,65	0,17	0,21	0,23	33,24	0,00	0,00	0,00	3,49	0,00	0,00	0,00	0,14
AS12	Fosso Pippo inizio	52,91	0,57	0,00	2,47	56,58	0,02	0,00	1,13	5,78	3,16	9,26	0,10	0,44	97,52	0,00	0,03	0,00	17,23	0,00	0,03	0,00	0,45
AS13	Parco Bigonda-Laghetto	18,43	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,24	0,17	0,00	0,14	14,95	0,00	0,00	0,00	1,29	0,00	0,00	0,00	0,12
AS14	Cenci	7,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	1,38	0,33	0,68	0,40	0,16	13,92	0,00	0,00	0,00	2,09	0,08	0,00	0,00	1,08
AS14	Cenci	4,66	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87	0,23	0,33	0,61	0,26	0,19	13,79	0,00	0,00	0,00	1,79	0,08	0,00	0,00	1,07
BG1	G. Bigonda - Terminale																						
BG2	G. Bigonda - Smanioetto	7,87	0,43	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,26	0,94	0,35	0,08	0,00	0,18	14,54	0,00	0,03	0,01	2,10	0,01	0,00	0,00	0,05
BG4	G. Bigonda - Apriti Sesamo	30,68	0,41	0,00	1,66	7,44	0,00	0,00	2,18	8,81	0,38	0,20	0,00	0,20	10,39	0,00	0,02	0,01	2,40	0,00	0,46	0,00	0,00
BG5	G. Bigonda - Fontanelia	8,90	0,50	0,00	1,59	0,00	0,00	0,00	0,91	6,56	0,35	0,18	0,00	0,17	15,92	0,00	0,02	0,00	2,40	0,01	0,14	0,00	1,02
BG6	G. Bigonda - Due Venti	62,10	0,98	0,00	5,35	45,82	0,00	0,00	1,58	16,02	0,59	0,38	0,63	0,35	27,72	0,00	0,04	0,01	3,60	0,02	0,40	0,00	5,26
BG7	G. Bigonda - Bicio	0,00	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,79	0,36	0,12	0,00	0,24	24,31	0,00	0,00	0,00	2,70	0,00	0,00	0,00	0,14
BG8	G. Bigonda - Triffruba	54,12	0,47	0,00	5,69	28,77	0,00	0,00	2,66	10,59	0,37	0,37	0,31	0,27	30,15	0,00	0,02	0,01	2,76	0,01	0,23	0,00	0,00
CG1	G. Calgeron - Sifone Daniela	12,64	0,37	0,00	2,02	6,44	0,00	0,00	0,65	14,23	2,85	0,09	0,15	0,35	78,86	0,00	0,02	0,00	20,24	0,00	0,06	0,00	0,00
CG2	G. Calgeron - Ramo Alto	8,99	0,37	0,00	2,39	0,92	0,00	0,00	0,73	8,27	2,71	0,16	0,15	0,35	75,34	0,00	0,03	0,00	19,87	0,00	0,27	0,00	0,00

Tab 4.6 Lantanidi

id	Nome	La (ppt)	Ce (ppt)	Pr (ppt)	Nd (ppt)	Sm (ppt)	Eu (ppt)	Gd (ppt)	Tb (ppt)	Dy (ppt)	Ho (ppt)	Er (ppt)	Tm (ppt)	Yb (ppt)	Lu (ppt)
AS0	Brenta	47,40	23,32	0,61	3,42	2,84	2,59	2,52	1,42	2,14	2,11	3,06	2,06	3,26	2,08
AS01	Subiolo	29,84	7,55	2,24	4,70	2,15	2,74	1,61	1,74	2,55	1,99	2,47	1,96	2,23	1,97
AS01	Subiolo	244,50	159,30	43,59	183,50	41,65	16,29	44,88	6,34	46,07	9,74	25,93	3,94	23,54	3,28
AS02	Oliero	44,34	20,33	2,90	14,14	2,28	1,02	2,32	0,16	2,74	0,45	1,85	0,10	1,48	0,11
AS02	Oliero	84,69	39,50	4,69	25,34	4,90	1,97	5,98	0,48	5,71	1,48	3,45	0,55	2,99	0,62
AS05	Colo Marzo	79,77	34,73	3,83	22,00	7,61	1,69	5,86	0,22	5,73	1,26	4,40	0,34	3,85	0,27
AS06	Peschiera	75,83	43,54	4,78	28,65	5,82	2,09	7,89	0,25	6,49	1,46	4,15	0,73	4,63	0,56
AS06	Peschiera	66,46	32,38	2,47	17,05	4,46	1,62	4,20	0,20	5,43	1,03	2,85	0,40	2,72	0,51
AS07	Peschiera Alta	112,70	67,93	9,27	38,99	9,83	2,40	10,62	1,00	7,86	1,81	6,16	0,59	4,35	0,75
AS08	Laranocchia	97,75	58,70	8,45	43,17	10,15	2,15	9,98	1,32	9,47	1,96	5,86	0,73	4,86	0,87
AS10	Piegrin	89,97	38,48	5,22	23,60	4,44	1,59	7,21	0,36	6,62	1,52	3,29	0,46	3,23	0,56
AS12	Fosso Pippo inizio	71,04	67,95	6,67	30,93	8,40	3,58	10,25	0,94	6,51	1,40	4,37	0,78	4,25	0,85
AS13	Parco Bigondda-Laghetto	93,90	30,71	1,91	12,54	4,11	1,08	3,85	0,40	3,49	0,65	1,73	0,33	2,20	0,34
AS14	Cenci	40,80	8,43	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AS14	Cenci	50,66	7,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BG1	G. Bigondda - Terminale														
BG2	G. Bigondda - Smaniotto	33,30	13,34	0,74	5,35	0,69	0,00	0,00	0,00	0,39	0,00	0,39	0,00	0,29	0,00
BG4	G. Bigondda - Apriti Sesamo	38,31	22,19	1,83	9,82	1,52	0,23	1,31	0,00	1,07	0,00	0,46	0,00	0,81	0,00
BG5	G. Bigondda - Fontanella	38,54	12,84	1,16	6,36	0,53	0,00	0,39	0,00	0,66	0,00	0,32	0,00	0,35	0,00
BG6	G. Bigondda - Due Venti	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BG7	G. Bigondda - Bicio	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BG8	G. Bigondda - Triffiruba	70,70	61,27	7,91	33,68	6,95	1,14	6,15	0,38	5,09	0,96	3,61	0,11	2,77	0,10
CG1	G. Calgeron - Sifone Daniela	42,68	19,89	2,24	12,36	1,71	1,23	1,42	0,00	1,79	0,00	1,04	0,00	0,74	0,00
CG2	G. Calgeron - Ramo Alto	36,99	23,17	2,43	12,88	2,04	1,25	2,23	0,00	1,62	0,00	1,12	0,00	1,20	0,00

4.7 Dati del tracciamento

La tabella sottostante (Tab 4.7) riassume i tracciamenti effettuati.

Tab 4.7 Tracciamenti effettuati

Immissione	Quota immissione m s.l.m.	q (l/s) portata torrente tracciato	Ricezione	Quota ricezione m s.l.m.	Q (l/s) portata sorgente monitorata	Distanza planimetrica (m)	Dislivello (m) Rispetto ricezione	Data e ora immissione	Tempo Uscita tracc (h)	Tracciante	Q.tà (kg)	
G. Bigondda	BG10-5 Sifoni	420	0,78	AS13-Parco Bigonde	273	100	1050	150	07/01/2017 12:00	meno di 24	Tinopal	4,5
G. Bigondda	BG9-Cigno	363	0,05	AS13-Parco Bigonde	273	100	500	90	07/01/2017 15:26	meno di 24	Uranina	5,0
G. Bigondda	BG9-Cigno	363	0,70	AS13-Parco Bigonde	273	100	500	90	30/03/2017 12:11	9	Uranina	0,3
G. Calgeron	CG4-By Pass	490	1,00	AS6-Peschiera ?	256	65	920	234	14/05/2017 14:17	29	Tinopal	2,0
A. Mistero	MS1-Caimano	1234	0,50	AS6-Peschiera	256	70	4400	978	21/05/2017 12:30	128	Uranina	10,0

Da questa tabella è possibile ricavare la velocità del flusso idrico, conoscendo dislivello, distanza planimetrica e tempo di uscita del tracciante. La Fig 4.10 mostra la sezione tra il punto MS1 posto nell'Abisso del Mistero e il punto AS6-Peschiera. Vengono riportate due possibili vie di drenaggio idrico, il percorso in blu rappresenta la lunghezza massima mentre il percorso azzurro rappresenta la lunghezza minima. Considerando le due diverse lunghezze si ottiene una velocità del flusso idrico variabile da 35 a 42 m/h. Con la stessa metodologia viene determinata la velocità del flusso idrico tra il punto BG9 posto nella Grotta della Bigonda e il punto AS13-Parco Bigonde. In questo caso la velocità del flusso idrico varia dai 56 ai 66 m/h.

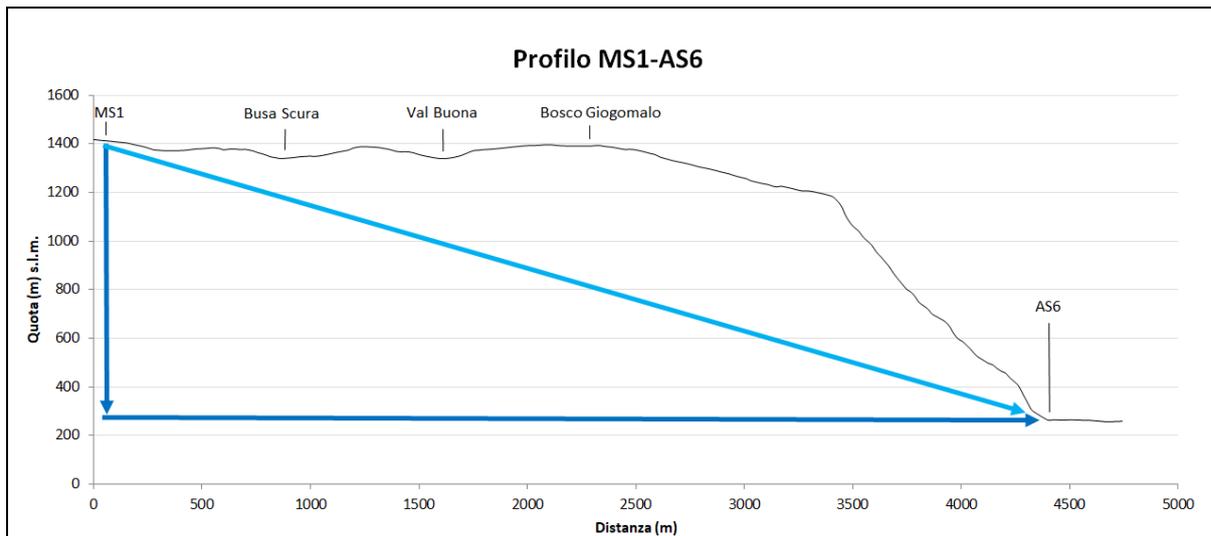


Fig 4.10 Flusso idrico tra MS1 e AS6

Di seguito vi è la mappa che mostra il risultato delle quattro campagne di tracciamento. Da notare il collegamento tratteggiato dalla Grotta del Calgeron alla sorgente AS6 che indica l'incertezza del collegamento.

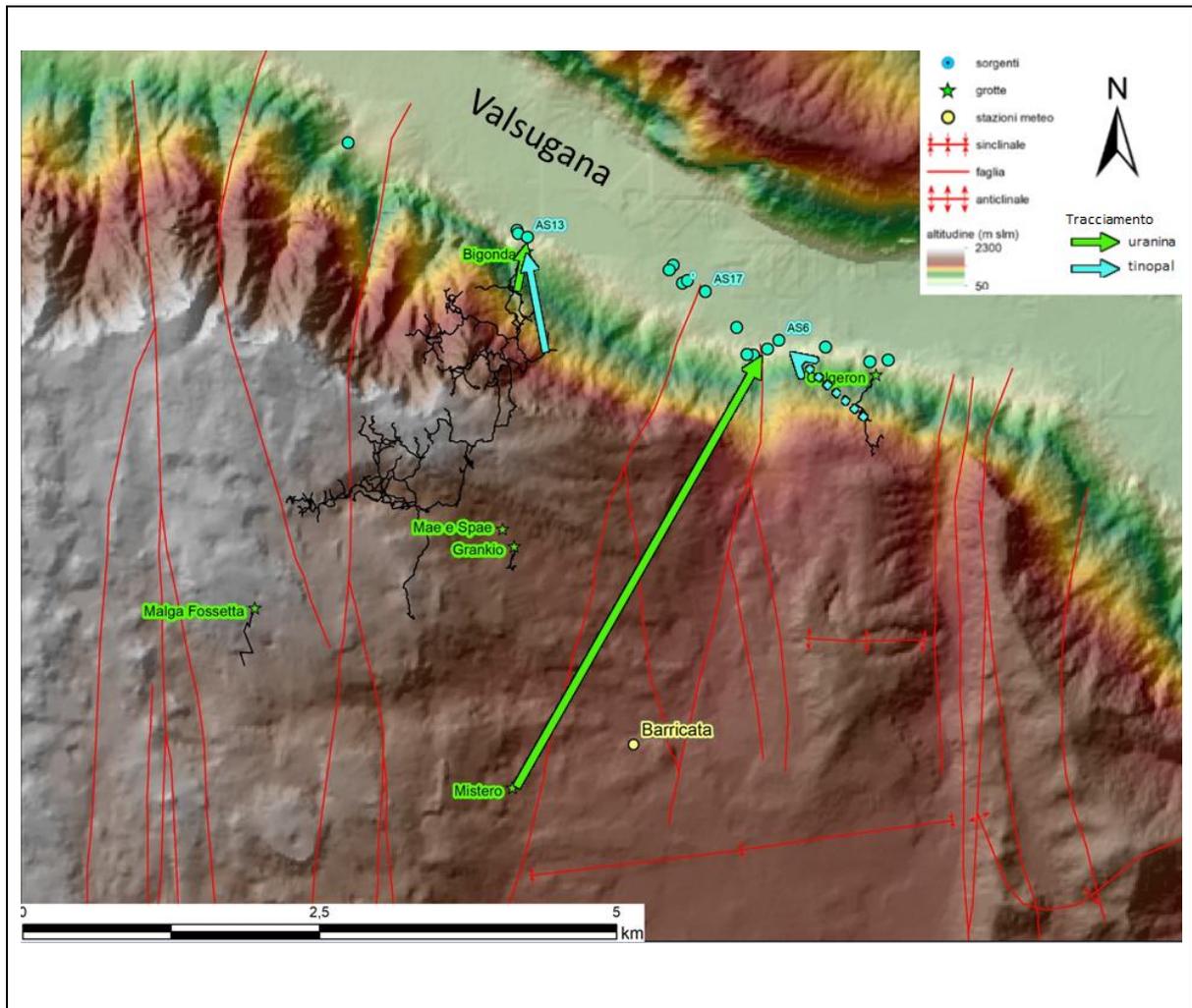


Fig 4.11 Mappa tracciamenti effettuati

Di seguito sono riportate le curve di restituzione di tutti i fluorimetri installati.

