

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Geoscienze

Direttore Prof. Fabrizio Nestola

TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN GEOLOGIA E GEOLOGIA TECNICA

**Caratterizzazione idrogeologica della sorgente del Meschio
in Savassa Alta, Vittorio Veneto, TV**

Laureando:

Luca Dei Cont

Matricola n. 1190619

Relatore:

Prof. Paolo Fabbri

Correlatori:

Dott. Alessio Fileccia

Prof. Luca Zini

Anno Accademico 2019/2020

Ringraziamenti

Mi sento in dovere di ringraziare in primis i miei genitori per il sostegno economico, morale e psicologico che mi hanno dato in questi cinque anni di duro lavoro e di sacrifici. Ho raggiunto questo traguardo anche grazie a loro. Particolare ringraziamento va anche ai parenti tutti che mi hanno appoggiato durante questo percorso.

Si ringraziano anche tutti i miei amici che mi hanno sostenuto nel mio percorso formativo e tutti i miei compagni di corso per i momenti passati assieme tra lezioni, escursioni, avventure, risate e ore di studio in università.

Si desidera ringraziare tutti i professori di questi cinque anni che con il loro impegno, la loro professionalità, i loro insegnamenti e la loro disponibilità hanno saputo trasmettere l'amore verso questa materia.

Si desidera infine ringraziare il Professore Paolo Fabbri, il Professore Luca Zini e il Dottor Alessio Fileccia per la loro massima disponibilità nell'aiutarmi in questo lavoro di tesi.

Si ringraziano, inoltre, tutte le persone consultate nella stesura di questa tesi di laurea.

INDICE

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO PRIMO	3
1.1 Procedure generali di studio in zone carsiche	3
1.2 Delimitazione dei bacini idrogeologici	4
CAPITOLO SECONDO	7
2.1. Descrizione generale della metodologia seguita	7
2.2. Inquadramento generale	7
2.3. Geomorfologia dell'area di studio	10
2.4. Aspetti geologici dell'area di studio	19
2.5. Aspetti tettonici dell'area	23
CAPITOLO TERZO	27
3.1. Caratteristiche idrogeologiche della Val Lapisina	27
3.2. Caratteristiche dell'acquifero della sorgente del Meschio	38
3.3. Descrizione carta idrogeologica allegata	40
CAPITOLO QUARTO	43
4.1. Campionamento chimico	43
4.2. Chimismo delle acque sorgive	44
CAPITOLO QUINTO	47
5.1. Strumenti e procedura	47
5.2. Rete pluviometrica	49
5.3. Osservazioni generali sui dati della sorgente del Meschio	56
5.4 Misure di portata	66
5.5. Analisi statistica dei dati	68
5.5.1. Analisi statistica dei dati del monitoraggio maggio 2017- dicembre 2018	69
5.5.2. Analisi statistica dei dati del monitoraggio settembre 2019-maggio 2020	79
5.6. Indice VESPA	87
5.7. Bilancio idrogeologico	89
5.8. Modello idrogeologico concettuale	93
CAPITOLO SESTO	97
6.1. Conclusioni finali	97
BIBLIOGRAFIA	99

INTRODUZIONE

Questo lavoro di tesi magistrale in Geologia e Geologia Tecnica è stato effettuato al fine di studiare il comportamento della sorgente del Fiume Meschio ubicata alla quota di 220 m s.l.m. in località Savassa Alta, Vittorio Veneto, Treviso e di ricostruire il suo bacino idrogeologico situato sul versante orientale del Col Visentin. Tale studio è stato avviato in ambito di tesi triennale nel 2017. Dunque, di conseguenza, questo lavoro di tesi magistrale risulta essere la naturale prosecuzione di quanto fatto in ambito di tesi triennale attraverso la continuazione del monitoraggio ed attraverso l'esecuzione di ulteriori indagini. Nello specifico tale studio è stato diviso in quattro fasi: rilevamento, monitoraggio, analisi statistica dei dati ed, infine, campionamento chimico. La prima fase è stata eseguita per osservare e rilevare litologie, fratturazione dell'ammasso roccioso, giaciture, limiti stratigrafici, faglie. Nella seconda fase sono stati installati due strumenti nei pressi della sorgente, uno al fine di rilevarne la temperatura, conducibilità, il livello e l'altro per monitorare la pressione e la temperatura atmosferica. La terza ha riguardato l'analisi statistica dei dati raccolti mentre la quarta è stata eseguita tramite l'analisi chimica anche delle acque delle sorgenti presenti nella valle. In aggiunta, sono stati raccolti i dati pluviometrici su otto diverse stazioni pluviometriche ubicate nella zona.

In seguito, è stata fatta una carta idrogeologica e una geologica esclusive della zona studiata attraverso l'utilizzo di ArcMap con i dati forniti dall'archivio shapefile della Regione Veneto e diverse sezioni sia geologiche che idrogeologiche.

Sono stati, successivamente, elaborati i dati raccolti da ciascuna fase di lavoro in maniera tale da poterli confrontare e poter, dunque, fare delle ipotesi sul comportamento e sul possibile bacino idrogeologico della sorgente del Meschio.

CAPITOLO PRIMO

1.1 Procedure generali di studio in zone carsiche

Nelle zone carsiche esistono diverse procedure da seguire al fine di eseguire uno studio di carattere idrogeologico. Il primo passo è il rilevamento idrogeologico, che costituisce l'insieme di tutte quelle operazioni necessarie da effettuare sia sul terreno sia in laboratorio al fine di avere un'acquisizione diretta dei dati che permettano di definire delle situazioni idrogeologiche e di ottenere la relativa cartografia tematica. Tale rilevamento si diversifica in base a diversi fattori quali metodi adottati, morfologia e ampiezza del territorio oggetto di studio, scala di restituzione (Civita, 2005).

Il rilevamento idrogeologico ha in genere una fase di raccolta dei dati di base relativi al territorio in questione che avviene mediante *“l'acquisizione di misure, prove e analisi quali aereofotografie, indagini geofisiche, esplorazione speleologica, etc.”* (Civita, 2005). In aggiunta, vi è una fase preliminare di raccolta dei dati preesistenti ed una ricerca bibliografica; dati che coprono diversi aspetti del territorio e dell'ambiente oggetto di studio che sia esso sotterraneo o subaereo. Nello studio di carattere idrogeologico, la tipologia delle informazioni da raccogliere è molto vasta e riguarda topografia, climatologia, idrologia, idrogeologia, idrochimica e uso delle acque sotterranee.

I metodi di rilevamento idrogeologico sono caratterizzati da diverse fasi:

- rilevamento diretto di campagna** utile a osservare tutte quelle che sono le caratteristiche morfologiche, litologiche, tettoniche del territorio;
- rilevamento dei suoli** con la determinazione dei caratteri macroscopici degli stessi;
- rilevamento geomeccanico** finalizzato alla definizione della geometria dei serbatoi mediante lo studio delle caratteristiche proprie delle discontinuità quali giacitura, persistenza, spaziatura, apertura, scabrezza, riempimento, alterazione del riempimento, presenza o meno di acqua;
- misura** delle diverse estensioni del territorio oggetto di studio e localizzazione, ove possibile, degli ingressi e uscite del sistema in esame;
- indagine di carattere geofisico** se possibile (Civita, 2005);
- misure di portata** atte a conoscere la quantità di acque che si muovono nell'area studiata. Generalmente tali misure possono essere eseguite manualmente oppure in continuo mediante l'utilizzo di strumenti; per le misure di carattere manuale si ricorre a misure puntuali mentre per quelle in continuo si abbina alla strumentazione automatica una o più strutture idrauliche che permettono di fare una restrizione calibrata del canale permettendo di controllare la velocità di flusso. Queste strutture si dividono in stramazzi e canali di misura (Vigna, 2001);
- utilizzo dei traccianti artificiali** per individuare i limiti di una struttura idrogeologica e capire il funzionamento di un sistema nel caso in cui questo presenti un comportamento carsico. Solitamente si usano delle sostanze con particolari caratteristiche quali fluoresceina e tinopal. La prima è una sostanza in polvere avente un colore rosso che, una volta mescolata con l'acqua, fornisce un colore verde fluorescente mentre il secondo ha un colore giallognolo e fornisce all'acqua una lieve opalescenza di color azzurrino. Essendo una sostanza che viene mescolata all'acqua, il tracciante subisce delle influenze in base alla complessità del circuito idrodinamico; di conseguenza il tracciante viene rilevato alle emergenze in concentrazioni e tempi diversi. Effettuando adeguate analisi di laboratorio si ottiene una curva detta di *“restituzione”* dalla quale è possibile ottenere delle informazioni utili a comprendere il funzionamento di un determinato sistema. Esistono tre tipi di curve: la restituzione ad impulso unico data da una curva a picco centrale con valori di aumento e

diminuzione abbastanza pronunciati; la restituzione ad impulsi multipli data dalla successione di tutta una serie di picchi causati dai diversi tragitti che segue il tracciante con velocità differenti in tempi anche piuttosto lunghi; la restituzione dispersiva è data da un segnale che arriva all'emergenza in tempi solitamente molto lunghi e a concentrazioni basse dovuto ad un'elevata dispersione del colorante a causa di una complessa rete di fatturazione (Vigna, 2001);

-analisi idrogeochimiche che possono fornire ulteriori informazioni e talvolta conferme sul circuito idrodinamico e sulla struttura dell'acquifero oltre all'evoluzione del fenomeno carsico. In un'acqua carsica si definiscono, in genere, come elementi maggiori, otto composti sottoforma di cationi (calcio, magnesio, potassio, sodio) e anioni (bicarbonati, solfati, cloruri e nitrati) (Vigna, 2001).

1.2 Delimitazione dei bacini idrogeologici

Le operazioni descritte sopra consentono, dopo un'attenta e critica analisi, di stabilire da che area provenga l'acqua che alimenta una determinata sorgente ricostruendo perciò il cosiddetto "bacino idrogeologico".

Particolare importanza assume il concetto di acquifero. Generalmente gli acquiferi si dividono in porosi, fessurati e carsici, dove il primo è caratterizzato da un serbatoio in materiale sciolto mentre gli altri due da ammassi rocciosi permeabili per fratturazione o per carsismo. Il serbatoio di alimentazione della sorgente del Meschio è di tipo carsico e si sviluppa in un complesso carbonatico. In un sistema carsico si riconoscono generalmente da diverse parti con funzionalità e modalità di circolazione differenti (Fig. 1.1). Si definiscono, infatti, l'area di alimentazione, la zona non satura, la zona satura e l'area sorgiva (Vigna, 2001).

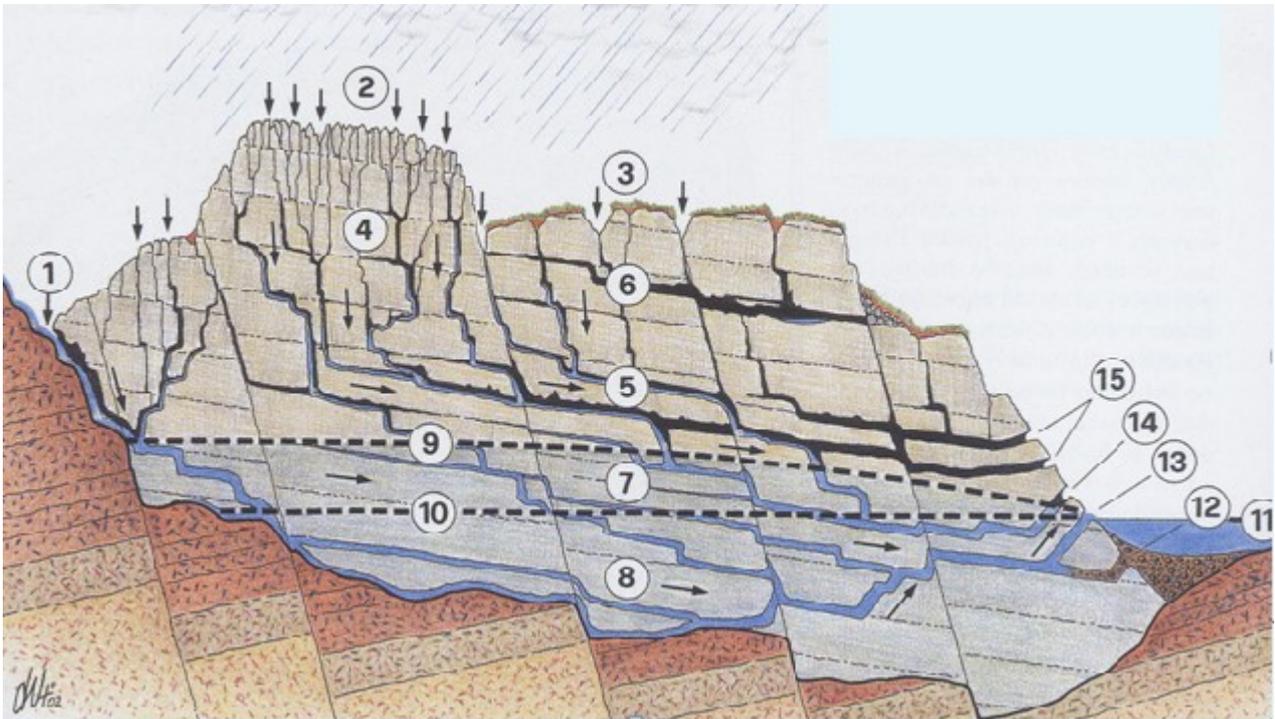


Fig. 1.1: Zonazione di un sistema carsico. AREA DI ALIMENTAZIONE: 1) Infiltrazione concentrata; 2) Infiltrazione diffusa; 3) Travasi. ZONA NON SATURATA: 4) Zona di trasferimento; 5) Zona di scorrimento; 6) Gallerie fossili. ZONA SATURATA: 7) Zona di oscillazione; 8) Collettori; 9) Altezza massima livelli idrici; 10) Altezza minima livelli idrici. AREA DI EMERGENZA: 11) Livello di base; 12) Sorgente subalveare; 13) Sorgente perenne; 14) Troppo- pieno; 15) Ingressi fossili. (modificato da Vigna, 2009)

Come si può notare dalla figura 1.1, in un sistema carsico, la geometria del serbatoio e le caratteristiche dell'acquifero influenzano significativamente le modalità con le quali avviene l'infiltrazione delle acque, la circolazione sotterranea e la portata alle sorgenti. Il monitoraggio dei parametri chimico-fisici delle acque sotterranee rappresenta un valido strumento per comprendere l'idrodinamica e il grado di carsificazione di un'idrostruttura.

Seguendo quanto proposto da Vigna (2001), dal monitoraggio in continuo è possibile riconoscere tre diversi modelli concettuali. Il primo, detto sistema con rete a dreno dominante, è caratterizzato dalla presenza di vie di drenaggio preferenziali con una determinata organizzazione di tale vie e dalla assenza di una zona satura tradizionale. Seguendo il modello dell'indice VESPA questo è un acquifero dotato di elevata permeabilità e vulnerabilità molto elevata le cui acque di neoinfiltrazione arrivano molto velocemente alla zona satura provocando la sostituzione delle acque con una diminuzione della mineralizzazione.

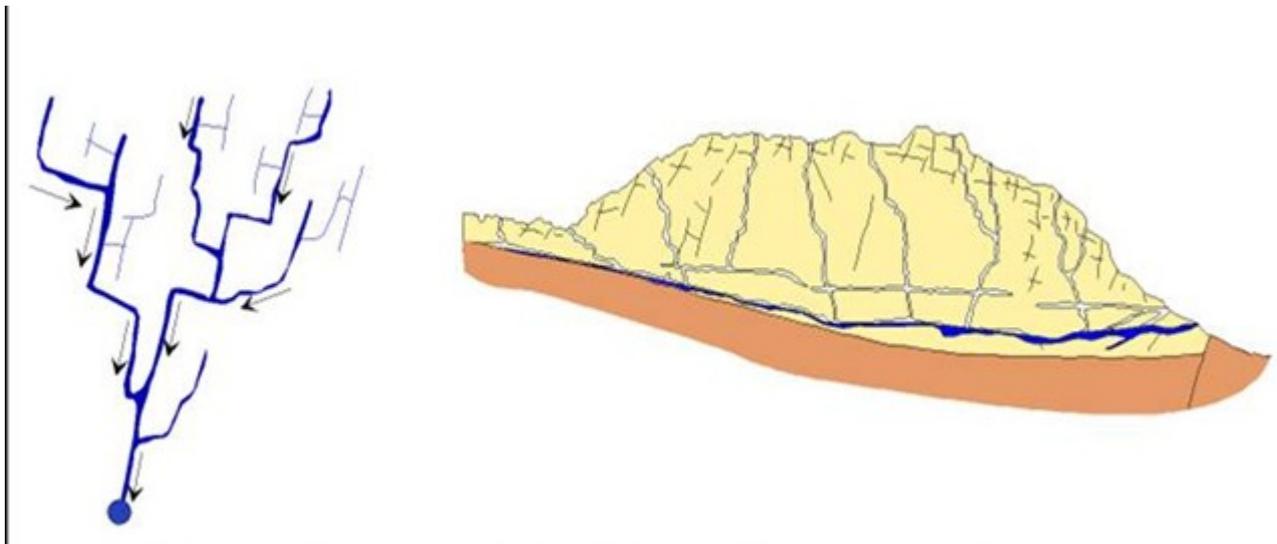


Fig. 1.2: Planimetria e sezione di un sistema a dreno dominante (modificato da Vigna, 2001)

Il secondo, detto sistema con rete a dreni interdipendenti, presenta numerose vie di drenaggio interdipendenti con una circolazione di tipo semidispersiva a causa della rete di condotti e fratture. Seguendo il modello dell'indice VESPA questo è un acquifero dotato di media permeabilità e vulnerabilità intermedia le cui acque di rimobilizzano le acque della zona satura provocando un aumento della mineralizzazione e della temperatura della sorgente.

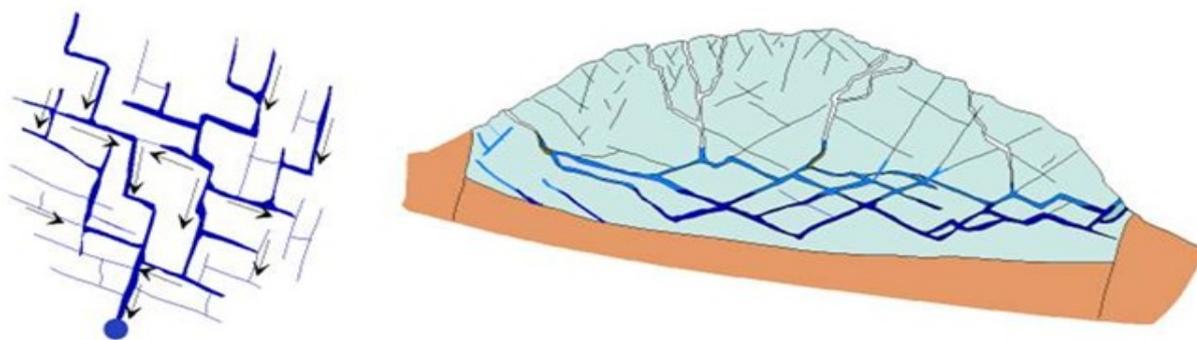


Fig. 1.3: Planimetria e sezione di un sistema a dreni interdipendenti (modificato da Vigna, 2001)

Il terzo, detto sistema con rete a circolazione dispersiva, interessa gli ammassi fratturati e, quindi, mancanza di drenaggio preferenziale e una circolazione dispersiva. Vi è inoltre la classica zona satura (Vigna, 2001). Seguendo il modello dell'indice VESPA questo è un acquifero dotato di bassa permeabilità e vulnerabilità medio-bassa le cui acque si muovono molto lentamente nella rete di drenaggio con temperatura e mineralizzazione che rimangono all'incirca costanti alla sorgente.

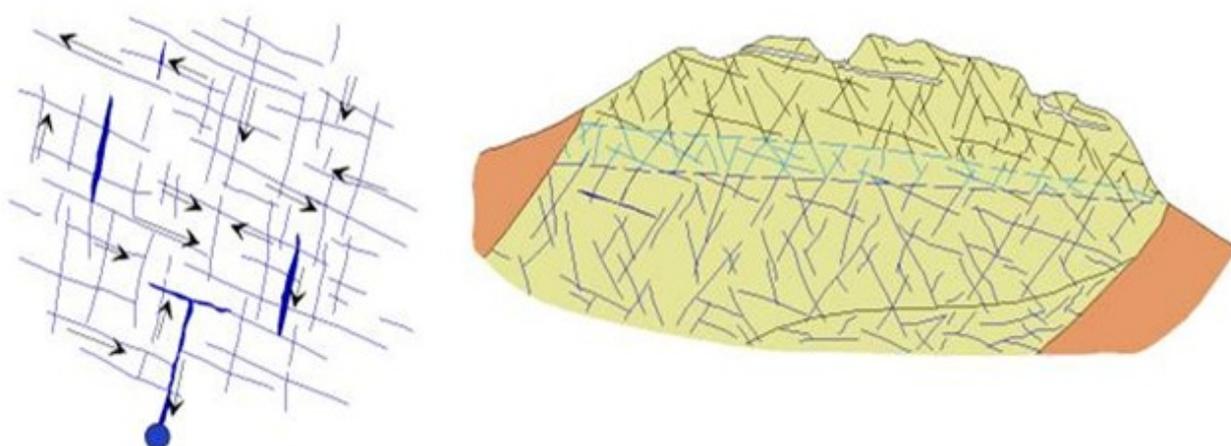


Fig. 1.4: Planimetria e sezione di un sistema a circolazione dispersiva (modificato da Vigna, 2001)

CAPITOLO SECONDO

AREA DI STUDIO

2.1. Descrizione generale della metodologia seguita

Questo lavoro di tesi ha avuto inizio raccogliendo in prima istanza tutti i dati disponibili sulla zona. Si è dunque effettuato:

- ricerca bibliografica;
- sopralluogo dell'area di studio;
- rilevamento geologico speditivo a verifica dei dati bibliografici acquisiti;
- installazione di un Diver CTD e di un BaroDIVER;
- raccolta costante dei dati pluviometrici;
- costruzione di una carta idrogeologica e una geologica;
- raccolta dei dati dagli strumenti installati;
- analisi statistica dei dati di monitoraggio;
- campionamento chimico delle acque di alcune delle sorgenti nella valle.

La prima fase è stata quella di effettuare un'approfondita ricerca bibliografica. Nello specifico, tale ricerca ha coinvolto sia privati che enti pubblici (biblioteche, Acquedotto Sinistra Piave, Comune di Vittorio Veneto). Sono stati raccolti diversi libri, articoli, relazioni tecniche, lavori sulla Val Lapisina e, in aggiunta, la cartografia necessaria.

Nella seconda fase è stata effettuata un'analisi geomorfologica volta a riconoscere le principali strutture presenti, ad individuare la conformazione della valle e a cercare di capire i processi che hanno portato alla formazione di quest'ultima. In secondo luogo, è stato effettuato un rilevamento geologico/geomorfologico mirato a individuare le unità geologiche, le faglie, le strutture tettoniche, l'assetto strutturale, i limiti litologici, le strutture morfologiche e carsiche. Tutto ciò è stato eseguito mediante l'ausilio della Carta Geologica in scala 1:10000-Sezione 063160 San Floriano. Questo al fine di verificare la validità del materiale bibliografico acquisito.

A maggio 2017, dopo la messa in opera dell'adeguata struttura di sostegno, sono stati installati due strumenti forniti dal Dipartimento di Matematica e Geoscienze dell'Università di Trieste e dal Dipartimento di Geoscienze di Padova ovvero un Diver CTD e un BaroDIVER. Il primo permette di rilevare temperatura dell'acqua, conducibilità elettrica dell'acqua e il livello della sorgente mentre il secondo misura la pressione e temperatura atmosferica.

Nel frattempo, sono stati raccolti i dati pluviometrici forniti dall'ARPA Veneto delle seguenti stazioni: Vittorio Veneto, La Secca, Nogarolo, San Antonio Tortal, Tramedere, Torch, Belluno, Col Indes.

Altra fase importante è stata quella del campionamento chimico, avvenuto il 6/03/20 che ha riguardato tutte le sorgenti i cui campioni dovevano essere analizzati dal laboratorio di idrogeochimica dell'Università di Pisa, ma che, causa l'emergenza sanitaria non si sono potuti realizzare.

2.2. Inquadramento generale

In questo lavoro di tesi è stata analizzata nel dettaglio la sorgente del fiume Meschio posta in località Savassa Alta, ai piedi del Col Visentin all'inizio della Val Lapisina. Scopo di questa tesi è

quello di studiare il comportamento della sorgente in questione e cercare di ricostruire il suo bacino idrogeologico.

Il Col Visentin, collocato all'interno della Val Lapisina, è alto 1763 m s.l.m. ed è la cima più elevata della dorsale Prealpina collocata tra Val Belluna e la provincia di Treviso estendendosi, in particolare modo, tra la stretta di Quero e la Sella del Fadalto e presentando, dal lato lapisino, dei ripidi versanti di origine glaciale mentre, dal lato bellunese, dei versanti meno acclivi di origine fluviale.

La Val Lapisina si trova in comune di Vittorio Veneto, in provincia di Treviso, ed è confinante a N con il comune di Farra d'Alpago, a E con il comune di Fregona, a W con il comune di Belluno e il comune di Tarzo Revine Lago.

La Val Lapisina, dal punto di vista morfologico, è un ampio e profondo solco vallivo con direzione NNE-SSW, limitata a N dalla sella del Fadalto (489 m s.l.m.), a E dal Monte Millifret (1581 m s.l.m.) e dal Monte Pizzoc (1655 m s.l.m.), a W dal Col Visentin (1763 m s.l.m.), a S dall'anfiteatro morenico di Vittorio Veneto.

Il fondo vallivo della Val Lapisina è contraddistinto dalla presenza di tre principali specchi lacustri quali: il Lago Morto, il Lago del Restello, il Lago di Negrisiola.

Allo sbocco meridionale si colloca la Città di Vittorio Veneto situata su una zona pianeggiante limitata a S dall'anfiteatro morenico costituito dal ghiacciaio plavense che percorreva la valle (De Nardo, 1996).

Vi sono diverse cime riconoscibili che delimitano altitudinalmente la valle come: il Col dei Magò (1561 m s.l.m.), il Monte Agnelezze (1502 m s.l.m.), il Monte Pezza (1436 m s.l.m.), il Col delle Poiatte (1344 m s.l.m.), il Monte Còr (1322 m s.l.m.). In direzione Nord-Est, si trovano il Col Toront (1655 m s.l.m.), il Monte Faverghera (1611 m s.l.m.), il Monte Pascolet (1278 m s.l.m.) (De Nardo, 1996).



Fig. 2.1: Immagine satellitare con indicate le varie cime (Google Maps, 2017)

La zona in questione è stata oggetto di diversi studi che hanno riguardato molti ambiti. Difatti sono stati eseguiti studi per quanto riguarda la geologia (Bosellini et alii, 1981; Costa et alii, 1996; Della Libera, 2004; Ferasin, 1958; Fontana e Martinis, 1968), la tettonica (Bozzo e Semenza, 1973), lavori sulle acque sia per l'utilizzo di queste (Dal Prà, 1993) sia per un fenomeno passato di inquinamento chimico (Dal Prà, 1993), lavori di tesi (Bozzolan, 1992; De Nardo, 1996) e alcuni libri di carattere sentieristico (Carraro, 2011) o ancora qualche libro di carattere storico (Tomasi, 1989). Per quanto riguarda la cartografia, l'area di studio ricade all'interno delle seguenti sezioni 1:10.000:

- 064130 Fregona-Mezzavilla
- 063160 San Floriano
- 063110 Triches
- 063120 Nevegal
- 063150 Passo San Boldo
- 064090 Fadalto
- 084040 Vittorio Veneto
- 084030 Tarzo

Come ausilio delle attività svolte sono anche state utilizzate diverse foto satellitari ed immagini generali della zona di studio.

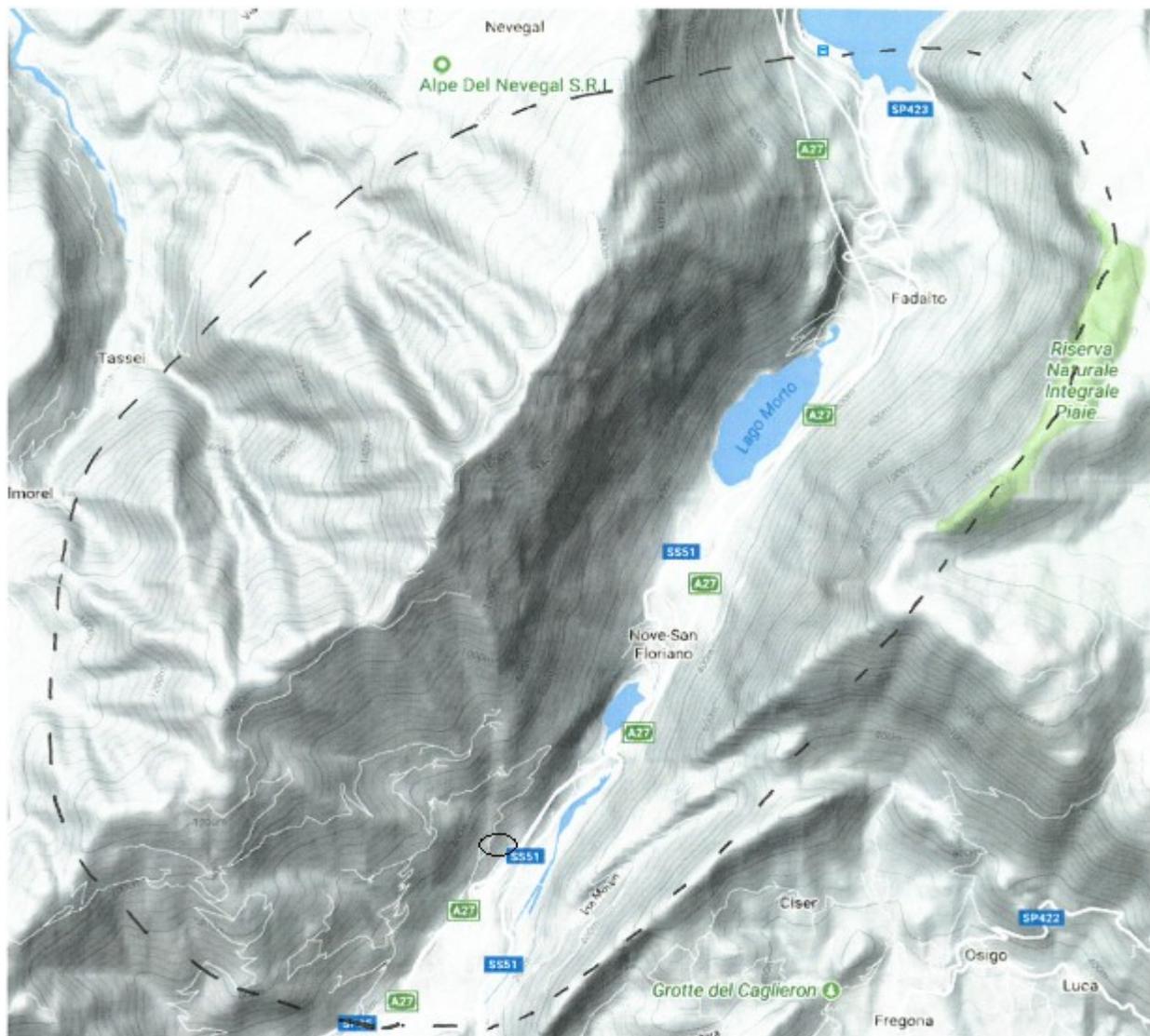


Fig. 2.2: L'area oggetto di studio è indicata all'interno della zona tratteggiata (Google Maps, 2020)

2.3. Geomorfologia dell'area di studio

Dal punto di vista geomorfologico, l'andamento della valle rispecchia le caratteristiche litostratigrafiche ed il modellamento dovuto a fenomeni esogeni: versanti ripidi e scarpate in corrispondenza delle formazioni carbonatiche (versante est del Col Visentin-M. Faverghera e versante ovest del M. Pizzoc), contrapposto ad un paesaggio pianeggiante nel fondovalle costituito da una copertura detritica quaternaria. Tale valle è stata modellata soprattutto dall'azione del ghiacciaio durante l'ultima era geologica che ha eroso e levigato i fianchi della valle creando superfici lisce o striate (De Nardo, 1996).



Foto 2.3: Immagine della Val Lapisina nel suo insieme (Google Maps, 2020)

Particolare importanza nel modellamento della valle, assumono le ultime due glaciazioni ovvero quella rissiana e, soprattutto, quella wurmiana. Della glaciazione rissiana non vi sono depositi morenici nella valle, ma importante è il periodo interglaciale dove le acque di precipitazione unite a quelle di fusione hanno trasportato una grande quantità di detriti (Della Libera, 2004).

L'ultima glaciazione, invece, è quella più importante ai fini del modellamento della valle la quale, si stima, sia iniziata attorno ai 75 mila anni fa a causa di una riduzione della temperatura dell'aria di pochi gradi e dell'aumento delle precipitazioni invernali. Nello specifico, nella glaciazione wurmiana, il ghiacciaio del Piave che scendeva lungo la Val Belluna, nei pressi di Ponte nelle Alpi, si divideva in due lingue: la prima proseguiva verso Ovest lungo la Val Belluna, mentre la seconda si spingeva lungo la Val Lapisina verso Sud. Secondo Della Libera (2004), nella massima espansione il dorso del ghiacciaio del Piave superava i duemila metri di quota per cui solo le montagne più alte emergevano. Nella zona della Val Lapisina questo raggiungeva circa 800 metri di quota per passare a circa 700 metri nella zona nord di Vittorio Veneto. Si stima che la massa di ghiaccio scivolasse ad una velocità di 50-100 metri all'anno erodendo versanti e abbandonando una grande quantità di detriti morenici (Della Libera, 2004).

In seguito, a monte di Vittorio Veneto, una diramazione laterale verso Sud-Ovest interessava la Valle del Soligo come testimoniato dal piccolo anfiteatro morenico di Gai, mentre una seconda diramazione superava le colline del Terziario (Piadera e San Lorenzo) espandendosi in pianura fino a Colle Umberto e San Fior come si nota dalle cerchie moreniche viste come dolci colline che coinvolgono i centri abitati di Cappella Maggiore, Colle Umberto, Scomigo, Ogliano e Carpesica (Dall'Arche et alii, 1979).

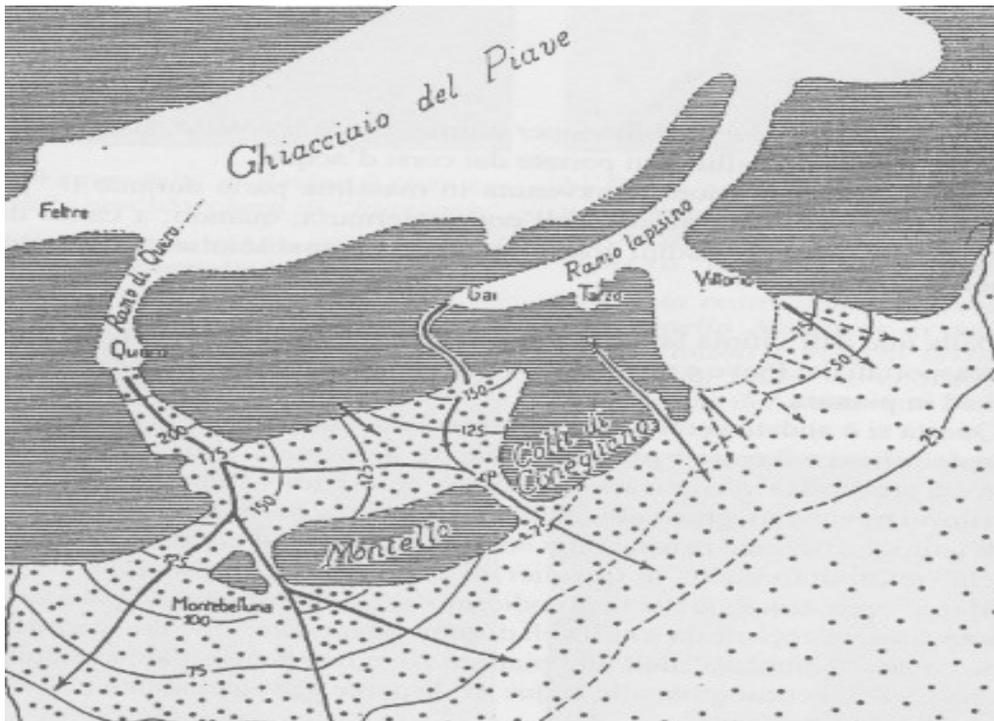


Fig. 2.4: Distribuzione del ghiacciaio plavense (modificato da Della Libera, 2004)

La Val Lapisina, assume, di conseguenza, un profilo trasversale a “U”. La parte più settentrionale risulta essere molto pendente mancando di depositi morenici, mentre è possibile trovare questi nei pressi di S. Croce. Indice, poi, dell’attività glaciale sono delle striature glaciali ritrovabili sul calcare del Vajont nei pressi della località Croda Rossa (Dall’Arche et alii, 1979).

Nei pressi del Fadalto Basso l’azione erosiva del ghiacciaio si fece più intensa sul versante destro creando, al momento del ritiro del ghiacciaio, una morena di fondo che attualmente costituisce un dosso trasversale mentre il versante orientale è poco interessato da tracce e depositi glaciali salvo qualche evidenza di esarazione glaciale o di massi erratici di grandi dimensioni presso Negrisiola.

La valle è, inoltre, costituita da depositi di materiale fluvioglaciale. Questi sono rinvenibili, per esempio, nei pressi delle rive del Lago di Restello dove troviamo un conglomerato cementato ed eterometrico; più a Sud, è rinvenibile materiale fluvioglaciale sciolto caratterizzato da ciottoli poligenici di calcare (De Nardo, 1996).

La glaciazione ha dato vita anche ad una morfologia periglaciale nel versante a Sud della valle. Tale morfologia, legata ad un forte raffreddamento causato dalla presenza del ghiacciaio, ha creato fenomeni erosivi di crioclastismo soprattutto a quote elevate al di sopra di 1700 metri (De Nardo, 1996)

Nell’area di studio, è possibile ritrovare alcune delle tipiche morfologie carsiche. In particolare, dal rilevamento effettuato, si sono osservate alcune doline presenti in cima al massiccio montuoso del Col Visentin. A causa però della copertura terrigena terziaria, il substrato roccioso calcareo si è mantenuto intatto formando solo qualche impaludamento. Fenomeni simili si trovano a Nove Basso dove il materiale detritico-alluvionale non ha permesso, anche grazie a rimanenze di carattere argilloso, la completa infiltrazione dell’acqua (De Nardo, 1996).

Il Col Visentin è interessato, a causa della natura calcarea, da piccole grotte con grandezze variabili, ma, comunque sia, limitate nelle località di Col Toronto, Maren, Col Formigher, Borgo Olivi. Per questo studio sono state utilizzate le informazioni raccolte nel Catasto delle Cavità del Veneto gestito dalla Federazione Speleologica Italiana.

La prima grotta ad essere analizzata è la Spelonca di Camp la quale si trova in località Busa di Camp su versante Nord del Col Visentin in provincia di Belluno. La grotta in questione ha numero catastale 1243 V BL. Ha uno sviluppo spaziale di 280 m con un dislivello positivo pari a zero e un dislivello negativo di 63 m. La grotta non assorbe corsi d'acqua e allo stesso tempo non presenta al suo interno sifoni, depositi o corsi d'acqua. L'accesso principale alla Spelonca di Camp si trova a quota 1500 m s.l.m. ed è completamente libero.

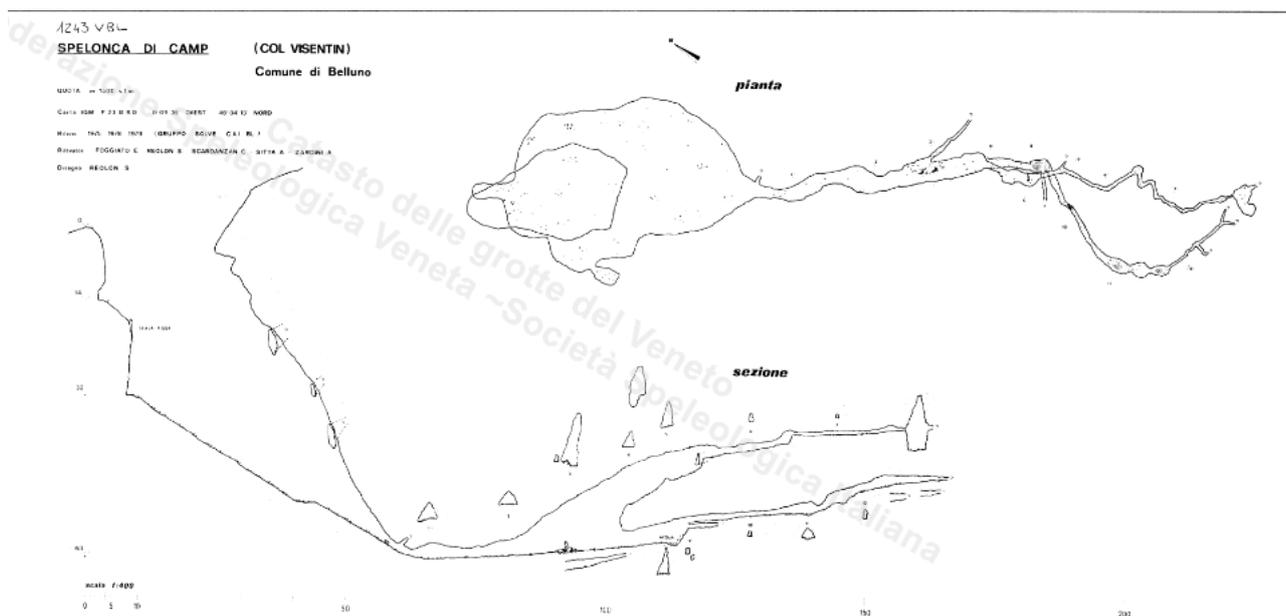


Fig. 2.5: Immagine riportante pianta e sezione della Spelonca di Camp (Catasto Cavità del Veneto)

La seconda grotta ad essere analizzata è la grotta Bus Sora Trubian la quale si trova in località Borgo Trubian-Fais sul Col Visentin nel comune di Vittorio Veneto. La grotta in questione ha numero catastale 2101 V TV. Ha uno sviluppo spaziale di 12 m con un dislivello positivo pari a zero e un dislivello negativo di 5 m. L'accesso principale alla cavità si trova a 755 m s.l.m. ed è completamente libero. Presenta le stesse caratteristiche relative alla Spelonca di Camp.

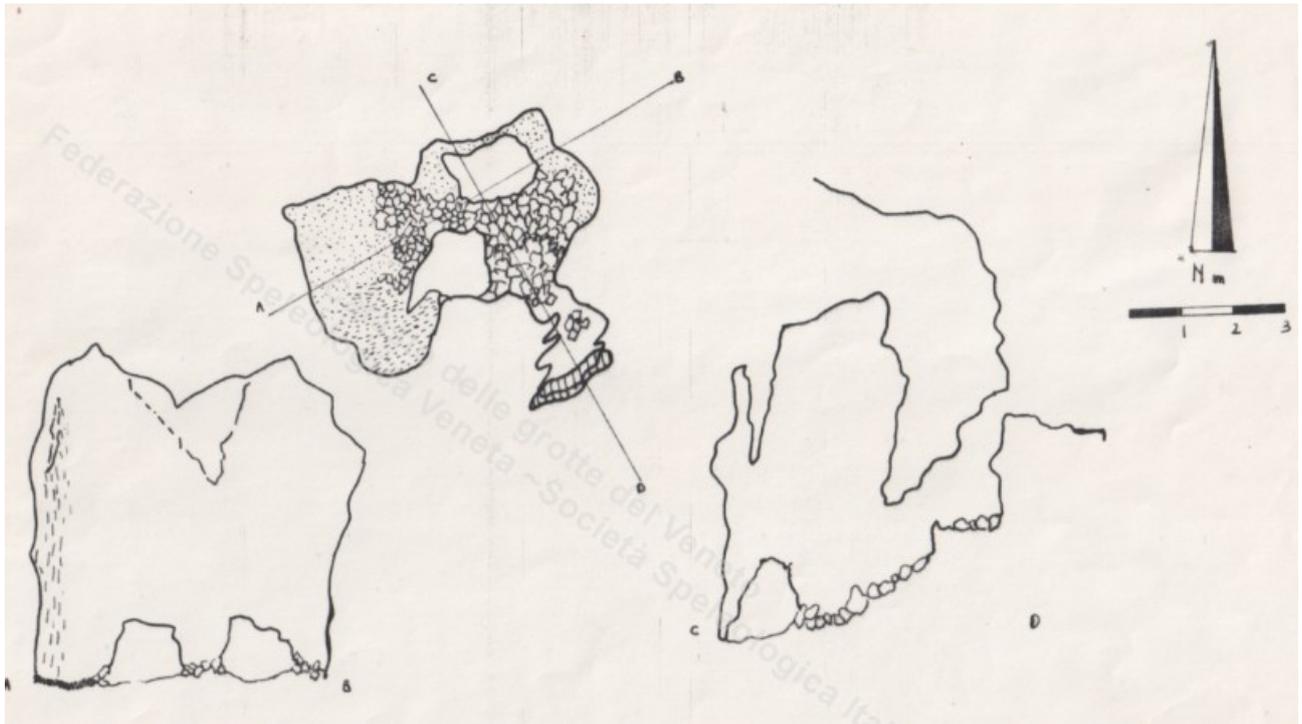


Fig. 2.6: Pianta e sezioni della grotta Bus Sora Trubian (Catasto Cavità del Veneto)

La terza grotta ad essere analizzata è la grotta Bus sot le Code la quale si trova in località Fais sul Col Visentin nel comune di Vittorio Veneto. La grotta in questione ha numero catastale 7655 V TV. Ha uno sviluppo spaziale di 8 m con un dislivello positivo pari a zero e un dislivello negativo di 6 m. La grotta non assorbe corsi d'acqua ne è una cavità emittente. L'accesso principale alla cavità si trova a 582 m s.l.m. ed è completamente libero.

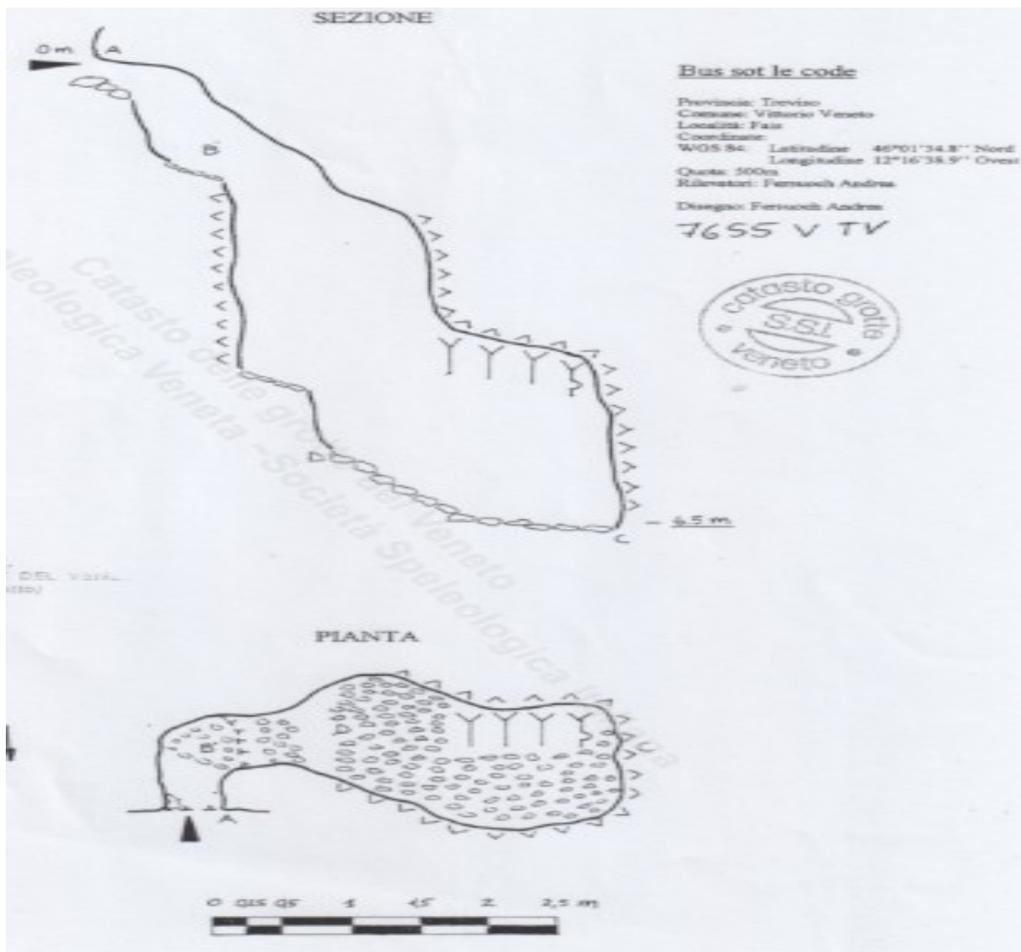


Fig. 2.7: Pianta e sezione della grotta Bus sot le Code (Catasto Cavità del Veneto)

Altra grotta presente è quella della condotta della sorgente del Meschio. Infatti, ad un metro al di sopra del fondo si intravede l'apertura della grotta di forma rettangolare con dimensioni all'incirca di 2.5 metri di larghezza e 1 metro di altezza. La galleria dopo una decina di metri devia verso Ovest dove si apre un pozzo profondo nove metri il quale termina in una cavità più grande da cui riparte il canale principale che, dopo un primo restringimento, torna ad allargarsi in due piccole cavità. In seguito, è presente un'altra galleria in discesa a forma circolare e con diametro di circa tre metri. Dopo alcuni metri il condotto gira ancora a Ovest deviando il suo percorso di 90 gradi e risalendo quasi verticalmente continuando, successivamente, con una serie di curve. Dopo circa 85 metri vi è una cascata verticale di circa sette metri che rende impossibile spingersi oltre (Cafiero, 1989).

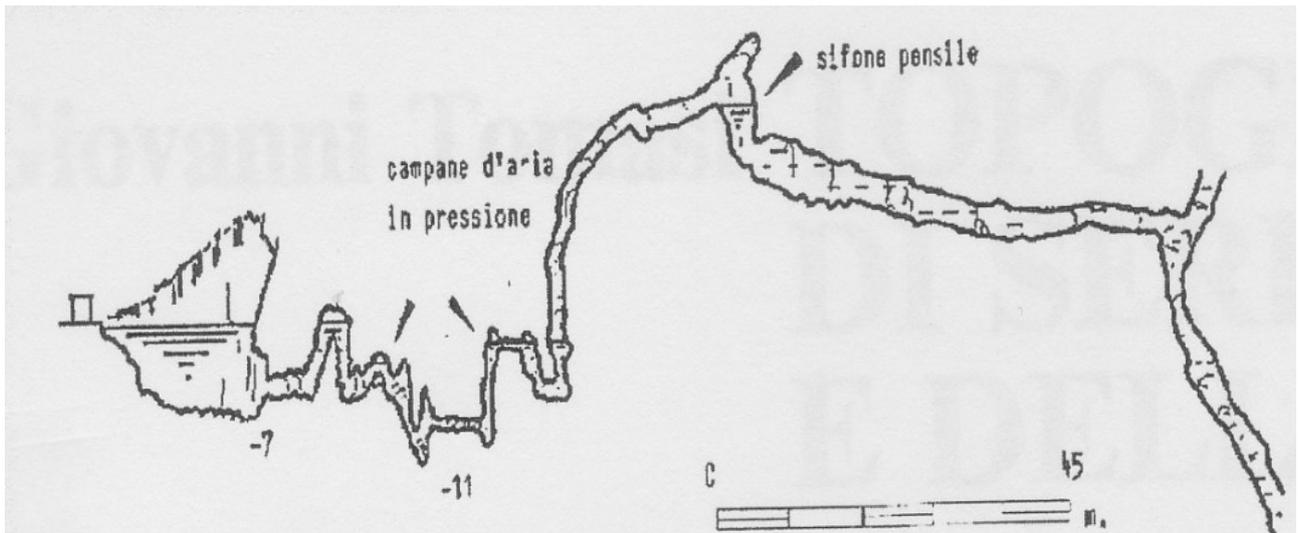


Fig. 2.8: Sezione della sorgente e della galleria interna al massiccio (Giovanni Carraro, 2011)

Il fondovalle è costituito da detrito di falda, da depositi franosi e da conoidi alluvionali. La coltre detritica che si trova non solo sul fondovalle, ma anche alle pendici dei monti suddetti, è di origine sia gravitativa, causata dalla grande ripidità dei versanti, che idraulica poiché il depositarsi della coltre detritica è riconducibile anche ai corsi d'acqua temporanei (es. Vallone della Levina, Vallone della Fontana, Vallone del Salto, etc.).

I diversi conoidi detritici, una volta accumulatisi per aggradazione, spesso si interdigitano tra di loro fondendosi e dando luogo ad un'estesa ed uniforme copertura detritica su tutto il fondovalle. Si sono osservati importanti accumuli di detrito quale ghiaia, sabbia, argilla e limo a Nord-Ovest della località Caloniche, a Ovest del lago Morto, ad Est del lago di Restello e in generale sui due versanti della valle (De Nardo, 1996).

Infine, un ruolo abbastanza importante lo assume il dilavamento. Attualmente il modellamento derivante da questo tipo di fenomeno erosivo è dovuto ai numerosi corsi d'acqua che scorrono lungo le pendici dei monti che delimitano la valle e che traggono alimentazione grazie alle precipitazioni (Mattana, 1974). Esempi di tale morfologia sono dati dal conoide su cui giace l'abitato di San Floriano, da imbuto torrentizi seguiti a valle da accumuli di debris-flow, dalla presenza di ruscelli e rivoli lungo i fianchi del Monte Millifret e del Col Visentin e dalla presenza di solchi paralleli rispetto alla linea di massima pendenza a Nord-Ovest del Lago di Negrisiola, dalla presenza di brecce di versante nei pressi dei Borghi di Menegon e Olivi (Bozzolan, 1992).

La zona della Val Lapisina è stata interessata frequentemente da fenomeni franosi, anche di notevoli dimensioni, sia in epoche preistoriche, storiche e recenti.

Nella valle, ancora oggi, sono presenti e ben visibili diversi corpi di frana delle frane del Fadalto, Pian di Nove e Forcal. La frana del Fadalto è la più grande delle tre sopracitate (Pellegrini e Surian, 1996). Essa si estende su una superficie di 3.5 km² con un volume stimato di 135 milioni di m³ e uno spessore di 200 metri. Si suppone che il primo distacco fosse avvenuto circa 10.000 anni fa, dopo il ritiro del ghiacciaio. Tale materiale formò la cosiddetta Sella del Fadalto che bloccò la strada del vecchio Piave deviandolo nella Val Belluna. In tempi successivi a questo evento, ci furono, anche a seguito dei terremoti che hanno colpito la zona, altre frane di dimensioni sicuramente minori che si affiancarono e sovrapposero le une sulle altre formando il Col della Vi, il Col dei Maserei, il Col Brustolade (Della Libera, 2004).

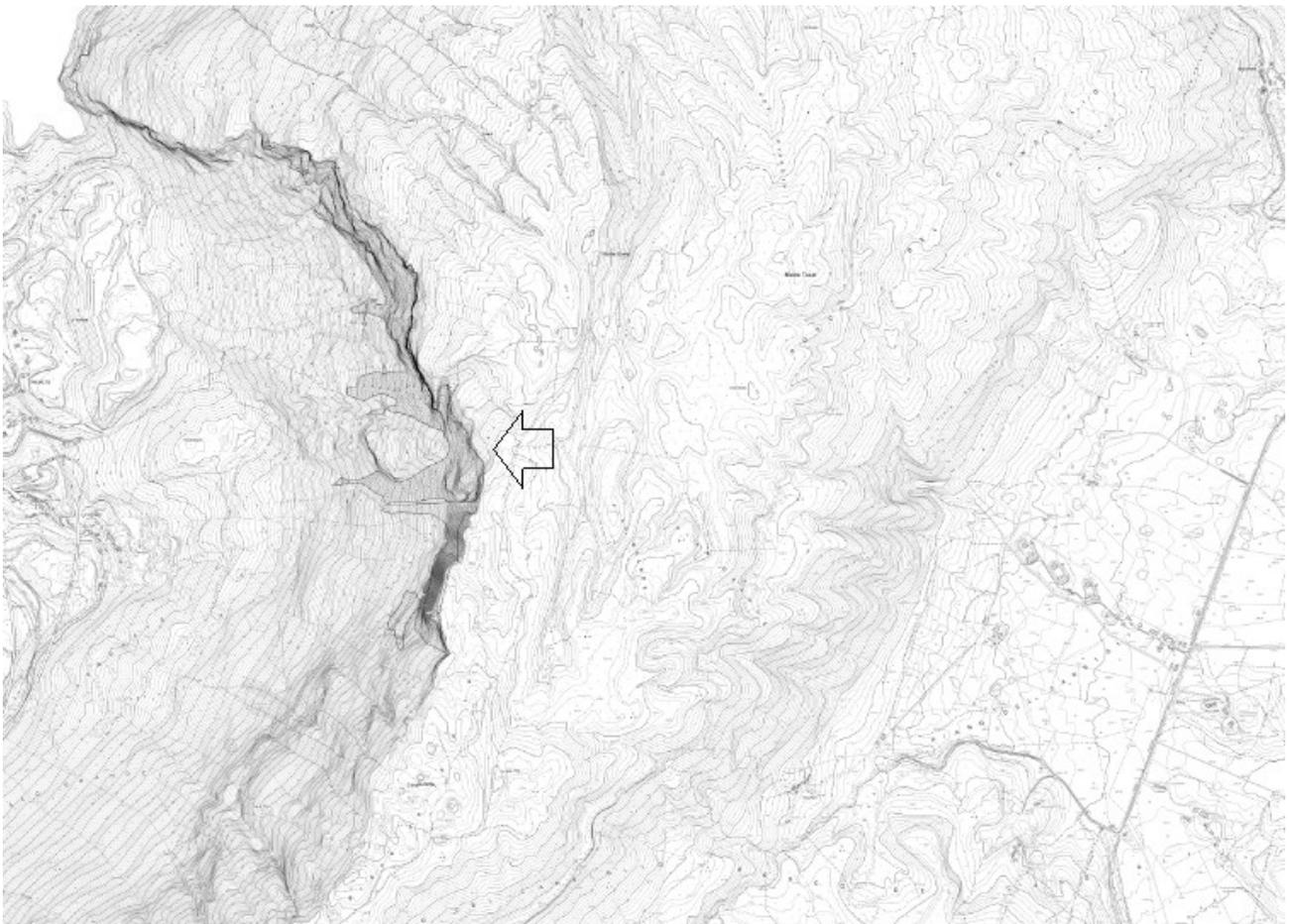


Fig. 2.9: *Scarpata del corpo di frana della frana del Fadalto indicata con la freccia*
(Carta topografica-Sezione 064090 Fadalto in scala 1:10000)

La frana di Nove si trova al centro della Val Lapisina tra il lago Morto e il lago di Restello. L'accumulo è allungato secondo l'asse vallivo ed è lungo 1.7 km, largo 300 metri ed esteso 4 km². Il corpo di frana, come nel caso della frana del Fadalto, è costituito da più collassi dove i materiali franati poggiano sopra detriti morenici di fondo (De Nardo, 1996).