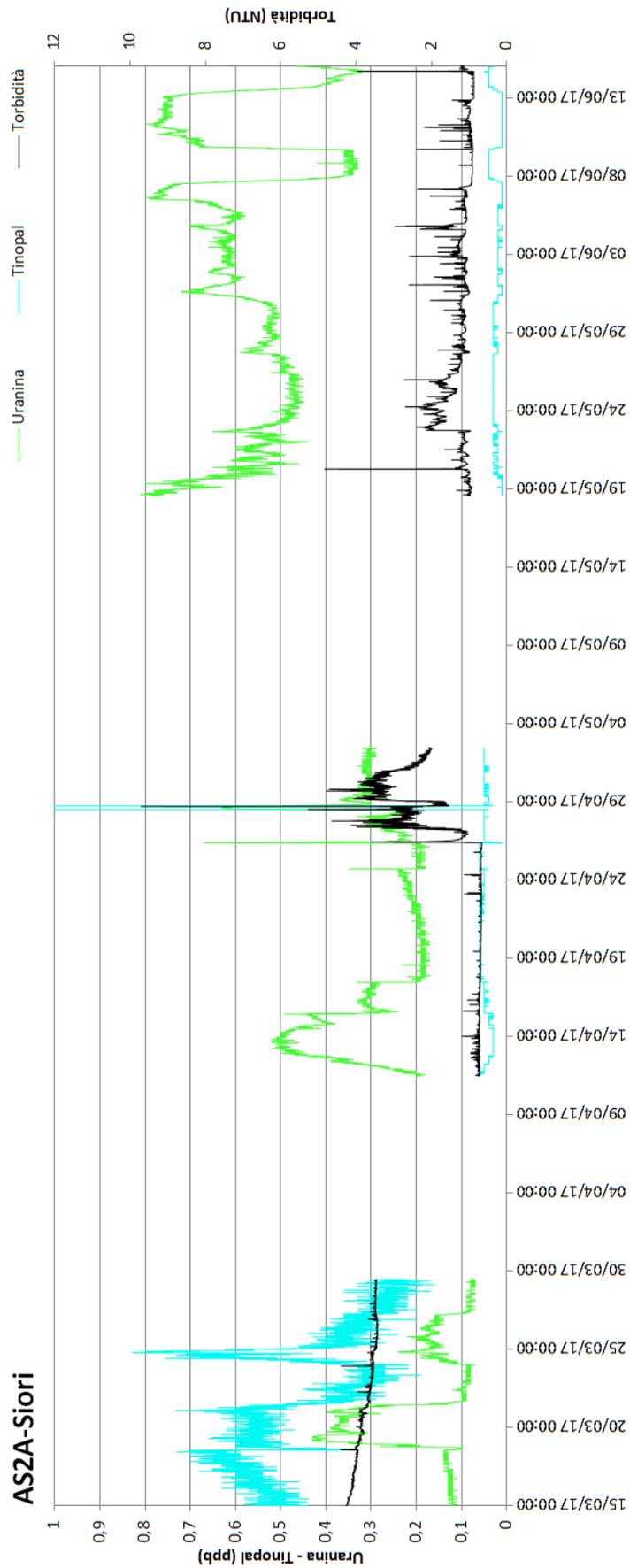


Fig 4.12 Curva di restituzione AS2A-Siori

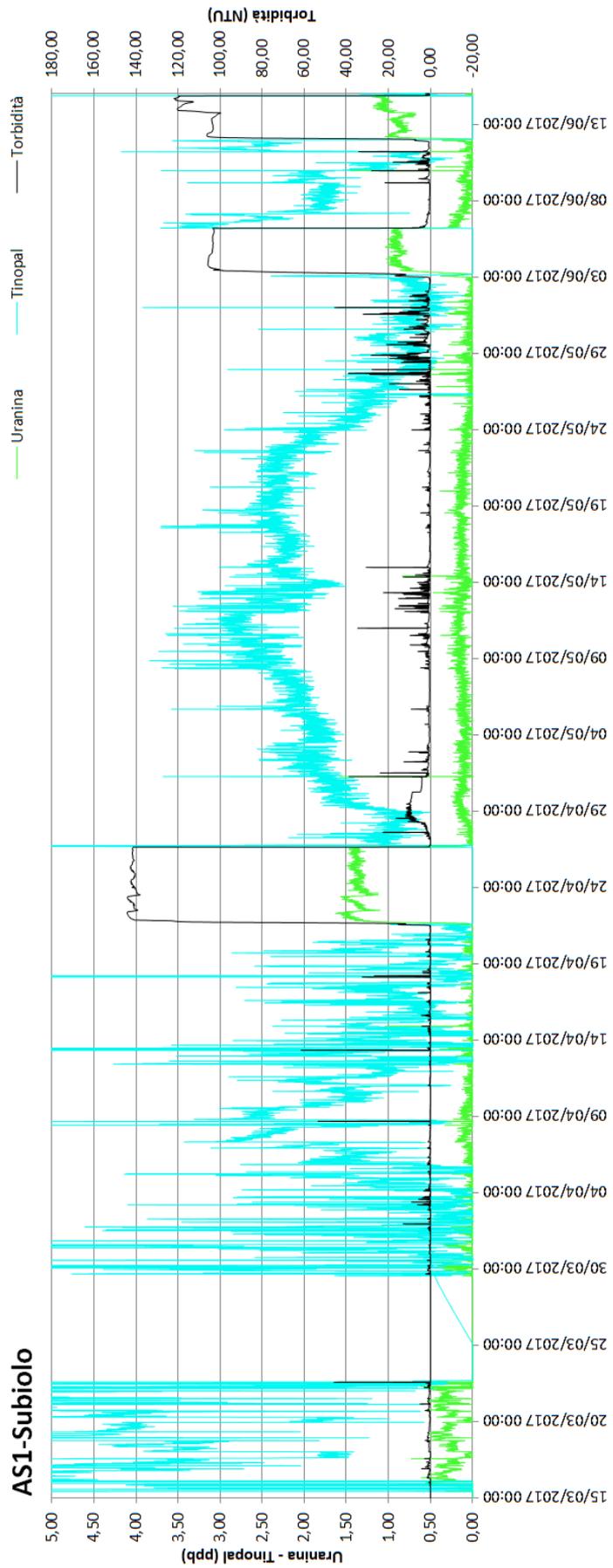


Fig 4.13 Curva di restituzione AS1-Subiolo

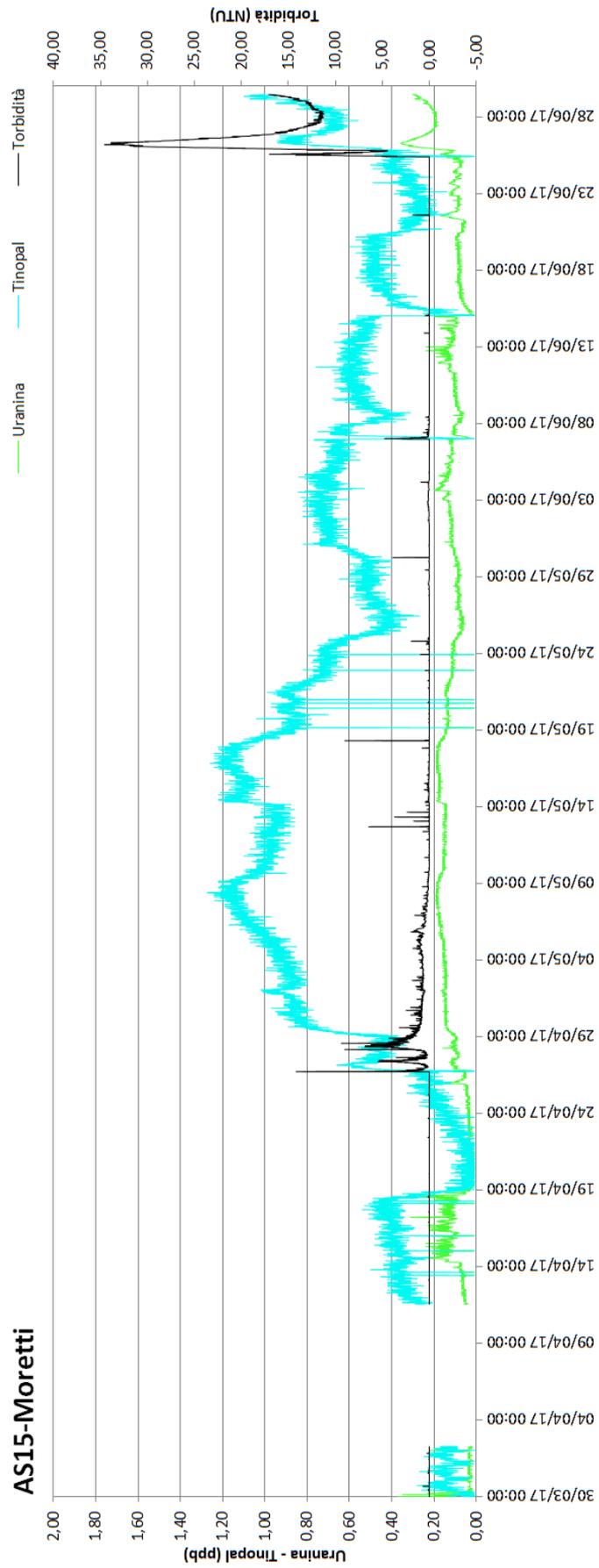


Fig 4.14 Curva di restituzione AS15-Moretti

Fluorimetro AS13-Parco Bigonde

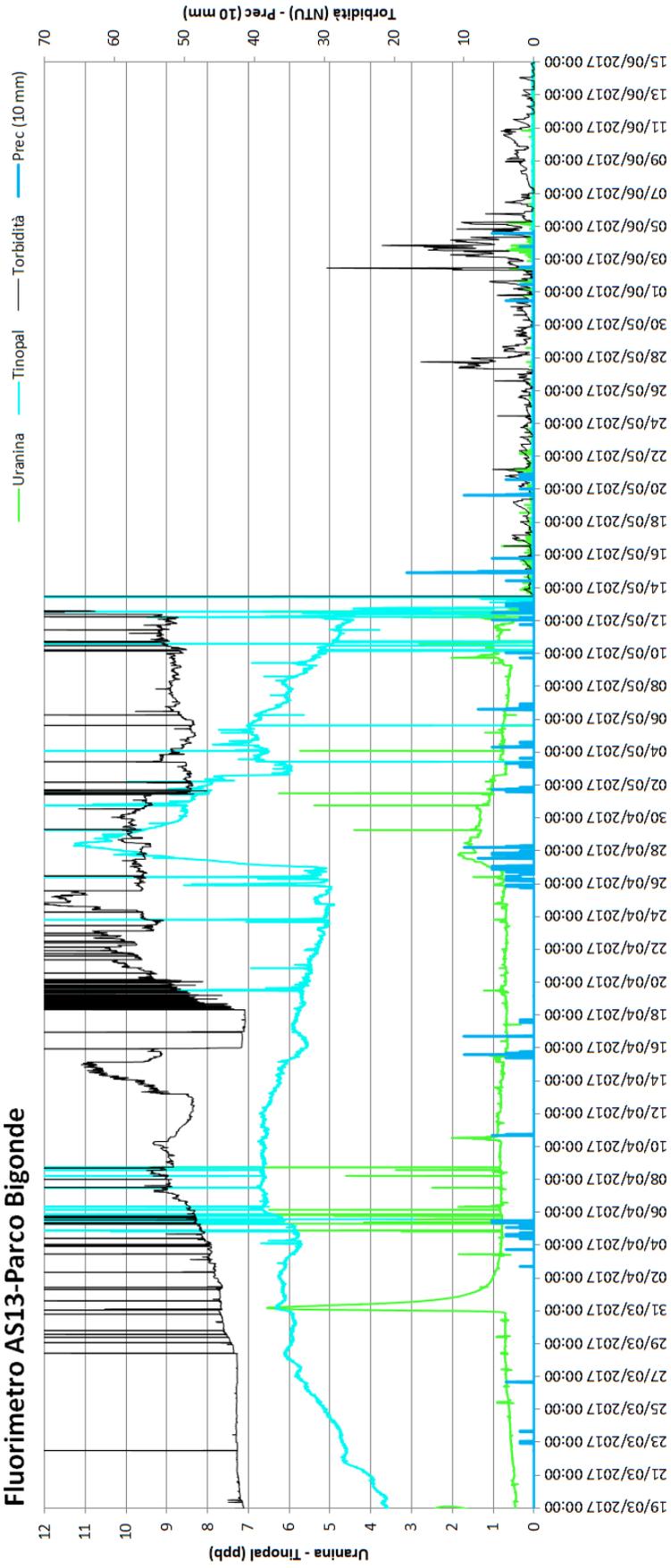


Fig 4.15 Curva di restituzione AS13-Parco Bigonde

Fluorimetro AS6-Peschiera da 01/02/2017 a 20/04/2017

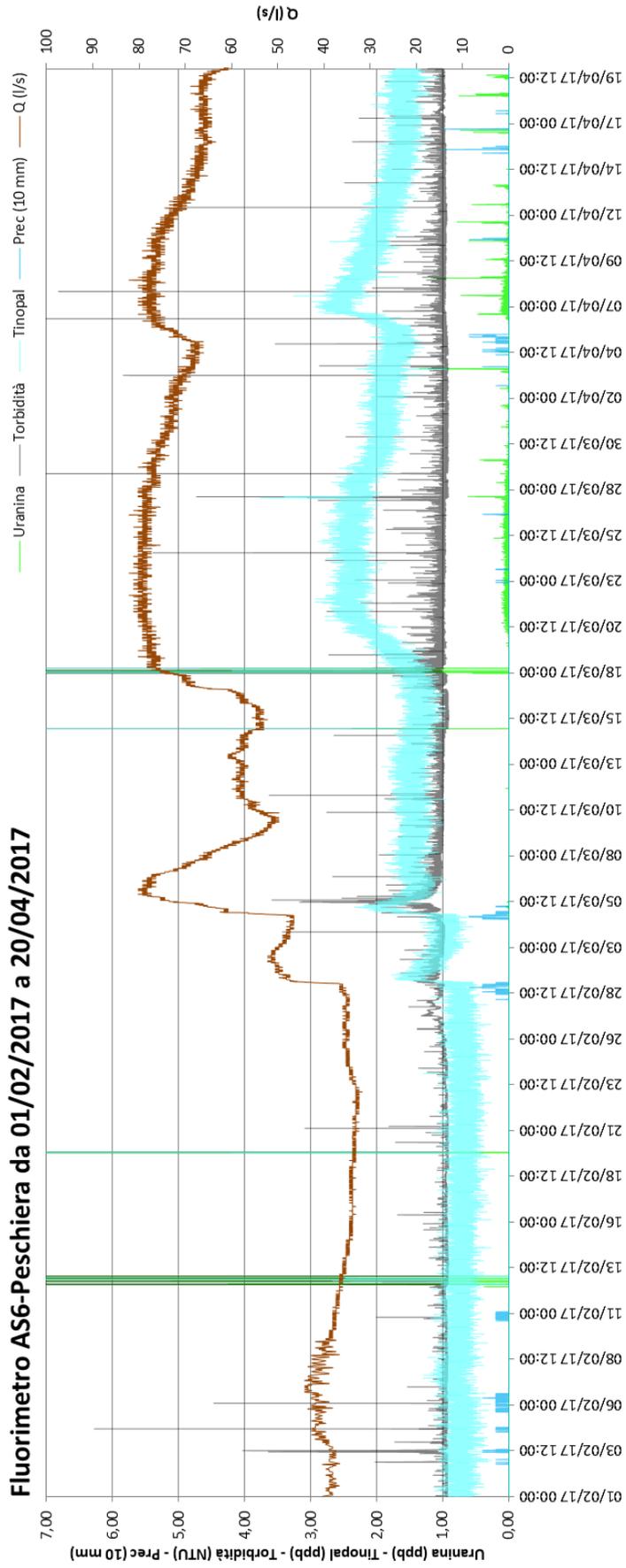


Fig 4.16 Curva di restituzione AS6-Peschiera

Fluorimetro AS6-Peschiera da 20/04/2017 a 29/06/2017

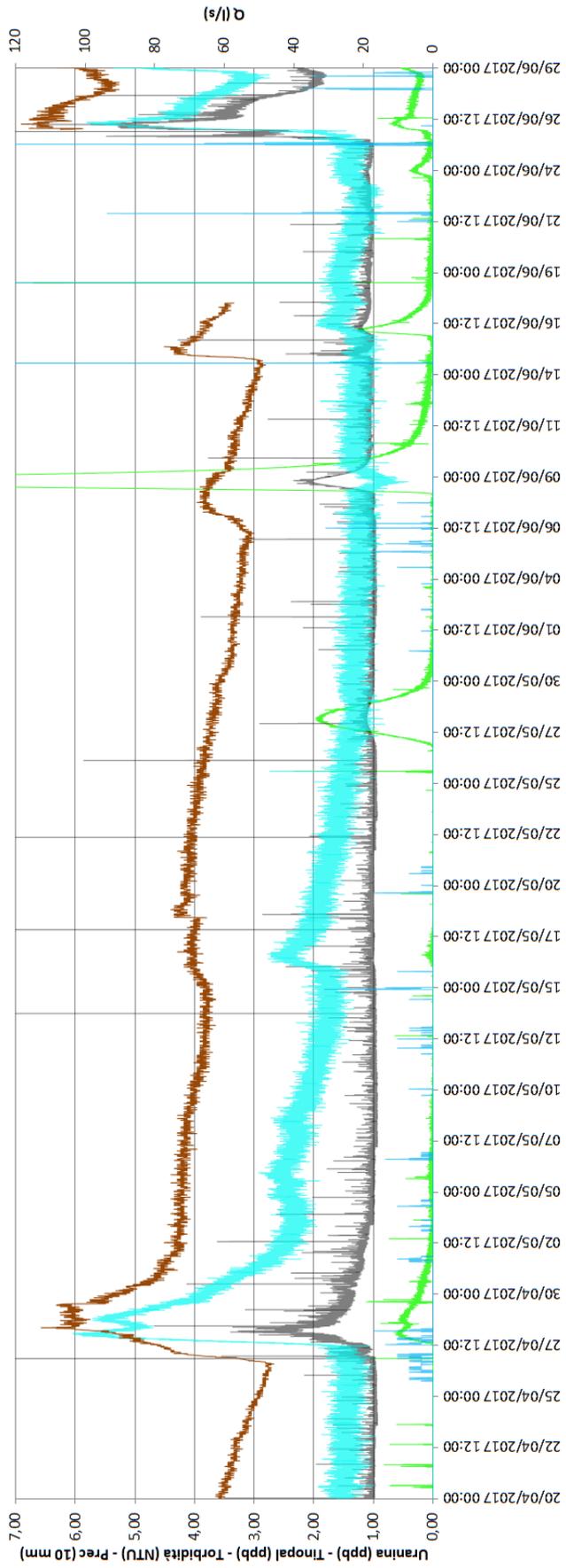


Fig 4.17 Curva di restituzione AS6-Peschiera

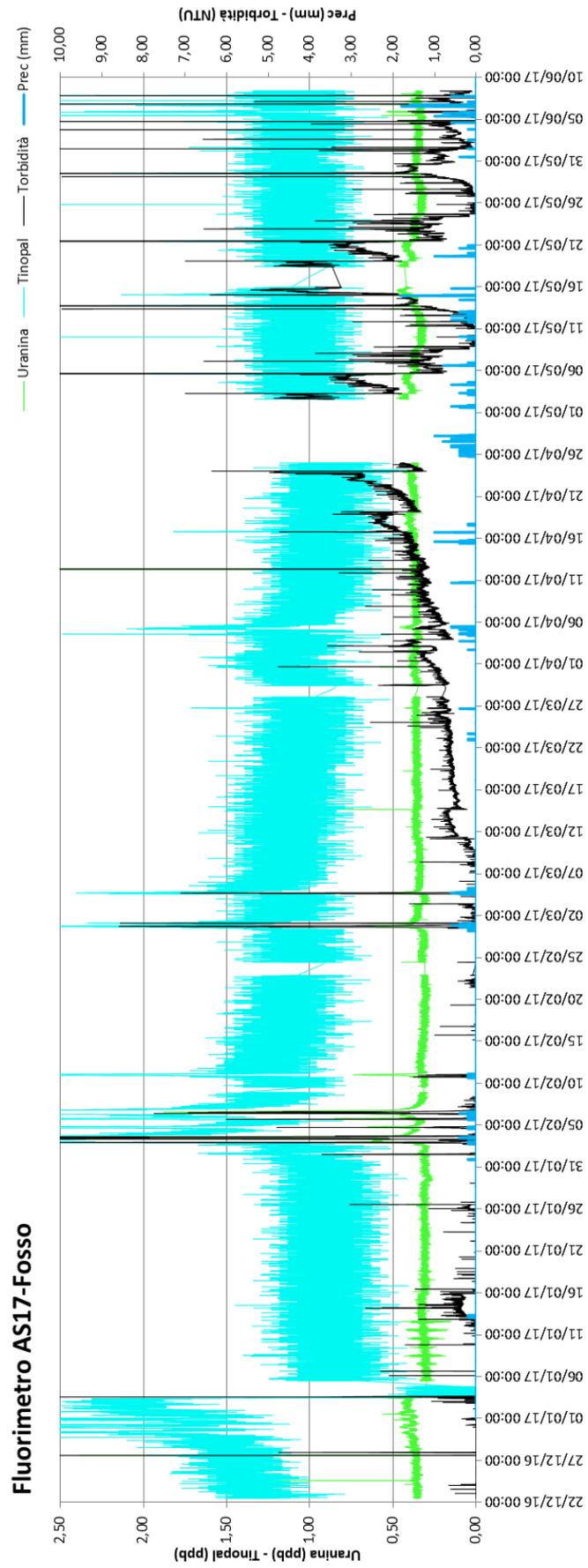


Fig 4.18 Curva di restituzione AS17-Fosso

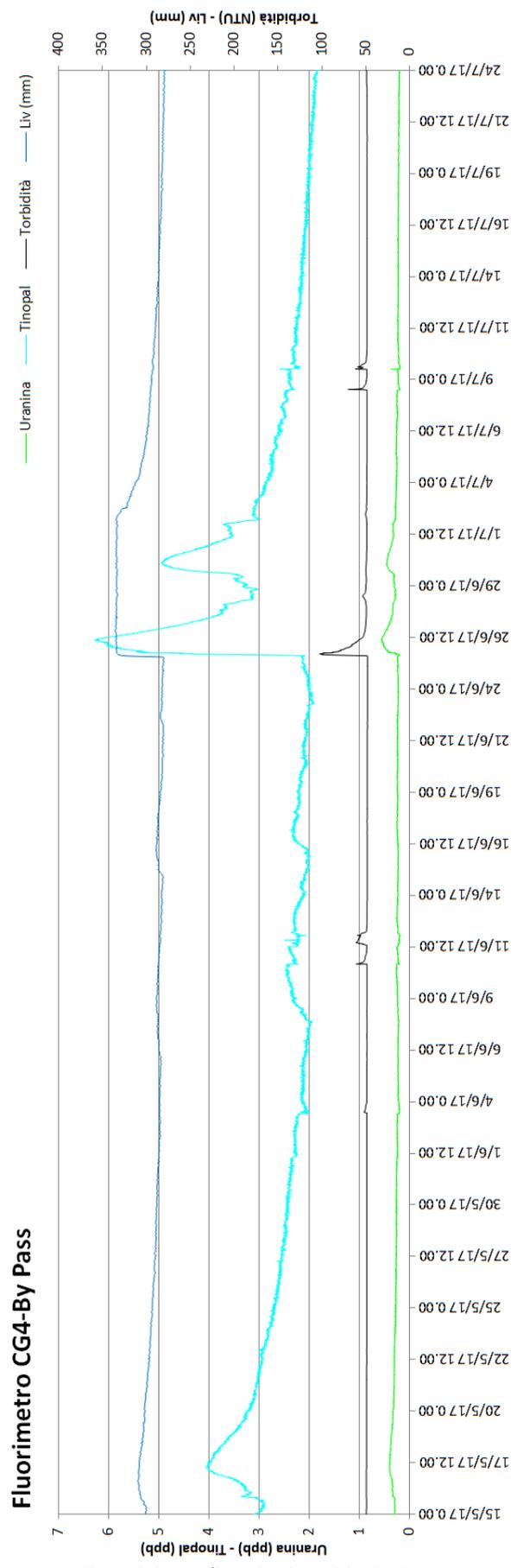


Fig 4.19 Curva di restituzione CG4-By-Pass

Fluorimetro AS14-Cenci

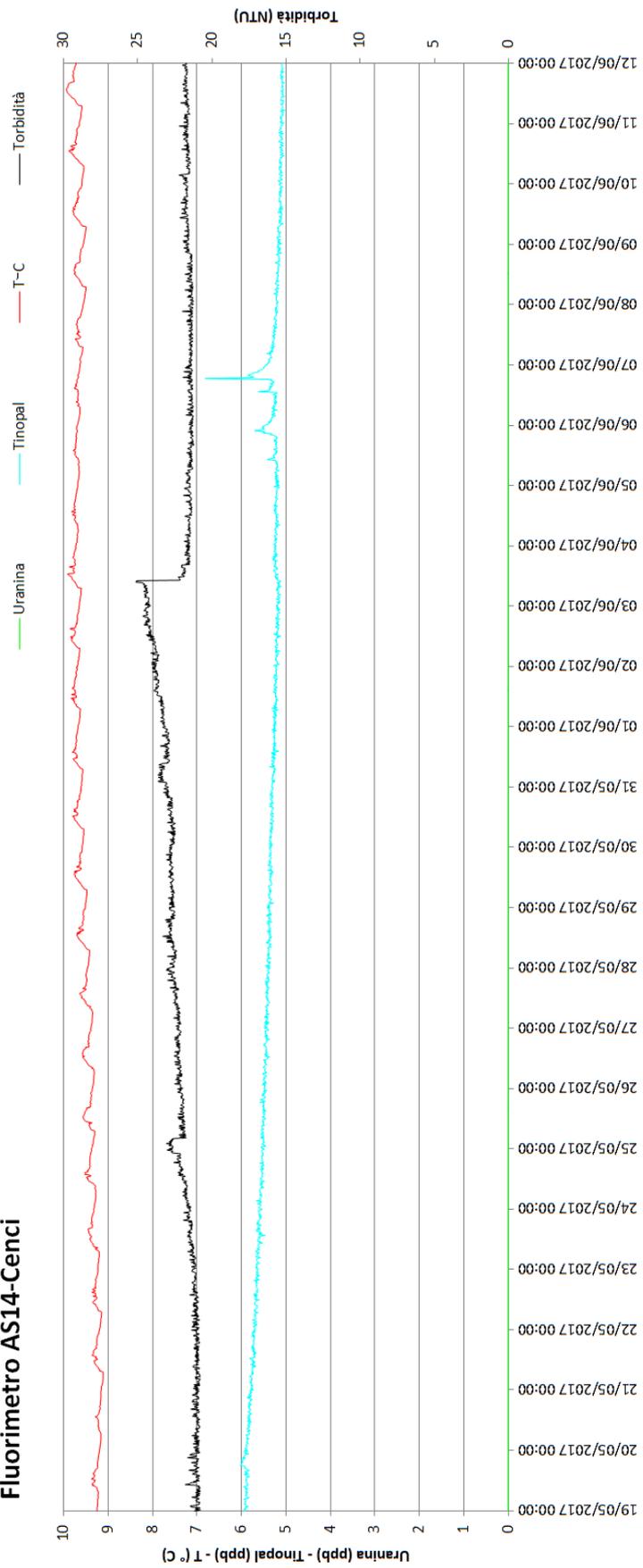


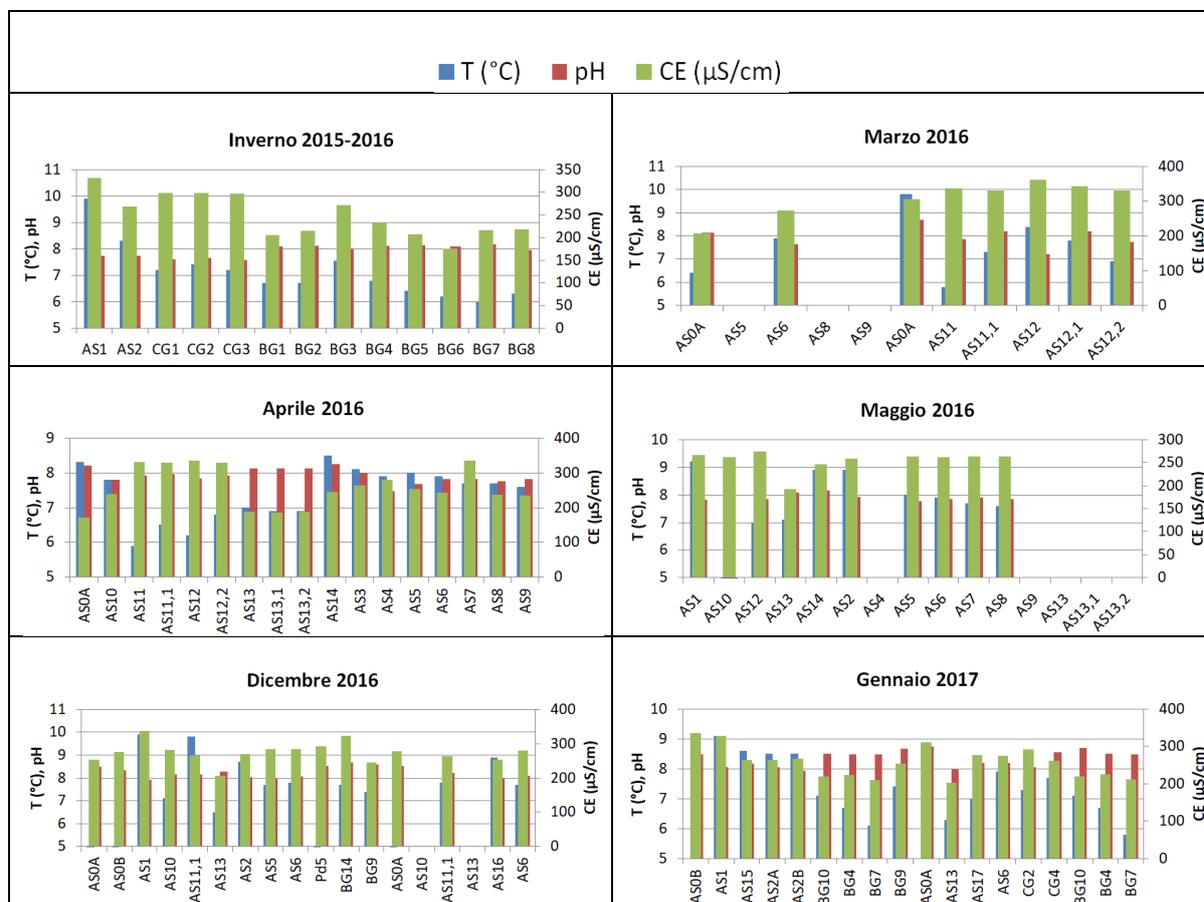
Fig 4.20 Curva di restituzione AS14-Cenci

5.0 DISCUSSIONE E ELABORAZIONE DEI DATI

5.1 Elaborazione dei dati idrofisici in situ

In occasione del monitoraggio e campionamento dei corsi d'acqua presenti nell'area di studio, vengono misurati i valori di temperatura, conducibilità elettrica, pH e talvolta portata. I grafici sottostanti presentano tali valori misurati in periodi diversi dell'anno. La differenza maggiore da notare è il rapporto tra acque interne alle grotte, acque di sorgente situate ai piedi del versante dell'altopiano, acque di sorgente situate nel fondovalle della Valsugana e l'acqua del fiume Brenta. Analizzando i parametri relativi a dicembre 2016 si nota che l'acqua si infila dalla sommità dell'altopiano a una temperatura di poco inferiore ai 4° C del punto Pd5, scorre all'interno delle grotte riscaldandosi fino a una temperatura di circa 7,5° C di BG14 e BG9 venendo espulsa alle sorgenti poste ai piedi del versante settentrionale di Asiago con una temperatura di 7-8° C e si immette nel fiume Brenta ritornando a una temperatura di 4° C. Se l'acqua anziché esser espulsa dalle sorgenti poste ai piedi del versante viene espulsa dalle sorgenti situate sul fondovalle si scalda ulteriormente fino a 8,9° C di AS16, e 9,8 ° C di AS11,1.

Le sorgenti principali di tutto l'Altopiano situate in Canale del Brenta drenano acqua a una temperatura di 8,7° C presso AS2 e di 9,9° C presso AS1. Ciò è dovuto al maggior tempo di stazionamento dell'acqua all'interno del massiccio carsico. Le temperature di AS11,1 e AS1 sono ancora più elevate rispetto alle rispettive sorgenti simili in quanto subiscono maggiormente l'effetto di riscaldamento della temperatura atmosferica essendo costituite da acqua pressoché stagnante.



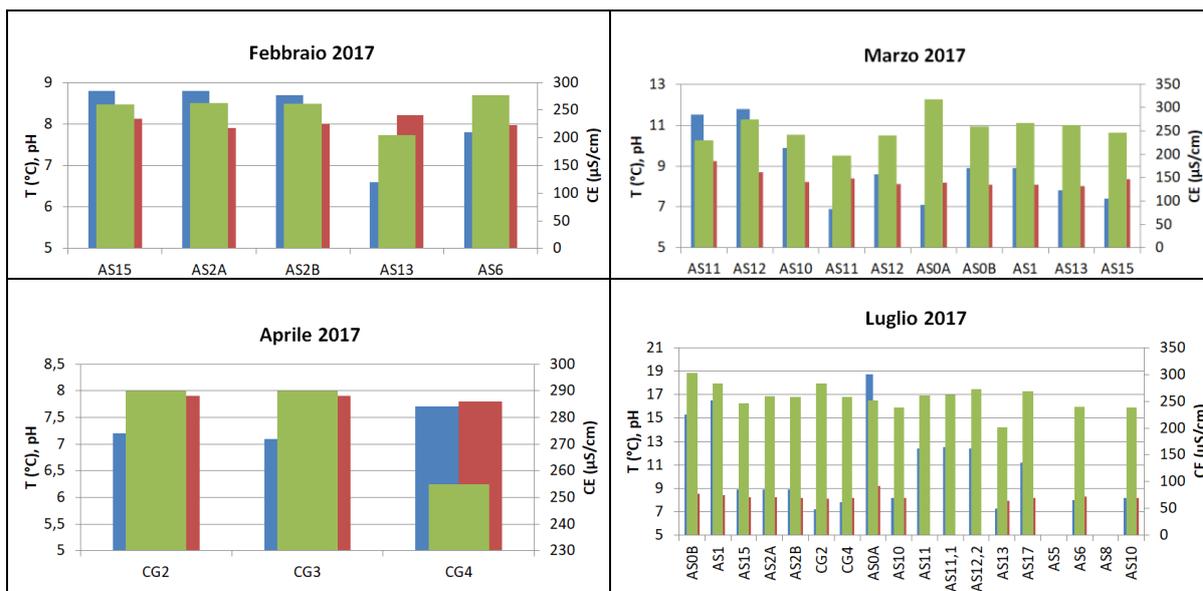


Fig 5.1 Parametri idrofisici in situ

Analizzando esclusivamente le sorgenti del Canale del Brenta, le principali di tutto l'Altopiano, si nota che esse possiedono una temperatura che varia durante l'anno tra 8° e 9° C. Con valori quasi identici di temperatura tra AS2A, AS2B e molto simili con AS15. AS1 è l'unico punto monitorato in cui si rilevano importanti variazioni di T in quanto essa è costituita da un lago stagnante i cui parametri sono influenzati dall'atmosfera. La conducibilità elettrica, nel periodo di magra di gennaio e febbraio 2017, presenta valori simili per le sorgenti AS2A, AS2B e AS15 che variano da 260 a 267 μS/cm. In seguito al periodo di morbida di fine marzo 2017 il punto AS15 diminuisce il valore di CE a 240 μS/cm mentre i punti AS2A e AS2B si mantengono su valori costanti rispettivamente di 260 e 267 μS/cm. Anche per quanto riguarda l'andamento di CE il punto AS1 presenta dei valori che dipendono dal rapporto con l'atmosfera.

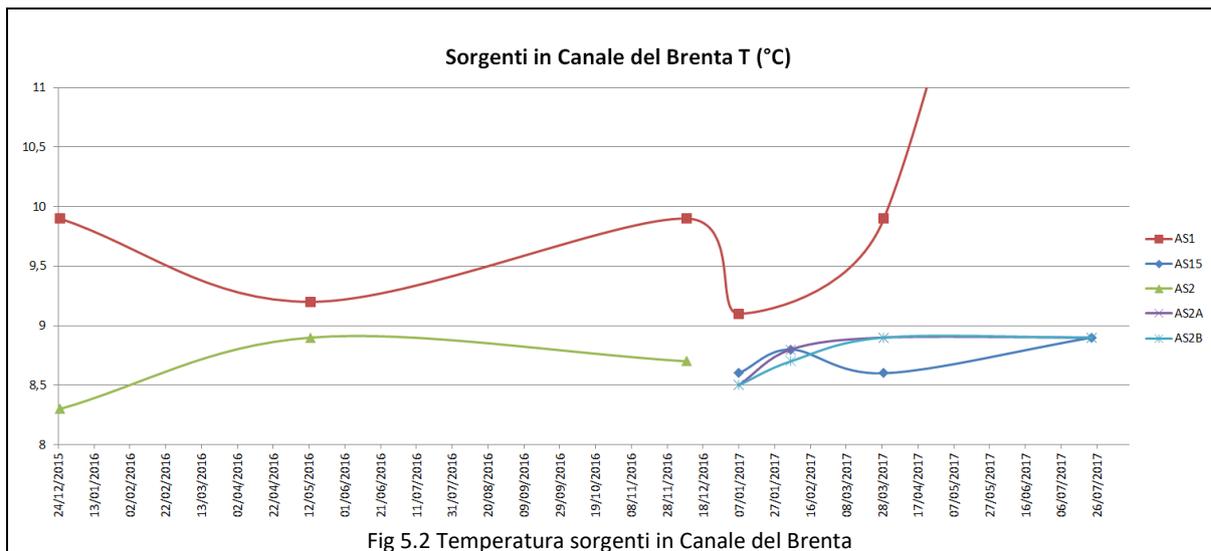


Fig 5.2 Temperatura sorgenti in Canale del Brenta

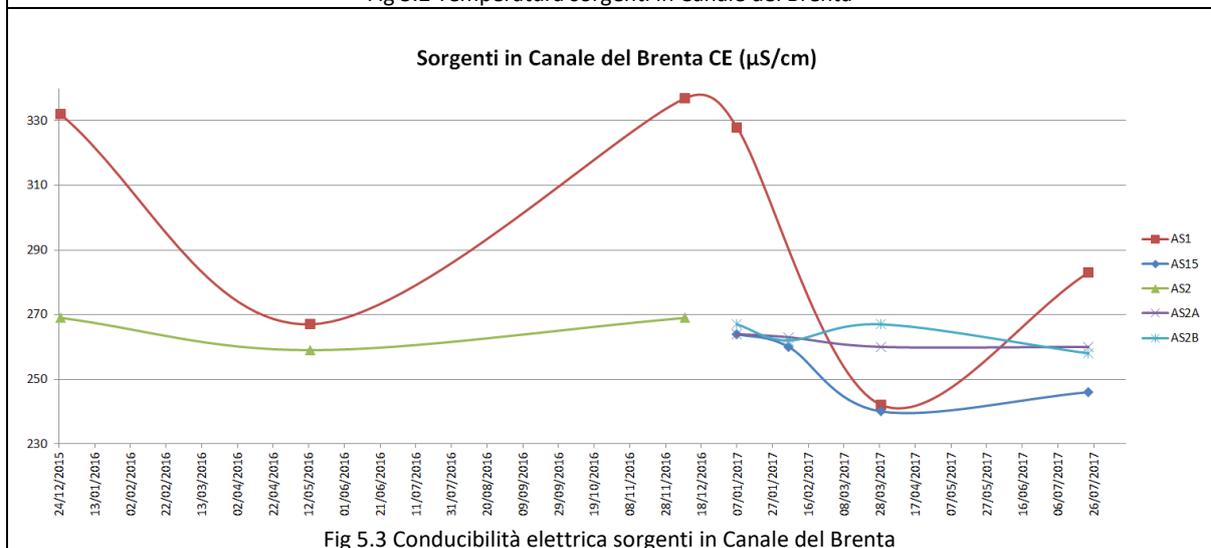


Fig 5.3 Conducibilità elettrica sorgenti in Canale del Brenta

Analizzando solo le sorgenti presenti alla base del versante settentrionale dell’altopiano, in Valsugana, si nota che possiedono tutte valori di temperatura compresi tra 6,3° e 9,8° C. Il valore minimo viene registrato in inverno e il massimo in estate. Da notare AS14 che presenta valori mediamente più alti rispetto alle altre sorgenti durante tutto l’anno da 8,5° a 9,7° C.

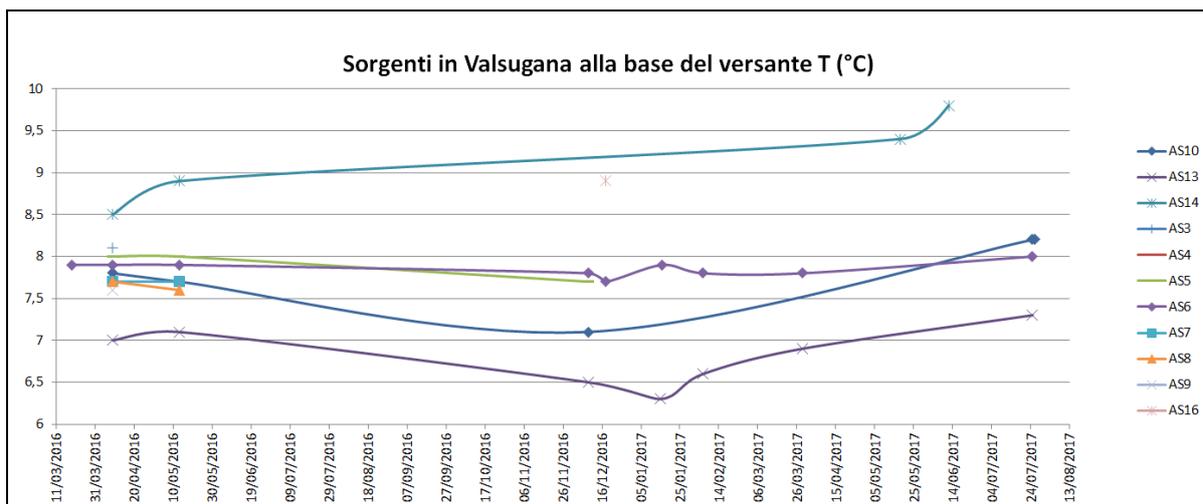


Fig 5.4 Temperatura sorgenti in Valsugana alla base del versante

Le sorgenti poste sul fondovalle sono raccolte in fossati che attraversano boschi e campi coltivati. Tali fossati drenano l'acqua da ovest a est aumentando di portata. Alimentano la troscultura e in seguito si immettono nel fiume Brenta. Possiedono temperature superiori alle sorgenti situate alla base del versante che variano da 6,5° in inverno a 12,5° C in estate.

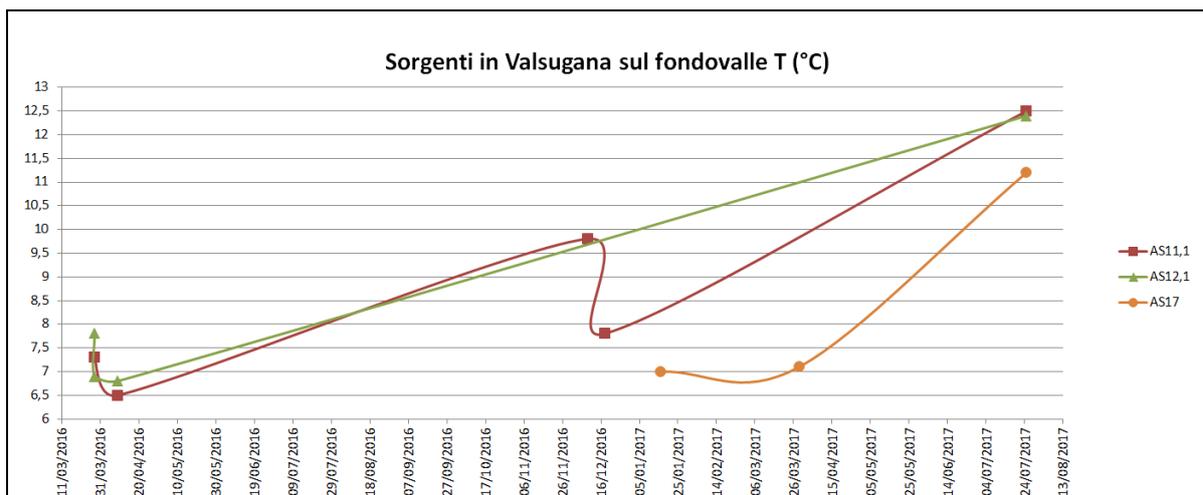


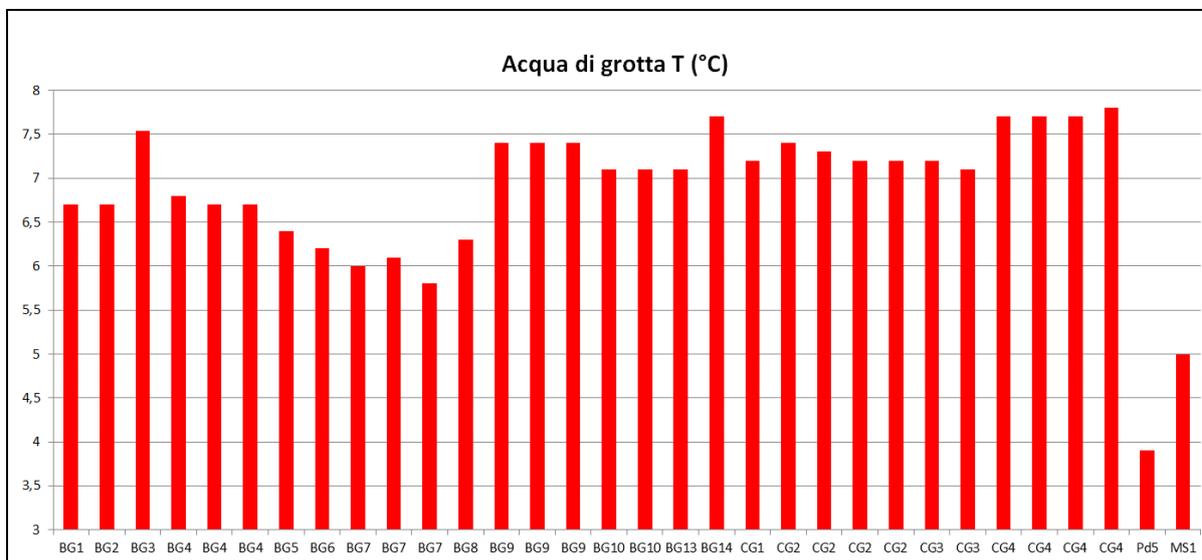
Fig 5.5 Temperatura sorgenti in Valsugana sul fondovalle

Per quanto riguarda le grotte, i parametri idrofisici vengono determinati in Bigonda nel periodo di magra invernale, da dicembre a febbraio, unico periodo in cui la grotta è visitabile. Nella Grotta del Calgeron la misura dei parametri avviene nell'arco di tutto l'anno. I parametri delle acque dalle grotte della sommità dell'altopiano avvengono in dicembre per quanto riguarda il Pozzo dei 5 e a maggio per l'Abisso del Mistero. Queste ultime due grotte infatti presentano la temperatura più bassa, specialmente Pd5 che misura 3,9°C. A questa bassa temperatura corrisponde un relativamente alto valore di conducibilità elettrica di 292 µS/cm. Ciò si può ricondurre al fatto che una temperatura bassa causa un aumento della solubilità di CO₂ in acqua, che ne aumenta l'acidità, favorendo la dissoluzione della roccia carbonatica, portando in soluzione i sali che aumentano la conducibilità elettrica dell'acqua. Tali acque, molto aggressive al momento dell'infiltrazione, sciolgono la roccia carbonatica nei primi metri di infiltrazione aumentando il valore di sali totali disciolti. Scorrendo all'interno del sistema carsico, cambiano dei parametri fisici come aumento di temperatura, variazioni di pressione,

degassamento di CO₂ che provoca precipitazione di calcite. Ora l'acqua tornando sottosatura potrà disciogliere nuovamente la roccia carbonatica, con valori di T, pH e CE diversi dal momento dell'infiltrazione. Questi parametri sono diversi anche tra le diverse grotte. Per quanto riguarda la Bigonda i valori medi di tutte le acque misurano 6,4° C, 230 µS/cm e pH di 8,34. Il Calgeron invece misura valori medi di tutte le acque di 7,4° C, 280 µS/cm e pH di 7,95. Quindi la Grotta della Bigonda presenta T media inferiore di 0,6° C, CE media inferiori di 50 µS/cm, valore di pH leggermente superiore rispetto alla Grotta del Calgeron.

La Grotta della Bigonda, essendo una cavità molto estesa, riceve acqua da zone diverse di altopiano. Nella parte più vicina all'ingresso l'acqua deriva dal ripido versante dolomitico, con quote di infiltrazione medio-basse. Nella parte più distante dall'ingresso, l'acqua deriva dalla sommità dell'altopiano, quindi da circa 1000 m sopra le gallerie suborizzontali della grotta. Dai soli parametri di T, CE e pH è difficile discriminare tali acque. Tuttavia è possibile distinguere quelle provenienti da diaclasi come BG6 e BG7, caratterizzate da valori di T e CE inferiori rispetto alle altre acque. BG3 e BG14 possiedono valori di T e CE più elevati e corrispondono a acque da vaschette alimentate da stillicidio. Al lento ricambio d'acqua corrisponde un maggior tempo di stasi nella vaschetta. Ciò permette all'acqua di scaldarsi e aumentare il contenuto di sali disciolti. Gli altri punti di monitoraggio in grotta con valori di T e CE intermedi tra i due sopradescritti end member costituiscono torrenti che nascono da sifoni, percorrono tratti di galleria con lunghezza variabile, fino a scaricare in stretti laminatoi o tra detriti.

Anche nella Grotta del Calgeron si possono distinguere due tipi di acque, quelle più interne (CG1, CG2, CG3) con valori medi dei parametri di T e CE di 7,2° C e 293 µS/cm e quelle più vicine all'ingresso (CG4) con dei valori medi di 7,7 ° C e 257 µS/cm.



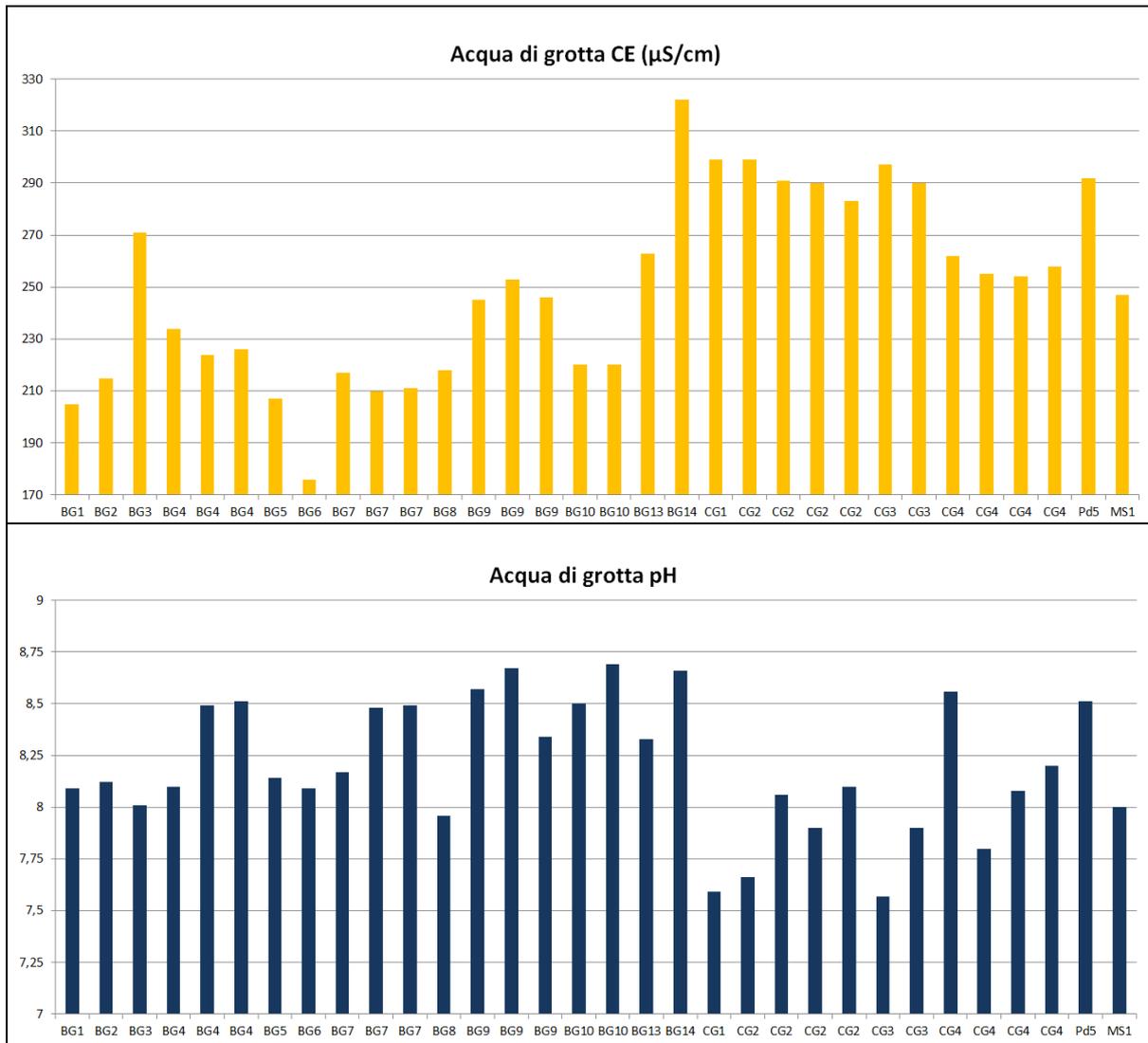


Fig 5.6 Temperatura, Conducibilità e pH dell'acqua di grotta

Occasionalmente viene effettuata la misura di portata dei corsi d'acqua interni. Dal grafico di Fig 5.7 si possono distinguere i torrenti più importanti.

Nella Grotta della Bigonda le misure vengono fatte nel periodo di magra invernale. Considerando solo i torrenti interni e non gli stillicidi, risultano portate variabili da 0,4 a 1,3 l/s. In ordine crescente di portata vi sono BG13, BG10, BG4, BG2, BG1 e BG7.

Nella Grotta del Calgeron le misure di portata vengono eseguite in tutto l'arco dell'anno. Dai dati ricavati risaltano due torrenti, il più interno CG2 possiede una portata variabile da 0,002 l/s a 0,6 l/s mentre CG4, situato più vicino all'ingresso, varia da un minimo di 0,14 l/s a 1 l/s.

Gli abissi verticali situati sulla sommità dell'altopiano costituiscono vie di drenaggio concentrate delle acque. E' possibile notare nelle prime decine di metri di profondità di tali cavità, dei generali stillicidi che percorrono dei condotti meandriformi con sezioni inferiori al metro. Approfondendosi di almeno un centinaio di metri di dislivello, i condotti si allargano talvolta ad ambienti ampi decine di metri. Sul fondo di tali ambienti, generalmente composti da massi di crollo di dimensioni metriche, le acque di stillicidio si uniscono in torrenti, percorrono dei cunicoli impostati lungo strato. Tali cunicoli

diventano, nel giro di poche centinaia di metri di sviluppo, intransitabili all'uomo. I torrenti presenti negli abissi dell'altopiano, sono analoghi a MS1 che misura una portata di 0,5 l/s.

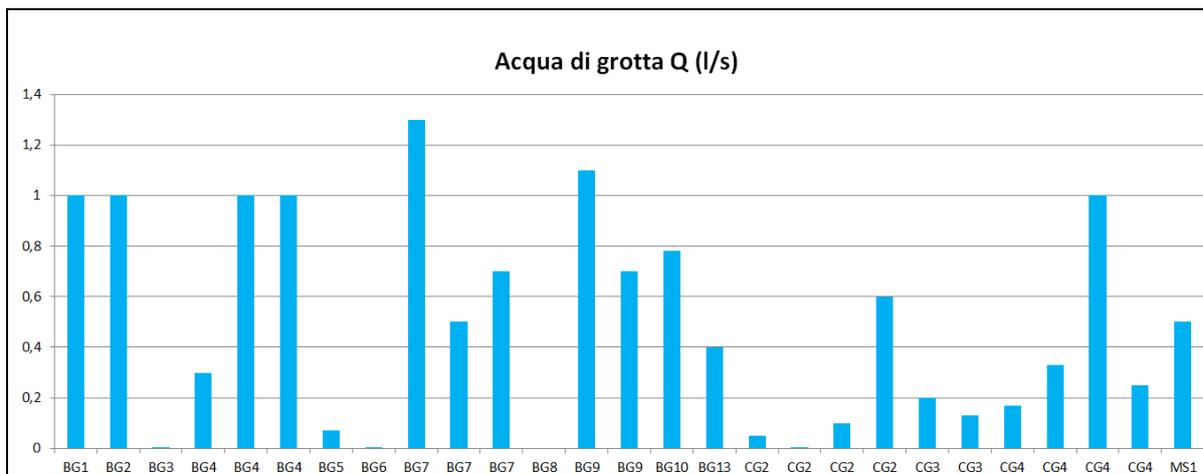


Fig 5.7 Portata dell'acqua di grotta

5.2 Elaborazione dei dati idrofisici in continuo

I dati raccolti dai datalogger vengono di seguito discussi per ogni punto di monitoraggio, dapprima relativamente al lungo periodo, e in seguito a intervalli più brevi analizzando la particolare risposta della sorgente al singolo evento meteorico.

5.2.1 AS6-Peschiera

Il corso d'acqua sorge dal detrito di versante pedogenizzato, a una trentina di metri dalle pareti verticali che caratterizzano il versante.

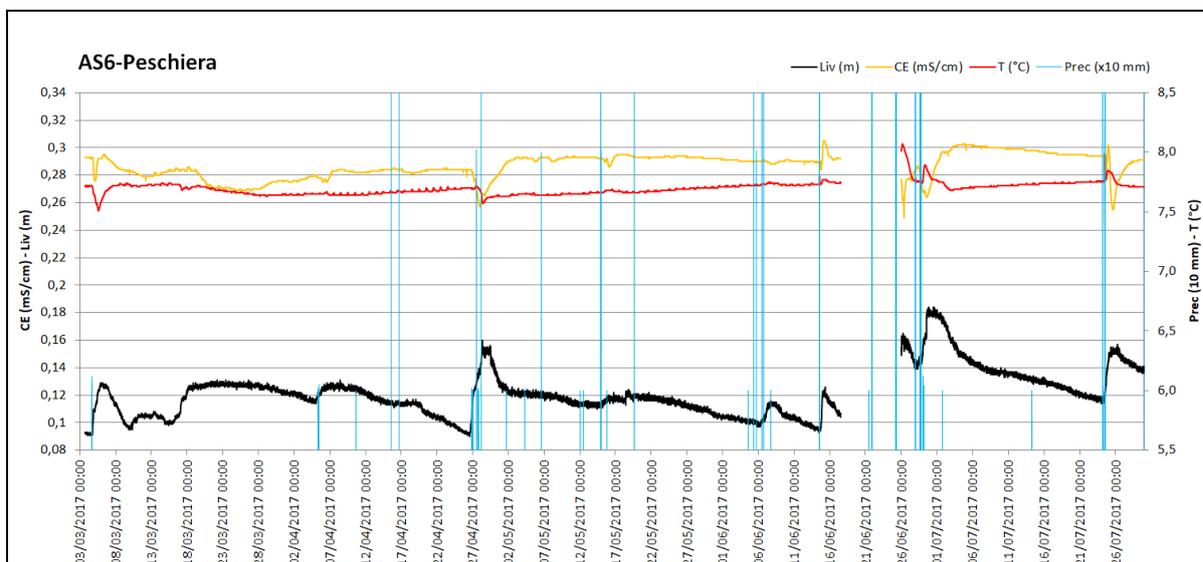


Fig 5.8 Idrogramma AS-6. Grafico relativo a tutto il monitoraggio.

Analizzando i dati nel lungo periodo si nota come la sorgente risponda immediatamente all'evento meteorico registrando in seguito a una precipitazione un aumento del livello e una diminuzione di CE e T. Solo in corrispondenza degli eventi meteorici più importanti vi è dapprima un aumento e poi una diminuzione dei valori di CE e T. Tali variazioni sono però infinitesime, pertanto si considerano i valori di CE e T prettamente costanti.

Nonostante questo l'idrogramma viene di seguito analizzato in dettaglio e vengono identificate le micro variazioni dei parametri fisici.

Il periodo precedente alla raccolta dati è caratterizzato da un regime idrico di magra invernale in cui vi è immobilizzazione dell'acqua sulla superficie dell'altopiano sotto forma di ghiaccio e neve. Nel primo periodo di acquisizione dei dati che va dal 03/03 al 26/03 si registra un aumento del livello nonostante l'assenza di precipitazioni importanti. Ciò è correlabile al graduale scioglimento della neve sull'altopiano. In corrispondenza di precipitazioni lo scioglimento della neve è più efficace.

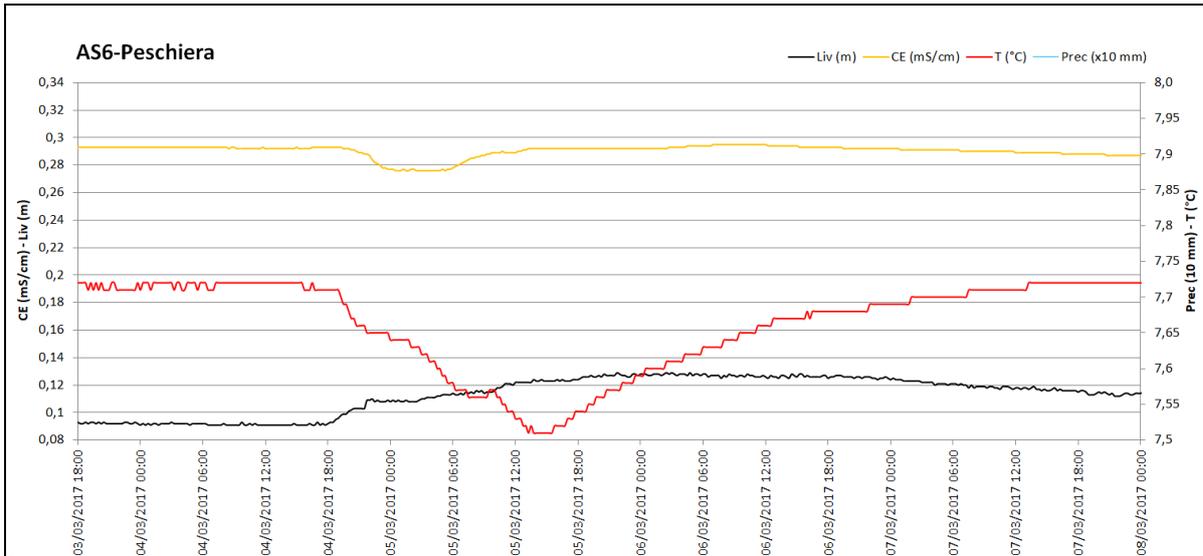


Fig 5.9 Idrogramma AS-6. Evento meteorico del 04/03 amplificato dall'effetto dello scioglimento della neve sull'altopiano. Tipo di risposta a micro sostituzione.

In particolare analizzando il debole evento meteorico del giorno 04/03 che presenta una piovosità massima di 0,6 mm, si nota che T e CE iniziano a diminuire nello stesso momento, 6 ore dopo l'inizio dell'evento meteorico. T scende da 7,71 a 7,51° C in un tempo di 20,5 ore. CE scende da 0,293 a 0,276 mS/cm in 10 ore. In seguito T ritorna al valore preevento in 40 ore mentre CE impiega 10 ore.

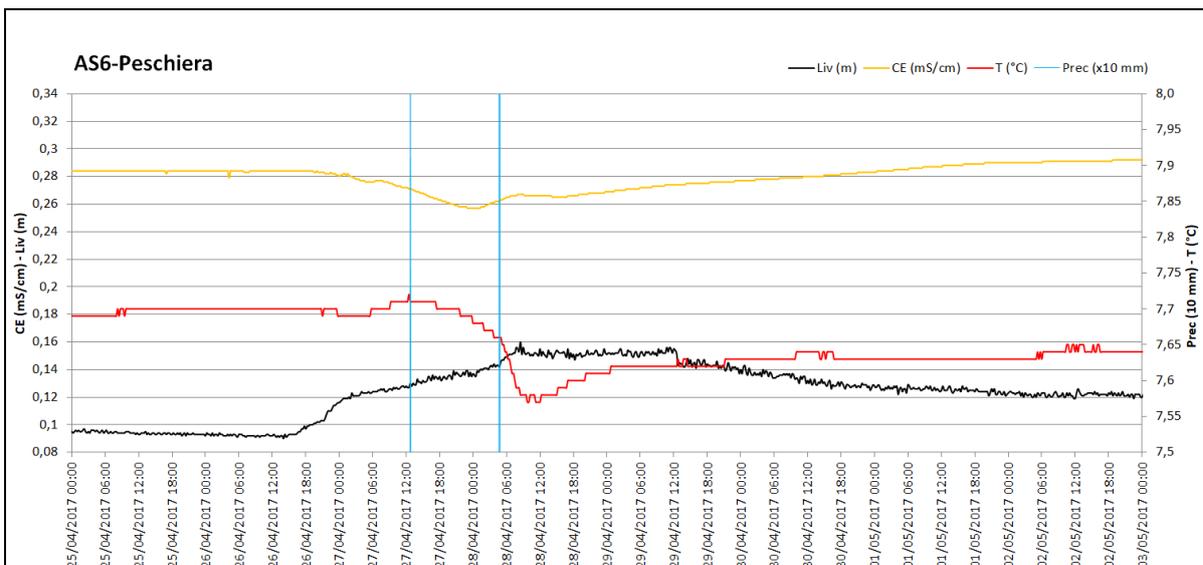


Fig 5.10 Idrogramma AS-6. Evento meteorico del 26/04. Tipo di risposta a micro sostituzione.

Il grafico di Fig 5.10 descrive il comportamento della sorgente in seguito al debole evento meteorico del 25/04. In seguito all'inizio delle piogge sono necessarie 23 ore affinché il livello alla sorgente inizi ad aumentare. In seguito all'aumento di livello sono necessarie 5 ore affinché inizi a diminuire CE da un valore di 0,284 mS/cm fino al minimo di 0,257 mS/cm. Dopo 25 ore dall'aumento di livello inizia a diminuire T, da un valore di 7,70 °C fino a 7,58 °C.

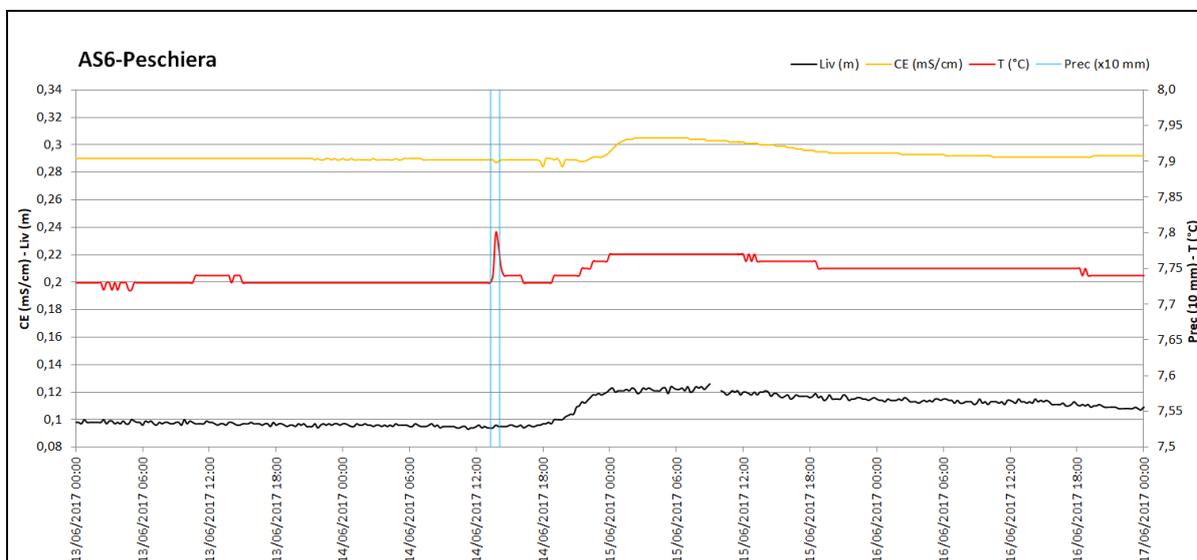


Fig 5.11 Idrogramma AS6. Evento del 14/06. Tipo di risposta a micro pistonaggio.

Il giorno 14/06 vi è una precipitazione impulsiva, a carattere temporalesco, di 11,5 mm. Il livello inizia ad aumentare 4,5 ore dopo l'inizio dell'evento. Dopo 45 minuti dall'inizio dell'evento meteorico T inizia a diminuire da 7,78 a 7,73° C per un periodo di 28,5 ore poi in 5 ore torna ai valori preevento. CE dopo circa 4 ore inizia a diminuire da 0,289 mS/cm fino a 0,284 mS/cm per mezz'ora, poi inizia ad aumentare e dopo 8 ore raggiunge il valore massimo di 0,305 mS/cm che mantiene per 5 ore. Da questo momento inizia a diminuire e in due giorni si assesta a valori di 0,08 mS/cm più alti del preevento.

I dati finora raccolti e qui discussi si fermano il giorno 02/08, la sonda è ancora installata e sta ancora registrando.

5.2.2 AS13-Parco Bigonde

Nel gruppo di sorgenti presenti a Parco Bigonde viene monitorata quella altimetricamente più bassa, che sorge dal detrito di versante pedogenizzato, a un centinaio di metri di distanza dalle pareti che caratterizzano il versante.

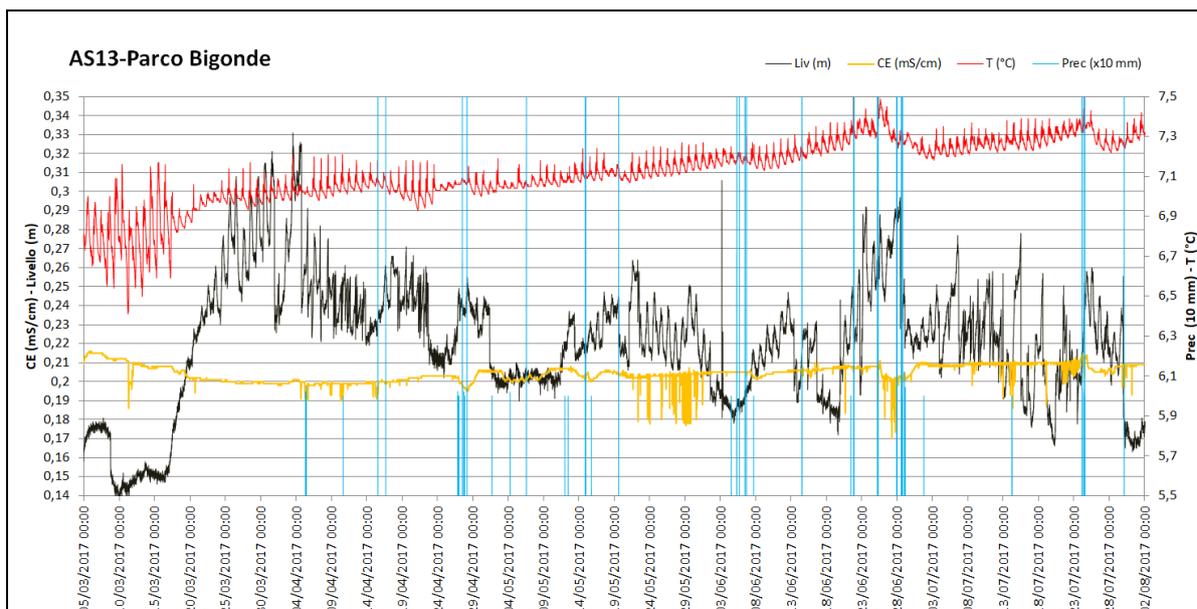


Fig 5.12 Idrogramma AS13. Grafico relativo a tutto il periodo di monitoraggio.

L'andamento della curva di livello presenta delle variazioni istantanee, probabilmente da ricollegare ad anomalie nel sensore della sonda. I dati si considerano validi dal 10/03 al 31/03. Analizzando gli altri dati nel lungo periodo si nota che la sorgente presenta in seguito a una precipitazione una minima o nulla variazioni di T e CE. Ciò è valido anche in corrispondenza degli eventi meteorici più importanti. Anche in questo caso vengono analizzate le micro variazioni di T e CE. Gli andamenti di temperatura sono di difficile lettura in quanto presentano una ciclicità di 24 ore legata all'irraggiamento solare. Tale ciclicità presenta generalmente un primo picco tra le 9:30 e le 10:30 e un secondo picco più pronunciato tra le 12:30 e le 13:30, poi la temperatura si abbassa raggiungendo il minimo intorno alle ore 6:00 (Fig 5.13). Gli orari a cui sono presenti i picchi rappresentano il massimo irraggiamento solare. Quest'ultimo ha un effetto ciclico riscaldante sulla sonda e sull'acqua. Nel primo periodo, fino al 18 marzo i cicli hanno un'ampiezza molto più elevata rispetto al periodo seguente. Ciò è correlabile alla maggior efficienza di riscaldamento delle acque in corrispondenza di un ridotto flusso idrico. Questo effetto è inoltre incrementato dall'assenza di copertura vegetativa che permette una maggior esposizione del corso d'acqua e della sonda all'azione riscaldante del sole. Da notare che in corrispondenza dell'aumento delle temperature vi è un incremento di livello, che mostra la tipica risposta di una sorgente al disgelo.

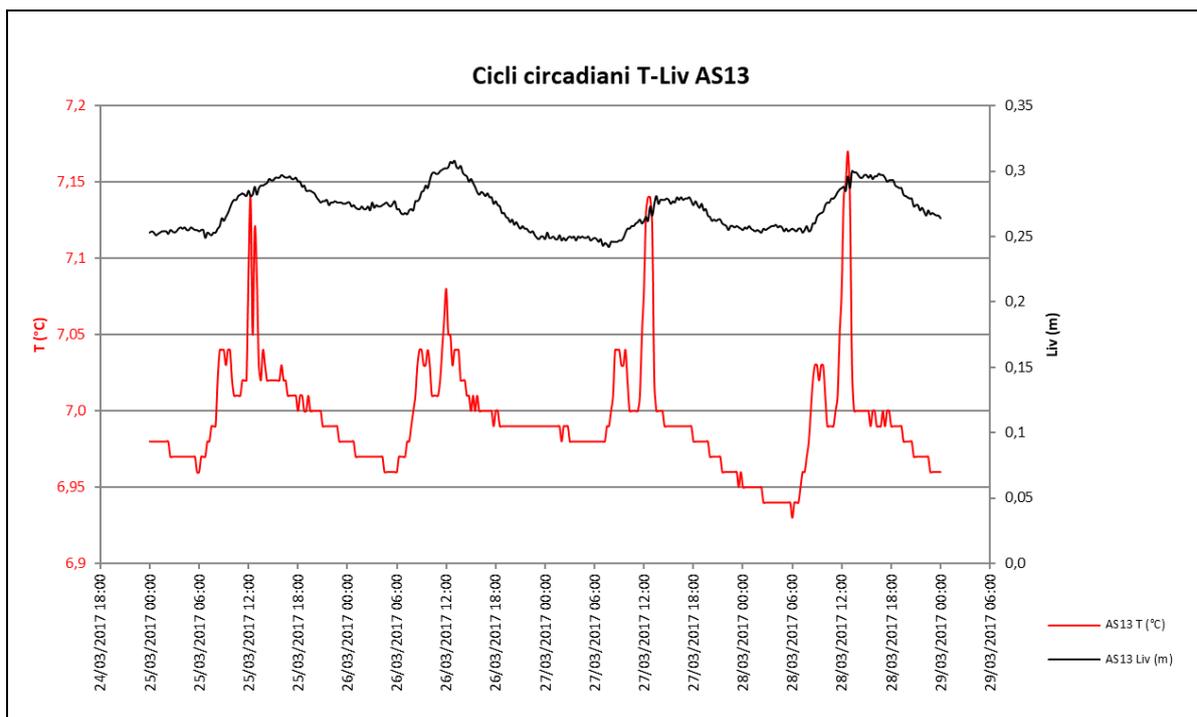


Fig 5.13 Idrogramma AS13. Cicli circadiani.

Il periodo precedente alla raccolta dati è caratterizzato da un regime idrico di magra invernale in cui vi è immobilizzazione dell'acqua sulla superficie dell'altopiano sotto forma di ghiaccio e neve. Nel primo periodo di acquisizione dei dati che va dal 03/03 al 26/03 si registra un aumento del livello nonostante l'assenza di precipitazioni importanti. Ciò è correlabile al graduale scioglimento della neve sull'altopiano. In corrispondenza di precipitazioni lo scioglimento della neve e il conseguente aumento di livello è più elevato.