Fig. 2.10: *Corpo di frana della frana di Nove indicato dalle due frecce (Carta topografica-Sezione 063160 San Floriano in scala 1:10000)*

Procedendo verso Serravalle, si trova la frana di Forcal dove il fronte della frana sovrasta i prati umidi di Savassa allungandosi per circa 800 metri secondo l'asse vallivo. La corona di distacco è ancora visibile sulle pendici del monte Cor tra 850 e 900 metri. Si suppone che un primo movimento della frana sia di epoca preistorica post glaciale mentre un secondo movimento lo si ha nel 1521. Si calcola che non meno di 50 milioni di metri cubi di materiale grossolano e frammenti lapidei sconnessi siano scivolati lungo superfici di roccia a frana poggio e lubrificate da sottili livelli argillosi (Della Libera, 2004).



Fig. 2.11: Localizzazione del corpo della frana di Forcal (Carta topografica-Sezione 063160 Fadalto in scala 1:10.000)

2.4. Aspetti geologici dell'area di studio

La zona di studio presenta formazioni litologiche di carattere sedimentario marino occupando il periodo che va dal Giurassico al Miocene medio.

Nella parte occidentale, la Val Lapisina è caratterizzata dalla presenza della piega anticlinale del Col Visentin la quale si imposta sui depositi giurassici bacinali che sono stati dislocati dalla presenza di faglie inverse parallele all'asse vallivo e appartenenti alla Linea Longhere-Fadalto-Cadola e terminanti con la struttura a fiore di Colesei.

Le sequenze mesozoiche affiorano nella parte centrale-meridionale della Val Lapisina e rappresentano termini transizionali tra facies pelagiche e di scarpata visto che, la zona in questione, era collocata a margine tra Bacino Bellunese e Piattaforma Friulana.

Più a sud si trovano i depositi terrigeni di molassa che costituiscono le formazioni terziarie (Bozzolan, 1992).

In relazione alla carta e alla sezione geologica in allegato, procedendo dalla formazione più giovane a quella più vecchia, troviamo:

-Depositi quaternari

-Successione Terziaria

- | | |
|-------------------------------------|----------------------------|
| ➤ Formazione del Monte Baldo | Serravalliano-Langhiano |
| ➤ Arenarie Glauconitiche di Belluno | Cattiano |
| ➤ Flysch di Belluno | Eocene inferiore |
| ➤ Marna della Vena d'Oro | Eocene inferiore-Paleocene |

-Successione Mesozoica:

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| ➤ Scaglia rossa e Scaglia grigia | Maastrichtiano-Campaniano superiore |
| ➤ Calcere di Fadalto | Cretaceo superiore-Albiano |
| ➤ Maiolica | Cretaceo inferiore-Titoniano |
| ➤ Formazione di Fonzaso | Titoniano-Oxfordiano |
| ➤ Calcere del Vajont | Dogger |
| ➤ Formazione di Igne | Aaleniano-Toarciano |

I depositi quaternari sono costituiti da materiali olocenici e tardo pleistocenici che costituiscono i depositi superficiali concentrati nel fondovalle. Essi hanno estensioni notevoli con spessori di anche duecento metri a Nord del Lago Morto. Questi depositi rappresentano il prodotto dell'azione dei diversi agenti che hanno operato e che tuttora operano nell'area (De Nardo, 1996). Questi depositi vengono suddivisi in:

- depositi morenici;
- depositi alluvionali;
- detrito di falda e coni detritici di frana.

I depositi morenici sono depositi wurmiani abbandonati dal ramo lapicino del ghiacciaio plavense dalle quote di 725 metri in località Collon fino a 1125 metri nei pressi del Lago di Santa Croce. Questi depositi sono spesso ricoperti da detrito di falda. Sono costituiti da litologie del bacino del Piave quali: filladi, dolomia, pietra verde del Cadore, Arenarie della Val Gardena e anche da ciottoli del Calcere del Vajont. Si presentano distribuiti in cordoni come impasti di color biancastro, eterometrici, mal classati con forma variabili e talvolta striati (Bozzolan, 1992).

I depositi alluvionali si distinguono in due tipologie ovvero i depositi alluvionali antichi e depositi alluvionali recenti. I primi sono depositi pleistocenici e tardo pleistocenici messi in posto da acque torrentizie provenienti dal bacino del Piave e da acque torrentizie di fusione del ghiacciaio. Questi sono ben cementati, classati con tessitura varia e buon grado di arrotondamento. I depositi recenti, invece, si trovano ai piedi dei versanti e nelle piane alluvionali dove formano coni alluvionali. Inoltre, nel fondovalle si trovano confinati tra i terrazzi scavati nei materiali fluvioglaciali e nel detrito di versante. Sono costituiti da elementi calcarei e arenacei. Essi non hanno estensioni molto rilevanti a causa della mancanza di un corso d'acqua nella valle poiché sbarrata a Nord dalla frana del Fadalto (De Nardo, 1996).

Il detrito di versante, invece, costituisce le falde e i coni di detrito accumulate per gravità alla base delle pareti rocciose. Il materiale, prodotto dalla disgregazione crioclastica delle rocce affioranti che sovrastano la valle, è eterogeneo con blocchi di dimensioni da metriche a sub centimetri che (Bozzolan, 1992).

I depositi che caratterizzano gli accumuli di frana sono dovuti a degradazione più profonda dei versanti e delle pareti rocciose. Vi sono tre grandi accumuli di frana: Forcal, Fadalto, Nove. La stratificazione in grossi banchi e la competenza delle formazioni ha determinato la presenza di blocchi di dimensioni notevoli con diametri che arrivano fino a 10 metri. Questi depositi sono eterometrici, caotici e poco cementati (Bozzolan, 1992).

Si descrivono in seguito le formazioni presenti sia nella carta che nelle sezioni geologiche allegate.

La Formazione di Monte Baldo è costituita da areniti medie e grossolane ad elementi prevalentemente carbonatici con stratificazione di carattere metrico e di color giallo-nocciola. Alla base vi è un livello arenaceo fortemente glauconitico e bioturbato. Il contenuto paleontologico è dato dalla presenza di pettinidi, ostreidi, gasteropodi e foraminiferi che collocano la formazione tra il Serravalliano e il Langhiano. Questa formazione costituisce la ripida monoclinale della Costa di Serravalle ove questa emerge, rispetto alle altre formazioni, per il notevole spessore e resistenza all'erosione (Bozzolan, 1992).

Le Arenarie Glauconitiche di Belluno rappresentano delle bancate di arenarie da medie a grossolane di color bruno-verdastro con la presenza abbondante di glauconite. Abbondanti sono i

fossili tra cui bivalvi e gasteropodi. Attraverso questi dati si pone questa unità nel Cattiano. Si rinviene presso la località di Valcalda a contatto tettonico con la Scaglia rossa.

Il Flysch di Belluno è costituito da brecce ad elementi carbonatici fino a metrici dati da calcareniti bioclastiche di colore biancastro-nocciola in banchi decimetrici a gradazione diretta con laminazione grossolana nella parte alta. Nell'area in oggetto tale formazione affiora per pochi metri il località Valscura perché dislocato tettonicamente. Il Flysch di Belluno è caratterizzato dalla presenza di nummuliti, discocicline, alveoline e foraminiferi planctonici. Tale contenuto permette di porre tale unità nell'Eocene inferiore (Bozzolan, 1992).

La Formazione della Marna della Vena d'Oro è caratterizzata da marne argillose fogliettate di color rosso e grigio-verdastro a globorotalidi e truncarotaloidi (Costa et alii, 1996).

La Scaglia rossa è contraddistinta da calcari micritici marnosi e marne grigie o giallastre per alterazione. La Scaglia rossa ha generalmente una stratificazione di carattere centimetrico/decimetrico. Possono essere presenti delle intercalazioni di calcareniti fini bioclastiche laminate di color biancastro legate a fenomeni di torbide sottomarine a movimenti franosi della scogliera superstite verso il mare aperto. Nella valle la Scaglia rossa è presente in quantità limitata e affiora sul Col Desagne e a Pian di Maren. Le condizioni paleogeografiche che hanno presieduto la deposizione della Scaglia rossa testimoniano, verso la fine del Cretaceo, un ritorno a condizioni di tipo pelagico con un progressivo annegamento, da Ovest verso Est, della scogliera (De Nardo, 1996). Il limite inferiore con il Calcare del Fadalto è stato collocato in relazione all'infittirsi della stratificazione, al rapido aumento di frequenza delle micriti pelagiche e alla diminuzione della grana. Morfologicamente, la maggior erodibilità della formazione determina una diminuzione dell'acclività e un profilo meno accidentato. Questo, assieme alle coperture detritiche, le condizioni stratigrafiche e le soppressioni tettoniche, rendono difficile la determinazione dello spessore. Nella Scaglia rossa è possibile trovare frammenti di *Inoceramus*, *Globotruncana*, *Globigerina* e *Globorotalia* che permettono di datare tale formazione al Cretaceo superiore-Eocene inferiore (Fadat, 1963).

Il Calcare del Fadalto è costituito da calcari micritici marnosi e calciruditi prevalentemente a frammenti di rudiste di color biancastro. La stratificazione è metrica o decimetrica con laminazioni piano-parallele raramente visibili. Possono essere presenti delle intercalazioni di calcare micritico in strati decimetrici. Esso affiora sul versante orientale della valle a quote superiori ai 950 metri di altezza lungo il Monte Millifret mentre a occidente lo si ritrova sulle cime del Col Toront e del Monte Faverghera. Altri piccoli affioramenti si trovano nella parte meridionale della valle a Pian di Maren tra Valscura e Valcalda (De Nardo, 1996). L'origine del Calcare del Fadalto è da attribuirsi alla demolizione della scogliera che cingeva la Piattaforma Friulana creando dei flussi detritici che si sono accumulati nella zona antistante di fore-reef riempiendo il bacino di Belluno. Gli elementi che costituiscono questi depositi torbiditici sono perlopiù bioclastici di scogliera quali: rudiste, ostriche, nerinee, echinodermi, coralli, alghe e macroforaminiferi. Si è ipotizzato, in aggiunta, che i materiali clastici, oltre che dalla demolizione della scogliera vera e propria, possano provenire anche dalla disgregazione di organismi costituenti un abbozzo di scogliera in seguito a variazioni batimetriche legate a condizioni tettoniche e/o alle formazioni di secche e banchi ad opera delle correnti marine (Ferasin, 1958). Legato a questo si possono ricollegare i cosiddetti "mud mound" ovvero delle lenti appiattite o corpi conici costituiti da fanghi bioclastici poco selezionati con una piccola componente organica formati in ambienti quieti. Essi rappresentano, nello specifico, delle scogliere che non riuscirono a svilupparsi durante gli stadi finali o perché l'ambiente non era più

adatto alla crescita dei metazoi o perché questi non esistevano al tempo di formazione della struttura (Bosellini, 1991).

La Maiolica è caratterizzata da calcari micritici biancastri o grigi in strati decimetrici con noduli di selce. Sono comuni delle intercalazioni decimetriche di calcareniti (grainstone) bioclastiche con gradazione diretta e laminazione trattiva. Il contenuto fossilifero è dato da ammoniti, brachiopodi, echinidi e gasteropodi. L'ambiente deposizionale è pelagico al di sotto del livello di base dell'azione delle onde di tempesta. La formazione in esame corrisponde ad un momento particolare della sedimentazione caratterizzato dalla deposizione di fanghi calcarei. Vista anche la presenza di organismi unicellulari planctonici, la sedimentazione suggerisce condizioni ambientali eutrofiche. Tale formazione si rinviene in maniera estesa lungo il Col Visentin.

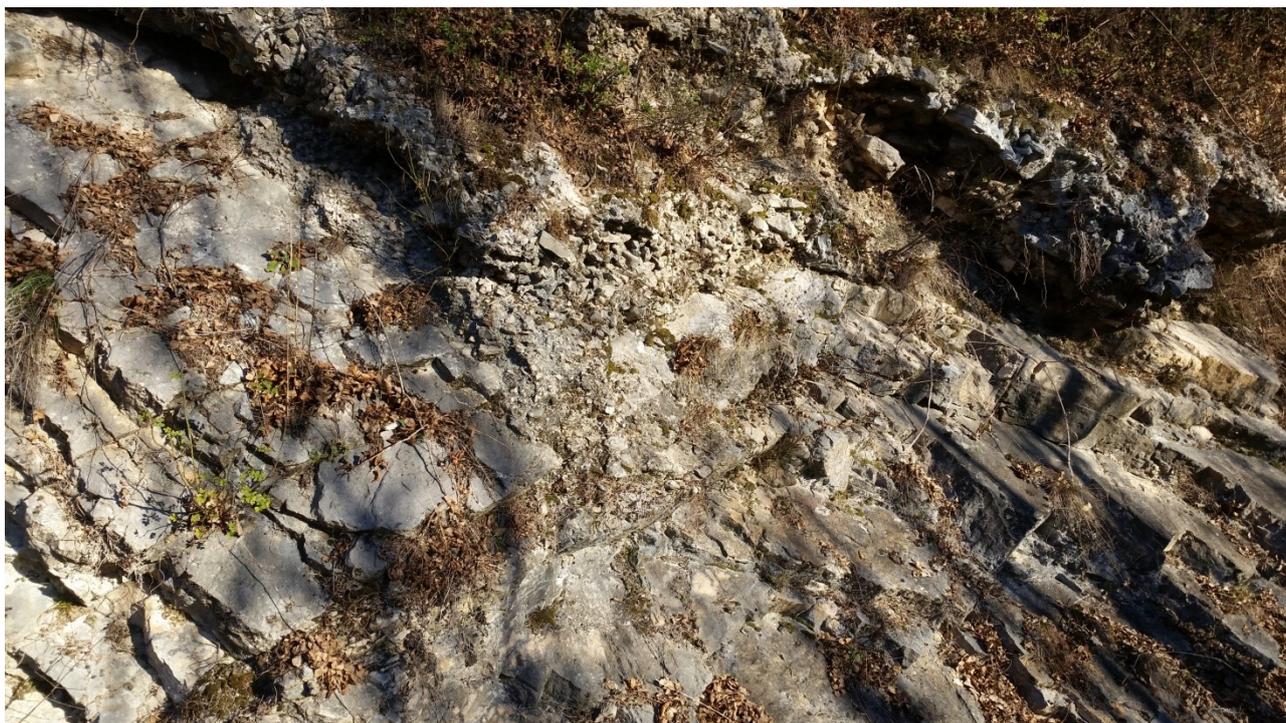


Foto 2.12: Immagine relativa alla Maiolica con soprastante deposito glaciale litificato (foto di Luca Dei Cont)

La Formazione di Fonzaso è costituita da calcari fini selciferi varicolori con stratificazione decimetrica piano-parallela. Sono presenti delle intercalazioni calcarenitiche e calciruditiche a bioclasti di spessore variabile da centimetrico a metrico. Il calcare passa da un colore grigio-verdastro a nocciola fino al biancastro mentre, invece, la selce da rossastra al grigio-nerastro. Il contenuto macrofossilifero è caratterizzato dalla presenza di aptici e rostri di belemnite; quello micro paleontologico da radiolari, foraminiferi planctonici, lamellibranchi pelagici, frammenti di crinoidi e spicole di spugna. L'ambiente deposizionale di tale formazione era un bacino in subsidenza con sempre più frequenti fenomeni di scivolamento e sedimentazione torbida del materiale proveniente dalla Piattaforma Friulana dove nel Giurassico si instaurarono le condizioni ideali per un ambiente di scogliera. Tale formazione affiora in modo esteso lungo il versante occidentale della valle ovvero sul Col Visentin (Bozzolan, 1992) ed è collocabile tra il Giurese ed il Malm.



Foto 2.13: Immagine relativa alla Formazione di Fonzaso (foto di Luca Dei Conti)

Il Calcarea del Vajont è caratterizzato da calcareniti oolitiche grigie o nocciola con rare laminazioni incrociate. Possono essere presenti alla base dei banchi delle breccie intraformazionali. Stratificazione a scala metrica spesso indistinta. Si estende sul versante orientale dell'anticlinale asimmetrica del Col Visentin in corrispondenza della scarpata di flessura sopra l'abitato di Nove (Bozzolan, 1992). Questa unità geologica è il risultato di una risedimentazione gravitativa di torbiditi oolitiche scaricate dal margine della Piattaforma Friulana andando a colmare il solco bellunese fino a bordare la Piattaforma Altesina diventata un plateau pelagico. L'avanzamento entro il bacino di una serie di conoidi coalescenti determinerebbe un ringiovanimento progressivo della formazione con una riduzione dello spessore da Est verso Ovest (De Nardo, 1996). In affioramento questa formazione si presenta in banchi abbastanza potenti, poco erodibili caratterizzata da pareti verticali e prive di detrito. Nell'area rilevata, il limite superiore è stato collocato in corrispondenza della diminuzione degli strati con un aumento dei noduli di selce. La potenza non è calcolabile precisamente. Il contenuto fossilifero di tale formazione è caratterizzato dalla presenza di foraminiferi bentonici, alghe, coralli, briozoi, molluschi, crinoidi ed echinidi nella componente oolitica mentre nelle intercalazioni pelagiche si trovano spicole di spugna, radiolari e bivalvi pelagici. Tale contenuto micropaleontologico ha permesso di datare tale formazione al Dogger-Malm (Fontana e Martinis, 1963).

La Formazione di Igne è costituita da marne, calcari marnosi a bivalvi pelagici di color grigio brunastro e da argilliti nere laminate e livelli nodulari rossi, giallastri e verdastri ad ammoniti (Costa et alii, 1996).

2.5. Aspetti tettonici dell'area

L'evoluzione tettonica della zona ha chiaramente inizio con l'orogenesi Alpina iniziata nell'era Mesozoica. È soprattutto tra fine del Miocene ed inizio del Pliocene, circa 10 milioni di anni fa, che l'area risente maggiormente degli impulsi orogenetici con direzione prevalente da Nord-Ovest verso

Sud-Est creando non solo la zona dolomitica ma anche i territori delle Prealpi Venete di cui l'area oggetto di studio fa parte (Della Libera, 2004).

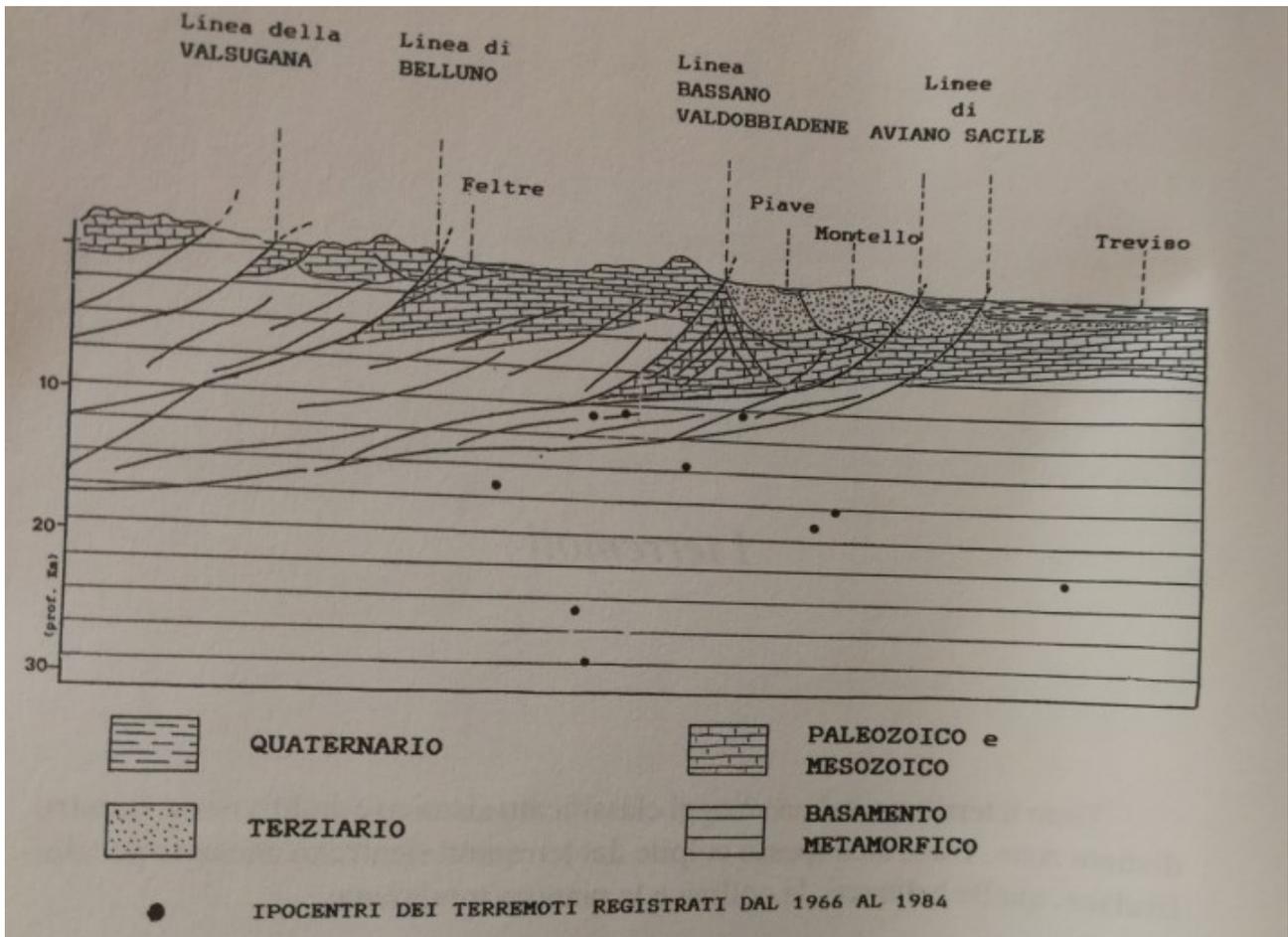


Fig. 2.14: Sezione geostrutturale dall'area dolomitica alla pianura trevigiana con indicato il sistema di faglie sismo genetiche (Della Libera, 2004)

Si nota che l'area presenti diversi elementi tettonici di assoluta importanza che comprendono sovrascorrimenti, faglie antitetiche e sintetiche e, infine, grosse pieghe sia anticlinali che sinclinali. Nello specifico le faglie antitetiche e sintetiche sono ricollegabili alle spinte tangenziali agenti da SSE verso NNW della placca Africana contro quella Europea. Queste spinte hanno creato anche un intenso corrugamento del territorio portando alla formazione di un sistema di pieghe massicce e ben visibile su tutto il territorio (De Nardo, 1996). Le pieghe in questione hanno direzione generale NE-SW e sono all'incirca asimmetriche e spesso fagliate. Un esempio, testimone di tale movimento nella valle, lo possiamo ritrovare sul Col Visentin. Difatti esso è caratterizzato da una piega anticlinale impostata sui depositi giurassici bacinali dislocati sul fianco orientale da una serie di faglie inverse circa parallele all'asse vallivo. Il basso strutturale della valle, invece, è dato da una piega sinclinale molto complessa poiché condizionata fortemente da una tettonica molto intensa compresa tra il sistema transpressivo Longhere-Fadalto-Cadola (De Nardo, 1996).

Importante, infine, è la presenza di sovrascorrimenti che divergono da un unico sovrascorrimento principale che costituisce la Linea di Bassano-Valdobbiadene. Difatti questo sovrascorrimento, uno dei più importanti dell'area dolomitica e dell'area della pianura trevigiana assieme ad altre linee

come, ad esempio, quella di Belluno, di Aviano, della Valsugana e si divide, all'interno della Val Lapisina, in più rami che costituiscono gli elementi tettonici principali della zona indagata.

Le principali strutture tettoniche presenti nell'area di studio sono le seguenti:

- Anticlinale del Col Visentin
- Sinclinale del fondovalle
- Linea Longhere-Fadalto-Cadola
- Faglia inversa del T. Cicogna-Medil
- Linea di Valcalda
- Faglia di Fais

L'Anticlinale del Col Visentin costituisce il ripido fianco occidentale della valle ed è la prosecuzione della flessura pedemontana prima verso Est e poi verso Nord. L'anticlinale del Col Visentin è una porzione della più grande anticlinale del Monte Cesen, Col Visentin, Cugnan. Essa mantiene un asse orientato ENE-WSW fino a Col delle Poiate per, poi, puntare a Nord. L'anticlinale del Col Visentin è fortemente asimmetrica. La piega la si vede molto bene al di sopra del Lago Morto dove emerge al nucleo il Calcare del Vajont. La parte inferiore invece appare fortemente dislocata dal fascio di faglie della linea Longhere-Fadalto-Cadola (Bozzolan, 1992).

All'Anticlinale del Col Visentin si collega la Sinclinale di Fondovalle la quale si trova nella parte centrale della valle ed ha favorito l'impostazione della valle stessa. La piega è la rimanenza di una sinclinale ben più grossa, ma che è stata scomposta dal sistema di faglie della linea Longhere-Fadalto-Cadola. A Nord questa piega è delimitata dalle faglie inverse che danno origine alla struttura a fiore di Colesei, mentre a Sud questa sfuma a causa dei sovrascorrimenti della Linea Longhere-Fadalto-Cadola.

La Linea Longhere-Fadalto-Cadola è una faglia transpressiva sinistra che rappresenta la prosecuzione verso NNE del sovrascorrimento Valdobbiadene-Vittorio Veneto da cui si dirama il sistema di faglie inverse che limitano, verso Est, l'anticlinale del Col Visentin (Bozzo e Semenza, 1973). La linea principale mantiene direzione all'incirca costante NNW-SSE. A questo sistema appartengono altre due faglie parallele alla principale. Una presente a fondovalle e sepolta dal materiale detritico a Nord del Lago Morto mentre la seconda taglia la porzione superiore del versante del Col Visentin (Bozzolan, 1992).

La Faglia inversa del T. Cicogna-Medil fa parte della Linea Principale Bassano-Valdobbiadene ed ha vergenza SE-NW. Esso è collocato ai piedi del versante bellunese del Col Visentin. Esso per un lungo tratto è cieco ed è evidenziato in superficie solo da un cambio di giacitura degli strati. Costituisce il bordo dell'anticlinale del Col Visentin ed ha rigetto massimo nella zona del Col Toront (Costa et alii, 1996).

La Linea di Valcalda mette a contatto le formazioni mesozoiche della parte meridionale della valle appartenenti al massiccio del Cansiglio con le formazioni terziarie che si trovano più a Sud. Il piano di faglia è sub-verticale con un'inclinazione di circa 80°. Se si prende in considerazione il tratto Biscosta-Valscura, la faglia è orientata a NE-SW sdoppiandosi in corrispondenza di Pian di Maren e puntando verso Est dopo Valscura. In questa località si inserisce la continuazione meridionale delle faglie di Colesei determinando una zona di interferenza tettonica tra le due unità alterando la serie stratigrafica normale (Bozzolan, 1992).

La Faglia del Fais risulta essere orientata a NW-SE in coincidenza con il Vallone dei Crepon. La si ritiene attiva già a partire dall'Olocene (Bozzolan, 1992).

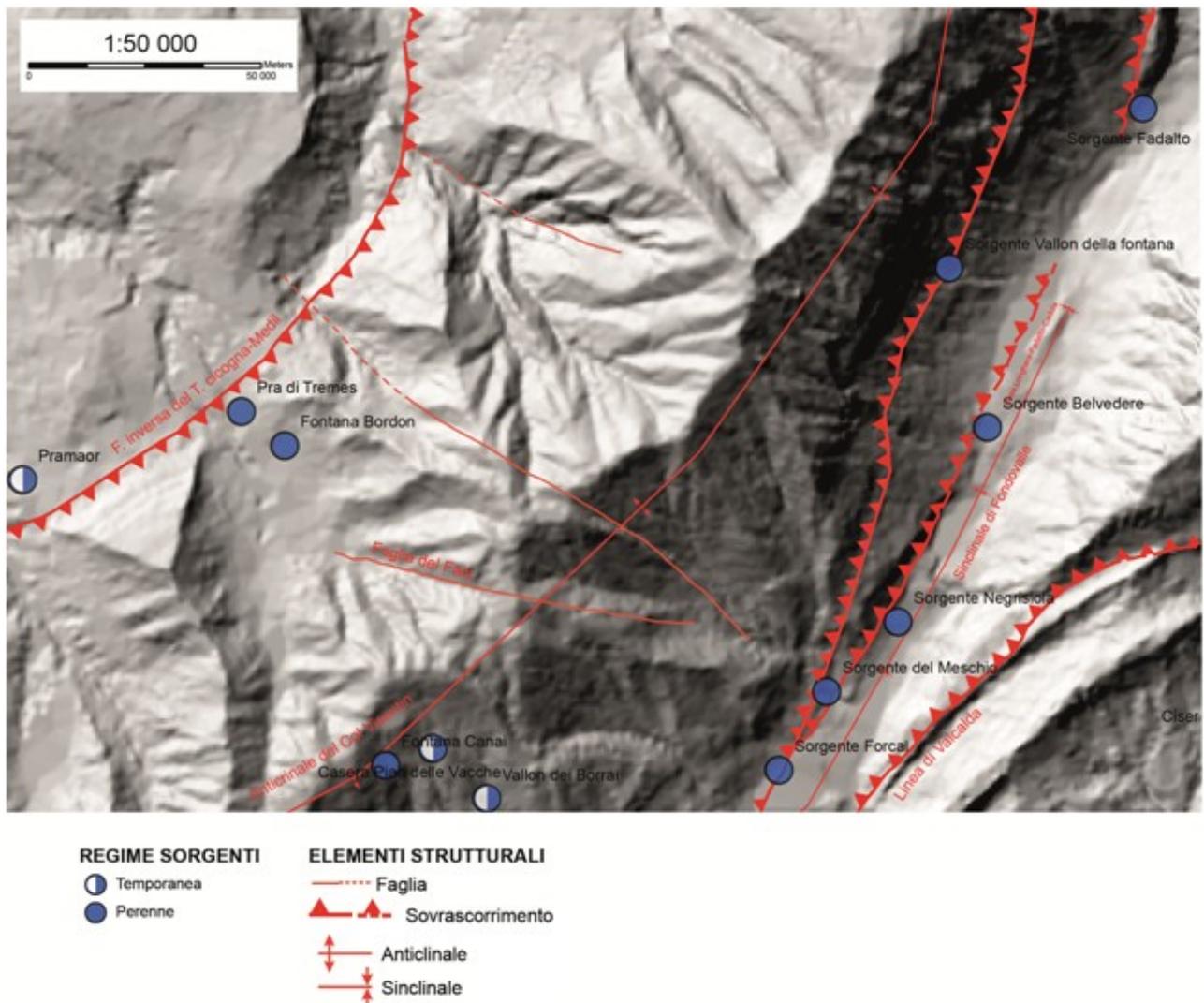


Fig. 2.15: Elementi strutturali della zona di studio

Prendendo in considerazione le strutture appena descritte si osserva che gli elementi giurassico-cretacei presenti tra la Piattaforma Friulana e il Bacino Bellunese siano stati ripresi e inseriti nei sovrascorrimenti nealpini. L'interazione tra depositi bacinali e depositi di piattaforma è avvenuta tramite la riattivazione delle faglie, in senso inverso, presenti in Fadalto nel Mesozoico (Bozzolan, 1992). Questo fatto lo si può notare dal sistema di faglie che bordano il versante orientale del Col Visentin e che costituiscono la rampa laterale della linea di Longhere facente parte del sovrascorrimento di Bassano-Valdobbiadene il quale, nella zona di Revine, effettua una curvatura verso Nord diventando un trust laterale del fascio di faglie della Linea Longhere-Fadalto-Cadola.