Dalle ore 7:30 del 11/03 vi è una diminuzione istantanea di CE da un valore di 0,210 a 0,186 mS/cm e solo alle ore 23:00 del 11/03 ritorna al valore di 0,210 mS/cm. Questo picco negativo è in fase con il picco positivo circadiano di Temperatura. Il livello presenta un aumento lento e costante. Anche nel periodo successivo CE presenta delle variazioni istantanee anomale. Tali picchi sono associati esclusivamente a un errore dello strumento.

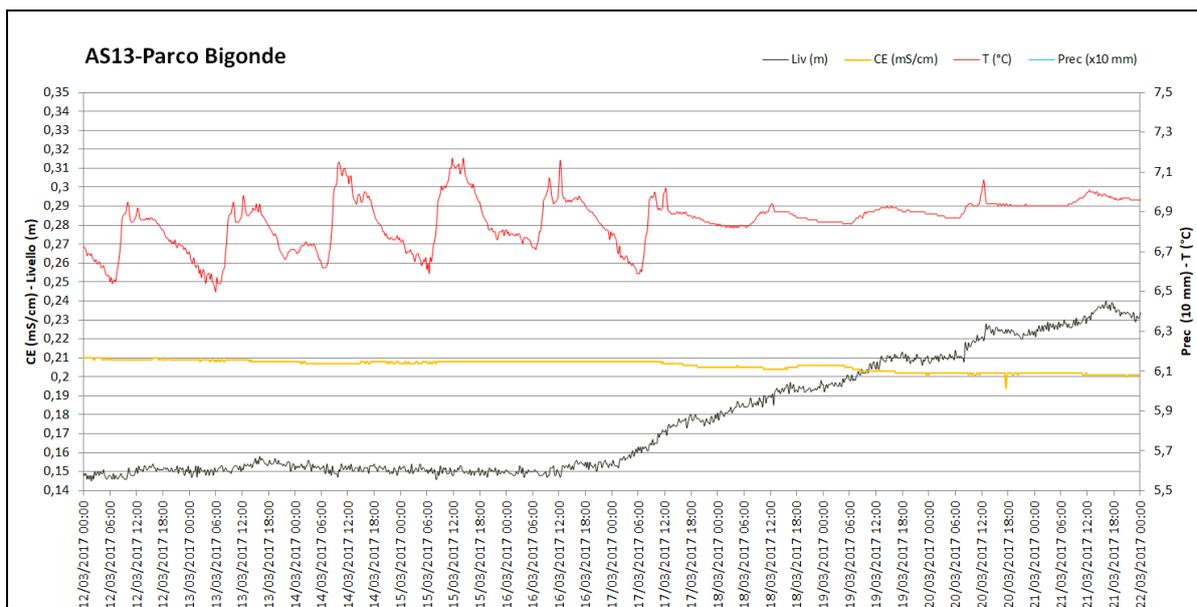


Fig 5.14 Idrogramma AS13. Aumento di livello del 17/03. Tipo di risposta a micro sostituzione

Dal giorno 17/03 il livello aumenta in assenza di precipitazioni. Tale fatto è correlabile allo scioglimento della neve in altopiano. In corrispondenza vi è un lento decremento di CE da un valore di 0,207 a 0,200 mS/cm. T varia con cicli circadiani attorno a un valore di 7°C, che dopo il 17/03 diventano meno marcati. CE invece continua a rimanere costante a un valore di 0,200 mS/cm.

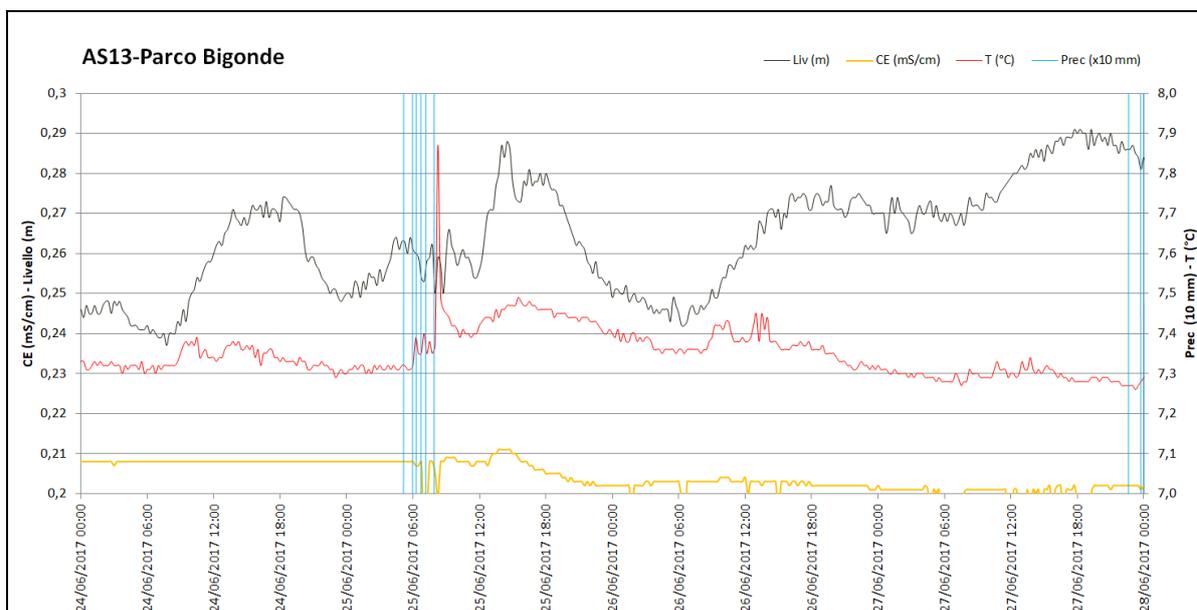


Fig 5.15 Idrogramma AS13. Evento del 25/06. Tipo di risposta a micro pistonaggio.

L'evento meteorico del 25/06, presenta un picco di piovosità di 7,3 mm e provoca dopo 1 ora l'aumento di T da un valore di 7,30° C fino a un massimo di 7,48° C raggiunto nel giro di un paio d'ore. In seguito T scende lentamente stabilendosi su valori leggermente più bassi del preevento di circa 0,10 °C. CE invece dopo 8 ore dall'inizio dell'evento meteorico aumenta da un valore di 0,208 a 0,211 mS/cm per un paio d'ore, poi decresce fino a 0,202 mS/cm.

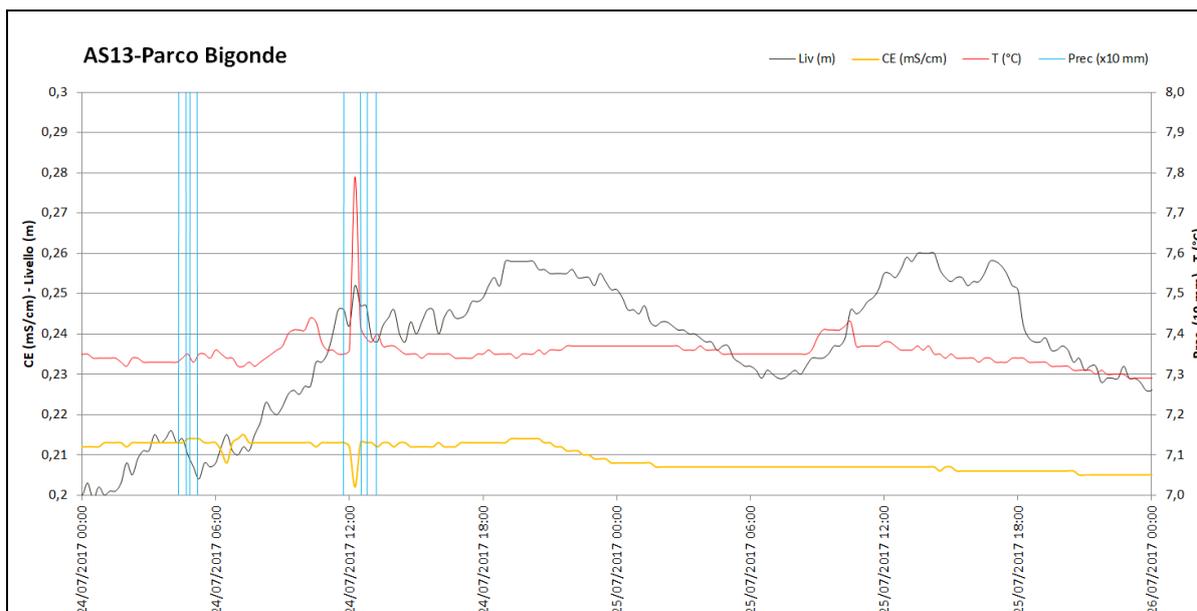


Fig 5.16 Idrogramma AS13. Evento del 24/07. Tipo di risposta a micro sostituzione

L'evento meteorico del 24/07 con picco di precipitazione di 4 mm, provoca un decremento di CE 8 ore dopo il suo picco massimo. CE decrementa da un valore di 0,214 a 0,207 mS/cm. T rimane pressoché inalterata.

5.2.3 AS17-Fosso

Il punto di monitoraggio AS17 è costituito da un fossato posto sul fondovalle che dal paese di Selva si dirige a sud-est aumentando la sua portata. Esso viene monitorato con una sonda di livello e temperatura.

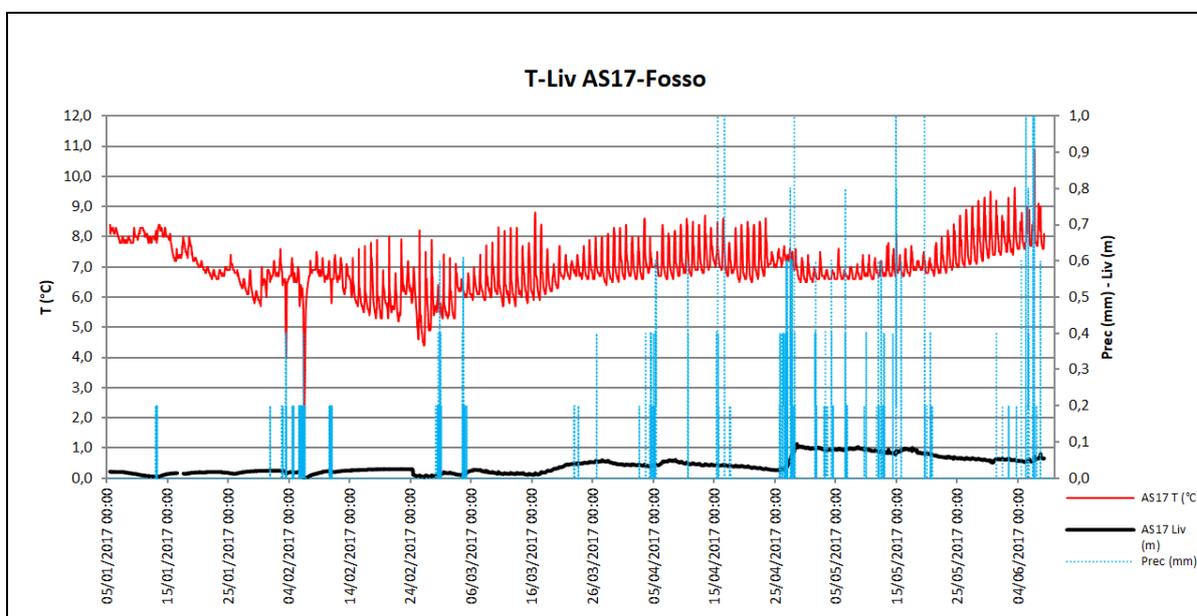


Fig 5.17 Idrogramma AS17. Grafico relativo a tutto il periodo di monitoraggio.

L'andamento della temperatura presenta una ciclicità analoga a AS13 ma in questo caso l'escursione termica dal giorno alla notte è più elevata, di oltre 1,5°C.

Il primo periodo di monitoraggio relativo ai mesi di gennaio e febbraio è caratterizzato da un decremento generale della temperatura da 8°C a 5°C. Da marzo il trend è in aumento e riporta a fine giugno la temperatura a valori superiori a 8°C.

Le precipitazioni sono ottimamente correlate con l'incremento di livello. Il loro effetto sulla temperatura però è mascherato dalla ciclicità circadiana di quest'ultima.

5.2.4 Confronto tra AS17, AS6 e AS13

I dati raccolti dai datalogger posti ai tre punti di monitoraggio sono di seguito confrontati per determinare le differenze dei parametri di T, CE, Q delle sorgenti. La sonda AS17 è installata e disinstallata due mesi prima rispetto alle sonde poste a AS6 e AS13, per cui i dati statistici discussi di seguito sono riferiti solo al periodo in cui sono installate contemporaneamente, che va dal 03/03 al 08/06.

5.2.4.1 Temperatura

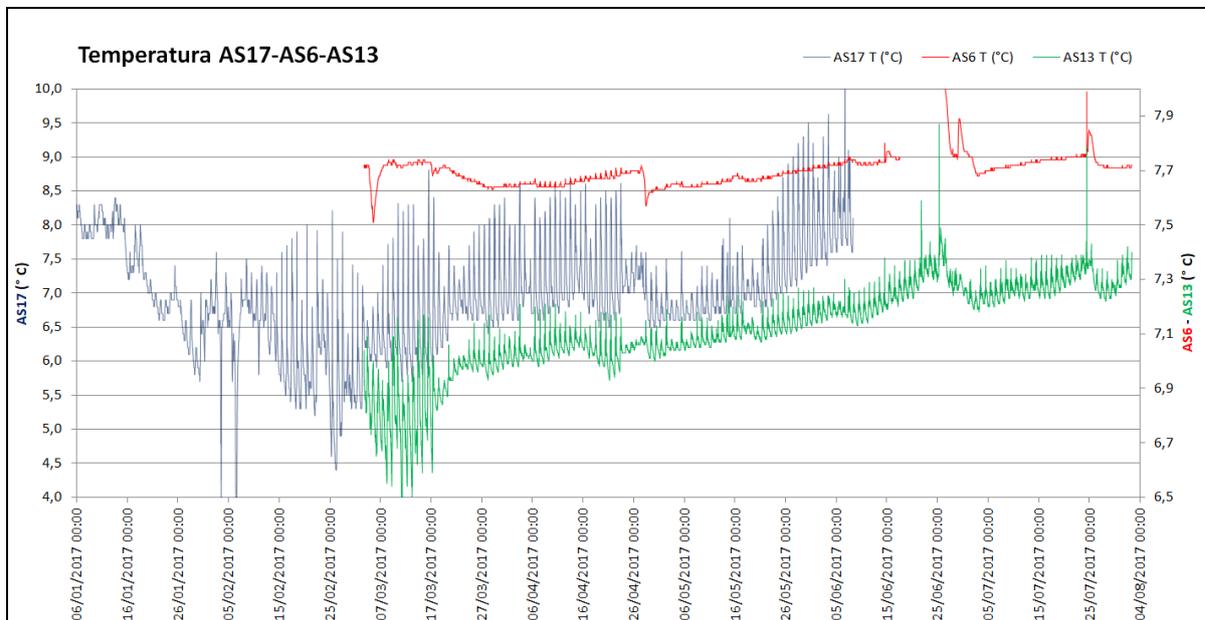


Fig 5.18 Confronto T AS17-AS6-AS13

Analizzando l'andamento della temperatura dell'acqua si nota un generale trend di innalzamento dei valori dai mesi invernali a quelli estivi, in concomitanza con l'aumento della temperatura atmosferica. In tabella sono riportati i valori statistici relativi al periodo dal 03/03 al 08/06.

Tab 5.1 Statistica T AS6-AS17-AS13

T (° C)	AS6	AS17	AS13
MIN	7,51	5,70	6,41
MAX	7,75	10,90	7,30
MED	7,67	7,08	7,03

Si nota che AS17 presenta il valore di temperatura minima più basso, mentre il valore di T MIN più elevato lo presenta AS6. Riguardo il valore di T MAX AS17 presenta il valore maggiore e AS13 quello inferiore. Mediamente AS6 presenta una temperatura di 0,6 °C superiore a AS17 e 0,65 °C superiore a AS13.

AS17 possiede la maggior escursione termica variando da 10,90 a 5,70 °C con un valore medio di 6,94 °C. AS6 invece presenta valori di T più costanti variando in un range di 7,75 a 7,51 °C.

5.2.4.2 Conducibilità elettrica

Analizzando i dati di conducibilità elettrica relativi alle sorgenti AS13 e AS6, si nota un generale trend dei valori in leggero aumento da marzo a agosto. Questo fatto è correlabile all'aumento di temperatura e alla maggior attività biologica nei periodi più caldi, con conseguente maggior rilascio di anidride carbonica nelle acque che aumenta l'effetto di dissoluzione della roccia carbonatica. Ne consegue quindi un aumento dei sali disciolti nelle acque che comporta un aumento della conducibilità elettrica.

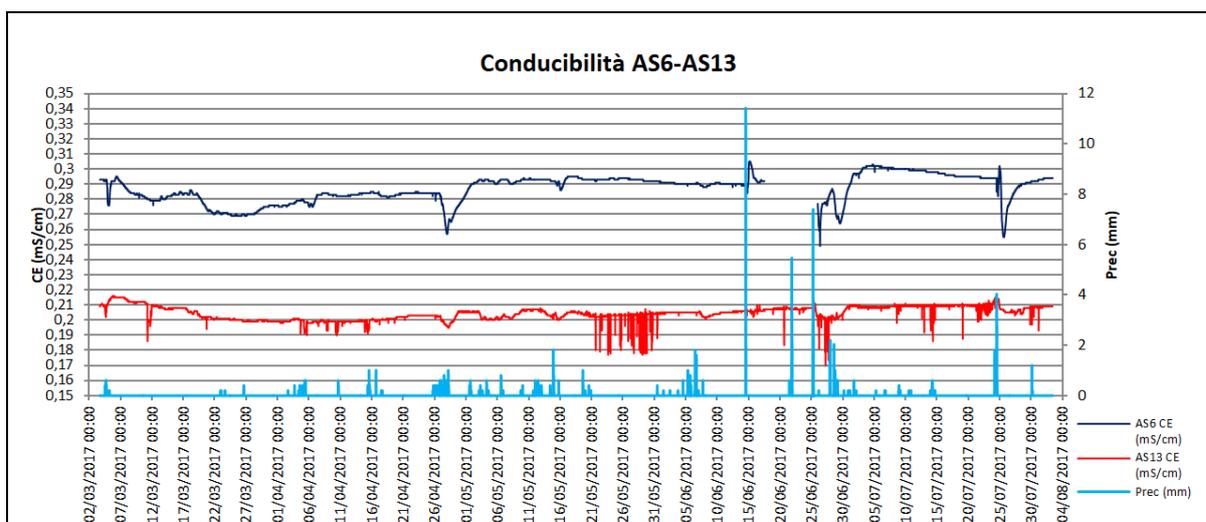


Fig 5.19 Confronto CE AS6-AS13

AS6 possiede i valori maggiori di conducibilità variando da un valore minimo di 0,249 mS/cm a un massimo di 0,305 mS/cm con un valore medio di 0,287 mS/cm. L'andamento di AS13 è caratterizzato da evidenti spike, eliminati nel calcolo statistico. I valori di AS13 variano da un minimo di 0,195 mS/cm a un massimo di 0,216 mS/cm con un valore medio di 0,204 mS/cm. Mediamente AS6 ha un valore di conducibilità di 0,083 mS/cm superiore a AS13. Questo indica che le acque provenienti da AS6 sono più mineralizzate e restano a contatto con la roccia per un periodo superiore.

Le precipitazioni influiscono sull'andamento di CE generalmente diminuendone infinitesimamente il valore. Ciò è particolarmente efficace presso AS6 rispetto a AS13. Ne è un esempio l'effetto dell'evento meteorico del 26/04 che provoca una diminuzione di CE presso AS6 di 0,28 mS/cm mentre presso AS13 di 0,007 mS/cm.

5.2.4.3 Portata

Per le sorgenti AS6 e AS17 è stato possibile utilizzando il dato di livello, tramite una formula empirica descritta in metodi, determinare la portata.

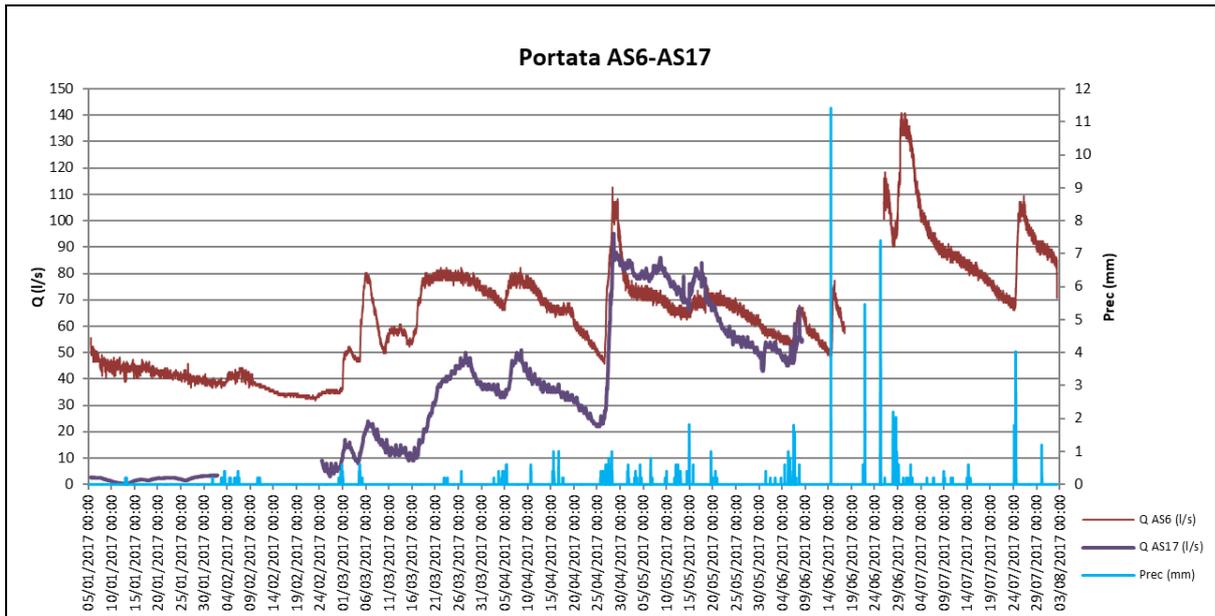


Fig 5.20 Confronto portata AS6-AS17

Tra i due punti di monitoraggio è AS6 che presenta i valori di portata maggiori, con un valore minimo di 32 l/s in febbraio e il valore massimo di 140 l/s in seguito alle precipitazioni di fine giugno. AS17 presenta un valore minimo di 0,2 l/s per tutto il periodo invernale, la portata aumenta in seguito agli eventi piovosi fino al valore massimo di 95 l/s. L'effetto delle precipitazioni in primavera è amplificato dallo scioglimento della neve sull'altopiano e quindi a precipitazioni deboli corrisponde un incremento cospicuo di portata. Ne è un esempio l'importante aumento di portata in seguito alle deboli precipitazioni del 25/04. Mediamente AS6 ha una portata di 67 l/s e AS17 ha una portata di 35 l/s. I valori statistici appena descritti si riferiscono a un periodo che va da gennaio a agosto 2017.

5.2.5 CG4-By Pass (Grotta del Calgeron)

All'interno della Grotta del Calgeron, nel torrente CG4 viene installata una sonda per la misura oraria dei parametri di livello, temperatura, conducibilità elettrica specifica.

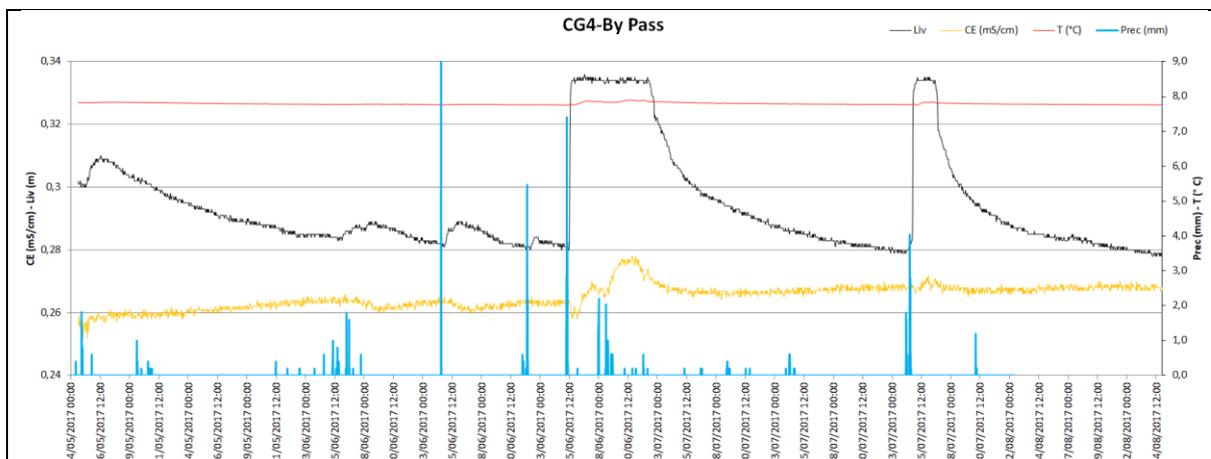


Fig 5.21 Idrogramma CG4. Grafico relativo a tutto il periodo di monitoraggio.

Le precipitazioni hanno una rapida influenza sugli aumenti di livello. In particolare nel primo periodo di monitoraggio, fino a fine giugno il livello è in debole diminuzione e le precipitazioni non hanno un'elevata influenza sui parametri misurati. In seguito agli importanti eventi meteorici del 25 giugno e del 24 luglio vi sono delle leggere variazioni dei parametri fisici misurati. L'andamento di T è pressochè costante, le sue variazioni sono dell'ordine del decimo di grado, in aumento in seguito a un evento meteorico. CE presenta un trend in generale aumento con una risposta all'evento meteorico dapprima in diminuzione e in seguito in aumento del suo valore. Tali variazioni sono sempre infinitesimi.

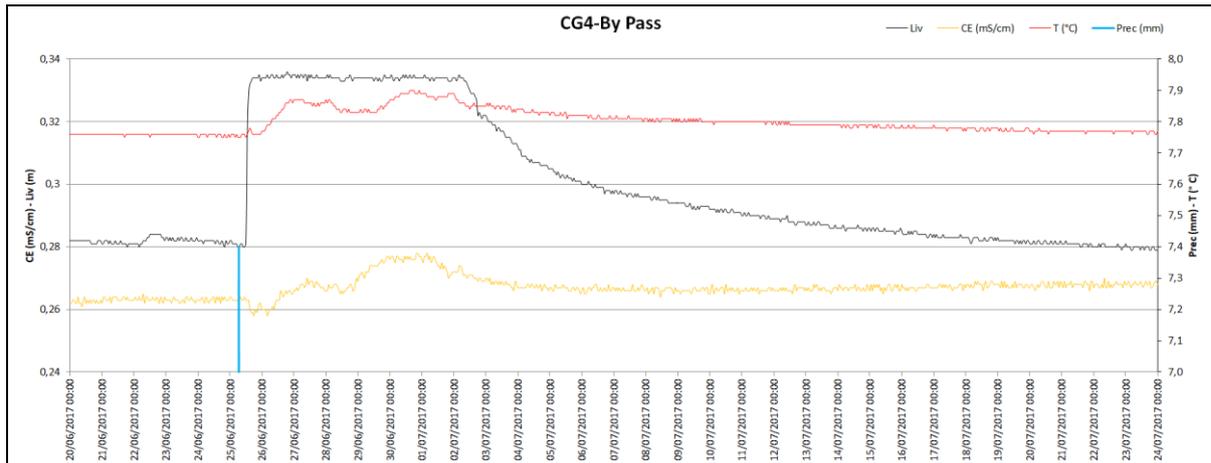


Fig 5.22 Idrogramma CG4. Analisi evento 25/06. Tipo di risposta a micro pistonaggio.

Dal picco di 7,4 mm di pioggia passano 5 ore affinché il livello del punto di monitoraggio inizi ad aumentare. CE inizia a decrescere un ora dopo l'aumento di livello da 0,263 a 0,259 mS/cm, e dopo 29 ore dall'aumento di livello inizia ad aumentare fino al valore massimo di 0,278 mS/cm. T inizia ad aumentare 10 ore dopo l'aumento di livello da un valore di 7,76 a 7,9 °C. Questi andamenti presentano delle variazioni infinitesimali, tuttavia anche in questo caso, analizzandole, si suppone un iniziale arrivo di acqua piovana caratterizzata da un valore di CE inferiore a quello della sorgente CG4 prima dell'evento, e una temperatura simile. In seguito viene espulsa acqua a temperatura e conducibilità leggermente più elevata con risposta a micro pistonaggio.

5.2.6 BG2-Smaniotto (Grotta della Bigonda)

All'interno della Grotta della Bigonda, il punto BG2, è costituito da un lago che forma uno dei punti altimetricamente più bassi della grotta. In caso di ingenti precipitazioni, l'acqua meteorica viene in gran parte convogliata in questo punto, allagando le gallerie inferiori della grotta.

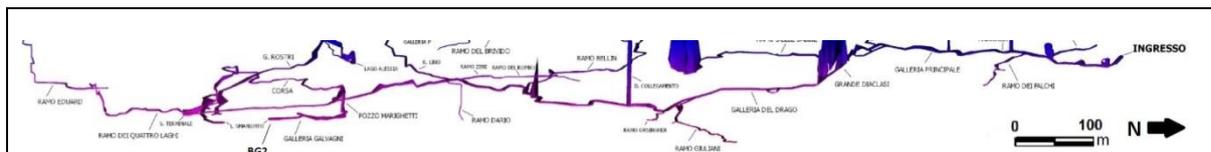


Fig 5.23 Gallerie inferiori della Grotta della Bigonda

L'acqua delle precipitazioni viene in gran parte convogliata in questo punto, il livello del lago aumenta, allaga la Galleria Galvagni, sale nel Pozzo Marighetti e allaga la Galleria del Drago. Ora l'acqua viene scaricata nelle diramazioni verso est della Galleria del Drago, le più importanti sono Ramo dei Quattro Laghi, Ramo Orsingher e Ramo Giuliani. Solo in caso di importanti precipitazioni i tre suddetti Rami non riescono a scaricare l'eccessiva quantità d'acqua, che perciò allaga tutta la Galleria del Drago, sale la Grande Diaciasi, allaga la Galleria Principale e tracima dall'Ingresso. Non è escluso che in caso di piena i tre suddetti Rami, che normalmente funzionano da scarico, possano funzionare da carico.

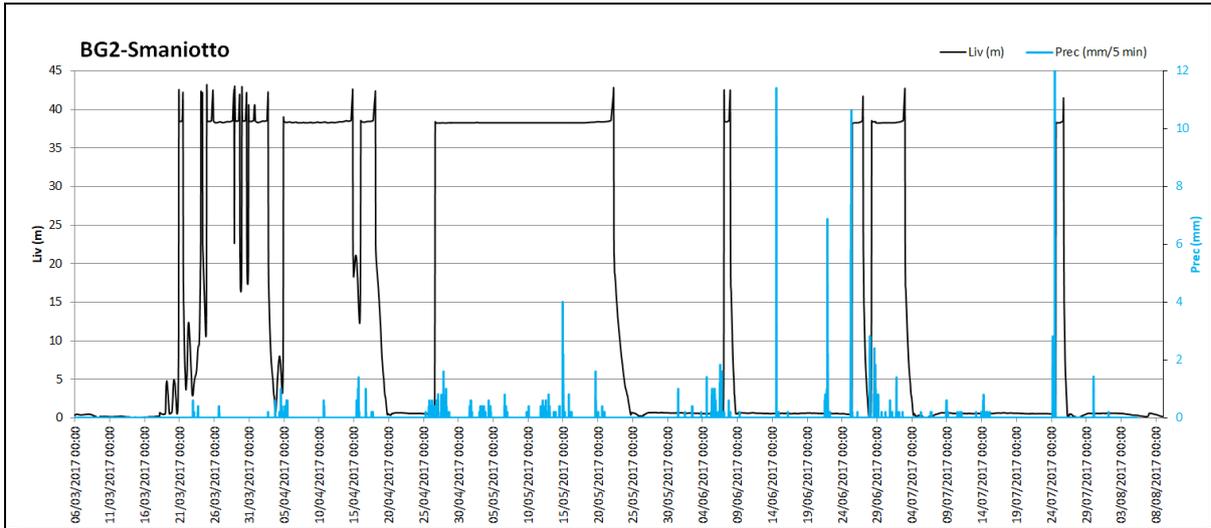


Fig 5.24 Livello BG2-Smaniotto. Grafico relativo a tutto il periodo di monitoraggio.

Nel grafico 5.24 è possibile notare che il livello di BG2 possiede degli aumenti rapidi, fino alla quota di 38 m, che corrisponde sia alla sommità del Pozzo Marighetti che al fondo scala dello strumento. Il Pozzo e la Galleria del Drago restano allagate per un tempo variabile che dipende dalla durata delle precipitazioni. Dal termine delle precipitazioni sono necessarie almeno 24 ore affinché il livello dell'acqua inizi a diminuire ritornando al livello zero del lago in circa 12 ore.

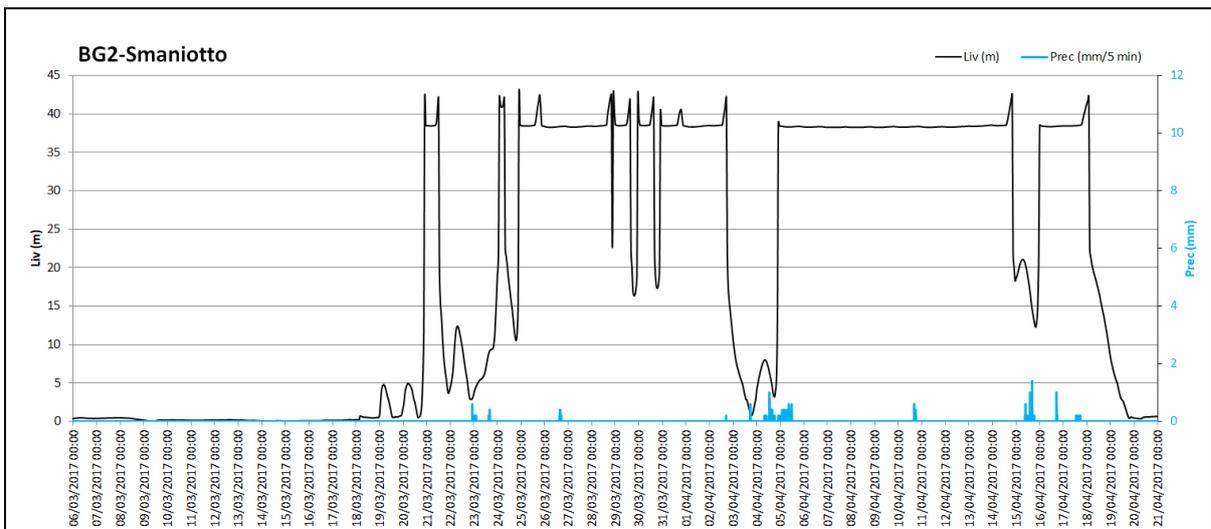


Fig 5.25 Livello BG2-Smaniotto. Eventi di fine marzo.

Durante il periodo di magra invernale il livello di BG2 si mantiene a zero. Il 18/03 probabilmente inizia il disgelo e vi è un primo aumento di livello fino alla quota di 5 metri

in cui probabilmente vi è uno scarico. In totale assenza di precipitazioni, solo con la portata d'acqua derivante dallo scioglimento della neve sull'altopiano, il 20/03 il livello del lago aumenta fino ad allagare per 24 ore la Galleria del Drago. In seguito il livello diminuisce. In corrispondenza delle deboli precipitazioni del 23/03 il lago tracima nuovamente nella Galleria del Drago. Da questa analisi traspare un imprevedibile e istantaneo aumento del livello di BG2 anche in corrispondenza del solo disgelo primaverile.

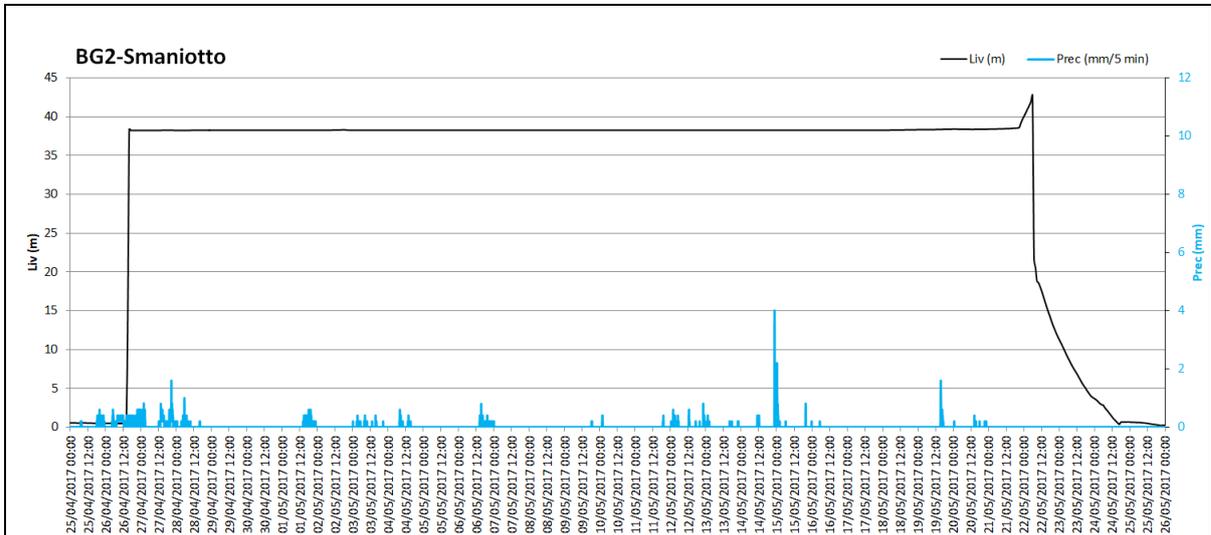


Fig 5.26 Livello BG2-Smaniotto. Evento del 25/04.

In seguito alla debole precipitazione del 25/04 il livello di BG2 aumenta fino ad allagare la Galleria del Drago. Durante il restante mese di aprile e maggio vi sono delle deboli e sporadiche precipitazioni. La diminuzione del livello avviene dapprima rapidamente, in due ore scende fino alla quota di circa 20 m, in seguito il livello cala più lentamente fino alla quota di 5 m in un tempo di 36 ore. Successivamente sono necessarie altre 21 ore affinché il livello del lago torni a zero. Pertanto si osserva che dal 25/04 al 22/05 la Galleria del Drago è stata allagata. Molto probabilmente l'ingente presenza d'acqua è dovuta oltre che alle precipitazioni, anche al lento scioglimento della neve sull'Altopiano.

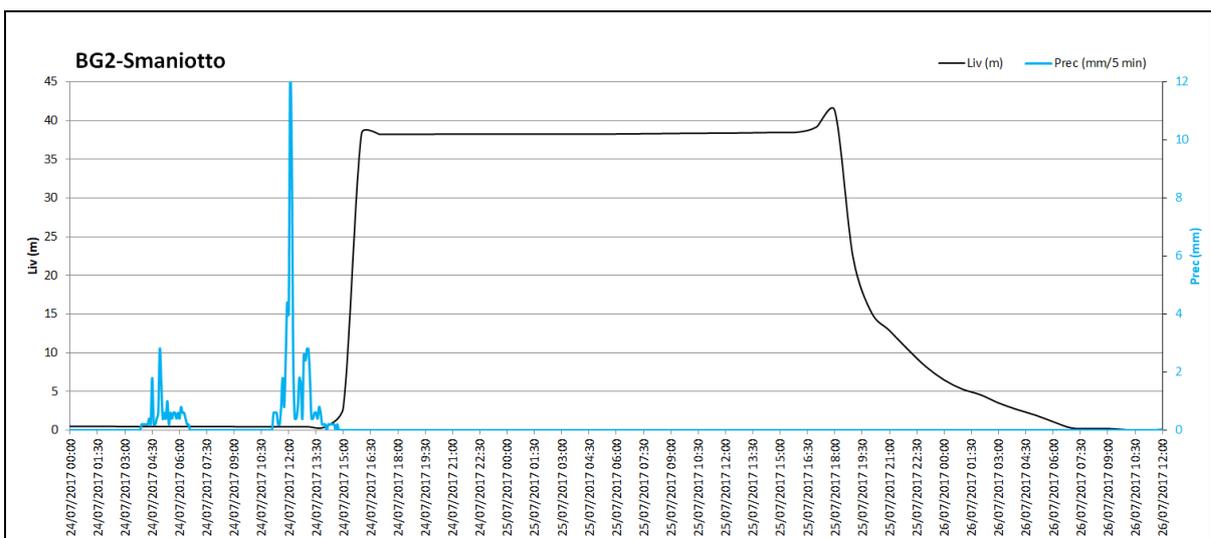


Fig 5.27 Livello BG2-Smaniotto. Evento del 24/07.

In seguito al periodo di magra estivo, 24/07 avvengono 6 ore non consecutive di precipitazioni. Dopo due ore dal picco massimo di 12 mm, inizia ad aumentare il livello

del lago. In un ora il livello aumenta di 3 metri, e nella successiva ora vi è un aumento istantaneo fino alla traccimazione dal Pozzo Marighetti. Tale livello si mantiene per 26 ore poi inizia a diminuire sino a una quota di 15 m in 2 ore. Da qui il livello diminuisce più lentamente fino alla quota di 5 m in 5 ore. In altre 5 ore il livello torna alla quota preevento.

5.2.7 Confronto dei livelli dei punti di monitoraggio

Gli incrementi di livello dei punti monitorati sono ottimamente correlati, ad eccezione di AS13 che presenta dei dati errati a causa di malfunzionamenti del sensore. Ciò fa supporre che i tre punti di monitoraggio siano influenzati dallo stesso bacino idrico e non si può escludere una loro connessione.

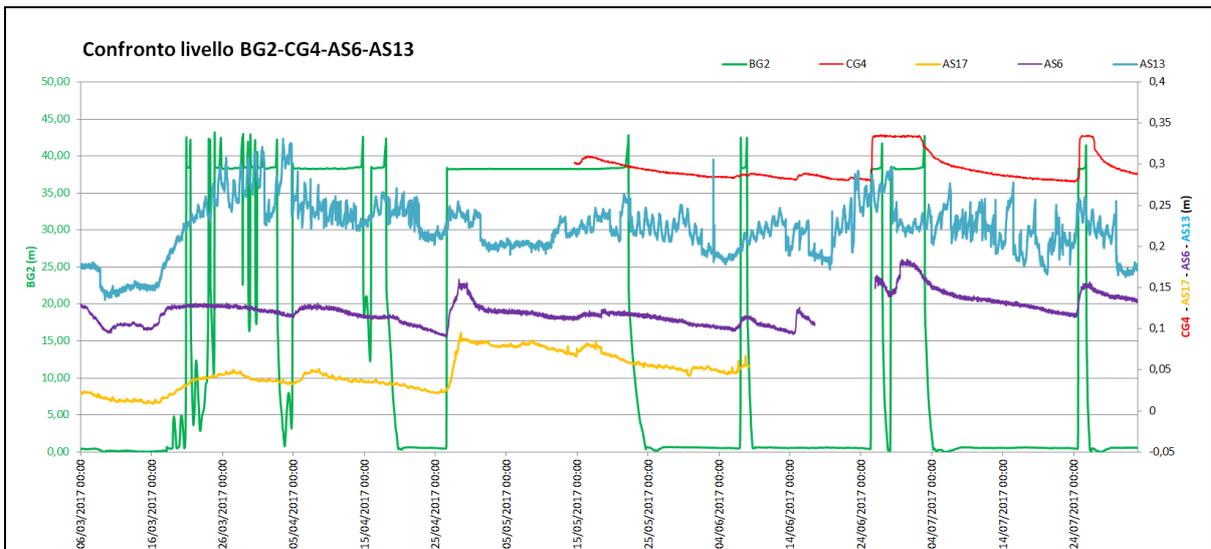


Fig 5.28 Confronto tra livelli idrici delle sorgenti in Valsugana

Analizzando nel dettaglio l'evento meteorico iniziato alle ore 16:00 del 25/04 che si protrae per due giorni, si osserva che i livelli iniziano ad aumentare dal giorno 26/04. Il primo punto ad aumentare di livello è BG2-Smaniotto, alle ore 14. Alle ore 15 inizia ad aumentare AS17 e alle 16:30 inizia ad aumentare AS6-Peschiera. AS13 non presenta dei valori affidabili però il livello sembra aumentare dalle ore 16:00 del 25/04.

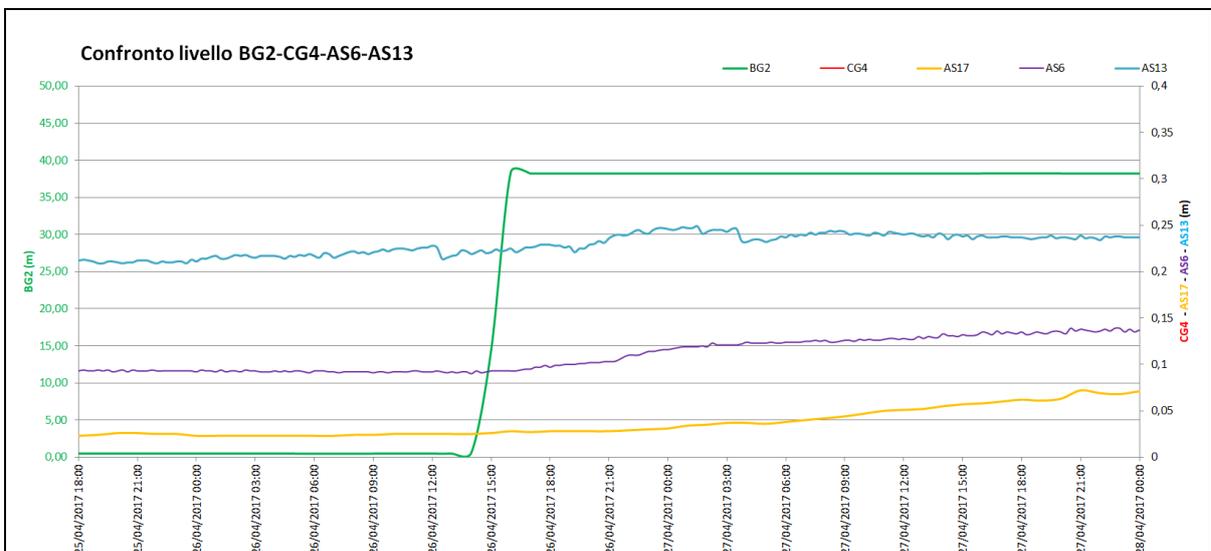


Fig 5.29 Incremento livelli idrici in Valsugana del 26/04

5.3 Esaurimento delle sorgenti e calcolo delle riserve

Il monitoraggio della portata in continuo delle sorgenti non è sufficientemente lungo per poter effettuare una stima dell'esaurimento. Inoltre la portata stimata in questo elaborato è approssimativa. Tuttavia si tenta ugualmente di stimare le riserve regolatrici, le risorse dinamiche e l'immagazzinamento dinamico della sorgente AS6-Peschiera.

Analizzando l'idrogramma della sorgente in oggetto, vengono individuati due pseudoesaurimenti. Il calcolo delle riserve viene eseguito tramite il metodo di Maillet.

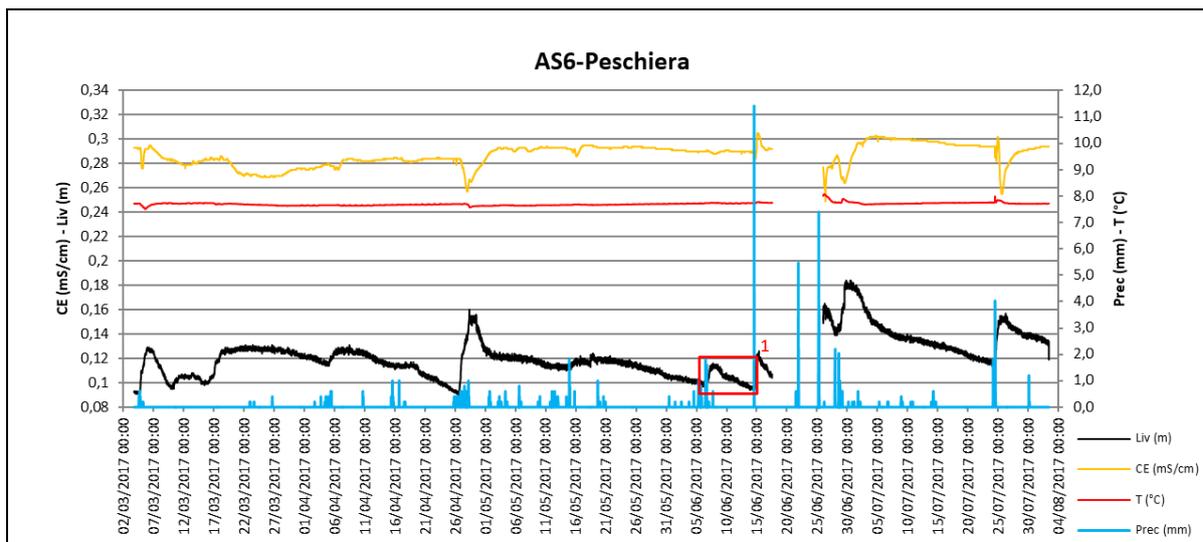


Fig 5.30 Idrogramma AS-6. Nel riquadro rosso è evidenziato uno pseudoesaurimento.

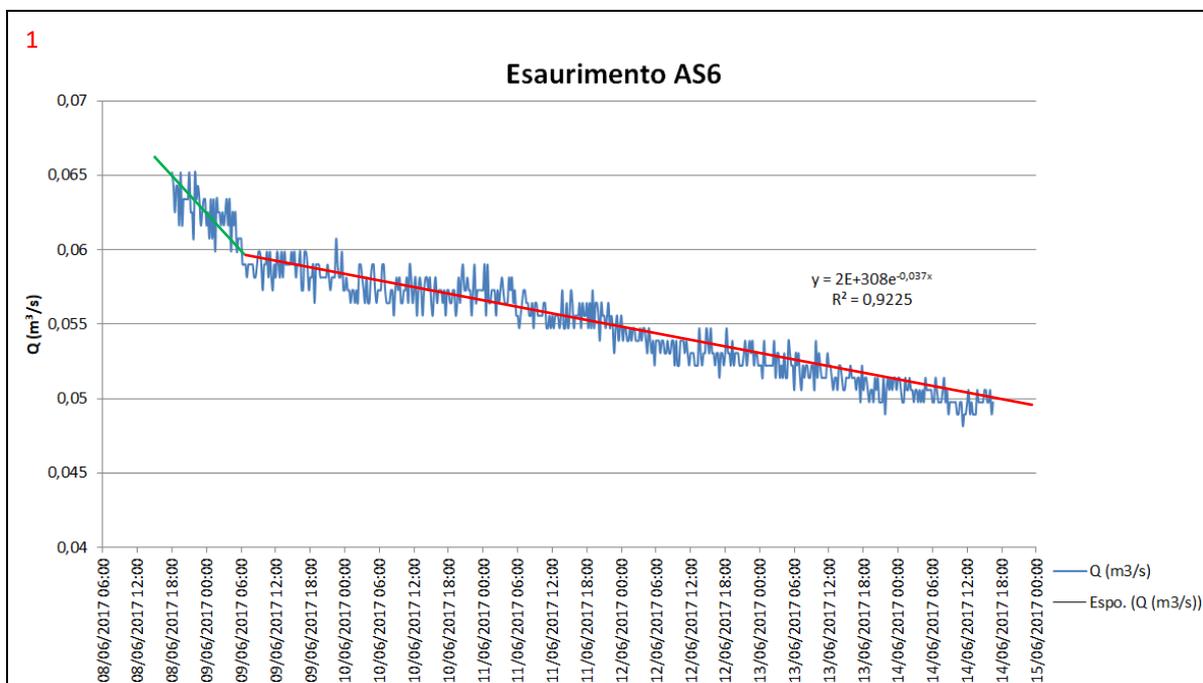


Fig 5.31 Pseudoesaurimento in seguito a evento meteorico del 05/06. La linea verde rappresenta il decremento mentre la linea rossa rappresenta l'esaurimento.

Dal grafico è possibile ricavare $Q_0 = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$ e dall'equazione riportante nel grafico è possibile ricavare $\alpha = 0,037 \text{ gg}$. Utilizzando le formule soprastanti è possibile determinare

$W_0 = 140108 \text{ m}^3$. Considerando un tempo t di esaurimento di 5 giorni è possibile determinare $Q_t = 0,0499 \text{ m}^3/\text{s}$. Ora è possibile determinare $Q_t = 116510 \text{ m}^3$. La risorsa dinamica è quindi rappresentata da $W_d = 23598 \text{ m}^3$. Quest'ultimo dato rappresenta il volume d'acqua espulso in esaurimento a giugno, dalla sorgente AS6-Peschiera.

La sorgente AS17-Fosso non mostra finora un andamento di portata utile a definire una curva di esaurimento sufficientemente sviluppata da permettere una stima delle riserve. Pertanto non si procede con il calcolo.

5.4 Tracciamento

5.4.1 Prima campagna

La prima campagna è iniziata il 22/12/2016 con la prova del bianco. Tutte le sorgenti presenti in Valsugana attive in questo periodo vengono monitorate con fluocaptori. Si hanno 2 fluorimetri a disposizione, il primo è installato a AS6-Peschiera e il secondo a AS11-Fosso Taba. Il 05/01 il fluorimetro installato a AS11 viene spostato 200 m più a valle, nel punto AS17-Fosso, per eccezionale mancanza d'acqua a AS11. Si decide di installare i fluorimetri ai suddetti punti di monitoraggio in quanto vengono proiettate direzione e inclinazione dei torrenti BG9 e BG10 da tracciare. Essi percorrono le rispettive gallerie della Grotta della Bigonda con un inclinazione di 15° in direzione est, puntando esattamente verso i punti AS17 e AS6.

Considerando che nell'area di studio non sono mai state effettuate prove valide con traccianti si è progettato un tracciamento molto pesante che potenzialmente potrebbe rivelare connessioni anche con sorgenti molto distanti tra loro.

L'immissione di tracciante è avvenuta all'interno della Grotta della Bigonda, ad opera di due squadre di speleologi il giorno 07/01/2017. Alle ore 12:00 viene immesso al punto BG10-5 Sifoni un quantitativo di 4,5 kg di polvere di tinopal, il torrente ha una portata di 0,78 l/s. Alle ore 15:26 viene immesso al punto BG9-Cigno un quantitativo di 5 kg di uranina diluita in acqua e alcool in due taniche da 10 l. Il torrente ha una portata stimata di 0,05 l/s. In meno di 24 ore ambedue i traccianti sono usciti al punto AS13-Parco Bigonde in cui erano presenti i fluocaptori.



Fig 5.32 AS13-Parco Bigonde in seguito al tracciamento del 07/01/2017

Considerata la colorazione verde evidente delle sorgenti del Parco Bigonde e la forte positività del fluocaptore per la rilevazione del tinopal si può sostenere che la quasi totalità dei traccianti è uscita in quest'area. Il colore forte del lago è dovuto all'esiguo flusso idrico. Le altre sorgenti del Parco Bigonde presentano colorazione visibile che scompare al

momento della confluenza di tali corsi d'acqua nel fiume Brenta. Il 16/01/2017 vengono raccolti tutti i captori installati nell'area di studio e analizzati in laboratorio. Solo AS13 risulta positivo sia a uranina che a tinopal.

Questo tracciamento conferma che la Grotta della Bigonda rappresenta l'unico collettore tra i punti di tracciamento interni e la sorgente AS13 presente sul fondovalle.

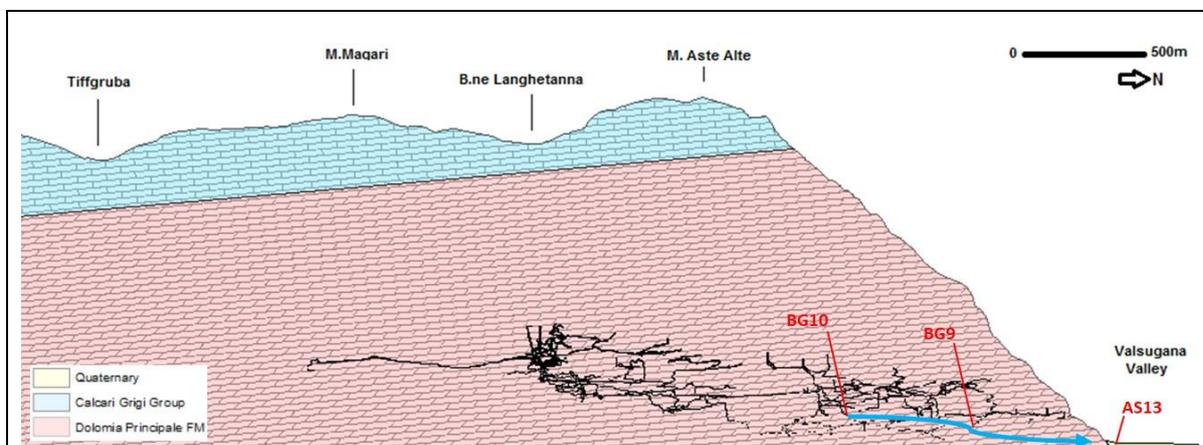


Fig 5.33 Profilo N-S della Grotta della Bigonda riportante i punti di tracciamento interni e la sorgente monitorata AS13

5.4.2 Seconda campagna

Durante il mese di marzo vengono messi a disposizione altri quattro fluorimetri dal Servizio Geologico. Ad AS13 viene installato il giorno 01/03, a AS1-Subiolo e AS2A-Siori vengono installati il giorno 14/03, a AS15-Moretti viene installato il giorno 29/03.

Per quanto riguarda i punti di monitoraggio AS6-Peschiera e AS13-Parco Bigonde si considera la possibile presenza di traccianti nelle acque e assorbita dal sedimento, legata al tracciamento pesante relativo alla prima campagna.

In seguito ai nuovi fluorimetri installati si è deciso di effettuare la seconda campagna che prevede il tracciamento bis dal punto BG9-Cigno in modo da analizzare la curva di restituzione del tracciante. Il giorno 30/03/2017 alle ore 12:11 gli speleologi versano una tanica da 5 l di acqua contenente 0,3 kg di uranina al punto BG9-Cigno la cui portata stimata è 0,7 l/s. Il primo arrivo del tracciante avviene alle ore 21:00 del 30/03 con picco massimo alle ore 4:00 del 31/03/2017 e ritorna ai valori precedenti all'immissione del tracciante il 14/04/2017. La distanza planimetrica tra punto di immissione e ricezione è di 500 m, con un dislivello di 90 m. Il primo arrivo avviene dopo 9 ore dall'immissione, il picco massimo avviene dopo 16 ore dall'immissione. Solo 15 giorni dopo il segnale di uranina nell'acqua torna ai valori precedenti all'immissione.

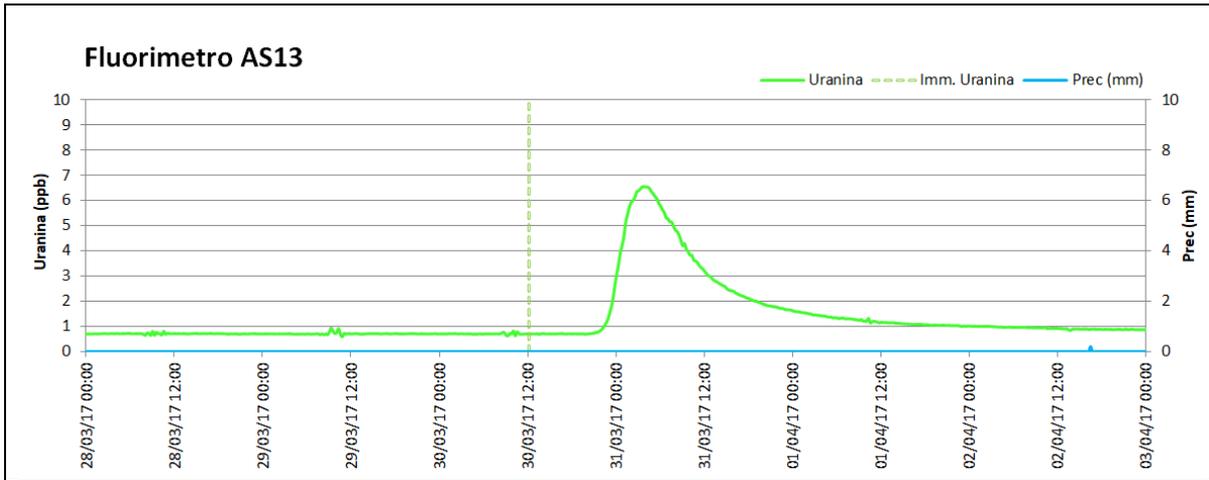


Fig 5.34 Curva di restituzione AS13. Tracciamento bis da BG9-Cigno nella Grotta della Bigonda a AS13-Parco Bigonde

5.4.3 Terza campagna

La terza campagna prevede il tracciamento del torrente CG4-By Pass all'interno della grotta del Calgeron. Tale punto è posto a 920 m in pianta e 234 m più alto del punto AS6-Peschiera. Alle ore 14:17 del 14/05/2017 vengono versati 2 kg di tinopal in polvere nel torrente con una portata di 1 l/s. Dalle ore 19:00 del 15/06 vi è un incremento della quantità di tinopal fino a raggiungere il valore massimo alle ore 12 del 16/05. In seguito la quantità di tinopal decresce lentamente e tornerà ai valori precedenti al picco dopo il giorno 20/05. Non è certo che tale picco corrisponda all'arrivo di tinopal, potrebbe essere solo un artificio dovuto all'aumento della portata della sorgente. Se si considera reale il picco di tinopal, l'acqua impiega 29 ore a fluire da CG4 a AS6.