L'anticlinale del Col Visentin ha il fianco posteriore che scende dolcemente verso NW raccordandosi con la sinclinale di Belluno. Nello specifico, questa risulta essere, secondo Bozzolan (1992), "l'anticlinale da rampa a tetto del sovrascorrimento laterale in cui sfuma verso est il sovrascorrimento sud-vergente Bassano-Vittorio Veneto".

CAPITOLO TERZO

IDROGEOLOGIA

3.1. Caratteristiche idrogeologiche della Val Lapisina

La caratteristica principale della valle è quella di non avere un corso d'acqua principale. Al contrario, vi sono tre laghi principali disposti secondo l'asse vallivo: il Lago Morto a quota 274 m s.l.m.; il Lago di Restello a quota 177 m s.l.m. e infine il Lago di Negrisiola a quota 160 m s.l.m. Si tratta di bacini artificiali per uso idroelettrico che occupano depressioni generate dalla sovraescavazione glaciale e dallo sbarramento degli accumuli di frana.

Il Lago Morto viene alimentato dalle infiltrazioni sotterranee del Lago di S. Croce separato dalla frana del Fadalto oltre che da sorgenti carsiche (sorgente Vallon della Fontana e sorgente di Fadalto) presenti sul fianco destro della valle. Il Lago di Restello è alimentato dagli scarichi della centrale di Nove e da sorgenti di fondovalle (sorgente del Belvedere). Il Lago di Negrisiola è alimentato dalle acque provenienti dalla centrale di S. Floriano e dalle acque del Meschio (Bozzolan, 1992).

I corsi d'acqua permanenti presenti nella valle sono, oltre al fiume Meschio, il Rio Valscura, il Rio Pradal e il Torrente Sora. Gli altri corsi d'acqua sono originati da sorgenti carsiche le quali, se non captate, creano piccoli corsi d'acqua che si infiltrano nella copertura detritica del fondovalle (Bozzolan, 1992).

Vi è la presenza di una falda di fondovalle alimentata a partire dalle infiltrazioni del Lago di S. Croce fino a Serravalle, dagli affluenti carsici detti sopra, dalle acque carsiche provenienti dall'Altopiano del Cansiglio e dalle precipitazioni meteoriche. La profondità di questa varia in riferimento alle diverse situazioni morfologiche della valle; per esempio, in corrispondenza della sorgente del Belvedere, la falda emerge in superficie mentre in altri casi può essere anche ad una profondità di circa 3-4 metri (De Nardo, 1996).

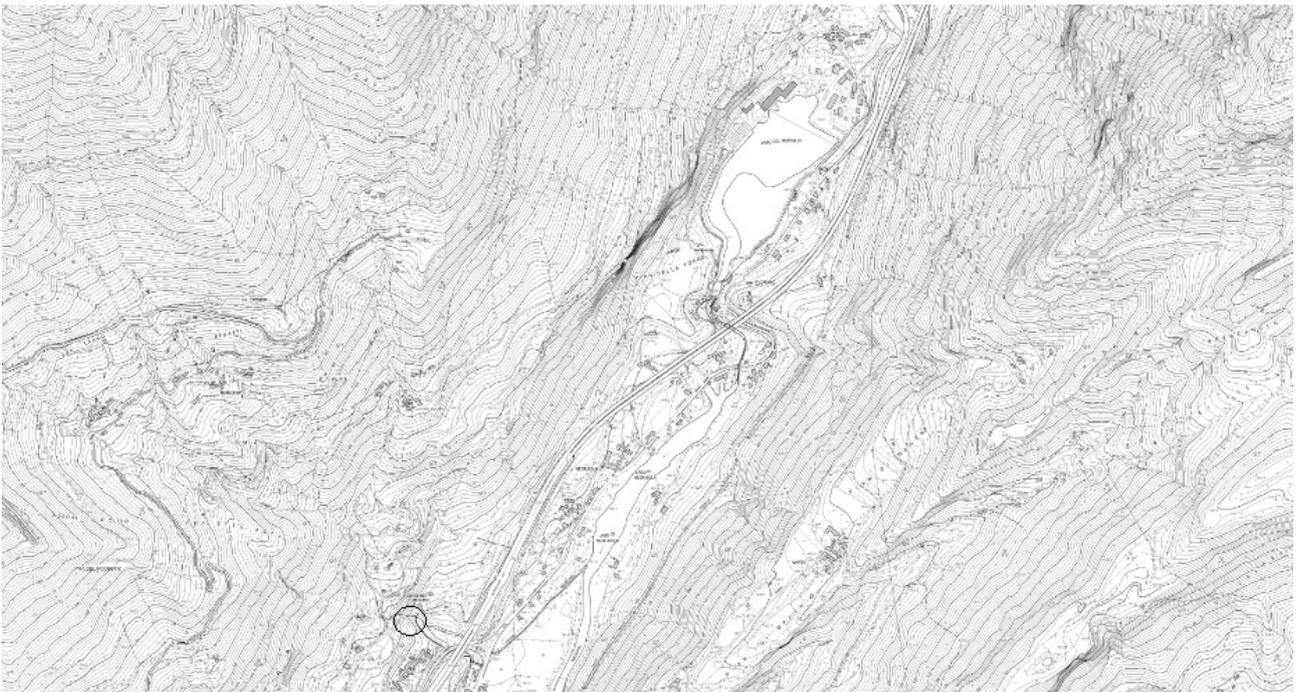


Fig. 3.1: Posizione dei laghi di Negrisiola e Restello. Cerchiata è la posizione della sorgente del Meschio (modificato da Carta topografica-Sezione 063160 San Floriano)

Sul fianco destro vallivo vi è la presenza di diverse sorgenti o fronti sorgivi (sorgente di Negrisiola per esempio) che alimentano, infiltrandosi, la falda di fondovalle. Nello specifico, sia le acque provenienti dalle sorgenti carsiche (sorgente del Meschio, sorgente di Fadalto, sorgente di Negrisiola, sorgente di Vallon della Fontana, sorgente di Forcal) sia le acque provenienti dalla sorgente di fondovalle (sorgente del Belvedere) vengono utilizzate per scopi idropotabili (Acquedotto Piave Servizi) oppure per uso idroelettrico (De Nardo, 1996). Sul versante bellunese del Col Visentin vi sono alcune sorgenti di portate molto basse ed usate solo per alimentare qualche fontana locale. Le sorgenti rilevate e presenti nell'area di studio sono:

--Fianco lapidino del Col Visentin

1. Sorgente di Fadalto
2. Sorgente di Vallon della Fontana
3. Sorgente di Negrisiola
4. Sorgente Forcal
5. Sorgente del Meschio

--Fondovalle

1. Sorgente del Belvedere

--Sorgenti secondarie

1. Sorgente Casera Pian delle Vacche
2. Sorgente Fontana Canai
3. Sorgente Vallon dei Borrai
4. Sorgente Fontana Bordon
5. Sorgente Pra di Tremez

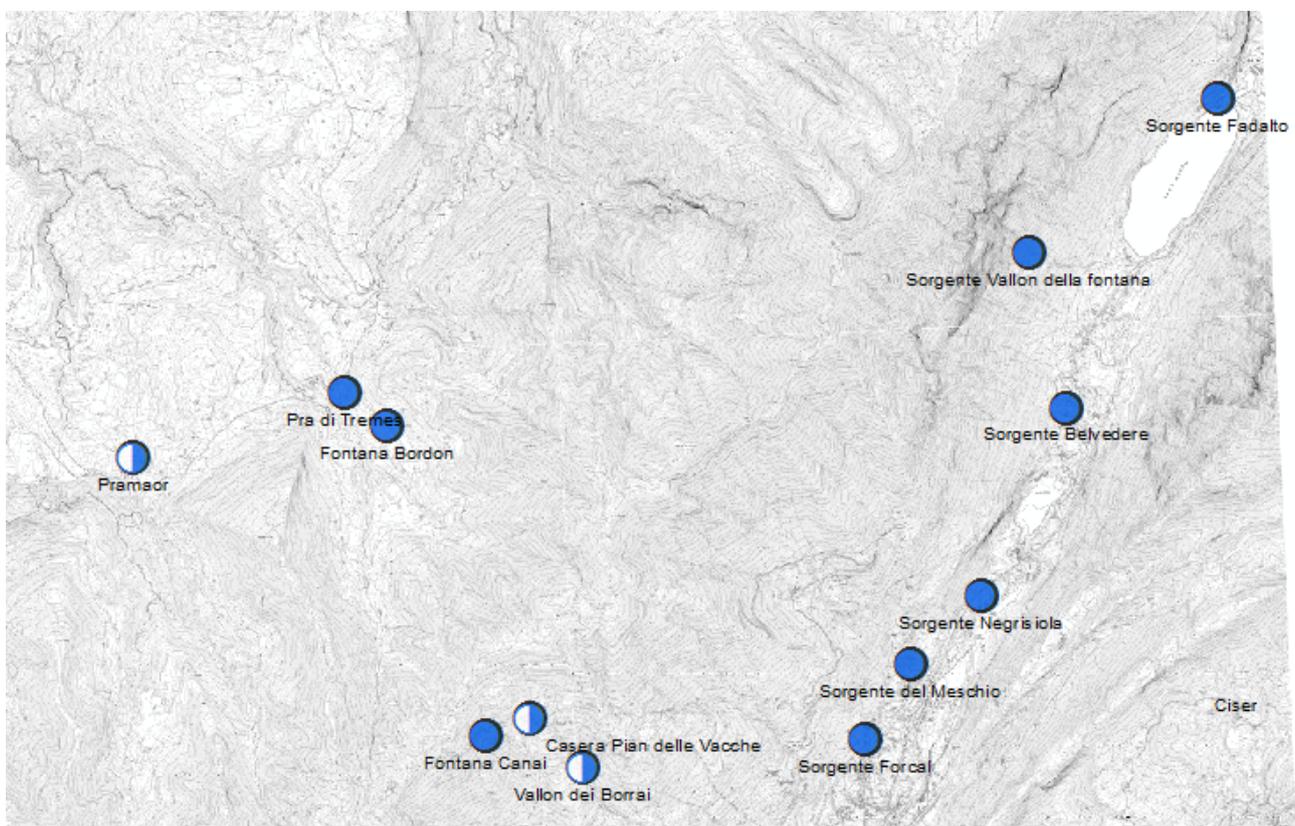


Fig. 3.2: Posizione delle sorgenti descritte (modificato da carta idrogeologica allegata)

La prima sorgente analizzata è quella di Fadalto Basso. Essa sgorga al piede della scarpata rocciosa del Basso Fadalto a circa 275 m ed è una sorgente perenne captata per fini idroelettrici con portate che variano da 1 a 10 l/s. Se si analizzano i caratteri idrogeologici si potrebbe affermare che la sorgente abbia un comportamento carsico; si ritiene, secondo Dal Prà (1993), valida l'ipotesi che si tratti di un circuito carsico collegato verso monte con la falda di fondovalle. In fase di piena questa sorgente presenta una certa torbidità dell'acqua assieme ad inquinamento microbiologico (Dal Prà, 1993).

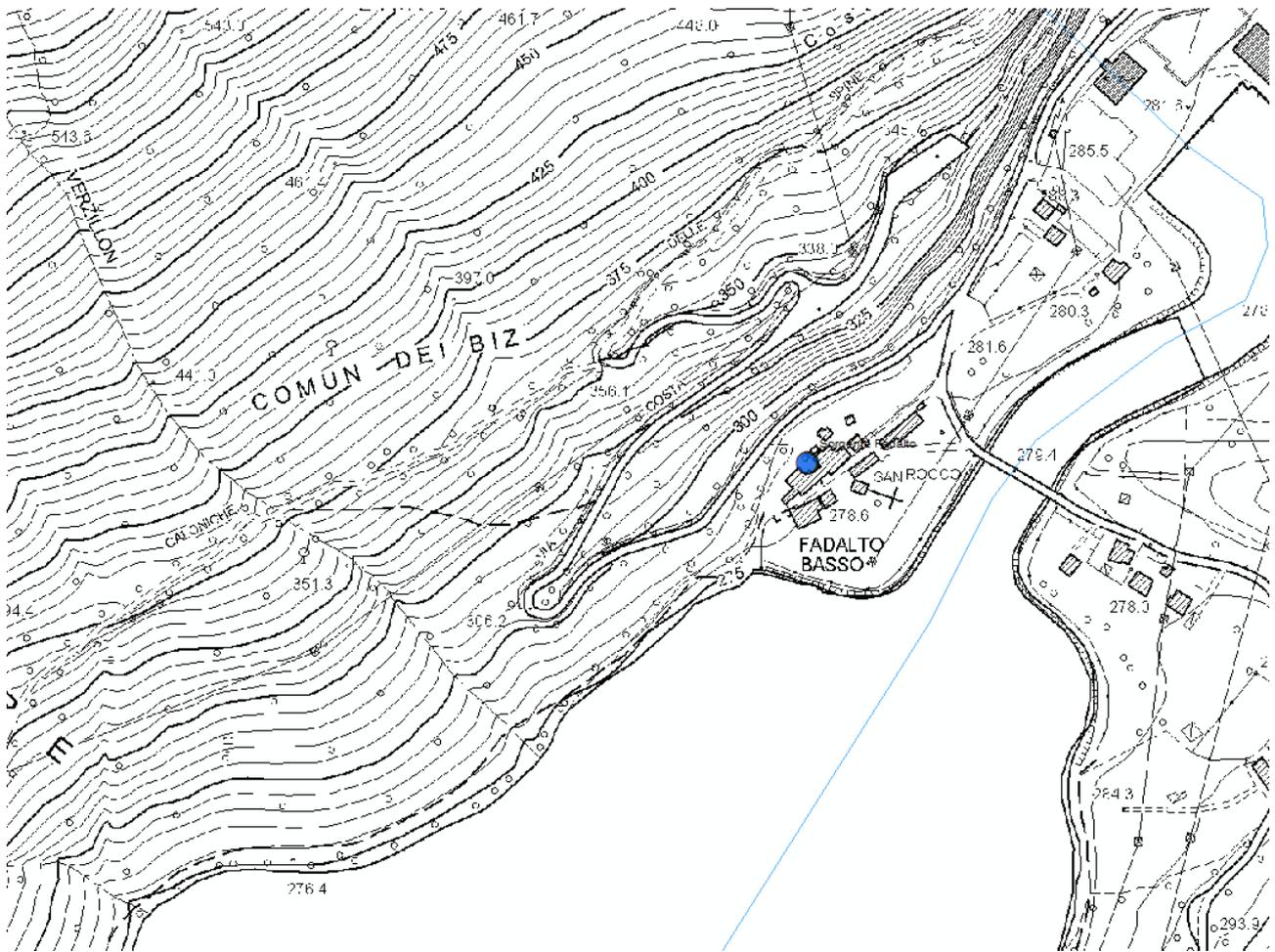


Fig. 3.3: Posizione della sorgente di Fadalto (modificato da carta idrogeologica allegata)

La Sorgente di Vallon della Fontana è di tipo carsico ed è posta a una quota di 575 m. Essa proviene da fessurazioni del massiccio roccioso calcareo e viene captata per scopi acquedottistici entro la copertura detritica. Essa è semi-perenne e l'acqua che sgorga, in fase di piena, è solitamente torbida con un certo inquinamento batteriologico. La sorgente ha portate molto variabili da 4-5 l/s fino a portate nulle con portate medie di 3 l/s (Dal Prà, 1993).

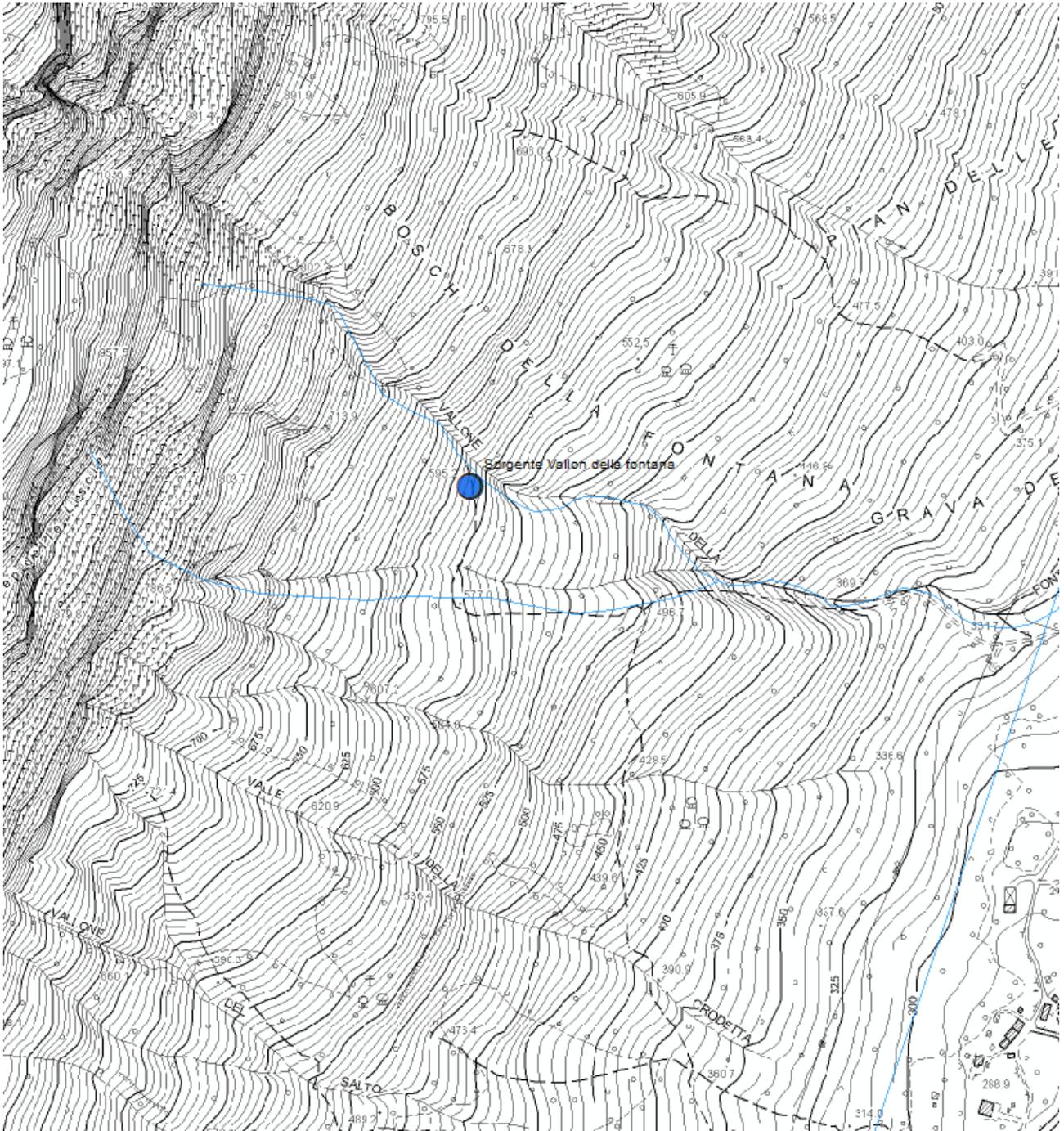


Fig. 3.4: Posizione della sorgente Vallon della Fontana (modificato da carta idrogeologica allegata)

La Sorgente di Negrisiola è caratterizzata da un fronte sorgentifero di circa 200 metri dove le acque sgorgano dal detrito di falda. La zona sorgentifera, in base alle caratteristiche delle acque, è di tipo carsico ed è perenne. Le acque sono captate per fini acquedottistici anche se, in fase di piena, presenta un certo intorbidimento. La portata media è compresa tra i 230-260 l/s (Dal Prà, 1993).

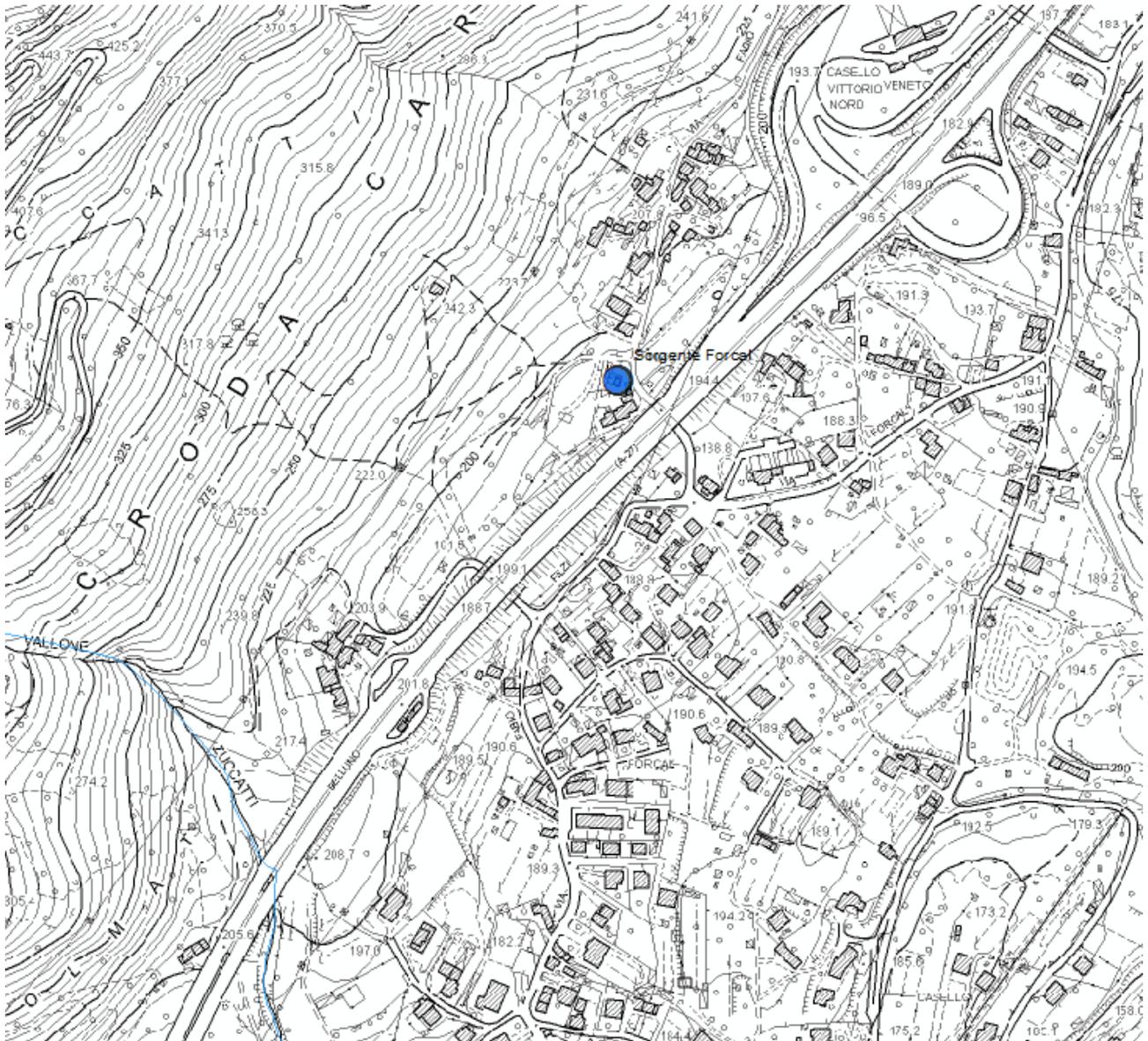


Fig. 3.6: Posizione della sorgente di Forcal (modificato da carta idrogeologica allegata)

La Sorgente del Meschio, oggetto di studio della tesi, è una sorgente di tipo carsico e sgorga da un condotto a una quota di 220 m s.l.m. è perenne ed ha portate che variano da un centinaio di l/s in fase di magra fino a alcuni m³/s in fasi di piena e viene usata per fini idroelettrici.



Fig. 3.7: Posizione della sorgente del Meschio (modificato da carta idrogeologica allegata)

Si tratta di una sorgente di tipo Valchiusano la cui acqua sgorga a valle di pareti strapiombanti formando un laghetto di forma tronco conica ed avente un diametro di circa otto metri con una profondità di circa nove metri. Tale laghetto è collegato, attraverso dei sifoni, ad un condotto che scende subverticalmente in profondità. La portata della sorgente arriva ad un massimo di alcuni metri cubi al secondo ed ha una temperatura compresa tra i 10 °C e gli 11 °C (Carraro, 2011).



Foto 3.8: Foto della sorgente del Meschio. Si nota la forma di laghetto descritto sopra (foto di Luca dei Conti)

Per la sorgente del Meschio, in ambito di questo lavoro di tesi, è stata fatta una ricostruzione topografica della struttura della sorgente oltre ad una sezione della stessa mediante opportune misure topografiche. In particolare, in figura 3.9, si riporta la pianta della sorgente, la sua sezione e una ricostruzione del punto in cui sono state eseguite le misure di portata descritte al paragrafo § 5.4.:

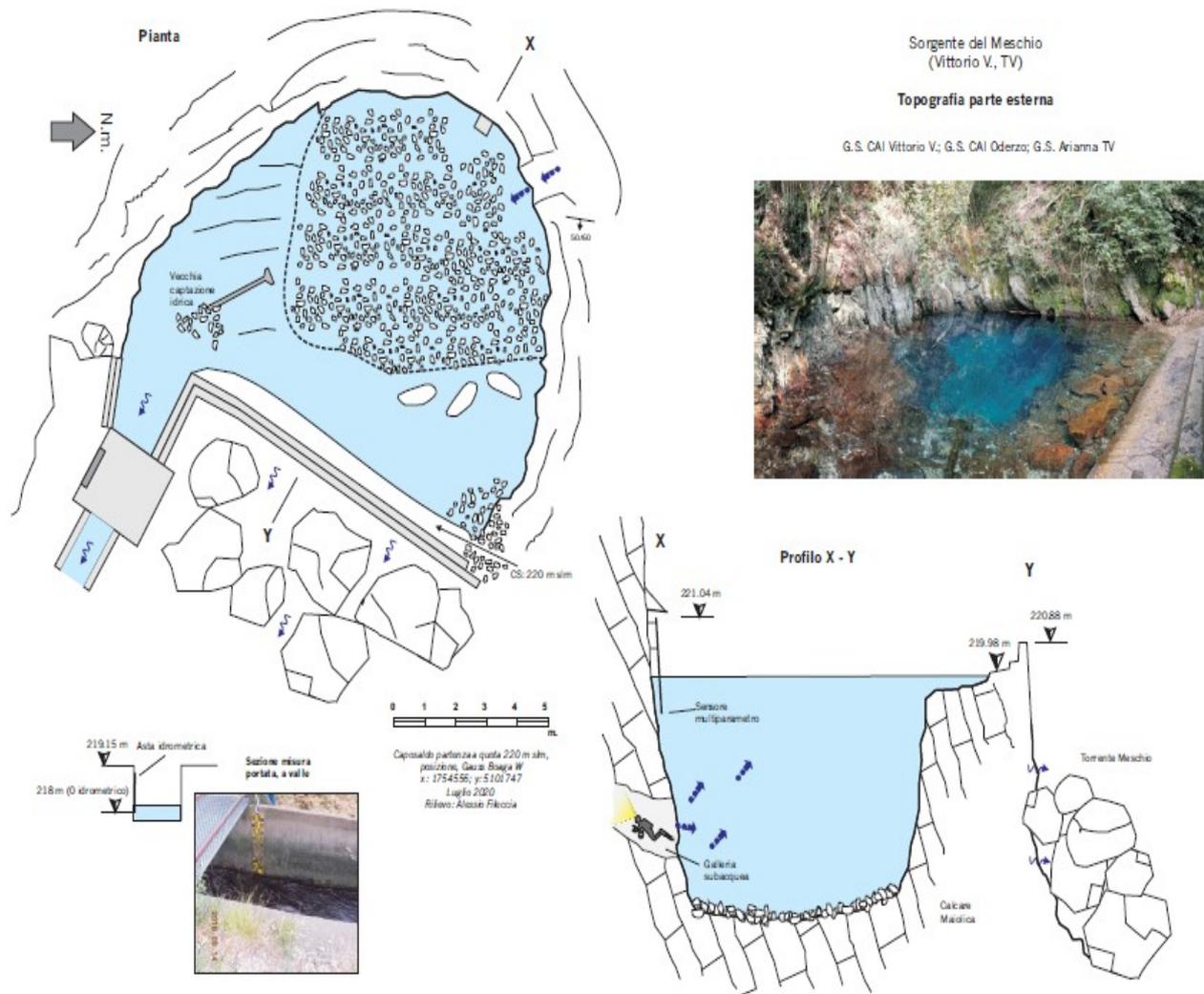


Fig 3.9: Pianta e sezione della sorgente del Meschio

La Sorgente di Belvedere è collocata nei pressi di Nove e, secondo Dal Prà (1993), viene alimentata dalla falda di fondovalle su un'area di bassa quota con portate di circa 8-10 l/s. L'acqua viene captata da un'opera di presa per scopi potabili. Viste le sue origini l'acqua non si intorbida e non patisce di inquinamenti batteriologici e microbiologici (Dal Prà, 1993).

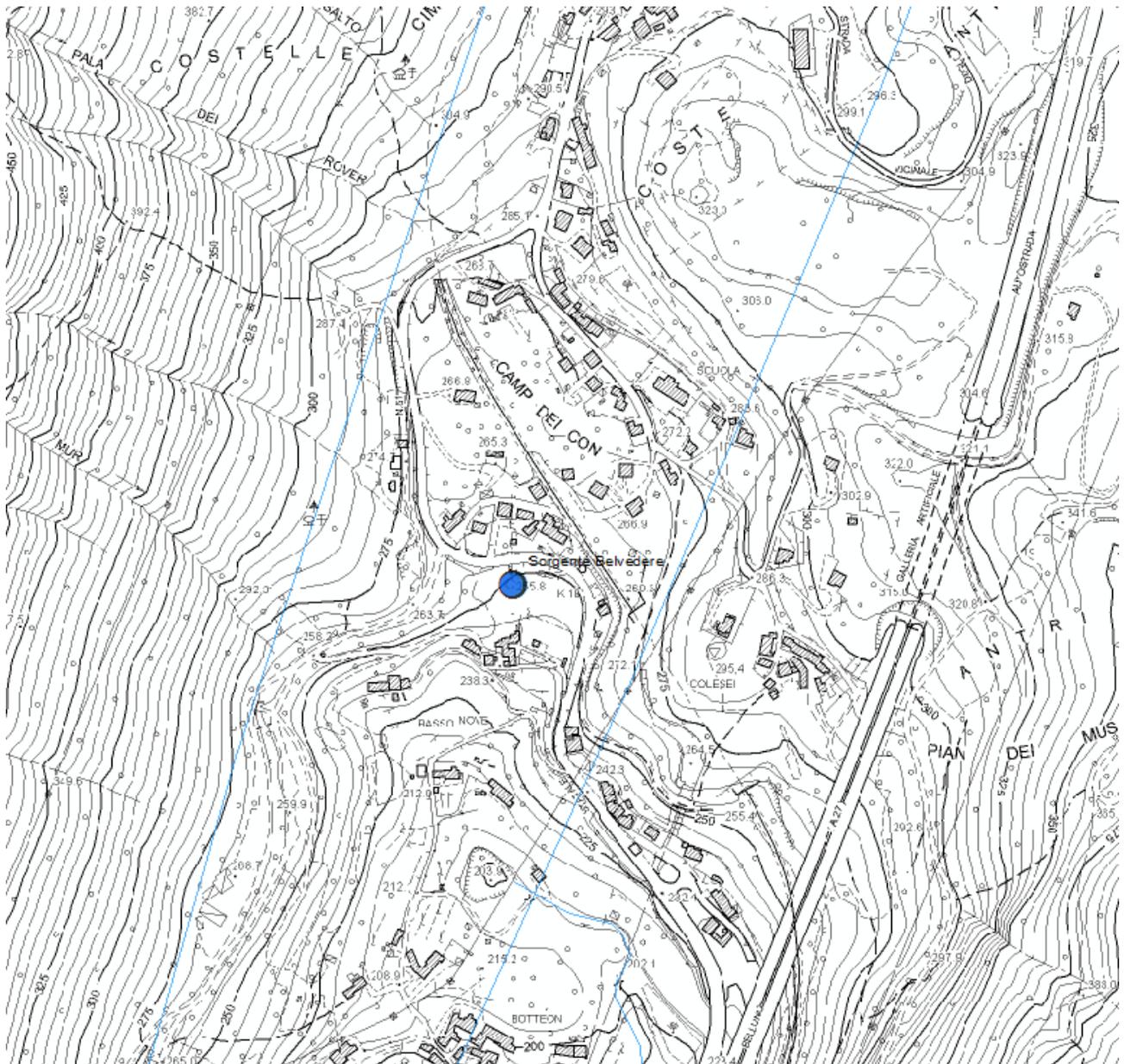


Fig. 3.10: Posizione della sorgente di Belvedere (modificato da carta idrogeologica allegata)

Oltre alle sorgenti appena descritte, ve ne sono altre di portata inferiore sia sul versante lapsino che su quello bellunese del massiccio montuoso del Col Visentin. Alcune sorgenti, con portate molto basse, vengono utilizzate localmente (es. utilizzo per una fontana) mentre altre si disperdono in superficie.

Sul versante orientale-meridionale troviamo: la sorgente Vallon dei Borrai, la sorgente Casera Pian delle Vacche e la sorgente Fontana Canai. Tutte e tre si trovano nel comune di Revine Lago. La prima è situata in località Vallone dei Borrai alla quota di 730 m s.l.m. Essa è posta all'interno di una forra dove l'acqua fuoriesce da una frattura sub verticale nella roccia. La sorgente è perenne e la sua acqua viene utilizzata per alimentare una fontana locale. La seconda si trova in località Pian delle Vacche alla quota di 975 m s.l.m. ed è anch'essa perenne viene usata per alimentare una fontana locale. La terza si trova in località Pian delle Vacche alla quota di 995 m s.l.m. Questa è di carattere temporaneo la cui acqua, quando presente, si disperde nelle immediate vicinanze della scaturigine.

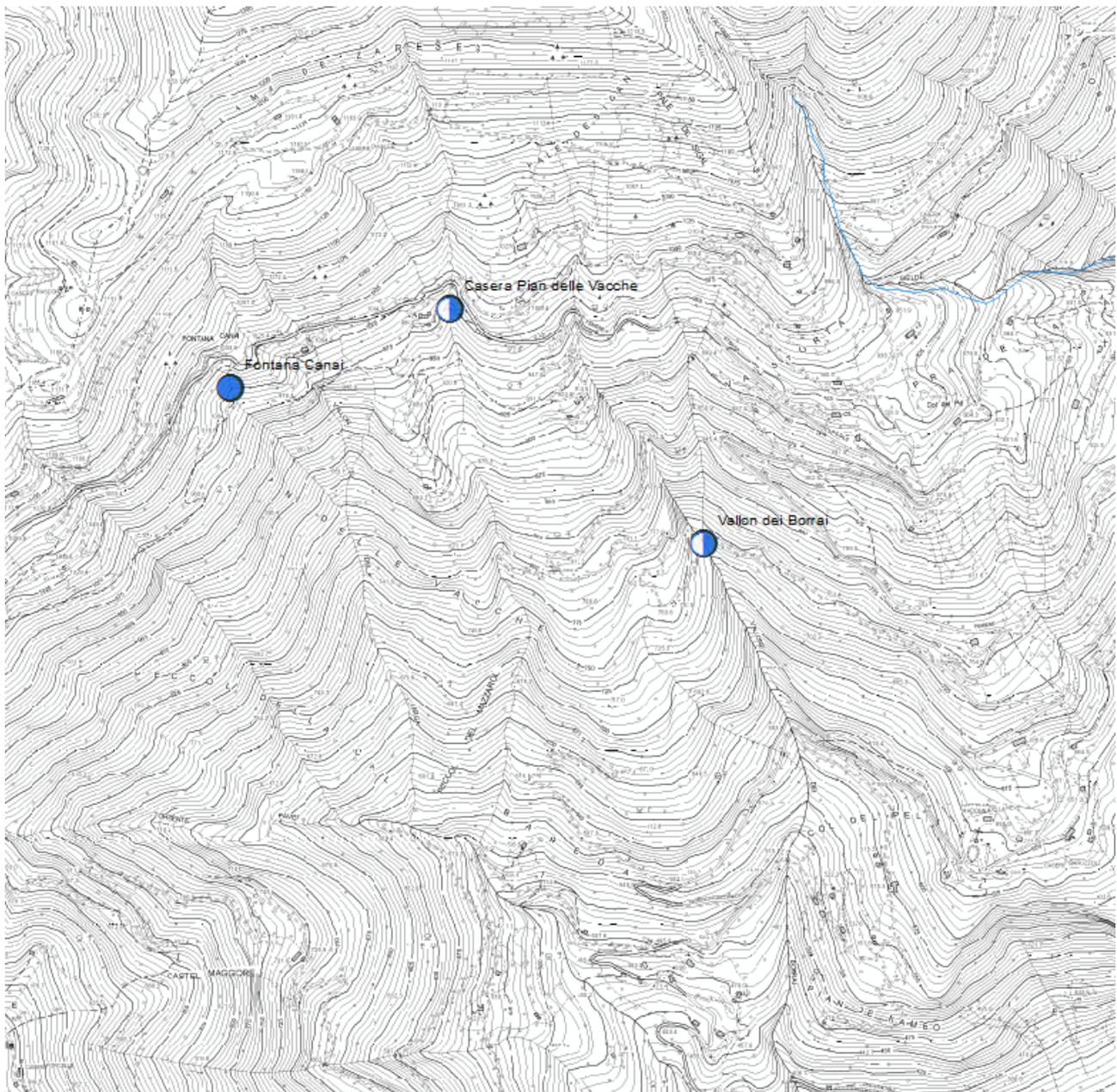


Fig. 3.11: Posizione delle sorgenti Fontana Canai, Casera Pian delle Vacche e Vallon Borrai
(modificato da carta idrogeologica allegata)

Sul versante bellunese invece, come segnato nella carta allegata, si trovano le sorgenti di Pramaor, Pra di Tremes, Fontana Bordon. La sorgente di Pramaor è situata nel comune di Trichiana, in località Pranolz alla quota di 740 m s.l.m. Questa sorgente è di carattere temporaneo e le sue acque si disperdono superficialmente. Nel passato le acque venivano utilizzate per alimentare una fontana locale che attualmente risulta essere dismessa. La sorgente di Pra di Tremes è localizzata nel comune di Limana in località Pra di Tremes alla quota di 871 m s.l.m. Essa è di carattere perenne e le sue acque si disperdono superficialmente. La sorgente di Fontana Bordon si trova nel comune di Limana lungo la strada Montegai alla quota di 878 m s.l.m. Anch'essa è di carattere perenne e le sue acque si disperdono superficialmente.

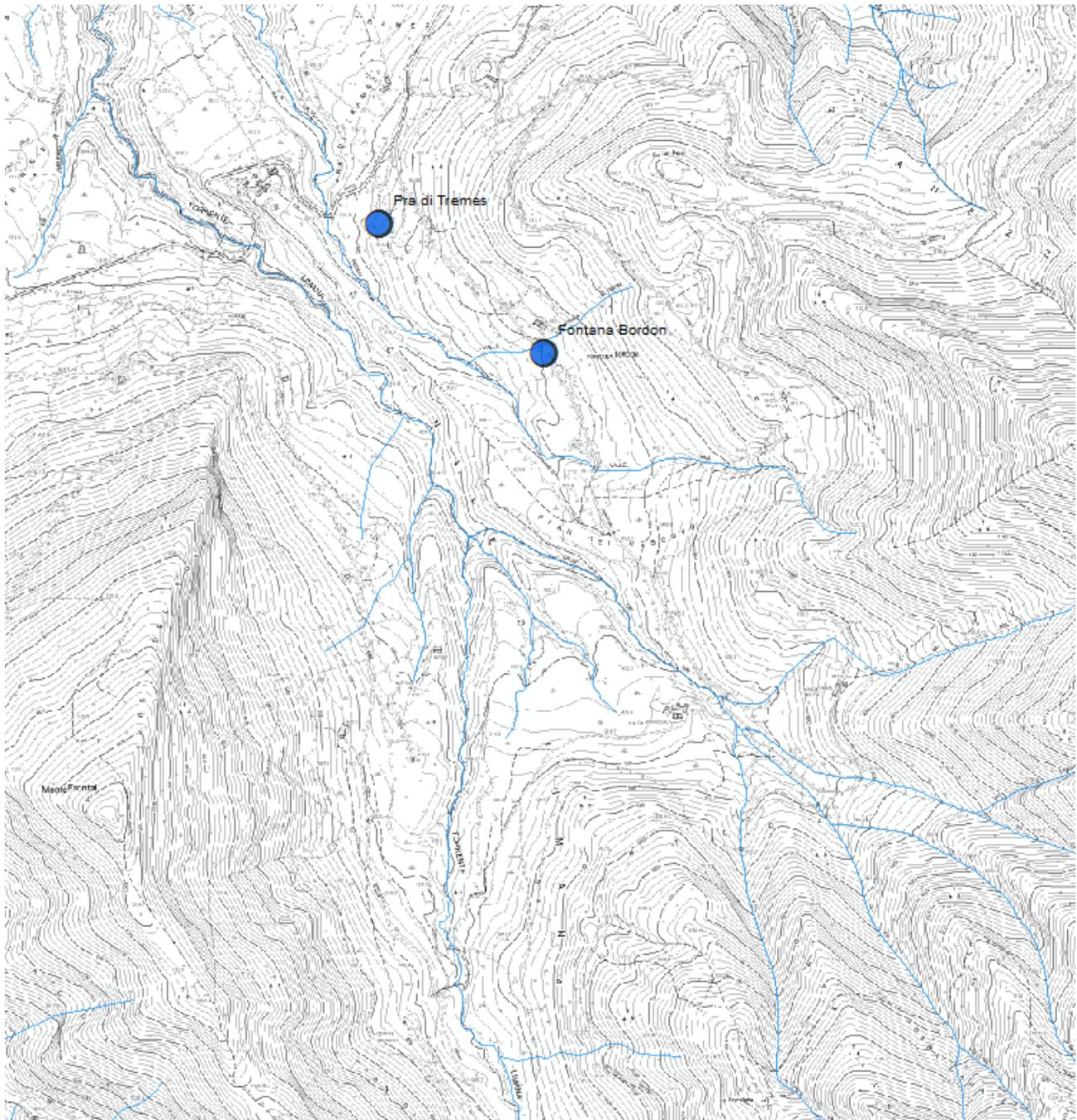


Fig. 3.12: Posizione delle sorgenti di Pra di Tremes e di Fontana Bordon (modificato da carta idrogeologica allegata)

3.2. Caratteristiche dell'acquifero della sorgente del Meschio

L'acquifero che alimenta la sorgente del Meschio è di tipo carsico. Come si vede dalla carta geologica in allegato, sono presenti il Calcarea del Fadalto, la Maiolica, la Formazione di Fonzaso e il Calcarea del Vajont. Sul versante bellunese, in prossimità del sovrascorrimento appartenente alla Linea di Bassano-Valdobbiadene, è presente la Scaglia Rossa e la Marna della Vena d'Oro (sezione geologica in allegato). Al di sotto delle formazioni calcaree, ad una profondità di circa 800 metri, è presente la Formazione di Igne costituita da marne e calcari marnosi. Quindi l'acquifero è delimitato lateralmente sul lato bellunese dal sovrascorrimento della Linea Bassano-Valdobbiadene e sul lato lapisino dal sovrascorrimento della Linea Longhere-Fadalto-Cadola mentre la Formazione di Igne lo delimita inferiormente.

Le formazioni calcaree sono mediamente permeabili (Calcare del Fadalto, Maiolica e Formazione di Fonzaso) o molto permeabili (Calcare del Vajont) a differenza delle formazioni terrigene che, invece, sono poco permeabili (carta idrogeologica in allegato).

Le sorgenti sopra analizzate, sgorgano in prossimità dei sovrascorrimenti ragion per cui si deduce che queste siano delle sorgenti per soglia di permeabilità.

In superficie, gli strati, sul versante lapisino, hanno una giacitura media di 135/40 mentre sul versante bellunese questi hanno una giacitura media di 285/35. Quindi, anche in relazione alla morfologia del Col Visentin, il versante lapisino è più acclive rispetto a quello bellunese.

La presenza dell'anticlinale del Col Visentin funge da spartiacque superficiale. Il processo di infiltrazione delle acque è legato sia a precipitazioni piovose che a scioglimenti nivali. Sono state individuate aree di infiltrazione preferenziale in prossimità della cresta del complesso Monte Agnelezze-Col Visentin nella zona del Col di Lama e al di sopra di Longhere dove si rileva la presenza di diverse doline. L'acqua che si infiltra attraverso il Col Visentin ha un baricentro spostato, viste le sorgenti presenti, nel versante lapisino mentre fuoriesce in maniera limitata nel versante bellunese.

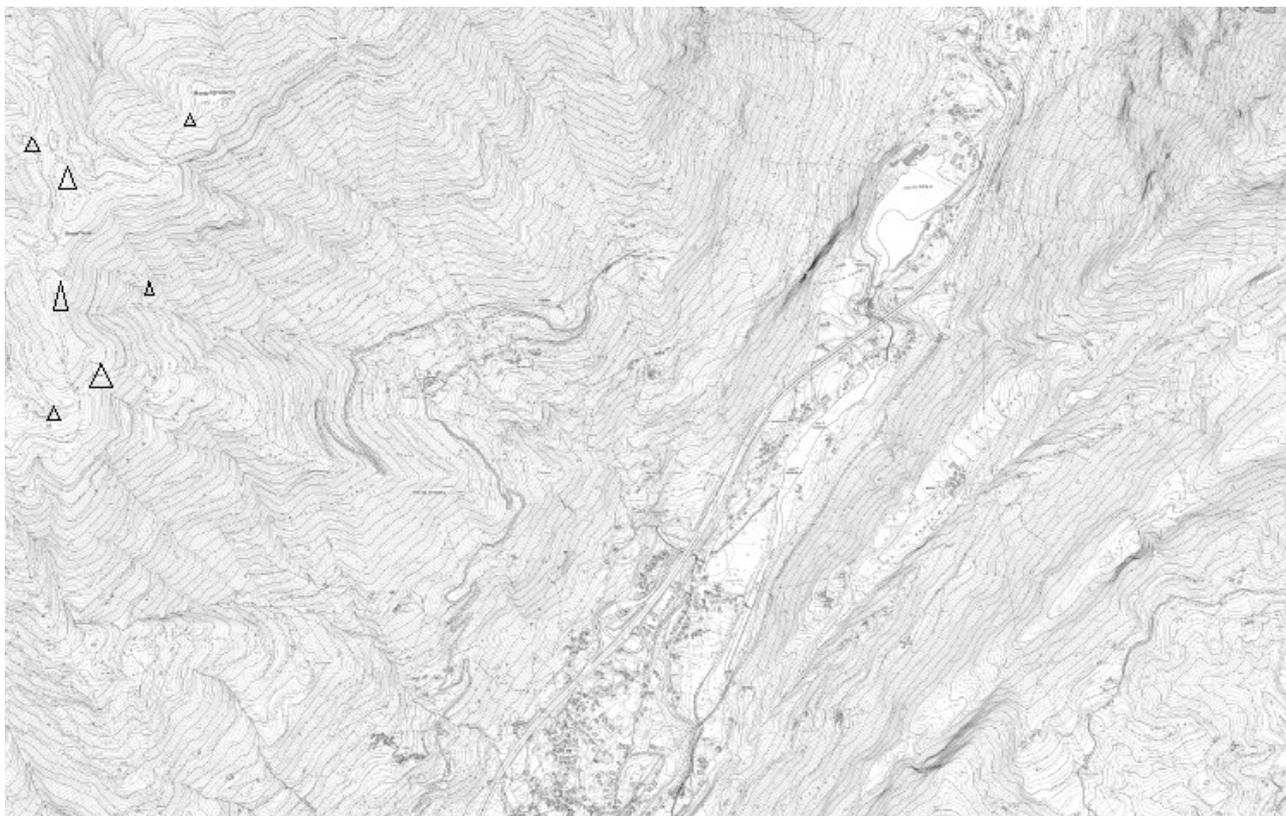


Fig. 3.13: Posizione dei punti di assorbimento rilevati (modificato da Carta topografica-Sezione 063160-San Floriano)

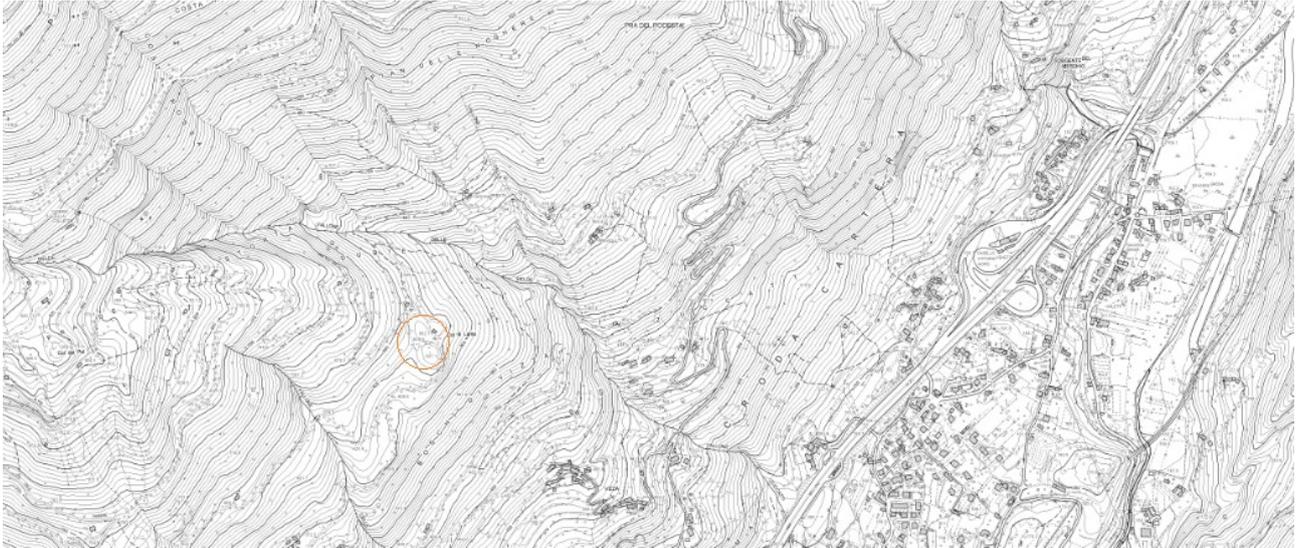


Fig. 3.14: Posizione della dolina osservata sul versante orientale (modificato da Carta topografica-Sezione 063160 San Floriano)

3.3. Descrizione carta idrogeologica allegata

Nell'ambito della tesi è stata elaborata, mediante il programma ArcMap, una carta di carattere idrogeologico. In essa sono stati posti i diversi elementi riguardanti l'ambito idrogeologico. I dati di base che hanno permesso di realizzare la carta sono stati messi a disposizione dalla Regione Veneto tramite un apposito web-gis (Regione Veneto, 2017). Nello specifico sono stati acquisiti i seguenti file in formato .shp:

- litologie delle province di Treviso e Belluno dove sono riportate le litologie presenti nelle due province e che hanno permesso la costruzione della carta geologica in allegato;
- distribuzione delle sorgenti in ambito regionale dove vengono mostrate tutte le sorgenti pubbliche e non captate per fini acquedottistici. È stato aggiunto, poi, un campo per definire la temporaneità o meno delle sorgenti presenti nell'area di studio;
- faglie dove sono comprese sia faglie certe che incerte e i sovrascorrimenti certi e incerti;
- corsi d'acqua sia temporanei che perenni dove vengono riportati i fiumi, i rii montani di carattere temporaneo e anche le condotte idriche di carattere artificiale;
- laghi presenti nell'area di studio;
- permeabilità delle rocce e dei depositi sciolti dove vengono assegnati alle diverse litologie differenti tipi di permeabilità secondo indicazione degli shape-gis forniti dalla Regione Veneto.

I dati acquisiti sono stati sottoposti ad un'analisi per verificare la congruenza e, in seguito, collocati nella carta idrogeologica. In alcuni casi sono stati aggiunti dei campi ad hoc.

Nella carta idrogeologica sono confluite le seguenti informazioni:

- formazioni suddivise per classi di permeabilità;
- giaciture della stratificazione;
- lineamenti strutturali;
- sorgenti suddivise in temporanee e permanenti;
- traccia della sezione.

Per quanto riguarda le classi di permeabilità dei diversi litotipi presenti, sono state usate due colorazioni differenti per poter distinguere rocce e depositi sciolti (depositi morenici, detriti alluvionali, detriti di falda, accumuli di frana): alle rocce è stato assegnato colore pieno mentre ai depositi sono stati assegnati quadratini disposti in griglia.

I colori utilizzati sono stati scelti affinché ci sia una facile lettura ed in relazione ai diversi gradi di permeabilità.

Alle formazioni rocciose sono stati attribuiti tre diversi gradi di permeabilità in base al database della Regione Veneto:

- rocce molto permeabili ($K > 1$ m/s);
- rocce mediamente permeabili ($1 < K < 10^{(-4)}$ m/s);
- rocce poco permeabili ($10^{(-4)} < K < 10^{(-6)}$ m/s).

Ai depositi sciolti sono stati attribuiti quattro diversi gradi di permeabilità:

- depositi molto permeabili ($K > 1$ cm/S);
- depositi mediamente permeabili ($1 < K < 10^{(-4)}$ m/s);
- depositi poco permeabili ($10^{(-4)} < K < 10^{(-6)}$ m/s);
- depositi impermeabili ($K < 10^{(-6)}$ m/s).

A corredo della Carta Idrogeologica è stata elaborata una sezione idrogeologica che taglia trasversalmente da SE a NW il bacino di alimentazione della sorgente del Meschio.

CAPITOLO QUARTO

CHIMISMO DELLE ACQUE SORGIVE

4.1. Campionamento chimico

In data 6/03/2020, grazie alla collaborazione dell'Ing. Della Libera Sandro del Sinistra Piave Servizi, è stato effettuato un piano di campionamento chimico che ha visto la raccolta di diversi campioni d'acqua (4 campioni per punto) dei seguenti punti d'acqua: sorgente del Meschio, torrente affianco alla sorgente del Meschio, sorgente di Forcal, sorgente di Negrisiola, sorgente di Fadalto Basso, sorgente del Belvedere, sorgente Vallon della Fontana, Lago Morto, Galleria di scarico ENEL in Piana degli Alpini. Per effettuare la raccolta dei campioni, sono stati utilizzati dei contenitori in plastica da 250 ml. Si precisa che, causa delle difficoltà tecniche, il campione relativo alla sorgente di Forcal è stato preso presso il serbatoio acquedotti stico in via Filzi, collocato a circa 200 metri dalla sorgente del Forcal. Per ogni punto sono stati raccolti quattro campioni per determinare: anioni, cationi, carbonati e isotopi. Suddetti campioni sono stati inviati presso il laboratorio di idrogeochimica dell'Università di Pisa.

Assieme ai campioni d'acqua prelevati, è stato effettuato per ogni punto un primo rilevamento dei valori di temperatura, pH, conducibilità elettrica e potenziale di ossidoriduzione delle acque campionate. Si riporta in tabella 4.1 i valori dei rispettivi punti d'acqua campionati in data 06/03/2020:

IDENTITA'	T(°C)	pH	EC(microS/cm)	Eh
Meschio	11.3	7.7	286	12
Torrente vicino Meschio	11.0	8.1	354	20
Negrisiola	11.3	7.75	273	132
Forcal	10.5	7.85	253	302
Vallon Fontana	10.6	8.09	220	9
L.Morto	6.8	8.42	449	-1
Fadalto Basso	10.05	8.15	334	8
Galleria ENEL	10.8	8.15	274	7
Belvedere	12.3	7.95	396	126

Tab. 4.1: Valori di T, pH, EC, Eh dei punti campionati

Come si può notare dalla tabella 4.1, i punti d'acqua campionati hanno temperatura essenzialmente simili ad esclusione del Lago Morto che presenta una temperatura di 6.8 °C; identica situazione per quanto riguarda il pH che risulta simile per tutti i punti campionati e compresa tra 7.7 e 8.42; la conducibilità elettrica, invece, si differenzia presentando valori di compresi tra 220 microS/cm e 286 microS/cm per le acque provenienti dal versante del Col Visentin mentre vi sono per le acque di fondo valle valori più elevati tra i 350 e 450 microS/cm. Infine, per il valore di Eh non si riscontra una similitudine tra i valori come nei casi precedenti. In particolare, le sorgenti del Meschio, il torrente ad essa vicino, la sorgente di Vallon della Fontana, il

lago Morto, la sorgente di Fadalto Basso e la Galleria ENEL presentano dei valori bassi a differenza delle sorgenti di Negrisiola, Forcal e Belvedere.

4.2. Chimismo delle acque sorgive

In questo lavoro di tesi, è stato eseguito un campionamento chimico delle acque, ma, a causa dell'emergenza sanitaria relativa al Covid-19, non ha potuto avere continuazione. Di conseguenza, non verranno analizzati i dati delle analisi compiute, ma i dati bibliografici a disposizione. Tali dati fanno riferimento solo ad alcune sorgenti che sono state campionate ed in particolar modo alla sorgente di Belvedere, sorgente Vallon della Fontana, sorgente di Negrisiola, sorgente di Forcal e sorgente del Fadalto Basso.

In prima istanza si riporta in Tab. 4.2 i dati riguardanti conducibilità elettrica, durezza e presenza di solfati. Dai dati in tabella, emerge una notevole differenza tra le acque di origine carsica e quelle di fondovalle come già osservato precedentemente. In particolare, le prime hanno valori attorno ai 14/15 °F mentre le seconde circa attorno ai 20 °F. Tale differenza tra le acque di diversa origine la si può notare anche nell'analisi dei solfati dove la prima categoria di sorgenti presenta valori bassi a differenza della seconda categoria di acque che presenta, invece, valori alti (50/60 mg/l).