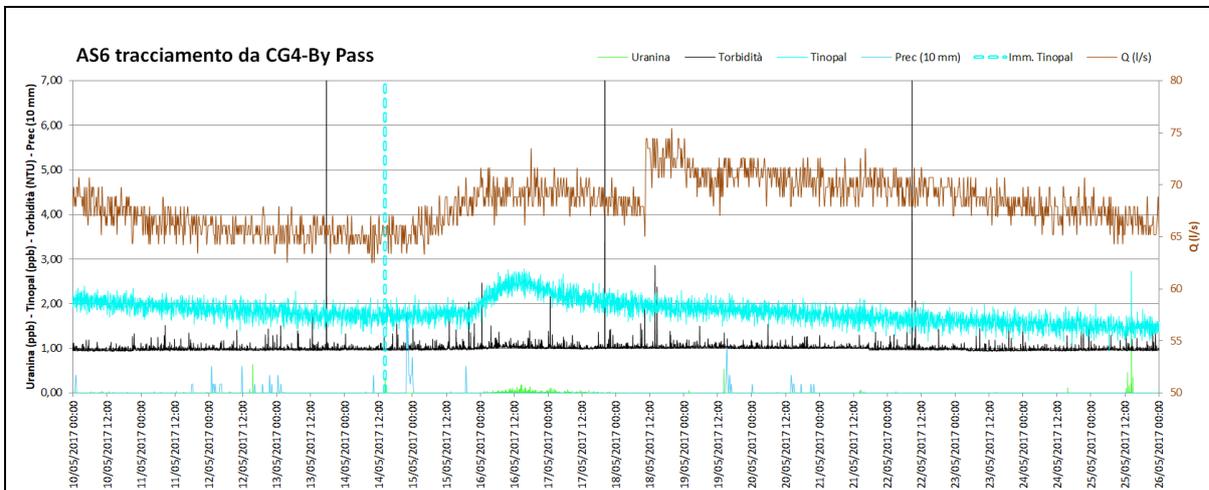


Fig 5.35 Curva di restituzione di AS6 in seguito a terza campagna di tracciamento.

L'incertezza nel considerare reale il picco analizzato poc'anzi, deriva dall'analisi della curva di restituzione del tracciante nel periodo precedente al tracciamento da CG4. Si nota infatti che la curva del tinopal presenta dei picchi con forma paragonabile a quelli della portata, in taluni casi sono anche associati ai picchi di torbidità. Ne sono un esempio gli eventi meteorici del 28/02 e del 04/03 a cui corrispondono picchi di torbidità e portata. L'evento meteorico del 18/03 forma un picco appiattito sia di tinopal che di portata, che si protrae fino al 05/04, con curva di torbidità pressoché costante. Un picco meglio definito di tinopal è presente in seguito all'evento meteorico del 04/04, a cui corrisponde un picco di portata ma la torbidità sembra essere costante. In tutto il periodo la curva dell'uranina

risulta essere irrisoria, con lievissimi incrementi in corrispondenza degli aumenti di portata maggiori.

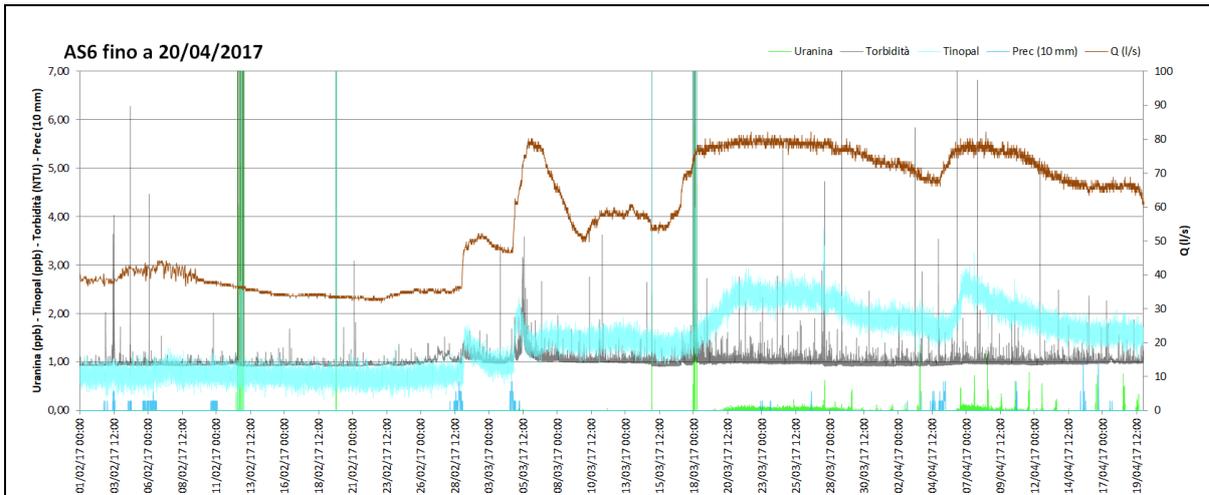


Fig 5.36 Curva di restituzione di AS6.

5.4.4 Quarta campagna

La quarta campagna prevede il tracciamento dall'Abisso del Mistero. Tale cavità è posta nel cuore dell'Altopiano di Asiago e si apre a una quota di 1424 m s.l.m.. Per questo tracciamento che sarà il più importante, la rete di monitoraggio con fluorimetri aumenta, il 18/05 viene installato presso AS14-Cenci, il giorno 14/05 al punto CG4-By-Pass all'interno della Grotta del Calgeron, inoltre vi è un fluorimetro già installato il 14/01, al punto BG7-Bicio all'interno della Grotta della Bigonda. Con l'aggiunta di questi punti di monitoraggio si potrà delimitare il bacino di drenaggio sia in ampiezza, in quanto AS14 è la sorgente posta più a ovest dell'area di studio, che le sorgenti poste a quote più elevate in quanto CG4 e BG7 sono poste rispettivamente a 490 e 615 m s.l.m., più elevate rispetto alle sorgenti poste sul fondovalle poste a quote tra i 250 e i 280 m s.l.m.. In pianta tale cavità è posta a 16,5 km dalle risorgive di Oliero, a 13,7 km da AS1-Subiolo, a 4,4 km da AS6-Peschiera.

Alle ore 12:30 del 21/05/2017 vengono versati 10 kg di uranina dal punto MS1 posto a -190 m di dislivello dall'ingresso nel torrente con una portata di 0,5 l/s. In seguito a precipitazioni, alle ore 13:00 del giorno 08/06/2017 l'acqua della sorgente AS6-Peschiera si tinge di un colore verde e rimane colorata fino al giorno seguente. Anche la vicina sorgente AS10-Giugi presenta dei riflessi colore verde. Infatti la colorazione visiva corrisponde al picco di uranina rilevato dal fluorimetro posto presso AS6-Peschiera.

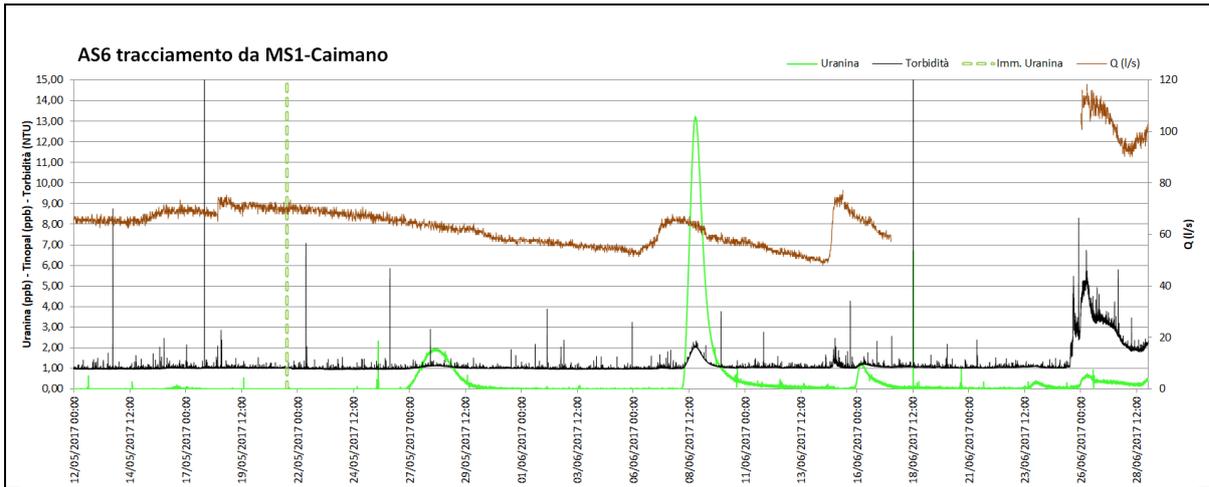


Fig 5.37 Curva di restituzione di AS6 in seguito alla quarta campagna di tracciamento.

Il picco di uranina del giorno 08/06 è del tipo a impulso ben definito. Il primo arrivo si presenta alle ore 4:30, il picco massimo si presenta alle ore 19:00. Solo dopo il 14/06 i valori di uranina si azzerano.

Da notare la curva ad impulso attenuato presente dal giorno 26/05 al giorno 01/06. Tale picco si presenta in condizioni di esaurimento della sorgente come si nota dal trend in decremento della portata Q. Esso non coincide con alcuna precipitazione, è presente un lieve incremento della torbidità. Pertanto si considera tale picco il primo arrivo in assoluto di tracciante in eccezionali condizioni di magra. Il primo arrivo è registrato alle ore 20:30 del 26/05, il picco massimo di 1,97 ppb viene raggiunto alle ore 2:10 del 28/05, i valori di uranina si azzerano il giorno 1/06. Il tracciante ha impiegato 5 giorni e 8 ore ad arrivare alla sorgente AS6.

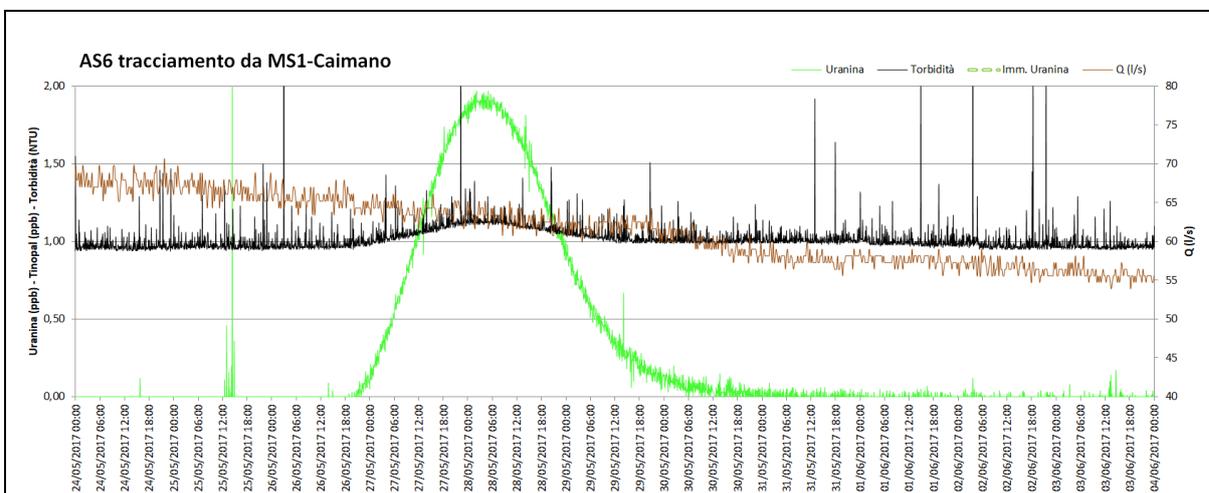


Fig 5.38 Curva di restituzione di AS6 in seguito a terza campagna di tracciamento. Arrivo del 26/05.

Confrontando la forma dei due picchi relativi al tracciamento da MS1 si nota che la restituzione del tracciante è pesantemente condizionata dalle condizioni idrodinamiche del sistema. Con una portata in leggero e costante decremento si ottiene una curva di restituzione del tracciante ad impulso attenuato mentre con un rapido aumento di portata si ottiene un picco a impulso ben definito.

Fondamentale per la delimitazione del bacino di drenaggio sono i punti di monitoraggio risultati negativi al tracciamento. Tali punti molto probabilmente appartengono a bacini di drenaggio distinti.

5.5 Elaborazione dei dati idrochimici

Per questo elaborato si possiedono i risultati solo del primo campionamento relativo ai mesi invernali del 2015-2016. Non è possibile quindi fare un confronto tra i vari parametri nelle diverse condizioni idrologiche, e si procede pertanto a una classificazione basilare delle acque presenti nell'area di studio.

5.5.1 Classificazione delle acque

Le acque dell'area di studio sono del tipo bicarbonato calciche come suggerito dal diagramma di Schoeller in Fig 5.39.

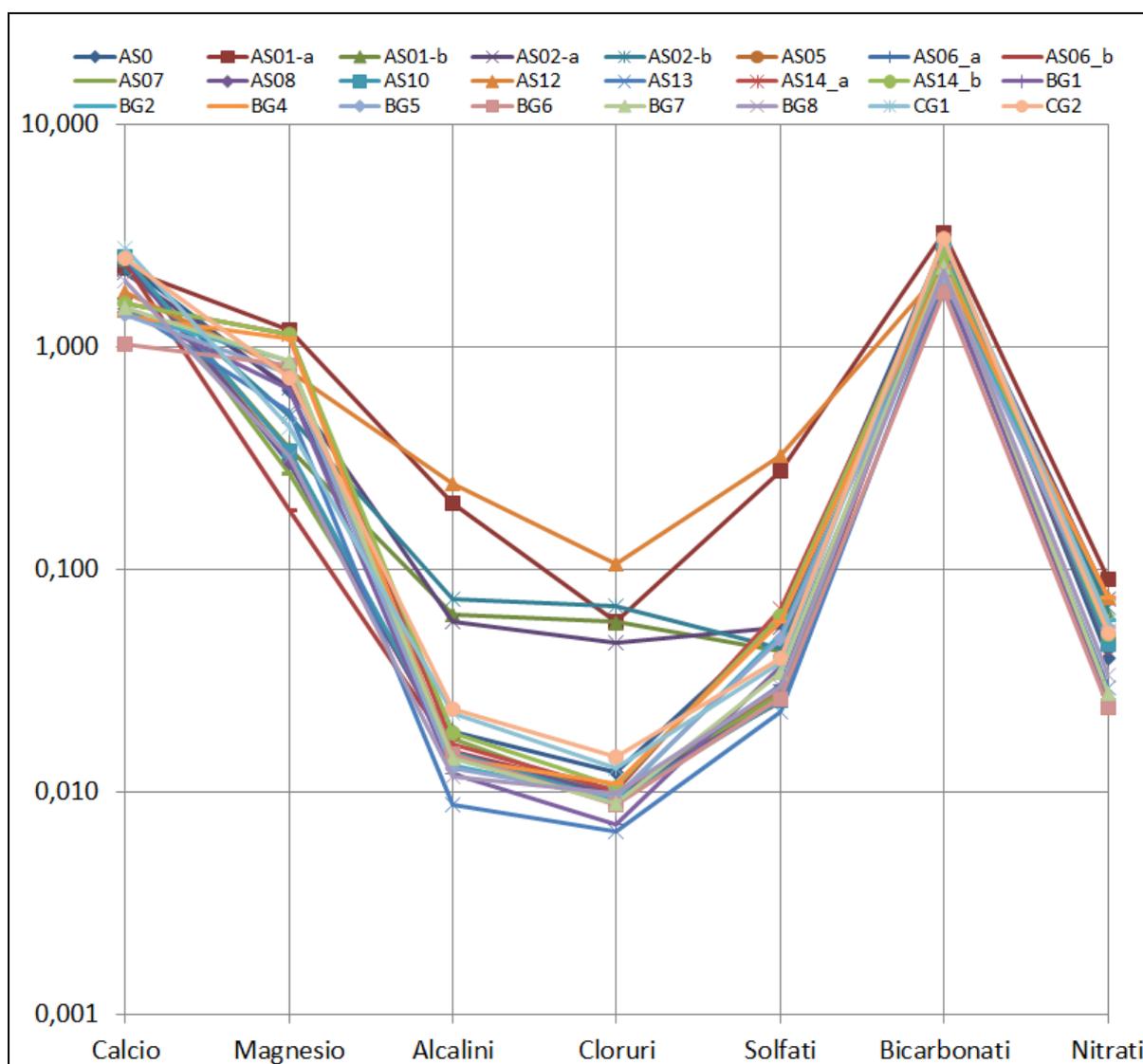


Fig 5.39 Diagramma di Schoeller relativo a tutte le analisi disponibili.

Dal diagramma si possono essenzialmente dividere tre tipologie di acque in base al contenuto di Alcalini, Cloruri e Solfati. AS12 e AS01-a possiedono i valori mediamente

più elevati, AS01-b, AS02-a, AS02-b possiedono dei valori medi mentre tutti gli altri punti di monitoraggio presentano dei valori inferiori.

Un'ulteriore distinzione è evidenziata dal contenuto di Calcio e Magnesio che permette di discriminare acque con impronta dolomitica da acque con impronta calcarea. Possono essere così divise in acque interne che sono percolate prima nei calcari sommitali e in seguito nella roccia dolomitica sottostante, e in acque esterne che sono percolate solo nella roccia dolomitica che caratterizza il versante.

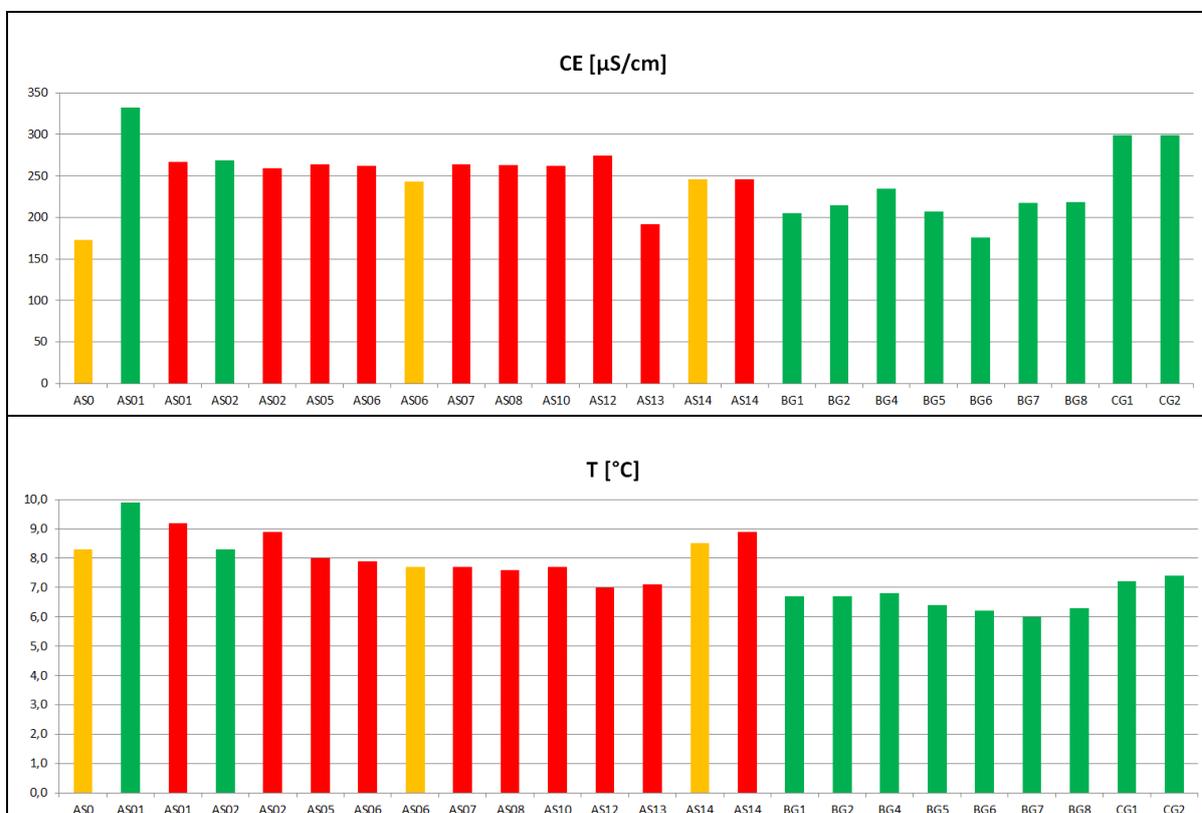
Le acque analizzate presentano valori di conducibilità elettrica comprese tra 170 e 340 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le acque di grotta possiedono una temperatura di 6-7°C mentre le acque di sorgente dai 7 ai 10°.

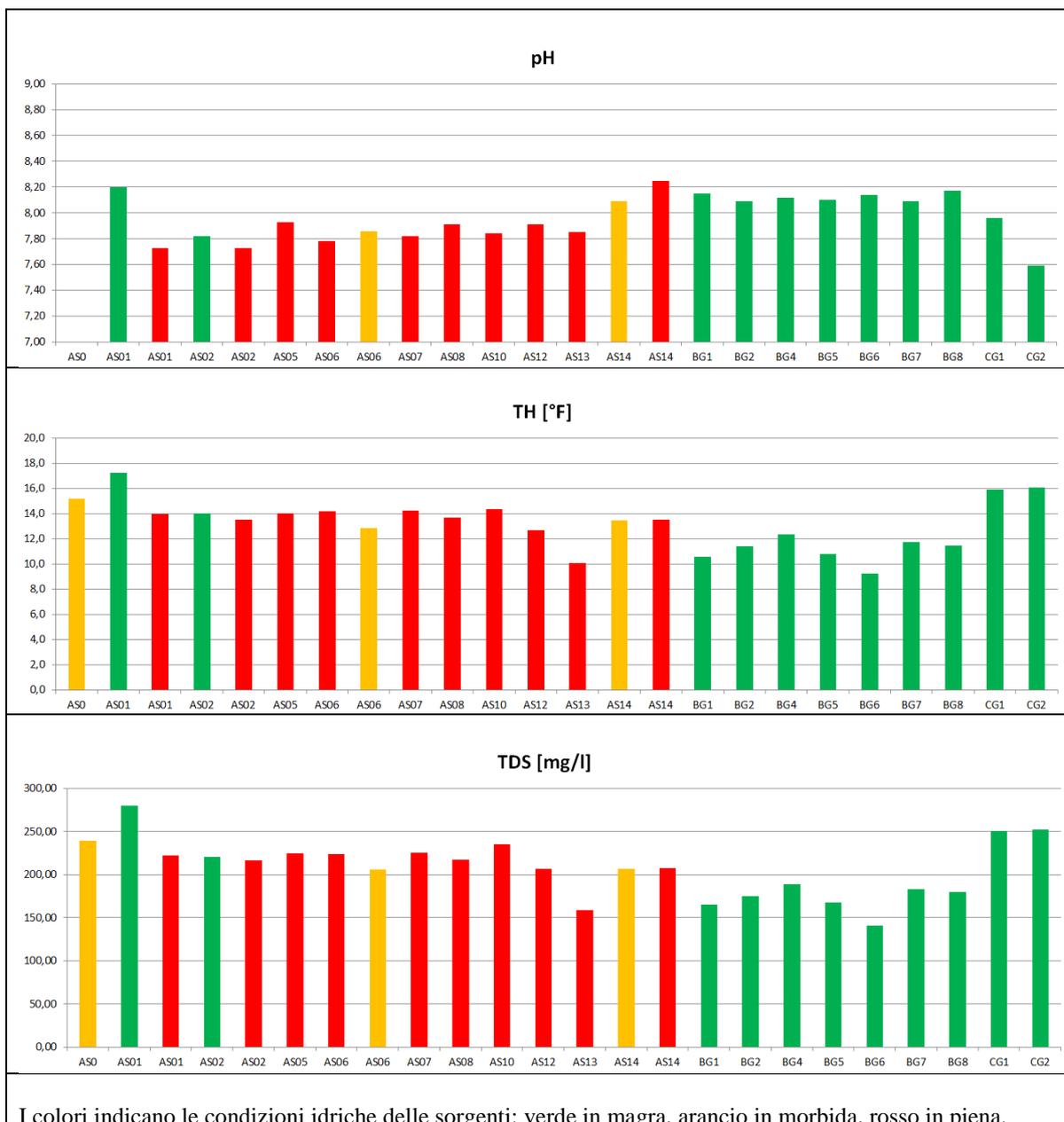
Possiedono tutte dei pH alcalini superiori a 7,5.

Le acque hanno una durezza che varia da 9 °f a 17 °f, da medio a discretamente dure.

Il contenuto totale dei sali disciolti TDS dipende essenzialmente dal comportamento degli ioni calcio e bicarbonato. Per quanto riguarda AS01 e AS02 di cui si possiede un'analisi in condizioni idriche di magra e una in piena, si nota come TDS sia più elevato in magra, in cui l'acqua permane più tempo a contatto con la roccia. In condizioni di piena AS13 presenta un valore minimo di 160 mg/l mentre AS10 presenta il valore massimo di 240 mg/l.

Le acque della Grotta della Bigonda hanno valori di CE, T, TH, TDS superiori rispetto a quelli della Grotta del Calgeron ad eccezione del pH che risulta inferiore per le acque del Calgeron.





I colori indicano le condizioni idriche delle sorgenti: verde in magra, arancio in morbida, rosso in piena.

Fig 5.40 Parametri chimico-fisici delle acque analizzate. I colori indicano le condizioni idriche delle sorgenti: verde in magra, arancio in morbida, rosso in piena.

5.5.2 Analisi dei macrocomponenti inorganici

Nel loro insieme le acque riflettono la composizione quasi pura delle dolomie e dei calcari attraversati. Questo aspetto è ben visibile dall'ottima correlazione ($R^2=0,972$) tra HCO_3^- e gli ioni Ca^{2+} e Mg^{2+} presentata dal grafico di sinistra in Fig 5.41. La carica anionica è rappresentata dal 92 al 98% dallo ione HCO_3^- , composizione che testimonia un processo di dissoluzione semplice della roccia calcareo-dolomitica con pochissimi apporti da fonti non carbonatiche (Borsato, 1995). Ciò non è valido per AS12 in cui lo ione HCO_3^- possiede l'86% della carica anionica totale, dovuto all'elevata presenza di Cloruri e Solfati. Nel grafico di destra in Fig 5.41 è presentata la distribuzione delle composizioni di tutti i campioni, si nota che è contenuta tra la linea della dissoluzione stechiometrica di una dolomia ideale (es FM Dolomia Principale) con rapporto $\text{Mg}/\text{Ca}=1:1$ e linea del rapporto $\text{Mg}/\text{Ca}=1:10$ al di sotto della quale vi è il campo dei calcari a basso contenuto magnesiaci (es Gruppo dei Calcari Grigi).

Ciò significa che le acque hanno interagito con litologie sia dolomitiche che calcaree.

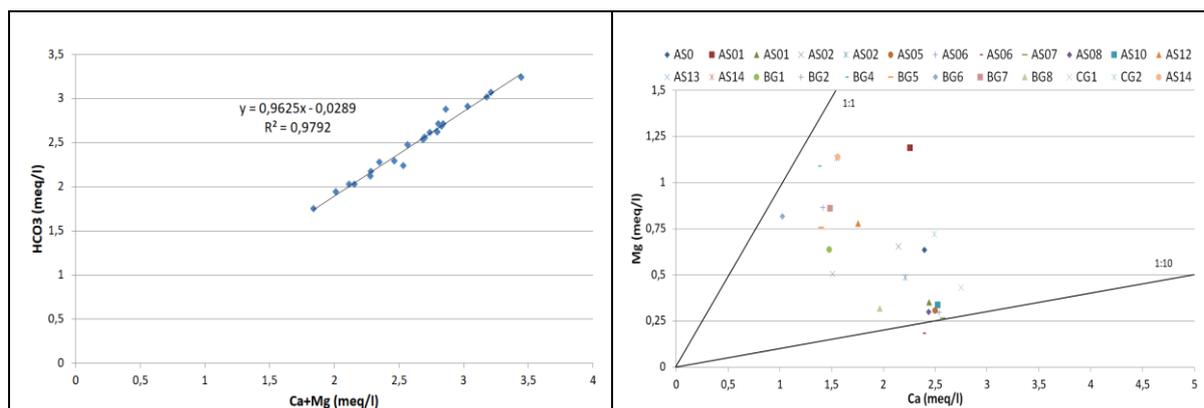


Fig 5.41 Grafici "HCO³⁻ / Ca²⁺ e Mg²⁺" e rapporto "Mg/Ca".

Il rapporto Mg/Ca può dare delle informazioni sulla provenienza delle acque. Se il rapporto tende a zero significa che è presente quasi totalmente Ca. Questa situazione è particolarmente valida nella prima fase di infiltrazione dalla sommità dell'altopiano in cui l'acqua attraversa i calcari puri. Il successivo arricchimento in Mg avviene durante la percolazione all'interno dell'acquifero dolomitico sottostante. Un'altra situazione di infiltrazione è relativa all'acqua proveniente dal versante esclusivamente dolomitico. Nel grafico sottostante si notano valori di Mg/Ca tendenzialmente più elevati in magra rispetto ai valori di morbida e piena. Le eccezioni andranno approfondite in futuro tramite i risultati delle analisi degli altri campionamenti.

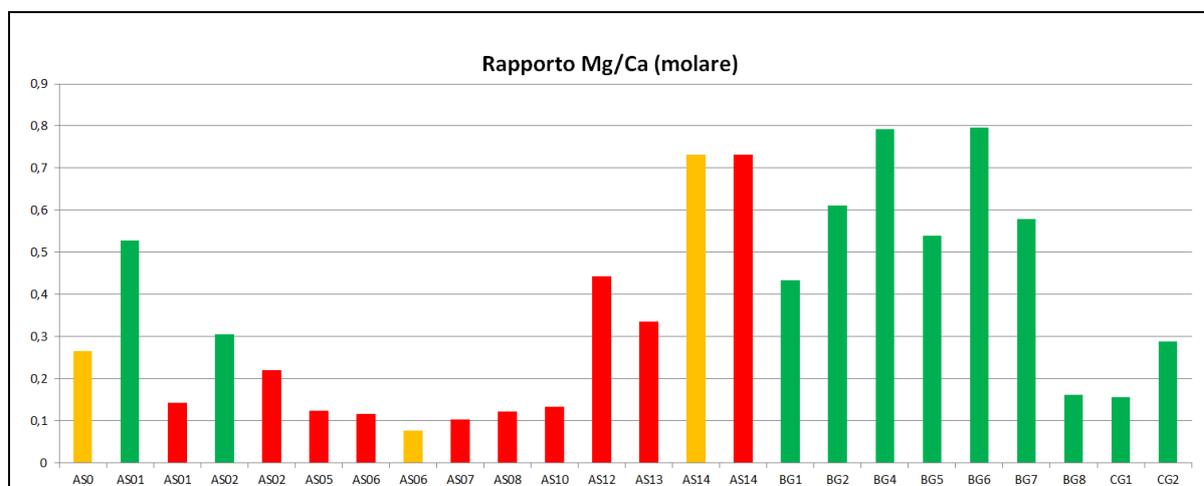


Fig 5.42 Rapporto Mg/Ca relativo a tutti i campioni. I colori indicano le condizioni idriche delle sorgenti: verde in magra, arancio in morbida, rosso in piena.

Gli indici di saturazione per la Dolomite e per la Calcite esprimono lo stato di saturazione nei relativi elementi del corso d'acqua analizzato. Se tale indice è uguale a zero la soluzione è all'equilibrio, se è positivo la soluzione è sovrassatura, se negativo è sottosatura. Approssimativamente una soluzione sottosatura può portare in soluzione Dolomite o Calcite dissolvendo chimicamente la roccia carbonatica con cui interagisce. Una soluzione sovrassatura può depositare Dolomite o Calcite originando delle concrezioni carbonatiche. Il grado di saturazione dipende da vari parametri tra cui pCO_2 , temperatura, regime idrico, non considerati nella descrizione della saturazione appena fornita.

Per ogni campione d'acqua vengono calcolati gli indici di saturazione tramite un foglio di calcolo Excel realizzato dai tecnici del Politecnico di Torino tramite un algoritmo che

considera esclusivamente temperatura, pH, carbonio inorganico disciolto come somma delle concentrazioni CO_3^{2-} e HCO_3^- e la concentrazione dei singoli ioni presenti quali Ca^{2+} e Mg^{2+} . Nel grafico sottostante si osserva che tutti i punti di monitoraggio sono sovrassaturi in Calcite, la maggior parte anche in Dolomite ad eccezione di AS01 in piena, AS02 magra, AS05, AS06 morbida, AS08, BG8, CG1. Per le condizioni idriche confrontare con il grafico colorato soprastante.

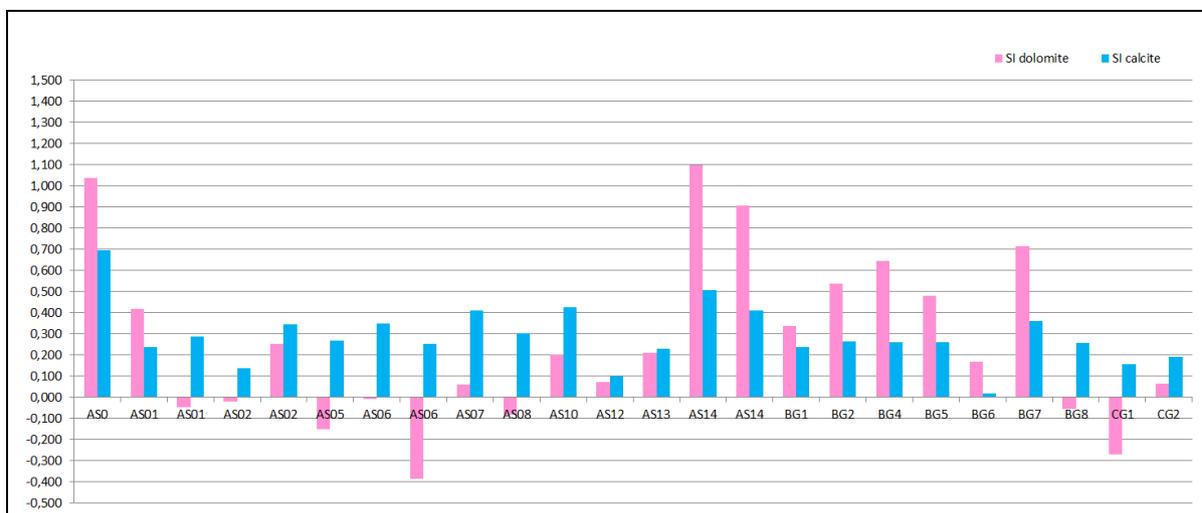


Fig 5.43 Saturazione Calcite e Dolomite.

5.5.3 Analisi dei Lantanidi

L'andamento dei Lantanidi è molto vario, solo in parte è confermato che le acque in questione derivano da rocce carbonatiche in quanto è presente la tipica anomalia negativa sul Cerio e l'anomalia positiva sull'Europio. La variabilità nel valore dei Lantanidi può essere associata a fattori ambientali, specialmente in relazione a pH e Eh, e alle condizioni idriche del sistema. Se sul pattern prevalgono dei possibili fattori ambientali rispetto all'impronta carbonatica significa che le acque non stazionano a lungo all'interno del massiccio.

Dal diagramma di Fig 5.44 si nota una buona correlazione tra AS01-Subiolo e AS0-Brenta. AS01-Subiolo varia lo spettro a seconda della condizione idrica. AS2-Oliero presenta la medesima impronta al variare della condizione idrica.

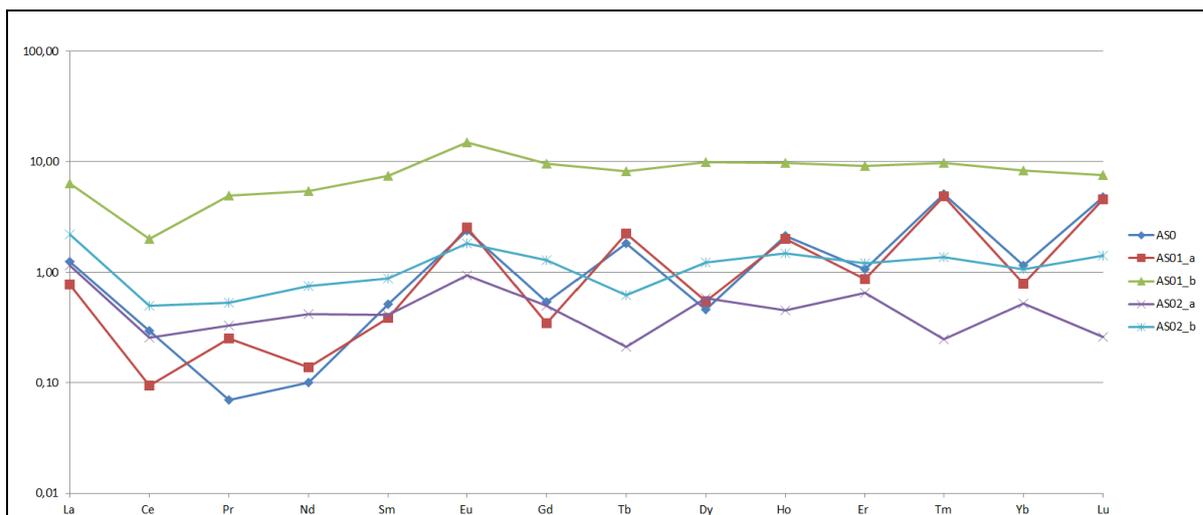


Fig 5.44 Diagramma dei Lantanidi relativo alle sorgenti del Canale del Brenta e fiume Brenta.

In Fig 5.45 sono riportate le acque dei punti di monitoraggio in Valsugana, possiedono tutte uno spettro simile tranne AS14 che possiede solo Lantanio e Cerio. Nel diagramma sono distinguibili tre gruppi di acque in base alla quantità di Terbio. I valori più elevati li possiedono AS7, AS8, AS12. AS5, AS6 e AS10 possiedono i valori inferiori. AS13 si discosta maggiormente dal contenuto in Lantanidi rispetto alle altre sorgenti in Valsugana.

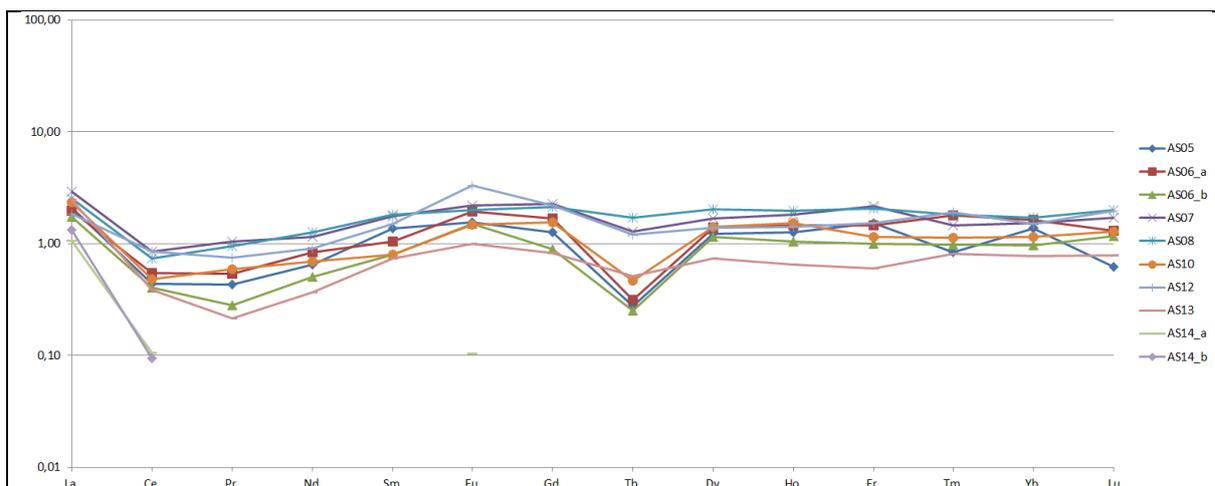


Fig 5.45 Diagramma dei Lantanidi relativo alle sorgenti in Valsugana

In Fig 5.46 sono riportate le acque della Grotta della Bigonda (serie BG) che presentano un andamento simile tra loro, diverso da quelle della Grotta del Calgeron (serie CG). CG1 e CG2 hanno il medesimo spettro, probabilmente sono costituite dalla stessa acqua.

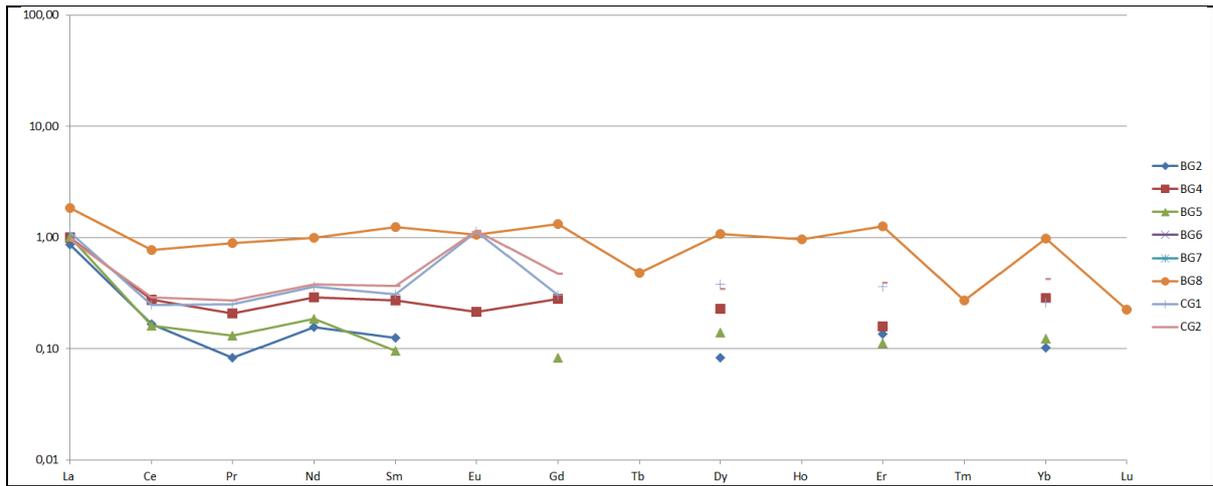


Fig 5.46 Diagramma dei Lantanidi relativo alle acque di grotta

6.0 CONCLUSIONI

La presente ricerca costituisce una raccolta di informazioni idrogeologiche e idrochimiche utili per la caratterizzazione dell'acquifero carsico di un settore dell'Altopiano di Asiago, vasto all'incirca 200 km², finora poco conosciuto. Grazie al reticolo carsico di oltre 60 km che si sviluppa all'interno dell'area di studio è stato possibile studiare l'evoluzione delle caratteristiche chimiche e fisiche delle acque, dal momento dell'infiltrazione dalla sommità dell'Altopiano, al loro percorso attraverso grotte da verticali a orizzontali, fino alla loro espulsione tramite le sorgenti situate sul fondovalle. Generalmente l'acqua si infiltra dalla sommità dell'altopiano, scorre all'interno delle grotte raggiungendo una temperatura media di 6,8 °C nella Grotta della Bigonda e 7,4 °C nella Grotta del Calgeron. Viene in seguito espulsa alle sorgenti poste ai piedi del versante settentrionale di Asiago con una temperatura di 7-8 °C. Se l'acqua anziché esser espulsa dalle sorgenti poste ai piedi del versante viene espulsa dalle sorgenti situate sul fondovalle varia la sua temperatura da 6-7 °C in inverno a 11-12 °C in estate. La conducibilità elettrica dipende molto dalle condizioni ambientali al momento del campionamento, generalmente presentando valori dai 170 ai 250 µS/cm in condizioni di morbida che aumenta dai 250 fino ai 360 µS/cm in condizioni di magra. Ciò è dovuto a fattori di diluizione e al maggior tempo di stazionamento dell'acqua all'interno del massiccio carsico, provocando una maggior dissoluzione della roccia.

Le sorgenti principali che competono al volume di altopiano in esame, sono tre e sono situate in Valsugana. In ordine da nord-ovest a sud-est vi è AS13-Parco Bigonde, AS17-Fosso e AS6-Peschiera e son state tutte monitorate tramite datalogger. Sono tutte sorgenti di portata modesta, dell'ordine di poche centinaia di litri al secondo ciascuna, che non si esauriscono nemmeno in condizioni idriche di magra estrema. La misura in continuo dei parametri fisici mostra che le sorgenti possiedono dei valori di T e CE pressoché costanti, influenzati infinitesimamente dalle precipitazioni. Volutamente sono state analizzate le micro variazioni di T e CE per cui si è osservato una risposta generalmente del tipo a micro sostituzione, e in caso di eventi meteorici importanti vi è una risposta del tipo a micro pistonaggio. L'andamento dei parametri di T e CE in definitiva forniscono una tipica risposta di omogeneizzazione. Si può quindi supporre l'esistenza di un acquifero ancora poco carsificato, con circolazione prevalentemente impostata nelle discontinuità dell'ammasso roccioso in cui le acque di neoinfiltrazione circolano molto lentamente nella rete di drenaggio, con una circolazione dispersiva, in presenza di una zona satura tradizionale. Le vie di drenaggio preferenziale sono sviluppate più in quota, e sono costituite dalla Grotta della Bigonda e del Calgeron (Marighetti, 2015). Esse erano collegate a un paleo livello di base della Valsugana, stabile verosimilmente per un intero periodo interglaciale, sufficiente a sviluppare un'elevata carsificazione instaurando dei dreni dominanti. Nella fase glaciale successiva, il livello di base si è abbassato per escavazione della Valsugana. Il detensionamento glaciale ha aumentato la fratturazione della roccia prossima alla Valsugana e viene instaurato un nuovo gradiente idraulico della falda carsica. Questi eventi hanno portato nell'attuale alla formazione di una zona satura che drena lentamente l'acqua proveniente dall'altopiano e dalla zona maggiormente carsificata soprastante. In caso di piena, le sorgenti in esame non riescono a drenare l'apporto idrico, il livello piezometrico interno aumenta attivando le sorgenti poste a quote altimetricamente superiori, fino alla tracimazione dalla Grotta della Bigonda e in casi estremi dalla Grotta del Calgeron. Questo è evidenziato dalla sonda di livello posta al punto BG2 che costituisce il punto altimetricamente più basso della Grotta della Bigonda che in seguito anche a modeste precipitazioni presenta degli aumenti istantanei di livello di

oltre 30 m. L'acqua in eccesso allaga tutte le gallerie poste alle quote inferiori, e in caso di forti piene, il livello dell'acqua aumenta fino a fuoriuscire dall'ingresso. A questi repentini aumenti di livello interni sono associati modesti aumenti di portata alle sorgenti in Valsugana, che drenano lentamente l'apporto idrico.

Il tracciamento eseguito ha dimostrato una connessione tra le zone della Grotta della Bigonda più vicine all'ingresso con la sorgente AS13-Parco Bigonde. Sono stati necessari 15 giorni per espellere tutto il tracciante immesso. Il tracciamento più importante effettuato dall'Abisso del Mistero situato in una posizione centrale all'area di studio, ha dimostrato una connessione con la sorgente AS6-Peschiera. Il grafico di restituzione del tracciante presso AS6 mostra un primo picco a impulso smorzato e una serie di picchi successivi in corrispondenza di precipitazioni che dimostrano che il tracciante era stoccato momentaneamente nell'estesa zona satura competente alla sorgente.

Grazie ai dati del tracciamento sono state determinate le velocità del flusso idrico. In condizioni di magra, all'interno del bacino idrico di AS6-Peschiera, l'acqua scorre con una velocità dai 35 ai 42 m/h, mentre nei rami più esterni della Grotta della Bigonda l'acqua scorre con una velocità dai 56 ai 65 m/h.

Il tracciamento ha inoltre dimostrato la connessione della sommità dell'Altopiano esclusivamente con le sorgenti in Valsugana e non con le sorgenti maggiori site nel Canale del Brenta.

Le analisi chimiche disponibili permettono di classificare le acque come bicarbonato calciche, distinguibili in varie famiglie. Esse sono distinguibili in base al contenuto in Alcalini, Cloruri e Solfati e in base al contenuto in Ca e Mg che rispecchia l'impronta calcarea o dolomitica dell'acqua. L'analisi dei Lantanidi permette una distinzione delle acque del Canale del Brenta, della Valsugana, della Grotta della Bigonda e del Calgeron. Dai Lantanidi risulta una somiglianza tra le acque del fiume Brenta e di AS1-Subiolo.

Le acque presentano una durezza moderata, non sono inquinate, sono acque pure e potabili. Ciò è dovuto al fatto che il bacino idrico che compete a tali sorgenti non è antropizzato, sono presenti rare malghe e alberghi, tutti con sistema fognario efficiente. La salvaguardia del territorio nella sua integrità è il presupposto fondamentale per evitare il degrado di quell'importante risorsa che sono gli acquiferi carsici.

Gli acquiferi carsici rappresentano in un periodo come il nostro, dove le fonti idriche cospicue e di buona qualità sono sempre più rare, risorse dal valore inestimabile da salvaguardare e monitorare costantemente (Celi, 1995).

Il presente elaborato costituisce una base dello studio idrogeologico dell'area in oggetto che in futuro dovrà essere implementato per avvalorare i dati e le informazioni finora ottenuti. Saranno utili le analisi delle acque relative a tutti i campionamenti effettuati. Inoltre sarebbero utili analisi degli isotopi contenuti nelle acque meteoriche e di sorgente, quali $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, $\delta^3\text{H}$ per determinare provenienza, variazioni sui processi di ricarica e stima dei tempi di residenza delle acque.

Non esiste ancora un bilancio idrologico soddisfacente che permetta di realizzare dei modelli appropriati di precipitazione, infiltrazione efficace, deflusso alle sorgenti. Per questo le sorgenti più importanti continuano a essere monitorate in continuo. La loro portata, assieme alle altre sorgenti, deve essere determinata con metodi più accurati che permettano di ottenere dei dati migliori rispetto a quelli disponibili.

L'ipotesi di evoluzione geomorfologica del paesaggio con ciclici abbassamenti del livello freatico interno e il conseguente sviluppo di una zona satura che si evolve in dreni

dominanti deve ancora essere provato. Per questo è necessario datare i livelli epifreatici delle grotte e studiare le morfologie delle gallerie.

Inoltre è ancora incerto il volume di idrostruttura che compete alle sorgenti analizzate, per determinarlo è necessario estendere maggiormente l'area di studio, magari all'intero Altopiano dei Sette Comuni.

ALLEGATO I: Descrizione dei punti di monitoraggio

AS0A-Brenta-Braus

Corso d'acqua principale della Valsugana. Nasce dai laghi di Caldonazzo e Levico, scende la Valsugana e la pianura veneta fino a sfociare nel Mar Adriatico all'altezza di Chioggia. Il campionamento è eseguito in corrispondenza del paese di Selva di Grigno a monte delle sorgenti situate nei pressi dell'abitato.



Fig. 29/03/2017 Morbida Primaverile

AS0B-Brenta-Ponte Filippini

Campionamento effettuato più a valle nel corso del fiume Brenta, oltre la confluenza con il fiume Grigno che scende da Cima d'Asta. Il campionamento è effettuato in corrispondenza del ponte del paese Filippini.



Fig. 29/03/2017 Morbida Primaverile

AS1-Subiolo

Risorgiva dell'Elefante Bianco presso il paese di Ponte Subiolo. E' costituita da un lago circolare di una ventina di metri di diametro. Sul fondo del lago, a venti metri di profondità, vi è l'ingresso della cavità subacquea omonima che si spinge attualmente fino a

140 m di profondità, ancora in fase di esplorazione. In concomitanza con precipitazioni elevate dal lago nasce un torrente di $4 \text{ m}^3/\text{s}$ che in un centinaio di metri di percorso si immette nel fiume Brenta (Meneghel et al, 1986).



Fig. 15/05/2016 Morbida primaverile

AS2-Oliero

Il fiume Oliero è un corso d'acqua perenne che nasce da due sorgenti carsiche situate nella località omonima in comune di Valstagna, nel tratto di Valsugana noto come Canale del Brenta. Dopo 300 m si getta nel fiume Brenta. Le due sorgenti, che alimentano questo breve fiume, prendono il nome dalle grotte da cui scaturiscono: Cogol dei Siori e Cogol dei Veci (Celi & Sauro, 1995). Da dicembre 2015 a dicembre 2016 i campionamenti idrici vengono eseguiti nel fiume Oliero, in seguito si ottiene il libero accesso al parco chiuso di Oliero in cui è possibile campionare separatamente le acque provenienti dalle due risorgive.



Fig. 13/05/2016 Morbida primaverile

AS2A- Siori

Il Cogol dei Siori o Grotta Parolini è una grotta turistica visitabile tramite apposite imbarcazioni accompagnati dalle guide del parco di Oliero. Dall'ingresso si naviga per 70 m fino a raggiungere il molo interno. Da qui vi sono delle gallerie aeree con uno sviluppo

totale di 200 m. Dal corso d'acqua iniziale si aprono una serie di pozzi discendenti subacquei impostati su frattura che portano a una condotta freatica con una sezione larga 10 m alta 6 m (Celi & Sauro, 1995). A poco più di 1 km dall'ingresso del sifone, tramite una diramazione secondaria, il Cogol dei Siori si unisce alla galleria principale del Cogol dei Veci formando un anello subacqueo di oltre 5 km di lunghezza. La condotta principale del Cogol dei Siori è stata attualmente esplorata per una lunghezza di 3603 m (Sauro, 2012). L'acqua che compete a questa sorgente è captata per il rifornimento idrico dell'Altopiano di Asiago, tramite una pompa a immersione della portata di un centinaio di litri al secondo. La portata media stimata della sorgente è di $6,6 \text{ m}^3/\text{s}$ (Dal Prà & Stevan, 1969).



18/03/2017 Magra primaverile

AS2B-Veci

Il Cogol dei Veci o Grotta Cecilia di Baone è posta 50 m più a sud del Cogol dei Siori. Il portale d'ingresso è alto 20 m largo 10 m e lungo 30m poi si inabissa. La grotta sommersa è composta da un primo sifone lungo 2562 m con profondità massima di 57 m, oltre il primo sifone vi è una galleria aerea lunga 300 m che conduce a un secondo sifone lungo 1150 m con profondità massima di 46 m. Oltre il secondo sifone vi è un'ampia galleria aerea con morfologia freatica lunga all'incirca 3 km che porta ai piedi di una cascata alta 30 m, finora non ancora risalita



5/02/2017 Magra invernale

AS3-Calchera

Dalla strada che da Grigno porta al paese di Selva, tra il macello Meggio e la Calchera (monumento ristrutturato utilizzato in passato per la produzione della calce per edilizia) è presente un torrente che scende dall'altopiano. Vicino alla strada l'alveo è asciutto, il torrente viene assorbito dal detrito. Il torrente è composto sia da torrente che scende da montagna che da una serie di piccole sorgenti lungo strato.



9/04/2016 Morbida primaverile

AS4-Oghenon

La Grotta dell'Orghenon è una cavità orizzontale con uno sviluppo di 38 m che termina in frana. In piena dall'ingresso alto 0,5 m largo 1,2 m esce un torrente che scorre per una lunghezza di 5 m poi si unisce al torrente che scende dall'altopiano. Dopo un centinaio di metri si immette nel fiume Brenta.



9/04/2016 Morbida primaverile

AS5-Colo Marzo

Zona paludosa, l'acqua esce da un conoide detritico. In morbida da questa zona paludosa nasce un torrente che porta al fiume Brenta.



9/04/2016 Morbida primaverile

AS6-Peschiera

Gruppo di sorgenti vicine fra loro che nascono dal terreno sul fondovalle, appena sotto la strada che porta a Selva. Il campionamento viene eseguito dalla sorgente con portata maggiore. Sgorge acqua tutto l'anno anche in magra e alimenta la vicina troscicoltura. La troscicoltura è inoltre alimentata dai fossati per irrigazione dei campi del paese Selva: AS12-Fosso Pippo, AS11-Fosso Taba, più altre sorgenti minori che nascono nei boschi del paese di Selva, dai depositi del fondovalle.



18/03/2017 Morbida primaverile

AS7-Peschiera alta

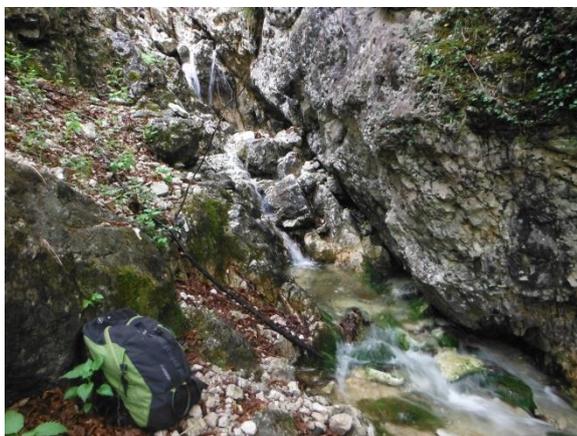
Torrente che esce alla base di una frattura, a una quota di 30 m sopra la strada che porta al paese di Selva. E' situata sopra alla sorgente AS6-Peschiera.



13/05/2016 Morbida primaverile

AS8-Laranocchia

Grotta di 5m di sviluppo poi stringe, in piena esce un torrente e resta attivo per decine di giorni che si congiunge al torrente AS10-Giugi. La grotta è situata nell'alveo del torrente che scende dall'Altopiano.



13/05/2016 Morbida primaverile

AS9- Pelegrin

Grotta di una decina di metri di sviluppo, in piena esce un piccolo torrente che viene assorbito dal detrito di versante.



9/04/2016 Morbida primaverile

AS10-Giugi

Gruppo di sorgenti vicine tra loro che si uniscono a formare il torrente de Giugi. L'acqua nasce dal detrito di versante molto pedogenizzato. Viene campionata la sorgente con più portata in corrispondenza di un piccolo ponte sulla strada vecchia che porta al paese di Selva.



13/05/2016 Morbida primaverile

AS11-Fosso Taba-Inizio

Dal terreno del fondovalle, nasce un piccolo rivolo che forma un fossato e serviva per l'irrigazione dei campi. Scorre da nord-ovest a sud-est aumentando di portata. Vicino alla sorgente (ossia il punto più a nord-ovest) vi è lo scarico della fontana di Selva e le acque bianche di alcune case vicine.



9/04/2016

AS11,1-Fosso Taba-Villa Laura

Il Fosso Taba scorre verso est aumentando la sua portata, all'altezza di Villa Laura vi è un arrivo d'acqua importante.



10/12/2016

AS12-Fosso Pippo-Inizio

Fossato in paese per l'irrigazione di campi, scorre da ovest a est, scorre 30m più a nord del Fosso Taba. L'acqua sgorga dal detrito, in magra si forma una pozzanghera d'acqua stagnante.



13/05/2016 Morbida primaverile

AS12,1-Fosso Pippo-Lavatoio

Nel corso del fossato è presente un vecchio lavatoio, in magra si forma un laghetto



28/03/2016

AS12,2-Fosso Pippo-Villa Laura

Nel corso del fossato, una cinquantina di metri più a valle sono presenti delle piccole venute d'acqua dal detrito sotto l'argine artificiale in cemento.



9/04/2016 Morbida primaverile

AS13-Parco Bigonde-Laghetto

Lago di diametro 15 m fondo 2, alimentato da sorgenti sul fondo e in piena da sorgenti d'interstrato localizzate 3 m sopra il lago. Solitamente parte un torrente che si immette dopo una cinquantina di metri nel fiume Brenta. Nel primo periodo della tesi il campionamento viene fatto dal lago poi si nota che le uniche sorgenti sempre attive sono AS13,4-Parco Bigonde-Bassa.



9/04/2016 Morbida primaverile

AS13,1-Parco Bigonde-Torrente

Torrente presente in piena, scende da montagna e si immette nel torrente che nasce da AS13 Parco Bigonde-Laghetto



9/04/2016 Morbida primaverile

AS13,2-Parco Bigonde-Ovest

Sorgente da detrito a una quarantina di metri a ovest del Laghetto, percorre i meandri artificiali del Parco e scarica nella piana alluvionale del fiume Brenta.

AS13,4-Parco Bigonde-Bassa

Gruppo di sorgenti nel detrito sempre alimentate anche in magra invernale. Sono poste a una quota altimetrica più bassa rispetto alle altre sorgenti del Parco. Sono localizzate a nord della strada che da Selva porta a Ospedaletto all'inizio del Parco.



15/03/2017 Magra invernale

AS14-Cenci

Sorgente captata con struttura in calcestruzzo che fornisce i masi sottostanti. La sorgente è attiva gran parte dell'anno con portata costante.



18/05/2017

AS15-Moretti

Sorgente 150 m più a sud di AS1-Subiolo, si apre sul fianco destro dell'alveo del Fiume Brenta. In magra porta oltre 100 l/s. In un primo momento non è stata campionata in quanto secondo fonti locali questa sorgente è normalmente sommersa dal Fiume Brenta tranne che in magra. Si nota successivamente che non è così e che la sorgente con la sua elevata portata respinge il Brenta. Questa sorgente inoltre non è mai stata studiata ed è citata solo in Boifava et al 2013 ed è stata oggetto di saltuarie misure di portata negli anni dal 2006 al 2012 ad opera di ARPAV.



29/03/2017 Morbida primaverile. Notare la sorgente sulla destra che respinge il fiume Brenta

AS16-Pozzo Braus

Pozzo artificiale connesso a una pompa manuale che pesca acqua di falda a una profondità massima di 7 m. E' situata nel giardino di casa Braus nel paese di Selva.