Sorgente	EC (microS/cm)	Durezza(°F)	Solfati (mg/l)
Belvedere	315	18	50
Vallon della fontana	200	11.5	3
Negrisiola	235	14	5
Forcal	240	13.5	4
Fadalto	320	21	60

Tab. 4.2: *Dati di conducibilità, durezza e solfati delle sorgenti (Dal Prà, 1993)*

Da questi dati si ricava l'opportuno grafico che compara l'andamento dei valori per ciascuna sorgente.

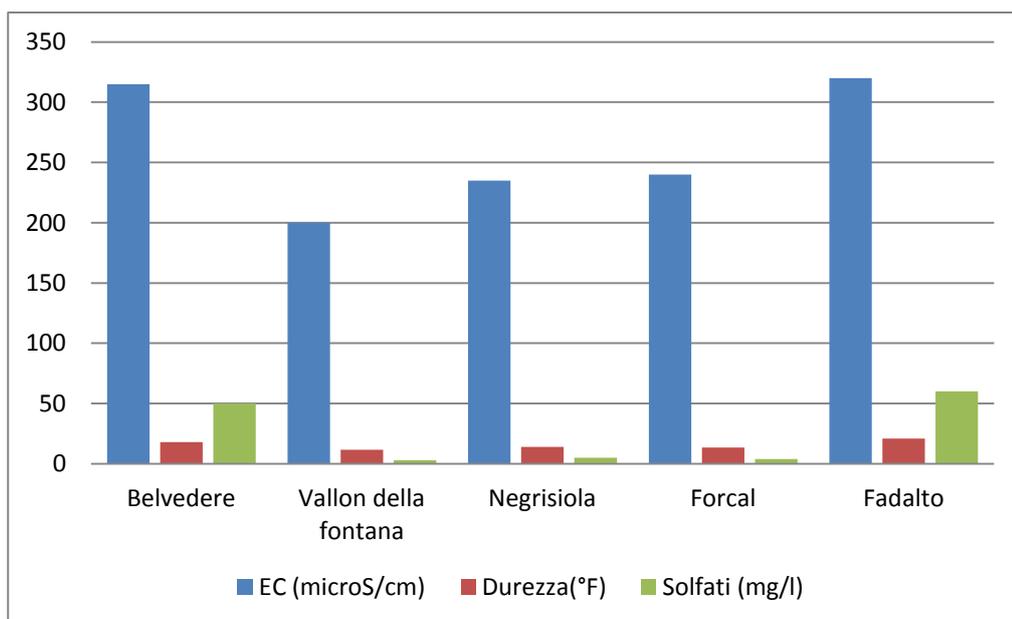


Fig. 4.1: Andamento dei valori di conducibilità, durezza e solfati in riferimento alle singole sorgenti

In seguito, sono stati valutati anche altri dati riguardanti la presenza di solfati (mg/l), cloruri (mg/l), nitrati (mg/l) e residui (mg/l) tratti dal lavoro di Dal Prà del 1993 “*Caratteri geologico-tecnici delle fonti di approvvigionamento dell’acquedotto comunale di Vittorio Veneto*” svolto per la Società Acquedotto Sinistra Piave Servizi:

Sorgente	EC (microS/cm)	Durezza (°F)	Solfati (mg/l)	Cloruri (mg/l)	Nitrati (mg/l)	Residuo (mg/l)
Fadalto	300	17.5	51	1.6	0	210
Fadalto	285	17.4	50	2	0	200
Fadalto	305	17.9	55	1	3	215
Forcal	220	13.8	3	1	3	155
Negrisiola	235	14.3	5	1	3	165
Negrisiola	235	15.8	6	1	0	165
Vallon	180	11.1	0	1	0	125
Vallon	190	11.2	3	0.8	0	122

Tab. 4.3: Valori bibliografici dei parametri chimici di alcune sorgenti campionate (Dal Prà, 1993)

Di questi dati è stata fatta la media relativa ad ogni sorgente come si riporta in figura 4.2:

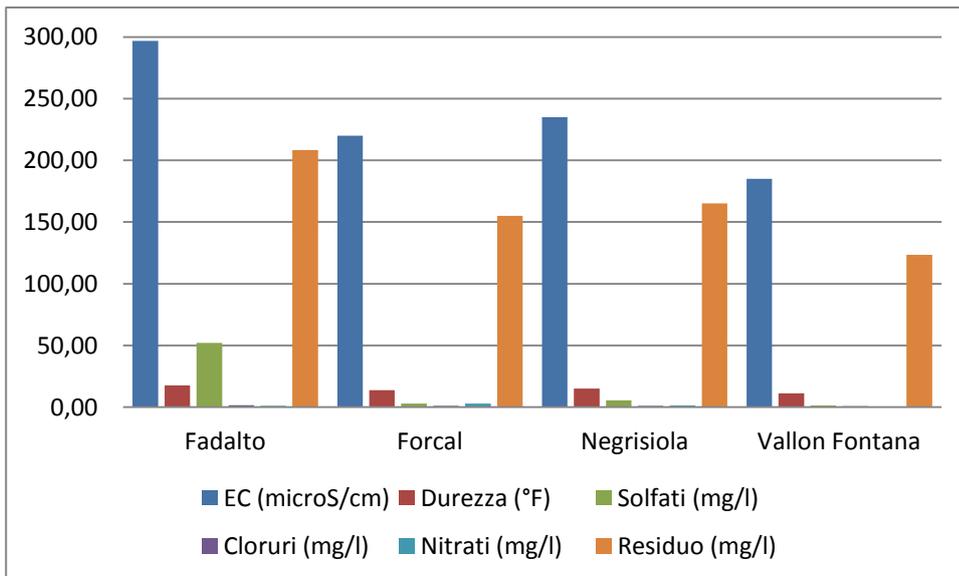


Fig. 4.2: *Andamento medio dei parametri di alcune sorgenti dei parametri riportati in Tab. 4.3*

CAPITOLO QUINTO

MONITORAGGIO

5.1. Strumenti e procedura

Nella fase di monitoraggio sono stati utilizzati due rilevatori automatici che hanno permesso di acquisire dati in continuo di livello, temperatura, conducibilità elettrica della sorgente del Meschio tramite un Diver CTD e la pressione e la temperatura atmosferica tramite un BaroDIVER. In particolare, il CTD ha misure di 22x135 mm, un peso di 95 grammi con una memoria in grado di effettuare 48000 misure ed è in grado di rilevare temperature comprese in un intervallo tra i -20°C a +80°C. Per quanto riguarda la conducibilità elettrica è possibile scegliere tra due range ovvero 30 microS/cm oppure 120 microS/cm. La scala dello strumento è di 10 metri. Tale strumento è stato inserito in un opportuno tubo di protezione di forma cilindrica in alluminio ancorato alla roccia; in aggiunta, è stata collocata al di sopra una piastra in alluminio leggermente inclinata al fine di proteggere sia gli strumenti che il tubo di protezione da eventuali cadute di materiale (massi, rami, foglie, etc.). Al di sotto di tale piastra, è stato opportunamente posizionato il BaroDIVER con lo scopo di misurare la pressione e la temperatura atmosferica al fine di compensare le misure rilevate dai sensori inseriti in acqua che non sono compensati barometricamente. Tale strumento ha dimensioni di 22x110 mm ed un peso di 104 grammi. Esso permette di effettuare un massimo di 72000 misure con temperature comprese in un intervallo tra i -20°C e i +80°C.



Fig. 5.1: Diver CTD e BaroDiver utilizzati nello studio

Un primo periodo di registrazione è stato effettuato a partire dal 12 maggio fino al 22 dicembre 2018 mentre il secondo dal 14 settembre 2019 fino a maggio 2020 in maniera tale da poter analizzare il comportamento della sorgente sia durante la fase di magra che in quella di piena per un tempo sufficiente e tale da poter proporre delle ipotesi sulla circolazione nel serbatoio. I dati in questione sono stati scaricati sul computer grazie all'utilizzo di un supporto per lo scarico dei dati.

Prima di installare la strumentazione è stato necessario effettuare una serie di operazioni sia per lo sgombero di rami ed alberi sia per l'installazione della protezione per gli strumenti. In primo luogo, la sorgente del fiume Meschio è stata ripulita dalla vegetazione circostante che intralciava le operazioni successive. Effettuata tale operazione, è si è proceduti con l'installazione dell'adeguata protezione per gli strumenti.

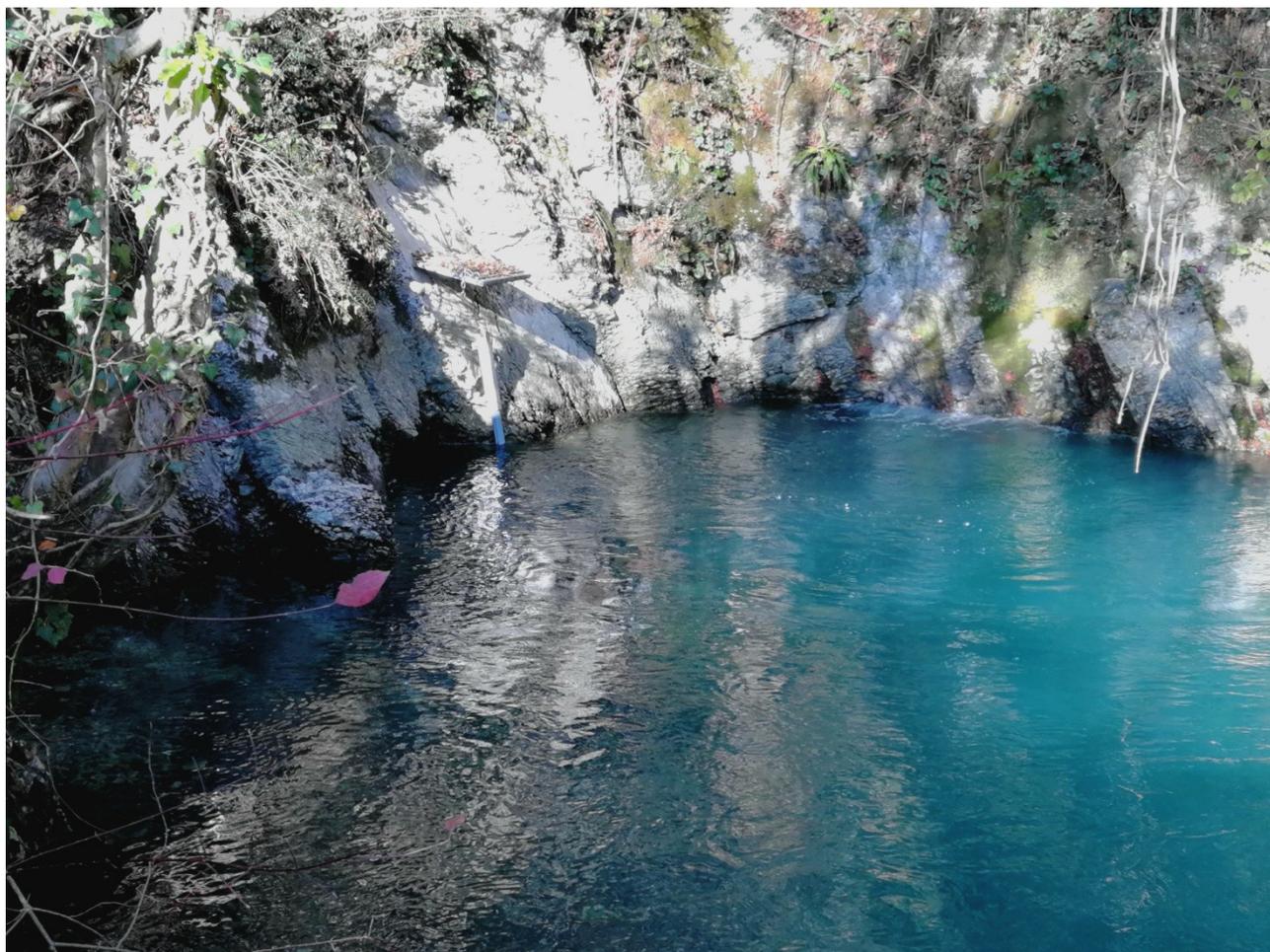


Foto 5.2: Immagine della struttura presente alla sorgente a protezione degli strumenti di campionamento (foto di Luca Dei Conti)

Il 12 maggio 2017 i due strumenti sono stati installati dopo essere stati programmati adeguatamente. Si è scelto di programmare gli strumenti con un intervallo di rilevamento di cinque minuti con range di 30 microS/cm per quanto riguarda la conducibilità elettrica del Diver CTD. Il primo campionamento è durato all'incirca un mese fino al 5 giugno 2017. In tale data sono stati scaricati i dati relativi a tale periodo e, in seguito, gli strumenti sono stati programmati in maniera differente poiché per il Diver CTD si è scelto di mantenere un intervallo di cinque minuti, mentre per il BaroDIVER si è scelto un intervallo di 30 minuti. Il secondo campionamento ha avuto durata fino al 25 di ottobre. In tale data sono stati acquisiti i dati rilevati e sono stati cambiati nuovamente gli intervalli di tempo. Infatti, si è scelto di mettere un intervallo di 15 minuti di campionamento per il Diver CTD mentre per il BaroDIVER è stato mantenuto il precedente intervallo di campionamento. Successivamente a tale data entrambi gli strumenti sono stati programmati con un tempo di campionamento di 30 minuti fino al 22 dicembre 2018, data nella quale i due strumenti sono stati disinstallati. A partire dal 14 settembre 2019 i due strumenti sono stati ricollocati nell'esatta posizione e con egual tempo di campionamento. Si precisa che il monitoraggio sta tuttora proseguendo.

Una volta scaricati i dati questi sono stati elaborati mediante Microsoft Office Excel allineando, in base a data e ora, i diversi valori di conducibilità, temperatura, pressione totale del Diver CTD e i valori di pressione atmosferica e temperatura dell'aria registrati dal BaroDIVER in maniera tale da

ricavare la pressione compensata e valutare, dunque, la variazione del livello della colonna d'acqua dentro la sorgente.

5.2. Rete pluviometrica

Nell'intorno dell'area di studio sono presenti alcune stazioni meteorologiche che permettono di delineare le caratteristiche climatiche dell'area di studio. Nello specifico sono state considerate otto stazioni pluviometriche (fig. 5.3):

- stazione numero 22 Sant'Antonio Tortal
- stazione numero 92 Col Indes
- stazione numero 93 Torch
- stazione numero 216 Tramedere- Cansiglio
- stazione numero 240 Vittorio Veneto
- stazione numero 264 Belluno
- stazione numero 346 La Secca
- stazione numero 464 Nogarolo

Sono stati presi in considerazione i dati pluviometri orari e giornalieri relativi sia gli anni 2017, 2018, 2019, 2020. In aggiunta sono stati considerati dati annuali a partire dal 1994 fino al 2018.

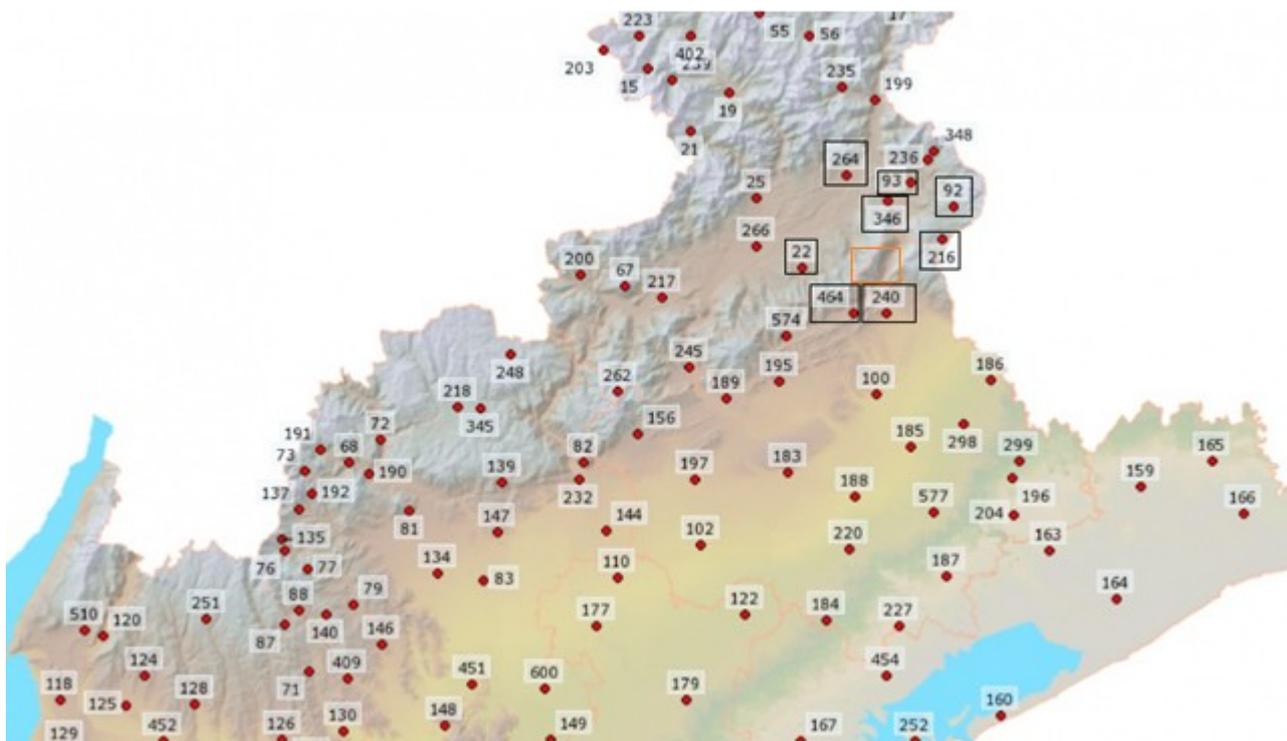


Fig. 5.3: Ubicazione delle stazioni pluviometriche utilizzate. In arancione l'area di studio (modificato da Arpa Veneto, 2017)

Le stazioni in questione sono localizzate in un'area circoscritta per cui esse sono, tra di loro, relativamente vicine. Di conseguenza il regime delle precipitazioni rilevate è simile, come si può osservare dall'immagine sottostante. Si riporta in Tabella 5.1 le coordinate delle diverse stazioni pluviometriche sopra indicate:

Longitude	Latitude	quota slm m	Nome stazione
1750560	5117458	377	Belluno n. 264
1765830	5113061	1181	Col Indes n. 92
1756389.041	5113776.66	386	La Secca n. 346
1751459.849	5097625.008	329	Nogarolo n. 464
1744072	5104281	544	S. A. Tortal n. 22
1759719	5116409	593	Torch n. 93
1764069	5108350	1022	Tramedere n. 216
1756209	5097768	123	Vveneto n. 240
1754514	5101744	220	Sorgente Meschio

Sistema Gauss Boaga W

Tab. 5.1: Coordinate delle stazioni pluviometriche utilizzate

Per il periodo compreso tra il 1994 e il 2018 il Veneto è stato caratterizzato da una precipitazione media annuale di 1086 mm di pioggia.

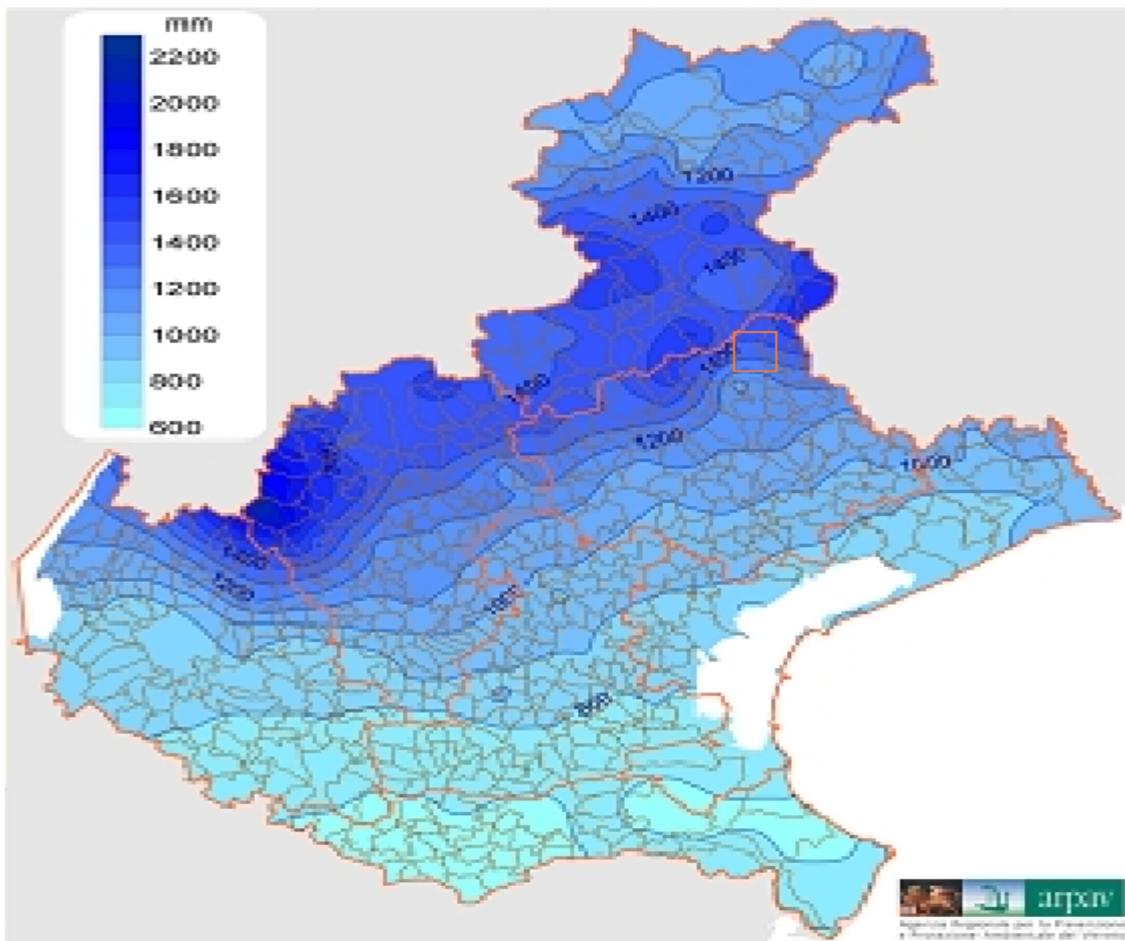


Fig. 5.4: *Mapa delle precipitazioni relativa alla media annuale del periodo 1994-2018 (modificato da ARPAV, 2017)*

In genere, la zona studiata risulta essere abbastanza piovosa con una precipitazione media, considerati i quattro anni di studio, di 1260 mm annui. L'andamento di tali precipitazioni rispecchia l'andamento stagionale, ovvero si riscontrano precipitazioni prolungate e intense nel periodo autunnale/invernale, mentre nel periodo estivo queste risultano essere di breve durata.

Preso in considerazione il periodo compreso il periodo tra il 1994 e il 2018, come si nota in figura 5.6, all'aumentare della quota (s.l.m.) la piovosità media annua aumenta:

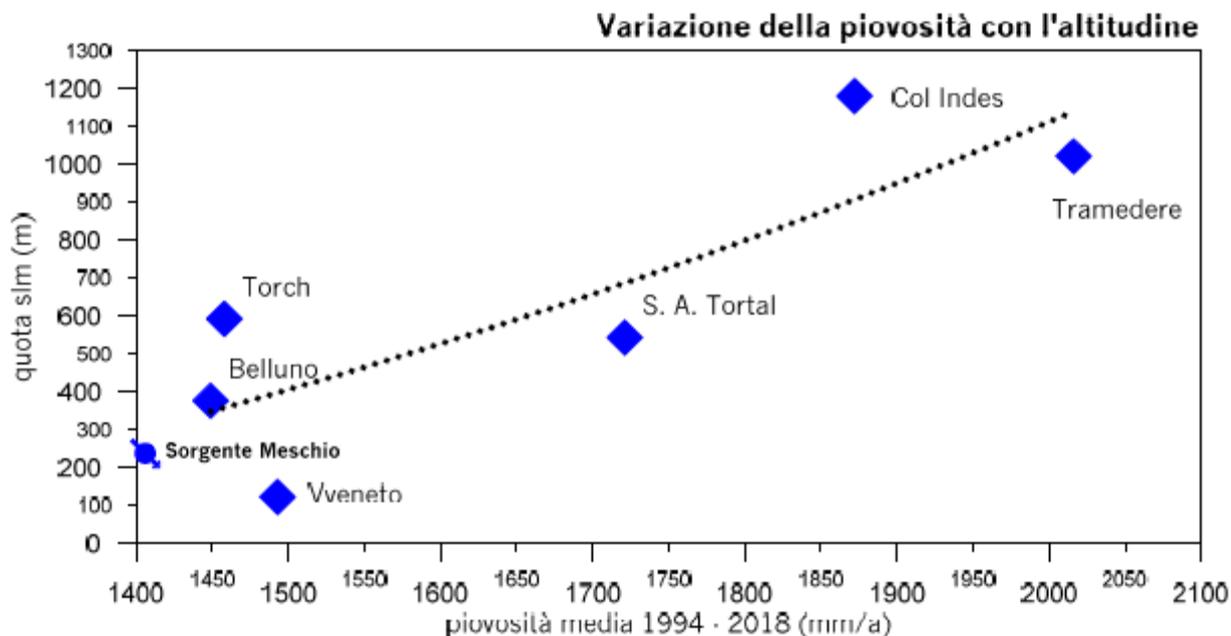


Fig. 5.5: Rapporto tra la quota e la piovosità media annua del periodo 1994-2018

Facendo dunque riferimento alla Tab. 5.1 e alla Fig. 5.5 e considerando i dati pluviometrici relativi al periodo suddetto, è stato possibile creare le isoiete specifiche per la zona oggetto di studio (Fig. 5.6). Per creare le isoiete è stato utilizzato il programma Surfer® dove si è proceduti dapprima con la scansione della carta georeferenziata con il sistema Gauss Boaga W e, successivamente, con l'interpolazione dei dati mediante il metodo del Kriging :

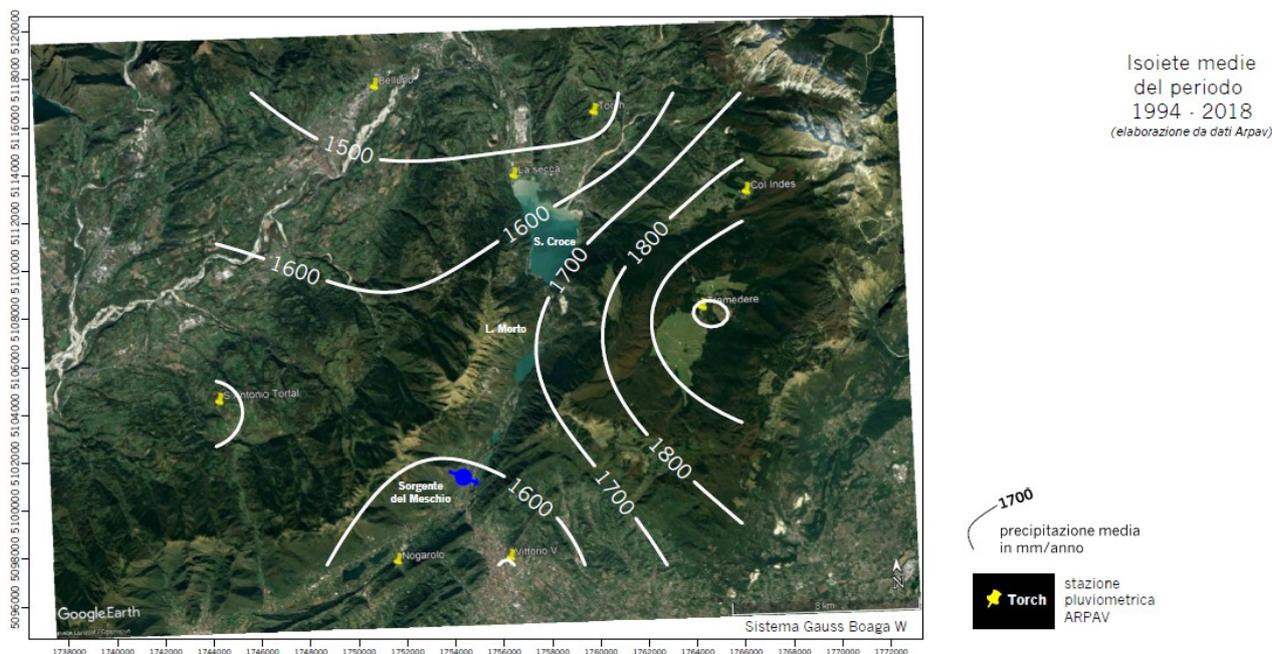


Fig. 5.6: Isoiete medie del periodo 1994-2018

Si analizzano, ora, gli anni 2017, 2018, 2019 e 2020.

L'anno 2017 è stato l'anno di inizio monitoraggio della sorgente (in particolare da maggio 2017). Di conseguenza, sono stati considerati i dati pluviometrici a partire dal mese di maggio. Si riportano in Tab. 5.2 i valori pluviometrici mensili mentre in Fig. 5.7 il grafico relativo alle piogge per ogni stazione:

	Belluno [mm]	Col Indes [mm]	La Secca [mm]	Nogarolo [mm]	S. Ant. Tort. [mm]	Torch [mm]	Tramedere [mm]	Vitt. Veneto[mm]
MAG	87.0	122.6	79.2	92.4	86.2	71.4	146.8	89.8
GIU	197.8	165.6	195.0	210.6	266.2	219.0	153.0	197.8
LUG	162.2	129.8	124.2	112.8	226.8	132.4	136.0	136.2
AGO	61.6	67.4	51.0	45.6	53.6	32.6	100.8	44.4
SET	218.8	254.2	173.8	191.4	235.8	162.8	231.0	195.4
OTT	30.8	50.6	24.0	38.6	28.6	34.0	42.6	42.4
NOV	99.4	273.2	131.4	202.4	218.0	126.0	301.4	193.8
DIC	151.4	259.2	198.2	186.8	289.4	98.4	350.2	179.4

Tab. 5.2: Precipitazioni relative all'anno 2017 (da inizio monitoraggio)

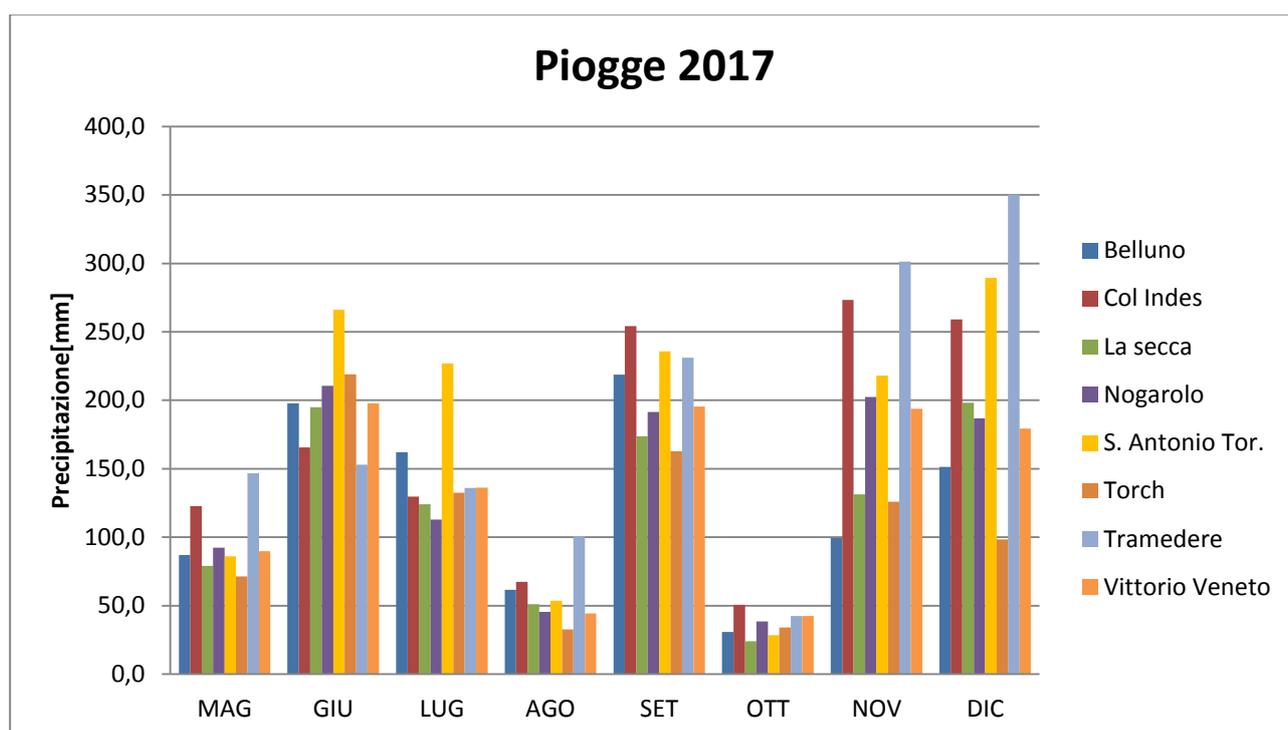


Fig. 5.7: Precipitazioni relative all'anno 2017 (da inizio monitoraggio)

In Tab. 5.2 e in figura 5.7 si può osservare come i mesi più piovosi, in relazione alle stazioni considerate, siano dicembre, settembre e giugno. Il periodo quindi più piovoso è stato il periodo autunnale con 5213.4 mm contro i 3540.8 mm del periodo primaverile/estivo.

Sono state fatte le stesse considerazioni per l'anno 2018. Pertanto, si riporta in Tab. 5.3 le pluviometrie mensili e in Fig. 5.8 il grafico delle piogge relativo ad ogni stazione:

	Belluno [mm]	Col Indes [mm]	La Secca [mm]	Nogarolo [mm]	S. Ant. Tort. [mm]	Torch [mm]	Tramedere [mm]	Vitt. Veneto[mm]
GEN	87.4	211.2	130.4	100.6	157.2	127.6	224.0	77.8
FEB	44.0	48.4	20.8	50.8	38.0	34.6	59.4	55.6
MAR	168.8	139.4	122.2	176.4	169.8	142.0	185.4	145.6
APR	136.6	157.4	127.8	101.0	123.0	134.8	155.4	107.8
MAG	202.4	273.4	150.0	183.0	203.4	184.2	308.4	145.2
GIU	173.4	117.4	125.0	124.2	207.0	145.5	233.2	149.2
LUG	245.6	151.6	149.8	125.0	216.6	137.8	160.8	119.8
AGO	89.4	200.6	104.8	116.6	173.6	154.0	226.6	136.2
SET	72.0	76.0	46.8	94.8	104.0	50.0	42.6	89.6
OTT	268.6	485.0	305.8	225.8	385.6	380.0	438.2	211.4
NOV	138.1	227.4	136.2	136.8	204.2	142.4	268.0	146.0
DIC	4.2	10.2	2.8	9.2	7.0	6.2	11.4	7.4

Tab. 5.3: Precipitazioni relative all'anno 2018

Come si può notare per tutte le stazioni pluviometriche considerate, il mese più piovoso dell'anno risulta essere il mese di ottobre. Questo perché tra fine ottobre e inizio novembre (tanto è vero che questi assieme a maggio risultano essere i mesi più piovosi) vi è stata la tempesta Vaia i quali effetti sono stati devastanti e dove sono state registrate quantità di pioggia superiori, in alcuni casi, alle medie annuali di precipitazione pluviometrica. Se si considerano i periodi stagionali, si osserva che il periodo primaverile ed estivo (fino al mese di luglio) presenti precipitazioni maggiori (5275.7 mm) rispetto al periodo autunnale ed inizio invernale (tra settembre e dicembre con 4733.7 mm).

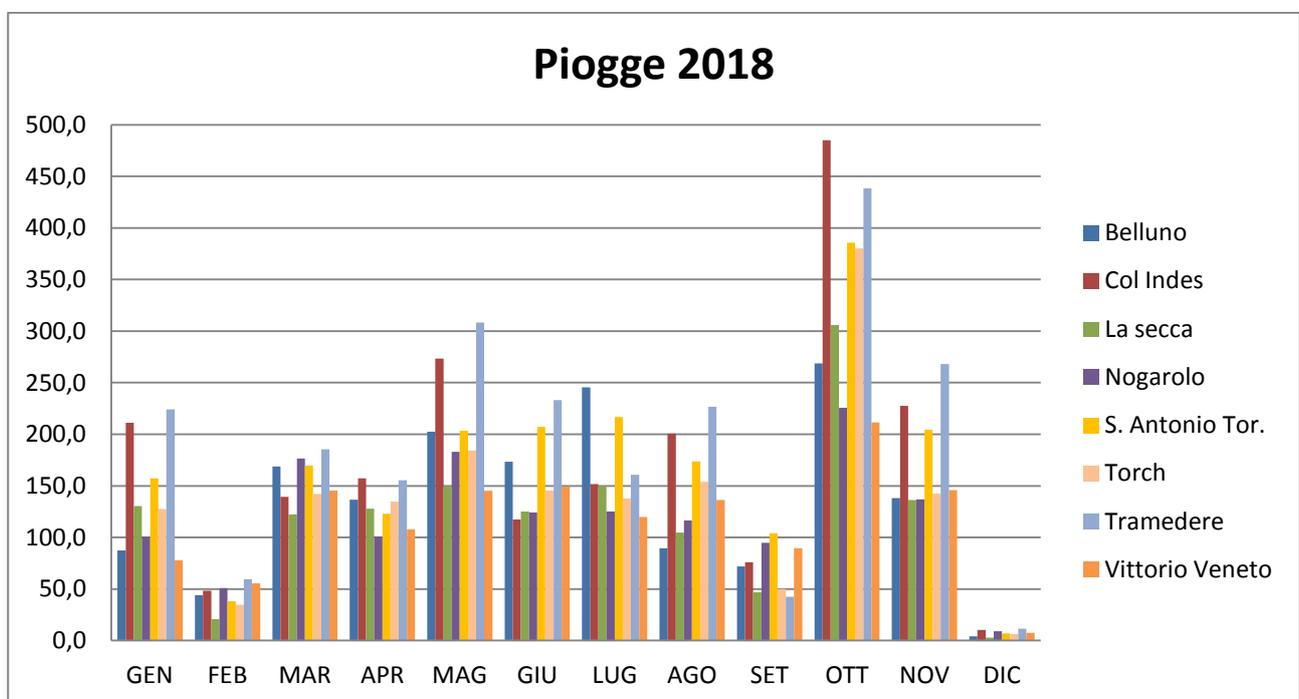


Fig. 5.8: Precipitazioni relative all'anno 2018

Sono state fatte le stesse considerazioni per l'anno 2019. Pertanto, si riporta in Tab. 5.4 i valori pluviometrici mensili e in Fig. 5.9 il grafico delle piogge relativo ad ogni stazione:

	Belluno [mm]	Col Indes [mm]	La Secca [mm]	Nogarolo [mm]	S. Ant. Tort. [mm]	Torch [mm]	Tramedere [mm]	Vitt. Veneto[mm]
GEN	31.6	23.6	22.4	18.2	20.0	29.6	29.0	15.0
FEB	129.2	161.6	161.4	159.2	135.2	121.4	261.0	151.0
MAR	28.6	27.6	22.2	31.2	34.0	19.4	36.6	43.0
APR	322.2	626.8	341.8	424.2	540.0	356.6	709.8	370.0
MAG	331.2	402.6	193.6	319.4	345.6	242.2	399.0	287.2
GIU	39.6	20.2	16.0	7.0	13.8	15.4	26.6	9.2
LUG	164.8	218.6	93.2	112.6	117.6	123.8	152.6	122.4
AGO	174.0	197.8	142.8	135.2	89.2	188.2	180.8	104.8
SET	133.4	114.8	95.0	76.4	105.4	85.2	112.8	59.2
OTT	62.2	109.4	82.6	146.8	105.8	89.8	136.8	80.4
NOV	501.6	780.6	534.4	394.4	712.0	524.2	833.2	335.4
DIC	130.2	182.6	129.2	185.4	215.4	139.0	272.0	140.6

Tab. 5.4: Precipitazioni relative all'anno 2019

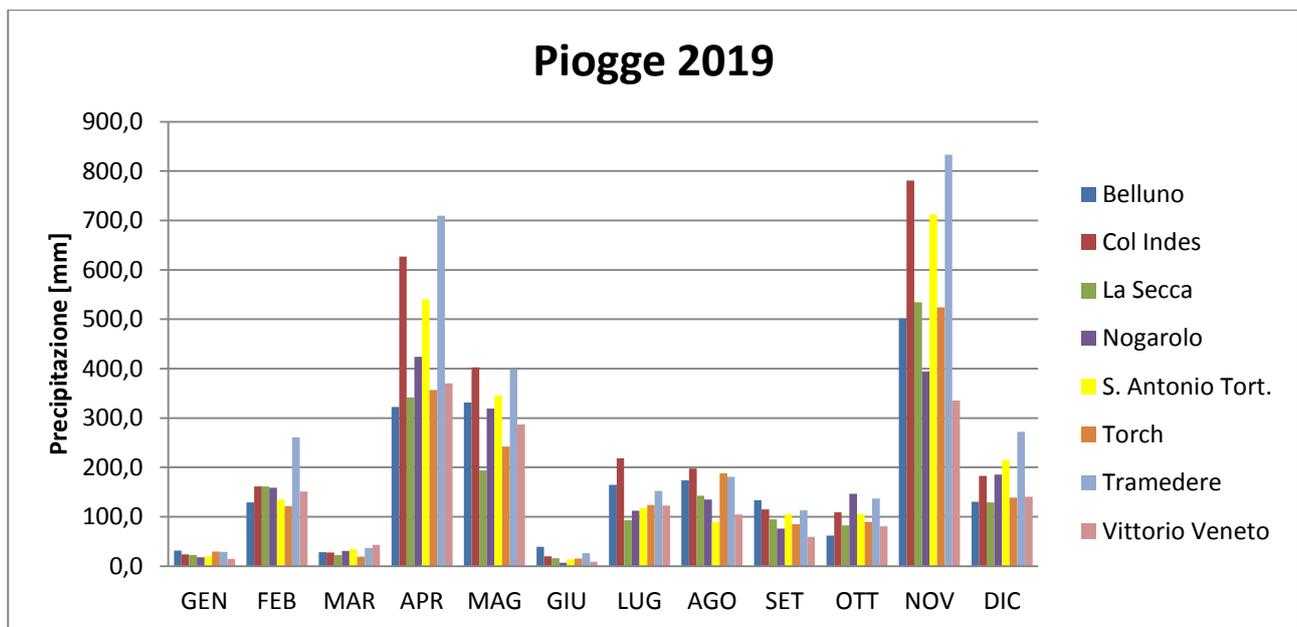


Fig. 5.9: Precipitazioni relative all'anno 2019

Come si nota il mese più piovoso è stato novembre e a seguire aprile e maggio. Questi tre mesi sono stati i più piovosi e gli unici che superano, per ogni stazione pluviometrica i 200 mm di precipitazione a differenza dei mesi restanti. Il periodo più piovoso risulta essere, anche se di poco, quello autunnale (settembre-dicembre) con 7606.2 mm rispetto ai 7465.6 mm del periodo primaverile/inizio estate (aprile-luglio).

I dati pluviometrici dell'anno 2020 si fermano a maggio. Perciò, in tabella 5.5, si riportano i valori relativi alle somme mensili:

	Belluno [mm]	Col Indes [mm]	La Secca [mm]	Nogarolo [mm]	S. Ant. Tort. [mm]	Torch [mm]	Tramedere [mm]	Vitt. Veneto[mm]
GEN	4.0	5.6	1.8	5.8	4.8	6.6	4.8	4.6
FEB	5.8	10.8	3.0	5.8	3.6	7.0	15.0	4.6
MAR	150.2	169.0	107.6	126.4	172.6	126.4	188.0	103.6
APR	28.8	31.6	25.2	29.0	62.0	38.6	41.6	28.6
MAG	104.8	159.4	101.8	104.4	112.0	117.4	157.8	93.2

Tab. 5.5: Precipitazioni relative all'anno 2020

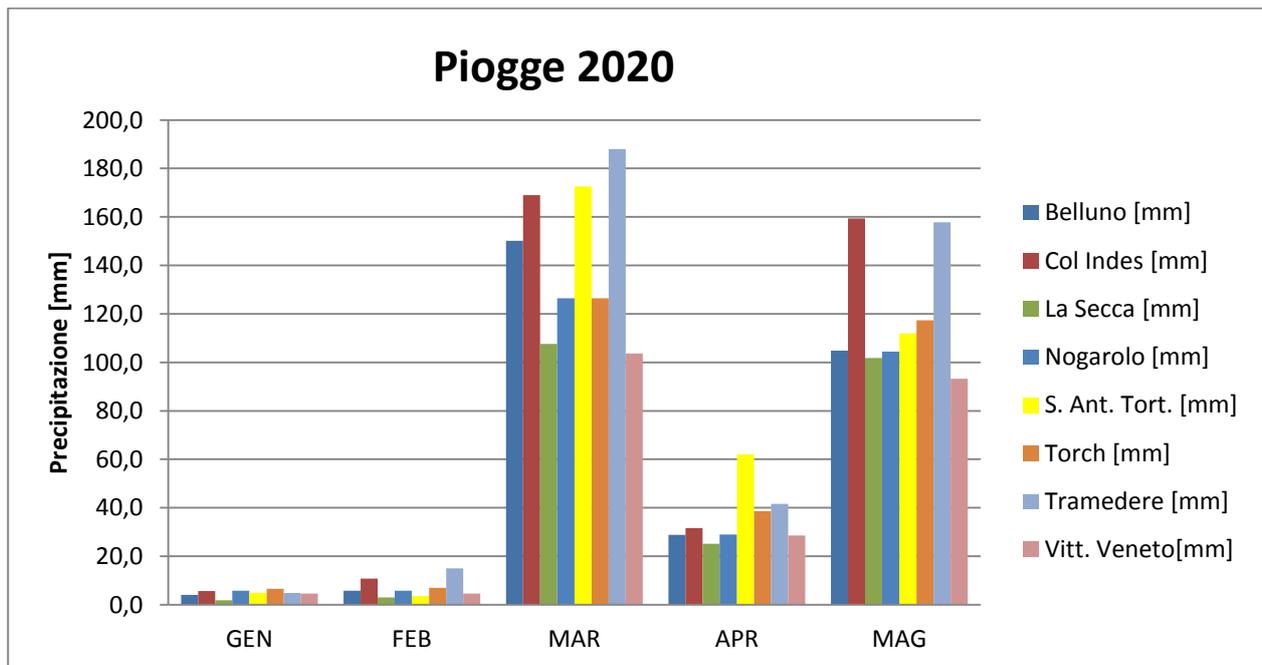


Fig. 5.10: Precipitazioni relative all'anno 2020

Mediamente, il mese di marzo, fino al momento di scrittura di questa tesi, è il mese più piovoso.

L'anno 2019, rispetto agli altri, si conferma l'anno più piovoso.

5.3. Osservazioni generali sui dati della sorgente del Meschio

Dall'elaborazione dei dati che sono stati raccolti dagli strumenti installati alla sorgente, è stato possibile effettuare alcune considerazioni generali preliminari. I dati riportati sotto verranno analizzati nei due periodi di campionamento (12 maggio 2017-22 dicembre 2018; 14 settembre-08 maggio 2020).

Nel primo periodo di monitoraggio, la temperatura della sorgente varia da 9.82 °C ad un massimo di 11.23 °C con un media di 10.77 °C. I valori di conducibilità elettrica, espressi in microS/cm, variano da un minimo di 182 microS/cm a un massimo di 294 microS/cm con una media di 260.76 microS/cm. Infine, sempre in questo primo periodo considerato, il livello della sorgente varia da un minimo di 0.924 m ad un massimo di 2.463 m con un media di 1.546 m. Si precisa, inoltre, che il livello varia non solo per cause naturali, ma anche a causa della presenza di una derivazione idroelettrica e della rispettiva paratoia in prossimità della sorgente che va a modificare regolarmente il livello della sorgente. Inoltre il livello è condizionato dal muro in cemento che delimita la sorgente per cui, in fase di piena, il livello si alza fino ad un massimo che corrisponde allo sfioro di questo.



Foto 5.11: Immagine della centralina, della paratoia e del muro costruiti nelle immediate vicinanze della sorgente (foto di Luca Dei Cont)

Sono state analizzate le variazioni dei diversi parametri facendo riferimento al primo periodo di monitoraggio tra maggio 2017 e dicembre 2018 e, in seguito, al secondo periodo tra settembre 2019 e maggio 2020. Durante il periodo di monitoraggio i dati della sorgente sono stati confrontati con le precipitazioni della stazione di Nogarolo che è la più prossima all'area di studio e con quella di Vittorio Veneto (la stazione di Nogarolo è più vicina di un centinaio di metri). Si riporta in Fig. 5.12 le variazioni giornaliere del livello, della temperatura e della conducibilità elettrica relative al periodo di monitoraggio dal 12 maggio 2017 al 22 dicembre 2018 mentre in Fig. 5.13 e 5.14 le variazioni di livello confrontate con i dati pluviometrici delle stazioni pluviometriche sopra nominate:

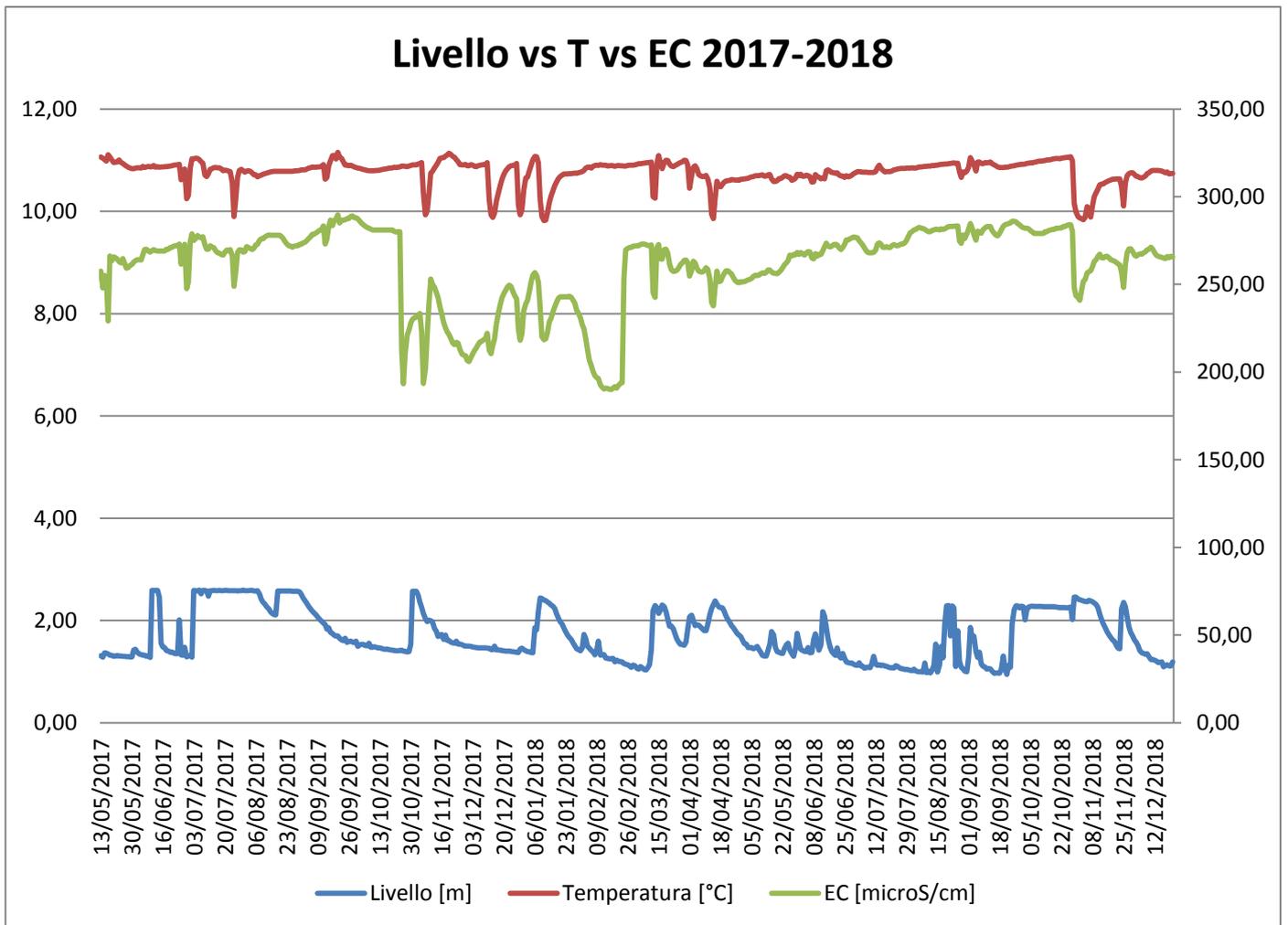


Fig. 5.12: Variazioni giornaliere di livello, T ed EC tra maggio '17 e dicembre '18

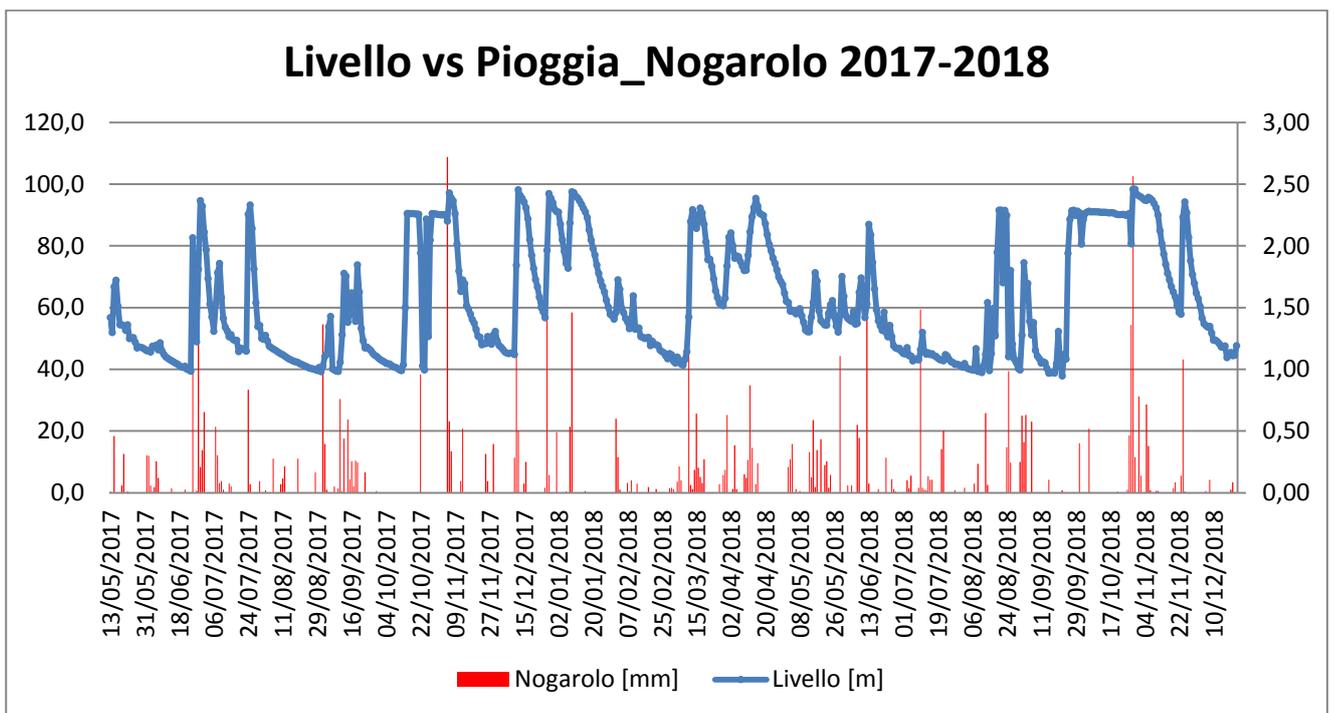


Fig. 5.13: Confronto tra i livelli giornalieri della sorgente e i dati pluviometrici della stazione di Di Nogarolo tra maggio '17 e dicembre '18

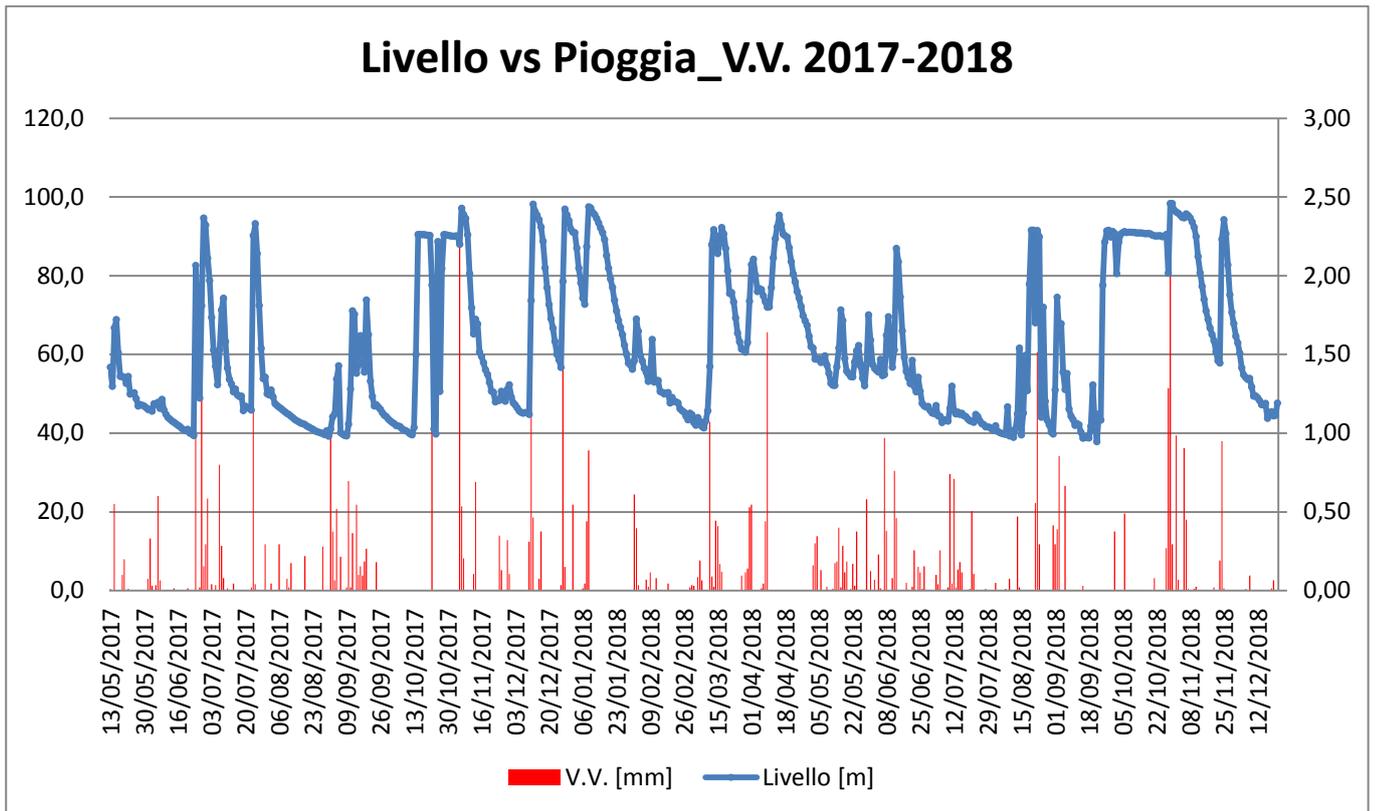


Fig. 5.14: Confronto tra i livelli giornalieri della sorgente e i dati pluviometrici della stazione di Vittorio Veneto tra maggio '17 e dicembre '18

Come riportato al paragrafo § 5.6., è stata eseguita un'analisi statistica dei dati monitorati. Sotto, si riporta l'andamento dei parametri standardizzati mostrando alcuni ingrandimenti circa il comportamento dei parametri monitorati. Nello specifico, in rosso viene indicato il livello della sorgente; in azzurrino la temperatura mentre in blu la conducibilità elettrica.