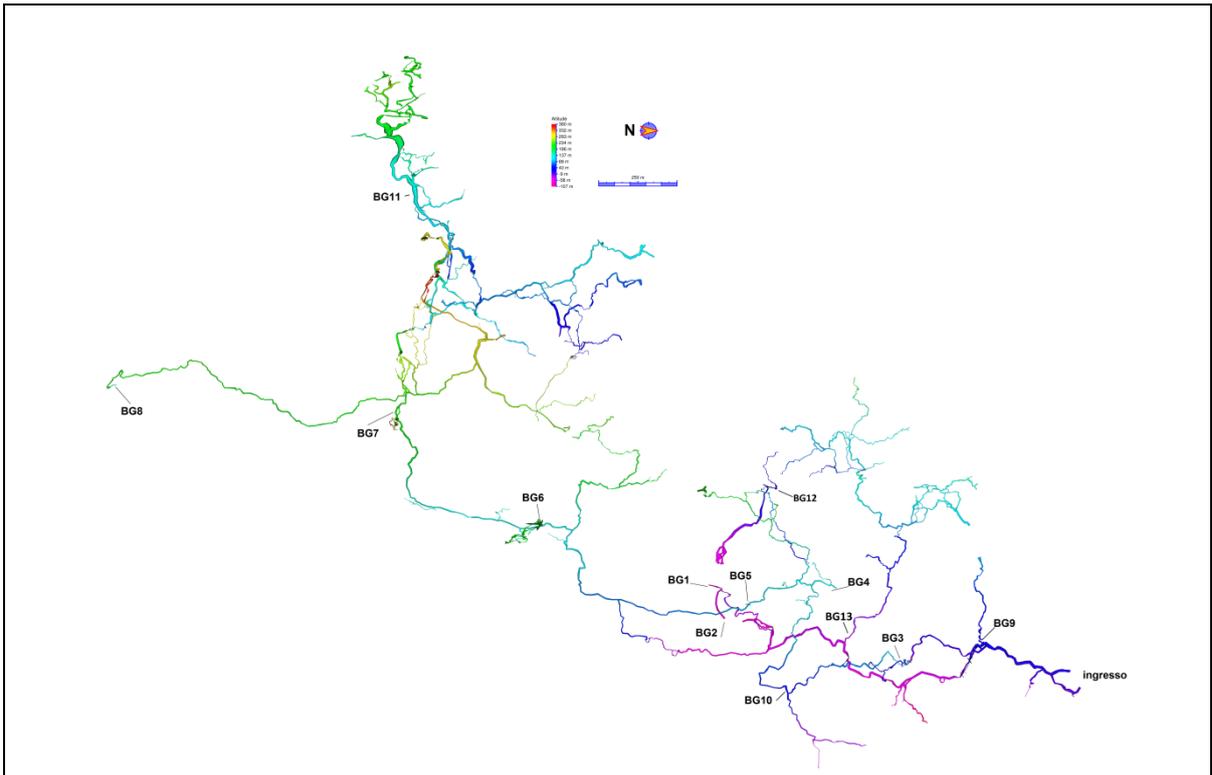
AS17-Fosso

Questo torrente si forma dall'unione dei punti AS11-Fosso Taba e AS12-Fosso Pippo, circa 200 m a est dalla loro sorgente. E' necessario inserire questo punto per la scarsità d'acqua presente in magra. A valle di questo punto la portata continua a aumentare fino a immettersi nella trocicoltura.



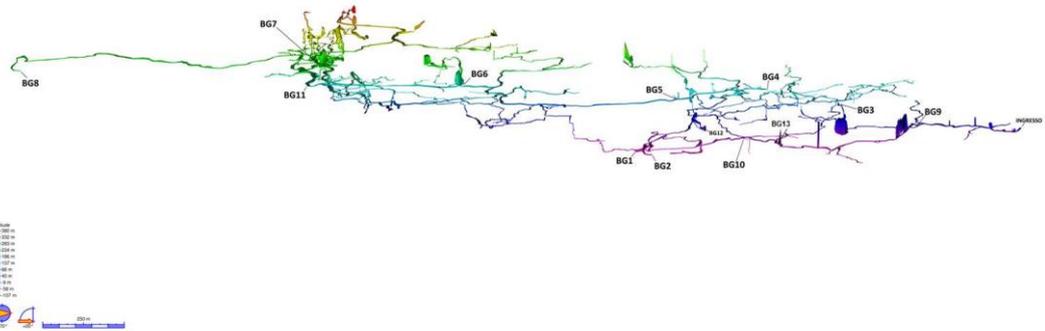
18/03/2017

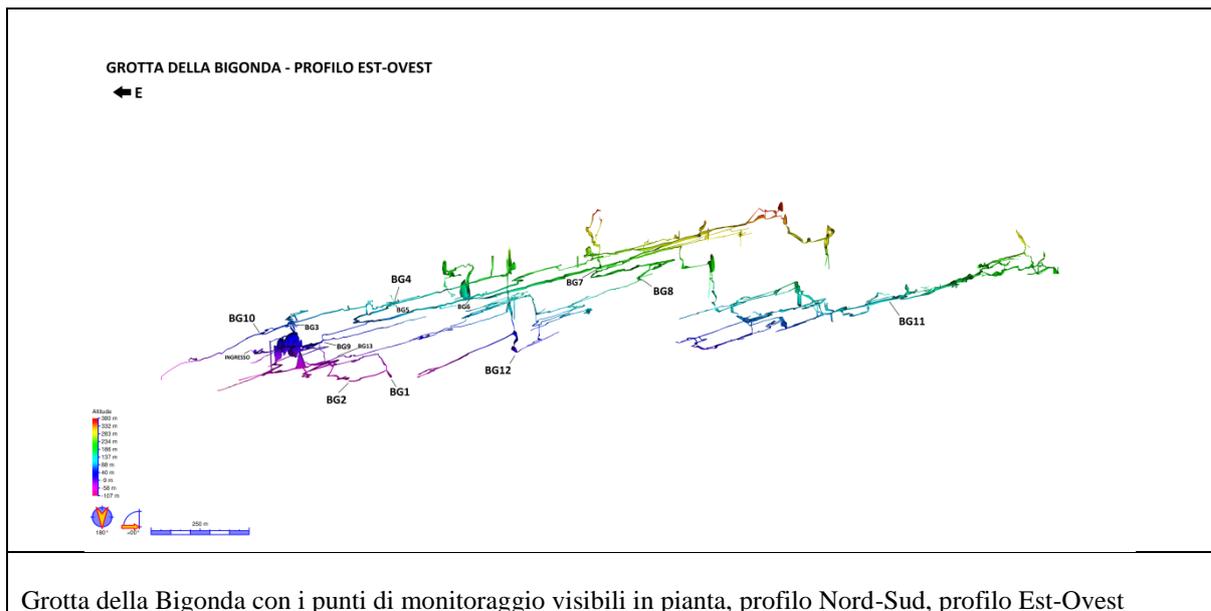
Di seguito vengono descritti i punti di monitoraggio all'interno delle grotte, iniziando dalla grotta della Bigonda.



GROTTA DELLA BIGONDA - PROFILO NORD-SUD

← S





BG0-Ingresso

Punto di ingresso della Grotta della Bigonda, posto a quota 400 m s.l.m. Dall'ingresso si scende una rampa lunga 15 m e si arriva al sifone perenne d'ingresso. Esso viene svuotato solo per tre mesi all'anno, durante la magra invernale, in occasione delle esplorazioni. Il sistema di svuotamento avviene con delle tubazioni sfruttando il principio dei vasi comunicanti. Normalmente è chiuso a causa dell'arrivo d'acqua di gocciolio specialmente dalle stalattiti innanzi al Ramo del Grillo.

BG1-Terminale

Il sifone si trova percorrendo il Ramo della Corsa fino a una spaccatura verticale. Si scende per una decina di metri dove la galleria continua orizzontale. Qui vi è un bivio a destra, dopo pochi metri si arriva al sifone Terminale. Esso è alimentato dal suo interno e scarica tramite una fessura verticale che costituisce il troppo pieno. In magra invernale il torrente che entra in questa fessura è di circa 0,7 l/s.

BG2-Smaniotto

Continuando nel Ramo della Corsa, dal bivio del Terminale, si arriva in una galleria in discesa al Lago Smaniotto, uno dei punti altimetricamente più bassi della grotta, circa 90m sotto il livello d'ingresso quindi 310 m s.l.m.. Questo è alimentato da fratture da cui esce il Torrente acque minerali in arrivo da BG4-Apriti Sesamo (vedi descrizione BG4).

BG3-Cima Diaclasi Agostini

La Diaclasi Agostini è una spaccatura che dal livello d'ingresso sale 140 m verticale portando al livello epifreatico sovrastante. Vi è gocciolio che viene raccolto in una vaschetta di plastica e che tracimando scende nella diaclasi.

BG4- Apriti Sesamo

Ubicato nel livello epifreatico di BG3-Cima Agostini, il Sifone Apriti Sesamo chiude una galleria di sezione trasversale h 2,5m x 3m, è stato prosciugato con dei tubi e si è scoperto

essere lungo in tutto 3m. Oltre questo sifone dopo pochi metri la galleria è insabbiata, con arrivo d'acqua e sabbia che alimenta il sifone Apriti Sesamo da cui parte il Torrente Acque Minerali. Questo torrente percorre il tratto iniziale della galleria Bissa Bianca, si collega alla sorgente BG5-Fontanella e entra in un piccolo scarico. Mentre si lavorava con una motopompa nei pressi del Torrente Acque Minerali si dice che degli speleologi al punto BG2-Lago Smaniotto hanno percepito odore di benzina della motopompa e visto l'acqua torbida.

BG5-Fontanella

La Fontanella è una sorgente d'acqua situata nella Galleria Bissa Bianca (epifreatico) in prossimità di spaccature ascendenti con stillicidio, portata 0,07 l/s

BG6-Due Venti

La diaclasi dei Due Venti costituisce un sistema di faglie e fratture che sale intercettando gallerie orizzontali per un'altezza attuale di oltre 200 m. Nel tratto iniziale presenta dimensioni in pianta 20 x 7m e taglia in direzione NNW-SSE la galleria Bissa Bianca. Sul fondo sul lato NNW della Diaclasi in cima a una frana con grossi massi vi è un laghetto alimentato da gocciolio in cui è stato fatto il campionamento.

BG7-Bicio

La diaclasi Bicio costituisce un sistema di fratture e faglie che tagliano NNW-SSE la galleria Bissa Bianca. Lo stillicidio copioso forma un torrente che percorre la Galleria Bissa Bianca fino allo Scarico del Lago Longo dove entra in un laminatoio che scende stringendosi.

BG8-Tiffgruba

Il sifone della Tiffgruba è situato alla base di una frattura che scende una quarantina di metri dall'epifreatico che parte dalla galleria Bissa Bianca e si dirige 1,5 km verso sud, costituendo il punto estremo della grotta verso sud. Il sifone ha grossomodo un diametro di 7 m. Normalmente è alimentato da una piccola sorgente che nasce da uno stretto cunicolo 6 m sopra il sifone.

BG9-Cigno

Il Ramo del Cigno è una diramazione della Galleria Principale. Tale ramo è un laminatoio stretto da cui esce un torrente che proviene dal "Complesso del Bellin" e scarica dopo poche centinaia di metri nei grossi massi sotto la Grande Diaclasi.

BG10-5 Sifoni

Nel livello di BG3-Cima diaclasi Agostini, vi è una galleria che porta alla Bissa Bianca. In questa galleria sono presenti 5 sifoni in serie che scaricano uno nell'altro verso est in delle fratture discendenti nel Ramo Lino. Questi 5 sifoni si svuotano con tubazioni sfruttando il principio dei vasi comunicanti. L'acqua arriva da strette spaccature ascendenti tra cui la più importante prima del Quinto Sifone.

BG11-San Valentino

Torrente con la maggior portata della grotta (40 l/s in magra) situato nella Galleria San Valentino, posta nella zona più a ovest della grotta dove son presenti le gallerie più ampie (30x30m). Per raggiungere tali gallerie si scende 300 metri dalla galleria Bissa Bianca in circa 8 ore di progressione dall'ingresso. Il torrente nasce da grossi massi, percorre la Galleria San Valentino da ovest a est per 500 m e scende in uno stretto laminatoio.

BG12-Alessia

Il sifone Alessia termina la galleria Diaclasotica che è un sistema di fratture fondo 300 m. Il sifone Alessia è un piccolo sifone con acqua limpida, si vede sott'acqua la prosecuzione orizzontale della galleria che potrebbe portare al punto BG11-San Valentino verso Sud-Ovest.

BG13-Bellin

Questo torrente nasce dal sifone Paola e diaclasi Bortolon, percorre la galleria del Bellin fino alla Galleria del Drago dove entra in un piccolo scarico.

BG14-Falchi

Questo corso d'acqua origina da una diaclasi nella Galleria Principale a 150 m dall'ingresso, si accumula in un laghetto e scende nel ramo dei Falchi grazie a una diga artificiale, formando un torrente con pochissima portata. La diga è stata creata con un paio di sassi cementati in quanto normalmente questo torrente alimentava il punto BG0- Ingresso causando la rapida chiusura del lago-sifone iniziale.

BG15-Croce

Piccola venuta d'acqua dal Ramo Croce, si immette nel Lago Longo e viene scaricata nello Scarico del Lago Longo.

BG16-Grillo

Piccolo stillicidio all'ingresso del Ramo del Grillo che alimenta il punto BG0 d'ingresso.



09/04/2017. Notare il gocciolio che forma la cascata del Ramo Alto

CG3-Daniela Est

Torrente che scende da uno stretto cunicolo posto 20 m prima del Sifone Daniela sul lato est. Forma un piccolo laghetto con un rivolo che viene assorbito dalla zona ghiaiosa del Sifone Daniela.



09/04/2017

CG4-By Pass

Nell'Anello del By Pass, che dalla Principale porta alla Chiocciola, al Tredicesimo Laghetto è presente una sorgente posta sulla volta a 2m d'altezza dal sottostante laghetto. Dalla cascata scende un rivolo che alimenta il laghetto e scarica pochi metri più a sud fra dei massi.



09/04/2017

CG5-Sifone Ramo Nuovo

E' un sifone situato in un passaggio stretto nell'unica via di accesso al Ramo Nuovo. Esso potrebbe riempirsi velocemente in caso di piogge bloccando gli esploratori per un tempo attualmente indefinito.

CG-6 Ramo Nuovo

Torrente che nasce dal detrito percorre il Ramo Nuovo per un centinaio di metri poi si disperde nei massi di crollo.

Di seguito vengono descritti i punti di campionamento situati sulla sommità dell'Altopiano di Asiago.

Pd5-Pozzo dei 5

Il Pozzo dei 5 (Pozzo Senza Elle) è situato circa 300m a sud est dell'Abisso del Grankio, in località Bosco del Lagonsin. Si apre a una quota di 1518 m s.l.m. e scende sino a -70 m con pozzi del diametro massimo di 10 m. A -40 m vi è uno stillicidio proveniente da una stretta fessura caratterizzata da un locale colore rosso bruno. In questo punto viene eseguito il campionamento per l'analisi chimica.

MS1-Caimano

L'Abisso del Mistero è una grotta posta sulla sommità dell'altopiano, scoperta nel 2006 da Moreno Cocco (GGV). Dall'ingresso si scende in stretti meandri fino a una trentina di metri di profondità. Da qui parte un pozzo di una cinquantina di metri di diametro che scende 100 m. La grotta continua a scendere in uno stretto cunicolo che raccoglie tutta l'acqua di gocciolio soprastante unendosi in un torrente che forma il punto MS1, lago del Caimano, che poi scarica in uno stretto cunicolo.



21/05/2017 Lago del Caimano in occasione del tracciamento

BIBLIOGRAFIA

- Aide M. T., Aide C., 2012. Rare Earth Elements: Their Importance in Understanding Soil Genesis. International Scholarly Research Network ISRN Soil Science, 11 p.
- Barbieri G., 1987. Lineamenti tettonici degli altopiani trentini e vicentini tra Folgaria e Asiago (Prealpi venete). Mem. Sci. Geol. 39: 257-264.
- Barbieri G., Grandesso P., (a cura di), 2007. Foglio "Asiago" 1:50.000. Note illustrative del F. 082 Asiago. C. Geol. d'Italia alla scala 1:50.000, Ser. Geol. It., 135 p.
- Behrens H., Beims U., Dieter H., Dietze G., Eikmann T., Grummt T., Hanisch H., Henseling H., Käß W., Kerndorff H., Leibundgut C., Müller-Wegener U., Rönnefahrt I., Scharenberg B., Schleyer R., Schloz W., Tilkes F., 2001. Toxicological and ecotoxicological assessment of water tracers. Hydrogeology Journal 9: 321–325.
- Bellocchi E., Boifava F., Dal Molin L., Rossetini G., 2009. Monitoraggio chimico-biologico delle sorgenti dell'Oliero eseguito in occasione del raduno nazionale degli alpini ad Asiago (Vicenza). In: Federazione Speleologica Veneta (a cura di), Speleologia Veneta. Allegato scientifico 6 – 2009. I.N.A.C. Inquinamento Acque Carsiche, pp. 122-126.
- Bertotti G., Picotti V., Bernoulli D., Castellarin A., 1993. From rifting to drifting: tectonic evolution of the South-Alpine upper crust from the Triassic to the Early Cretaceous. S. Cloetingh, W. Sassi, F. Horvath, C. Puigdefabregas (Eds): Basin Analysis and Dynamics of Sedimentary Basin Evolution. Sedimentary Geology 86: 55-76.
- Bini A., Cita M.B. & Gaetani M., 1978 - Southern Alpine Lakes-Hypothesis of an erosional origin related to the messinian entrenchment. Marine Geology 27 (3-4): 271-288.
- Blanckenburg Von F. & Davies J.H., 1995. Slab breakoff: a model for syncollisional magmatism and tectonics in the Alps. Tectonics 14: 120-131.
- Boifava F., Dal Molin L., Marchetto G., 2013. Studio idrogeologico e idrochimico dell'altopiano di Asiago e delle sorgenti di Oliero. Speleologia Veneta 21, pp. 97-123.
- Borsato A., 1995. Analisi chimico-fisiche e monitoraggio di acque di percolazione nella Grotta del Calgeron (Valsugana): primi risultati e implicazioni idrogeologiche. St. Trent. Sc. Nat., Acta Geol. 70 (1993): 79-94.
- Boso G. & D'Alberto L., (a cura di), 2006. Misura delle portate delle principali sorgenti in Val Brenta mediante utilizzo di ADCP. Gennaio-Novembre 2006. ARPAV U.O. Rete Idrografica Regionale. Relazione n° 11/06, 17 p.
- Cantrell K. J., Byrne R. H., 1987. Rare earth element complexation by carbonate and oxalate ions. Geochimica et Cosmochimica Acta 51, 3: 597-605.

Castiglioni G.B., Meneghel M., Sauro U., 1998. Elementi per una ricostruzione dell'evoluzione morfotettonica delle Prealpi Venete. *Suppl. Geogr. Fis. Din. Quat.*, 1: 31-43.

Celi M., 1995. Caratteri chimici delle acque della Sorgente carsica del Cogol dei Siori (Fiume Oliero, Valle del Brenta, Prealpi Venete). *St. Trent. Sc. Nat., Acta Geol.*, 70 (1993): 69-78.

Celi M., 1995. L'acquifero carsico dell'Altopiano dei Sette Comuni: qualità delle acque e circolazione. *Akten des 10° Nationalen Kongresses für Höhlenforschung, Breitenbach/Schweiz 6. Bis 8. Oktober 1995. Schweizerische Gesellschaft für Höhlenforschung (SGH), Spelaologische Kommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SANW)*, pp. 349-356.

Civita M., 1994. Le carte delle vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria & pratica. *Quaderni di tecniche di protezione ambientale. Sezione "Protezione delle acque sotterranee"*, Pitagora Editrice, Bologna, pp. 31 - 325.

D'Agostino V., (2004) — "Sull'affidabilità delle misure di portata nei torrenti montani con il metodo della diluizione salina". 29° Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Trento, 7-10 Settembre 2004. Editoriale Bios, Cosenza. Vol. 1, pp. 1005-1012.

Dal Pra A., Stevan L. 1969. Ricerche idrogeologiche sulle sorgenti carsiche della zona di Valstagna, in destra Brenta, ai piedi dell'Altopiano dei Sette Comuni. *Tecnica Italiana* 10, 12 p.

Dalle Tezze L., 2010. Abisso del Grankio. *Speleologia Veneta* 18, pp. 69-78.

De Vecchi GP., 1966. I filoni basici e ultrabasici dell'Altopiani di Tonezza (Alto Vicentino). *Mem. Ist. Geol. Min. Univ. Padova* 25, 58 p.

De Vecchi GP., Sedeà R., 1995. The Paleogene basalts of the Veneto region (NE Italy). *Mem. Sci. Geol.* 47: 253-274.

De Zanche V., Mietto P., 1989. Il Triassico della Valsugana. *Mem. Sci. Geol.* 41: 163-189.

Dia A., Gruau G., Olivieri-Lauquet G., Riou C., Molenat J., Curmi P., 2000. The distribution of rare earth elements in groundwaters: Assessing the role of source-rock composition, redox changes and colloidal particles. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64, 24: 4131-4151.

Felber M., Veronese L., Cocco S., Frei W., Nardin M., Oppizzi P., Santuliana E., & Violanti D., 2000 – Indagini sismiche geognostiche nelle valli del Trentino meridionale (Val d'Adige, Valsugana, Valle del Sarca, Valle del Chiese). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.* 75: 3-52.

Frigo G., 1995. Aspetti geomorfologici della parte sommitale dell'Altopiano dei Sette Comuni. *St. Trent. Sc. Nat., Acta Geol.* 70 (1993): 37-42.

Ghetti S. & Neri C., 1983. La Formazione di Werfen (Trias Inferiore) della Valsugana (Trento). *St. Trent. Sc. Nat.* 60: 135 – 164.

Gianolla P., De Zanhe V., Mietto P., 1998. Triassic Sequence Stratigraphy in the Southern Alps (Northern Italy). In: P.C. De Graciansky, J. Hardenbol, T. Jacquin, P.R. Vail & D. Ulmer-Scholle (Eds): *Mesozoic-Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins*. S.E.P.M. Spec. Publ. 60: 723-751.

Johannesson K. H., Stetzenbach K. J., Hodge V. F., Lyons W. B., 1996. Rare earth element complexation behavior in circumneutral pH groundwaters: Assessing the role of carbonate and phosphate ions. *Earth and Planetary Science Letters* 139: 305-319.

Magaldi D. & Sauro U., 1982. Landforms and soil evolution in some karstic areas of the Lessini Mountains and Monte Baldo (Verona, Northern Italy). *Geogr. Fis. Dinam. Quat.* 5: 82-101.

Maillet E., 1905. *Essais d'hydraulique souterraine et fluviale*. Librairie Sci., A. Hermann, Paris, 218pp.

Marighetti R., Marighetti S., Maccabelli C., 2016. *Mappa della grotta della Bigonda*. Gruppo Grotte Selva.

Marighetti S., 2015. Structural control on the Bigonda cave development. NE area of 7 Comuni Plateau. BSc Thesis, Scienze Geologiche, Università degli studi di Padova, Padova, 21 p.

Martire L., 1996. Stratigraphy, facies and sedimentary tectonics in the Jurassic Rosso Ammonitico Veronese (Altopiano di Asiago, NE Italy). *Facies* 35:209-236.

Masetti D., Claps M., Giacometti A., Lodi P., Pignatti P., 1998. I Calcari Grigi della Piattaforma di Trento (Lias inferiore e medio, Prealpi Venete). *Atti. Tic. Sc. Terra* 40: 139-183.

Meneghel, M., Sauro U., Baciga, M. L., Fileccia A., Frigo G., Toniello V., Zampieri D., 1986. Sorgenti carsiche ed erosione chimica nelle Prealpi Venete- studi Trentini di Scienze Naturali 62, A.G., pp. 145-172

Mietto P. & Sauro U. (a cura di), 2000. *Grotte del Veneto. Paesaggi carsici e grotte del Veneto*, II ed. Regione del Veneto & La Grafica ed. Vago di Lavagno, pp. 480.

Miorandi R., Borsato A., Zandonati M., 2005. Monitoraggio annuale dei parametri di conducibilità elettrica e temperatura dell'acqua nell'Abisso di Malga Fossetta. *Atti del XIII Convegno Regionale di speleologia del Trentino-Alto Adige: Villazzano, 8-9 ottobre 2005*. Società degli alpinisti tridentini, Biblioteca della montagna, Trento, 2007, pp 187-196.

Perna G. & Sauro U., 1979 *Atlante delle microforme di dissoluzione carsica superficiale del Trentino e del Veneto*. *Mem. Museo Tridentino Sc. Nat.* 22: 1-176.

- Pilli A., Sapigni M., Zuppi G.M., 2012. Karstic and alluvial aquifers: a conceptual model for the plain – Prealps system (northeastern Italy). *Journal of Hydrology*, 464-46, pp 94-106.
- Piper D. Z., 1974. Rare-Earth Elements in the SediCycle: A Summary. *Chemical Geology* 14: 285-304.
- Premoli Silva I., Erba E., Salvini G., Locatelli C., Verga D., 1999. Biotic changes in Cretaceous oceanic anoxic events of the Tethys. *Journ. Of Foraminiferal Res.*, 29: 352-370.
- Sauro F., 2012. Le grotte di Oliero: un mondo oltre i sifoni. *Speleologia Veneta* 20, pp 25-38.
- Sauro U., 1995. Dinamica geomorfologica e vulnerabilità della risorsa acqua nell'Altopiano dei Sette Comuni (Prealpi Venete). *St. Trent. Sc. Nat., Acta Geol.* 70 (1993): 43-52.
- Sturani C., 1971. Ammonites and stratigraphy of the “Posidonia alpina” beds of the Venetian Alps (Middle Jurassic, mainly Bajocian). *Mem. Ist. Geol. Min. Univ. Padova* 28: pp.188.
- Zampieri D., 1995. Le fratture del settore settentrionale dell'Altopiano dei Sette Comuni: analisi e ruolo nella circolazione idrica sotterranea. *St. Trent. Sc. Nat., Acta Geol.* 70 (1993): 21-36.
- Zampieri D., 1995b. Tertiary extension in the southern Trento Platform, Southern Alps, Italy. *Tectonics* 14: 645-657.
- Zampieri D., Massironi M., Sedeà R., Sparacino V., 2003. Strike-slip contractional stepovers in the Southern Alps (northeastern Italy). *Ecl. Geol. Helv.* 96: 115-123.
- Zanferrari A., Bollettinari, G., Carobene, L., Carton, A., Carulli, G., Castaldini, D., Cavallin A., Panizza M., Pellegrini G., Pianetti F., Sauro U., 1982. Evoluzione neotettonica dell'Italia nord-orientale. *Memorie di scienze geologiche* 35, pp. 355-376.
- Zavaroni G.M., 2015. Studio idrogeologico dell'acquifero carsico dell'Altopiano dei Sette Comuni (Provincia di Vicenza). MSc Thesis, Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Politecnico di Milano, Milano, 125 p.

SITOGRAFIA

Regione Veneto, Infrastruttura dei dati territoriali. <http://idt.regione.veneto.it>

Provincia Autonoma di Trento, Portale geocartografico trentino
<http://territorio.provincia.tn.it>

Provincia Autonoma di Trento, Protezione Civile, Meteotrentino.
<http://meteotrentino.it/>

RINGRAZIAMENTI

Era l'inverno del 2011, c'era il sole e faceva caldo in quella caletta tropicale. Il mare era furioso e non ci aveva permesso di entrare nella grotta costiera che dovevamo esplorare quel giorno. Per ciò avevamo deciso di trascorrere una mattinata di riposo, dopo quasi un mese trascorso nella foresta filippina. Discutevo con Carla del mio futuro, avevo appena finito la scuola superiore e avevo sempre pensato che sarei subito andato a lavorare. Invece ero capitato in una spedizione scientifica, a contatto con geologi, biologi, fotografi, tutti speleologi. La loro vita e le loro ricerche avevano iniziato ad incuriosirmi, iniziavo a pensare di volerla vivere anch'io. Dove abito sono immerso nella natura, son sempre stato curioso, ho sempre voluto capirla. Per questo leggevo spesso di geologia, ma mai avrei pensato di iscrivermi all'università. Studiare mi affaticava, preferivo correre per le mie montagne senza pensare a niente. Quella mattina, in quella caletta, è scattata in me la scintilla e di lì a poco mi sarei iscritto a geologia.

Concretamente non avrei mai potuto intraprendere questo percorso senza il supporto della mia famiglia Tiziano, Luciana e Romina e a loro va sicuramente il ringraziamento più grande. Poi nella mia vita è arrivata Chiara che mi ha supportato e sopportato in questi anni universitari e soprattutto nell'intenso periodo di stesura della tesi. Un grazie anche alla famiglia Braus-Zanvettor per l'ospitalità durante la terribile tratta ferroviaria Selva-Bolzano-Bologna. Non potrò mai ringraziare a sufficienza Mez e Ivy per avermi accolto in casa loro il primo periodo a Bologna prima di trovare un appartamento in cui vivere, appartamento che in seguito ho condiviso con Debby e i suoi gattacci che ogni giorno attentavano ai miei elaborati in quanto amavano sdraiarsi sulla tastiera del mio computer incustodito.

Un grazie alle numerose persone che hanno contribuito a questa ricerca, anche a quelli che per mia dimenticanza non riporto qua sotto, a cominciare da quel pranzo in un bar di Bologna con gli amici Cesco e Jo, quando abbiamo deciso l'argomento di tesi. A tutti i membri storici del Gruppo Grotte Selva che passo dopo passo hanno scoperto un immenso mondo che si articola all'interno dell'Altopiano, in particolare agli speleologi che hanno partecipato in prima persona a questa ricerca: Alex Baldi, Bruno Marighetti, Denis Dal Ceggio, Elia Marighetti, Emiliano Stefani, Fabio Minati, Francesca Zanella, Francesco Scarpa, Jacopo Gonzo, Johnny Carraro, Livio Peruzzo, Mario Smaniotto, Ottavio Smaniotto, Piero Andreaus, Ruggero Marighetti, Sergio Bellin.

Grazie ai professori Jo De Waele, Maria Filippini, Bartolomeo Vigna, Alessandro Fiorucci per il confronto scientifico.

A Michele Sivelli appassionato e preciso custode della biblioteca di speleologia Anelli.

Al Servizio Geologico di Trento, in particolare a Mauro Zambotto, Paola Visintainer, Gianluca Tommasi ma più di tutti a Marco Paoli e al suo efficiente e preciso lavoro.

A Lucio D'Alberto di ARPAV e ai suoi preziosi consigli.

Alla Federazione Speleologica Veneta, in particolare a Luca Dal Molin, Edoardo Bellocchi, Gianluigi Rossettini, Giulio Panato, Arianna Tartara, appartenenti al Club Speleologico Proteo di Vicenza e a Alberto Riva, con loro ho trascorso parecchie avventure alle sorgenti del Canale del Brenta.

A Moreno Cocco del Gruppo Grotte Valdagno e Francesco Minuzzo del Geo CAI Bassano, per aver reso possibile il tracciamento dall'Abisso del Mistero.

A Giovanna del Gruppo Grotte Giara Modon e assessore del Comune di Valstagna per aver soddisfatto in tempi brevissimi qualsiasi mia richiesta.

Ai ragazzi di Ivan team per l'accesso e il piacevole tempo trascorso al Parco delle grotte di Oliero.

E ancora un grazie a tutti i nuovi amici incontrati in questi anni universitari e a tutti gli amici che ho trascurato durante il mio cammino universitario distante da casa.

Non vedo l'ora di tornare a correre per le mie montagne, ma non potrò più pensare a niente mentre lo farò, ormai con le montagne ci parlo, le leggo, le capisco.