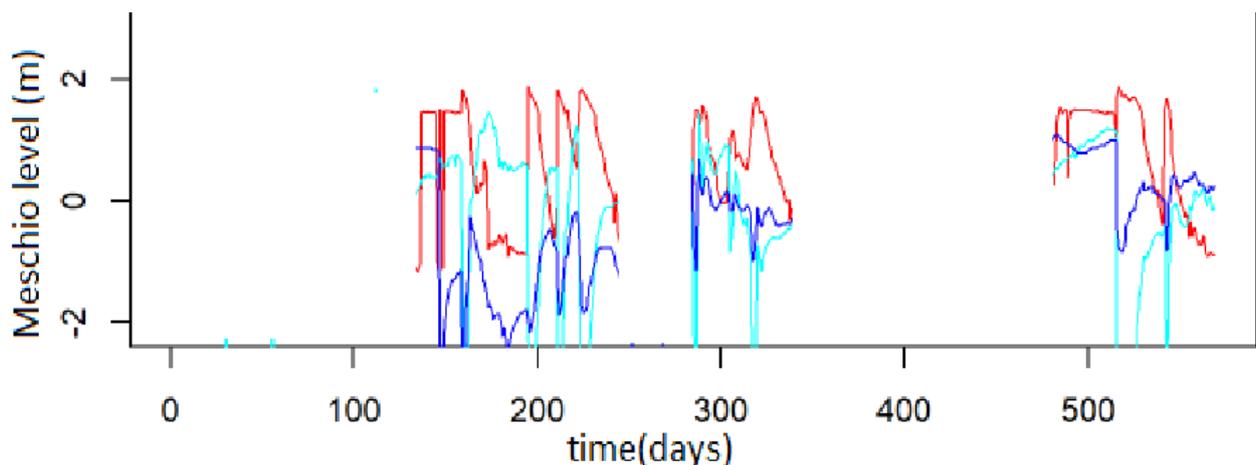


Fig. 5.15: Esempi di andamento dei parametri monitorati. Quando aumenta il livello, temperatura e Conducibilità elettrica si abbassano (modificato da RStudio)

Nella figura sottostante, si riporta un altro esempio che dimostra il comportamento dei dati monitorati. Si nota come ad un evento piovoso vi sia un chiaro aumento di livello, conseguentemente di portata, ed un abbassamento di temperatura e conducibilità elettrica.

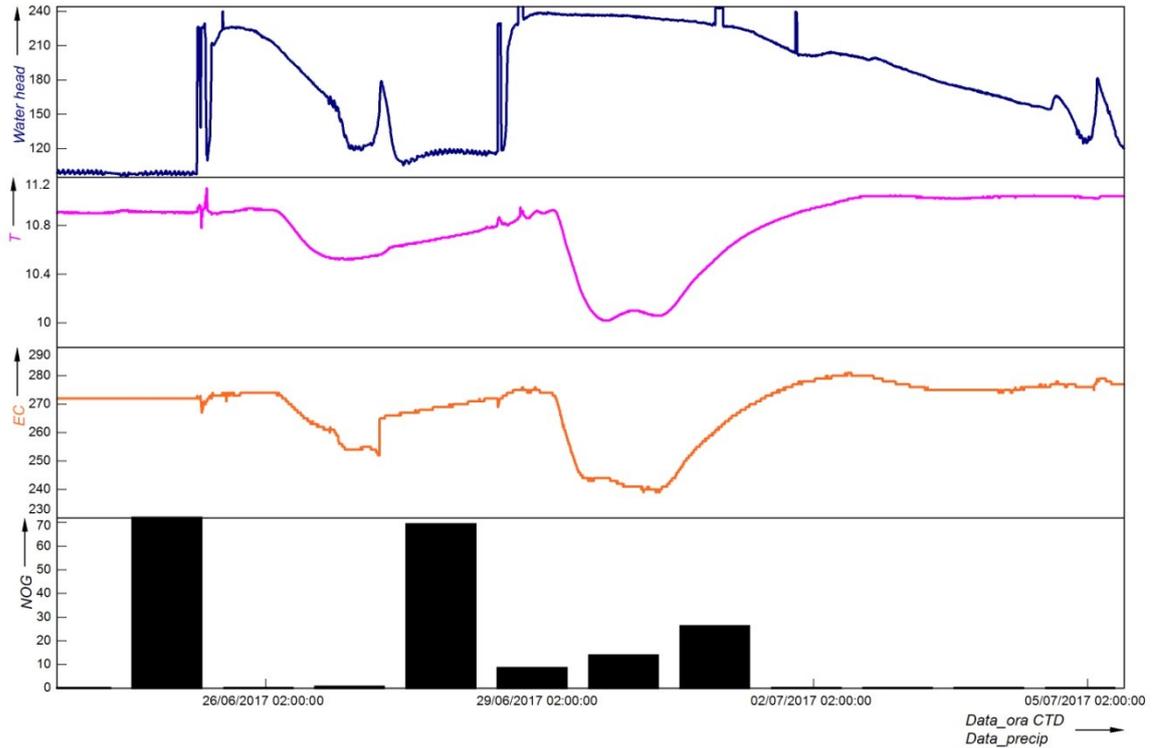


Fig. 5.16: Esempi di andamento dei parametri monitorati

In alcuni casi, è stato osservato, come riportato anche nel paragrafo § 5.5.1. un piccolo e momentaneo effetto pistone dove ad un aumento del livello corrisponde un innalzamento dei parametri di temperatura e conducibilità riconducibile alla non completa e immediata sostituzione delle acque di riserva del sistema da parte delle acque di neo infiltrazione. In Fig. 5.17 se ne riporta un esempio:

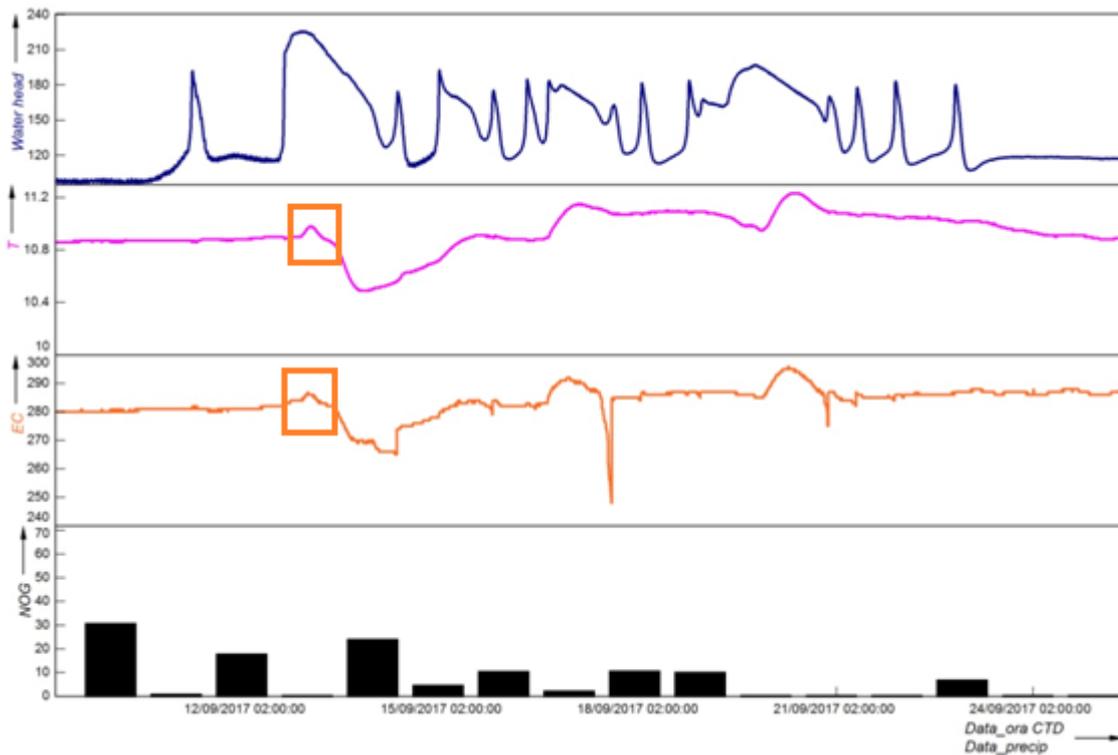


Fig. 5.17: Esempio di un piccolo effetto pistone

Altro esempio riguarda i mesi di ottobre e novembre del 2017 dove si osserva ancora un abbassamento di temperatura e conducibilità ad un aumento di livello tra il 23/10/17 e il 25/10/17:

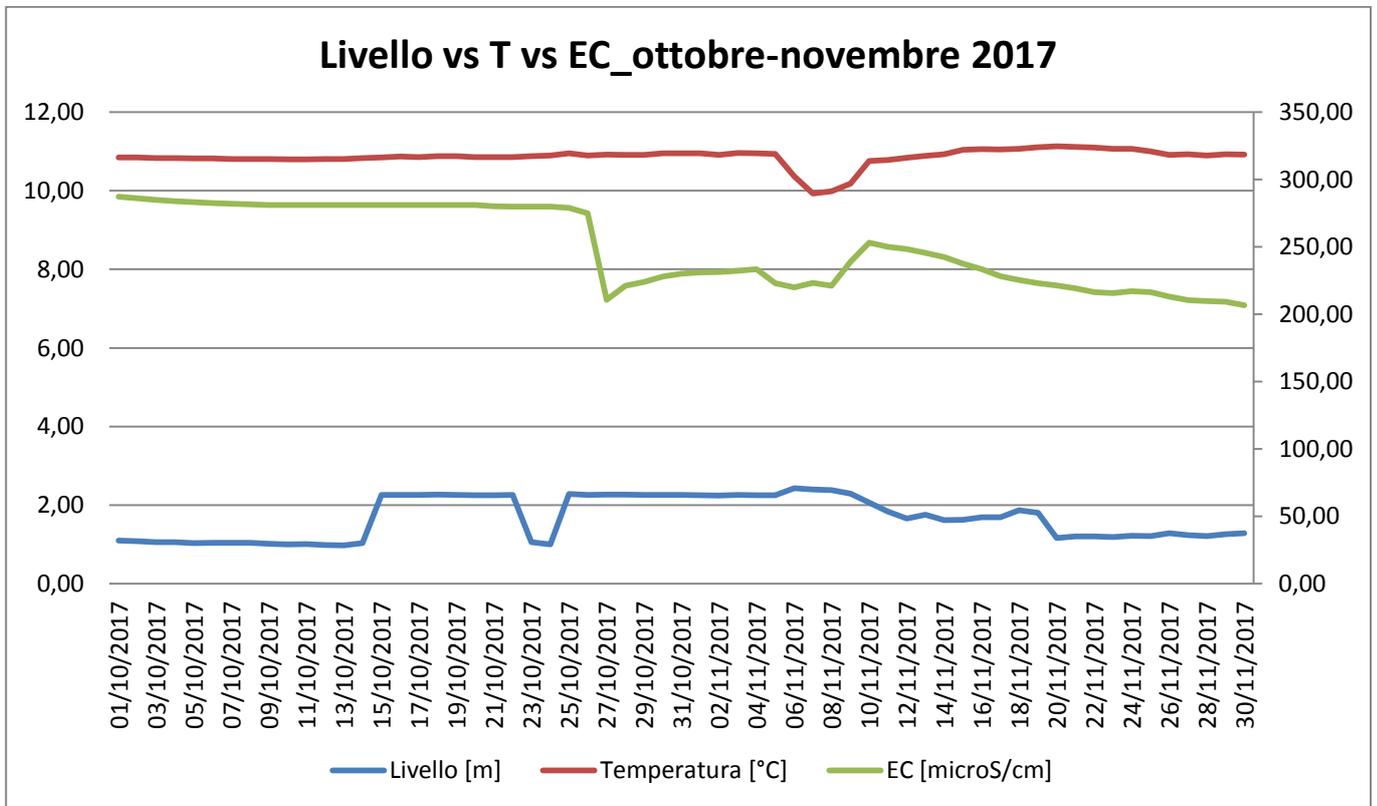


Fig. 5.18: Esempio di andamento dei parametri della sorgente

In Fig. 5.18 si osserva una fase di piena della sorgente dove il livello della sorgente va oltre i due metri dal 25 ottobre 2017 fino al 10 novembre 2017. Precisamente il livello assume un massimo il 6/11/17. A tale data, di conseguenza, corrisponde il minimo di temperatura (9.93 °C) e di conducibilità elettrica (220 microS/cm). Dalla figura emerge come la piena venga mantenuta all'incirca per 15 giorni prima di scendere gradualmente fino al livello medio della sorgente il 20 novembre. In tale esempio, dunque, si osserva l'attivazione del sistema fratturato dell'ammasso roccioso che fa sì che la portata si mantenga costante. L'andamento all'incirca lineare si presume sia dovuto ad uno sfioro del muro di contenimento da parte dell'acqua assieme al movimento della paratoia della centralina a valle della sorgente.

Si riporta un altro esempio dei parametri monitorati della sorgente tra ottobre e novembre 2018:

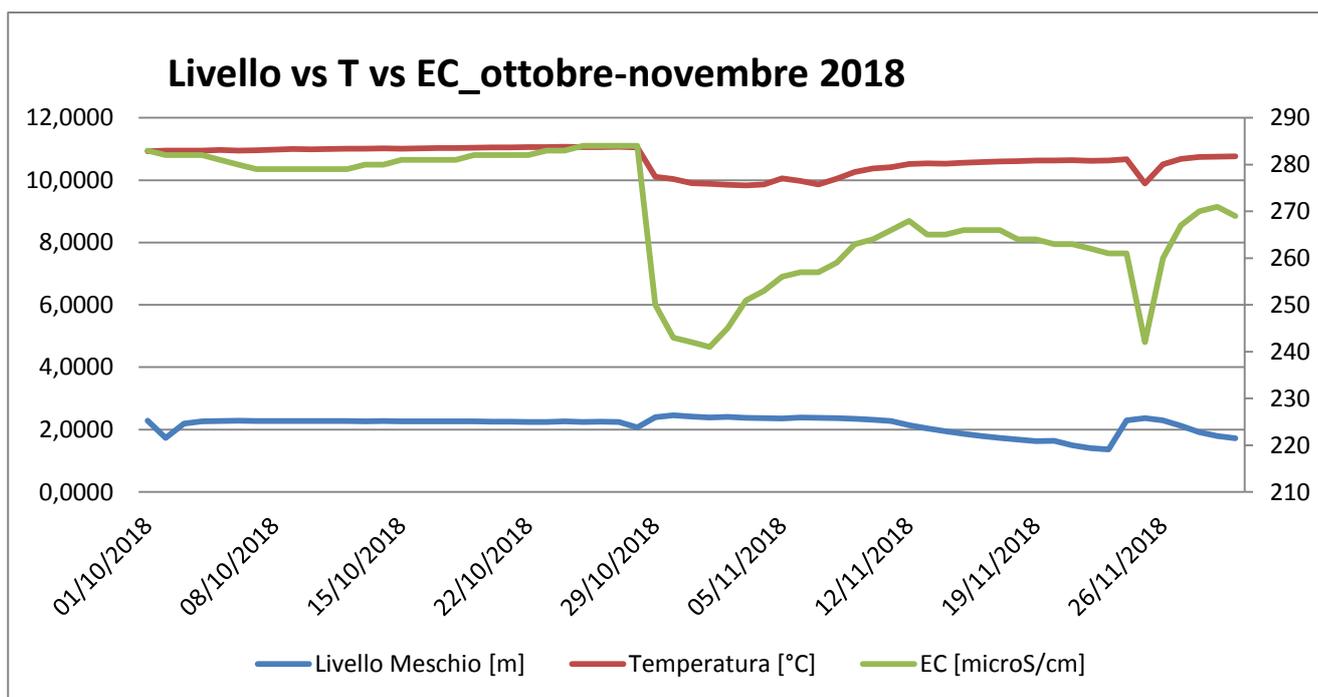


Fig. 5.19: Esempio di andamento dei parametri della sorgente

Nell'esempio di figura 5.19 siamo già in una fase di piena dove il 29 ottobre 2018 vi è un leggero aumento del livello (2.48 metri) che comporta una diminuzione successiva di temperatura e conducibilità che raggiungono il minimo il primo novembre rispettivamente a 9.88 °C e 241 microS/cm. Un altro aumento del livello, dopo un calo di circa un mese, lo si ha il 25 novembre dove il livello aumenta fino ad un massimo di 2.37 metri mentre temperatura e conducibilità assumono stessi valori minimi descritti sopra.

Come detto al paragrafo § 5.1., il primo periodo monitoraggio si è concluso il 22 dicembre 2018 con la disinstallazione degli strumenti. Tali strumenti sono stati reinstallati il 14 settembre 2019. Di conseguenza, come avvenuto sopra, si riportano i relativi grafici in Fig. 5.19, 5.20, 5.21 relativi al secondo periodo di campionamento:

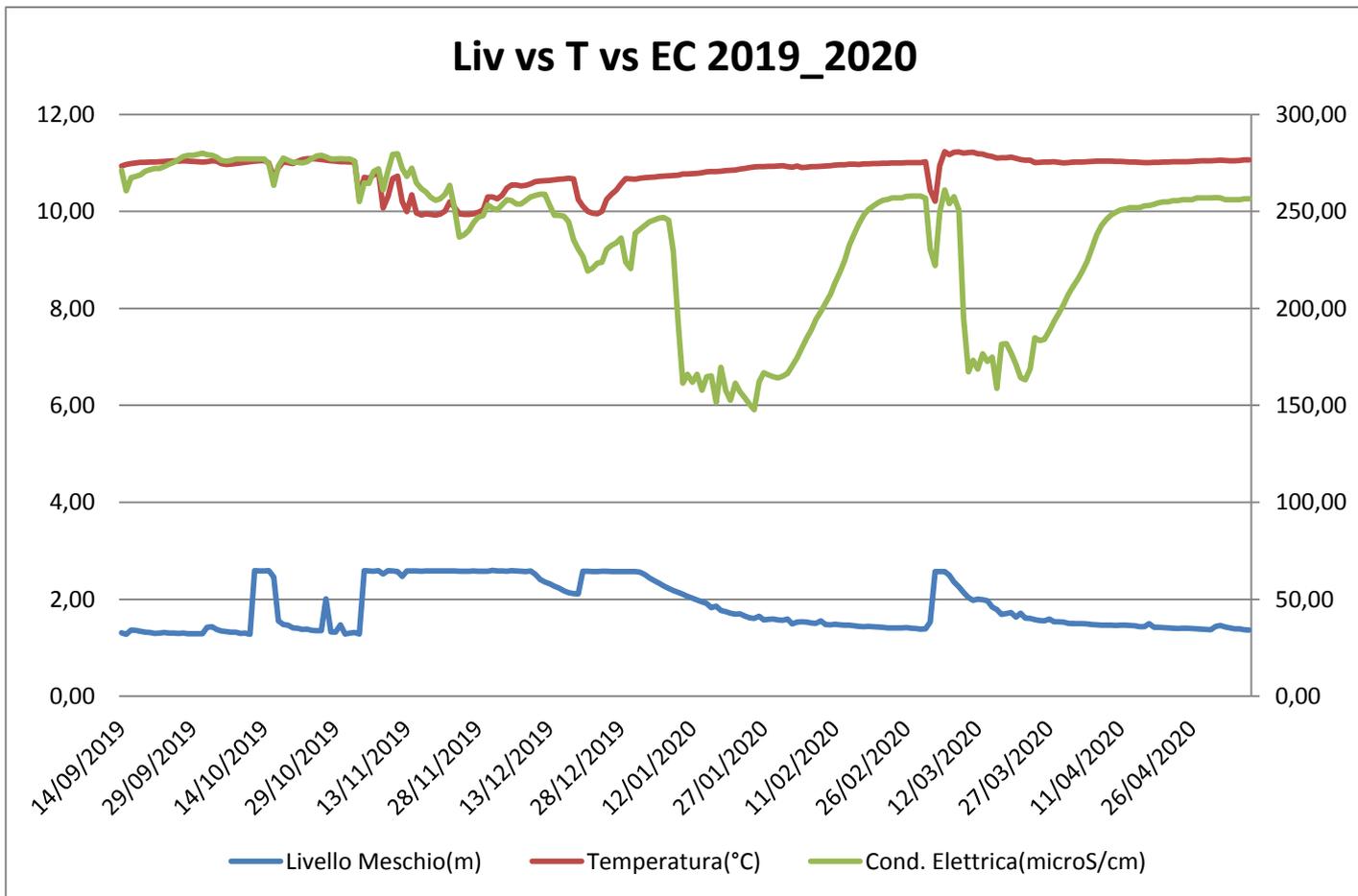


Fig. 5.20: Variazione di livello, temperatura e conducibilità elettrica (EC) tra settembre '19 e maggio '20

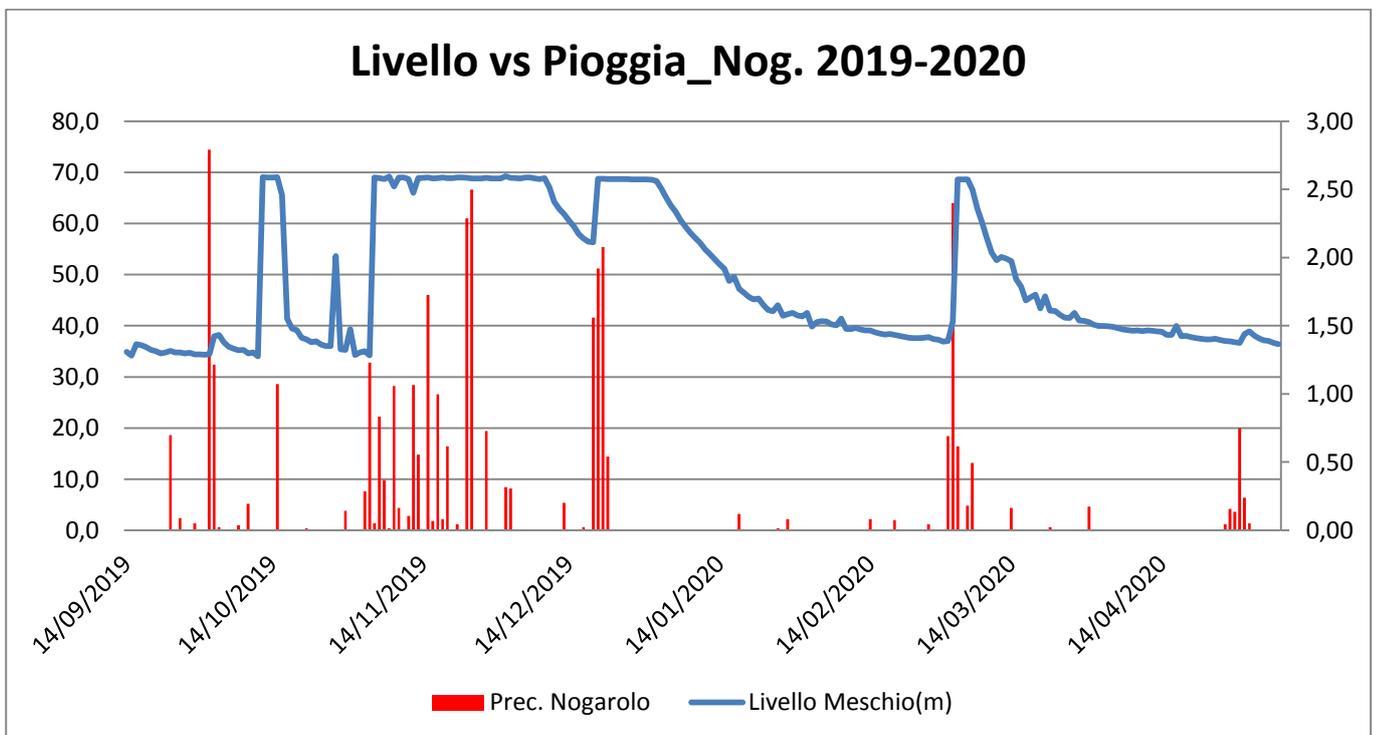


Fig. 5.21: Confronto tra i livelli giornalieri della sorgente e i dati pluviometrici della stazione di Nogarolo tra settembre '19 e maggio '20

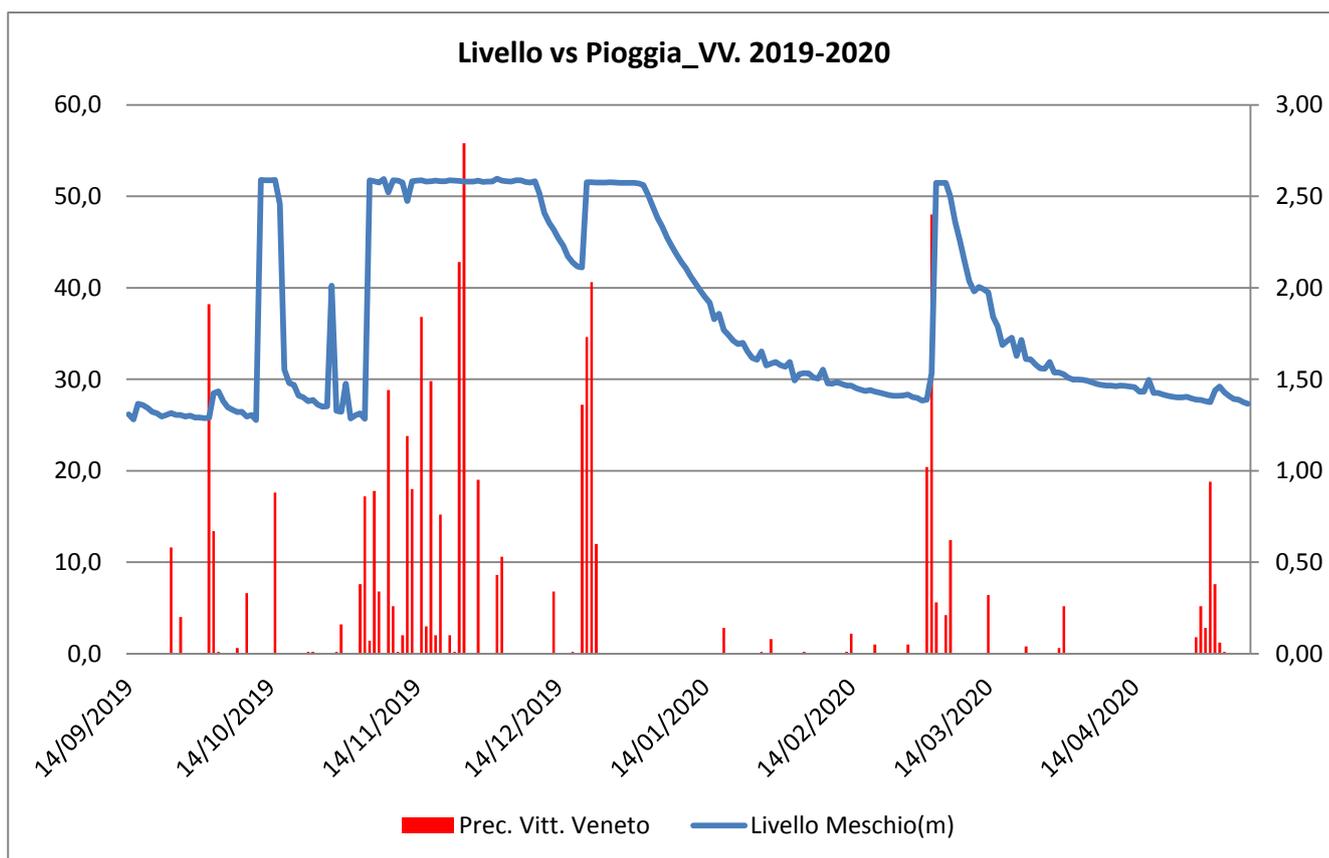


Fig. 5.22: Confronto tra i livelli giornalieri della sorgente e i dati pluviometrici della stazione di Vittorio V. tra settembre '19 e maggio'20

Osservando i grafici in figura 5.20, 5.21 e 5.22 si nota essenzialmente lo stesso comportamento dei parametri analizzati come precedentemente descritto. In figura 5.19 si notano due picchi negativi riguardanti la conducibilità elettrica tra il 13/01/20 -14/02/20 e tra il 14/03/20-14/04/20 dove la conducibilità si abbassa fino a valori di 130 microS/cm. Tale comportamento risulta essere anomalo rispetto al comportamento generale dei parametri monitorati considerando che in corrispondenza di questi cali non ci sono grosse variazioni di temperatura e livello. Attualmente non si è in grado di poter dare una significativa risposta se non ipotizzare un malfunzionamento dello strumento. Inoltre il livello tende ad appiattirsi entro un certo valore a causa, si presume, dello sfioro dell'acqua oltre il muro di cemento che delimita la sorgente o per il movimento della paratoia. Questo lo si vede qualche volta anche in Fig. 5.12 in relazione al primo periodo di monitoraggio.

Anche in questo caso si riportano degli ingrandimenti dei grafici sopra per dimostrare il comportamento dei parametri monitorati relativi al secondo periodo di monitoraggio. Il primo esempio riguarda il periodo compreso tra ottobre e novembre del 2019:

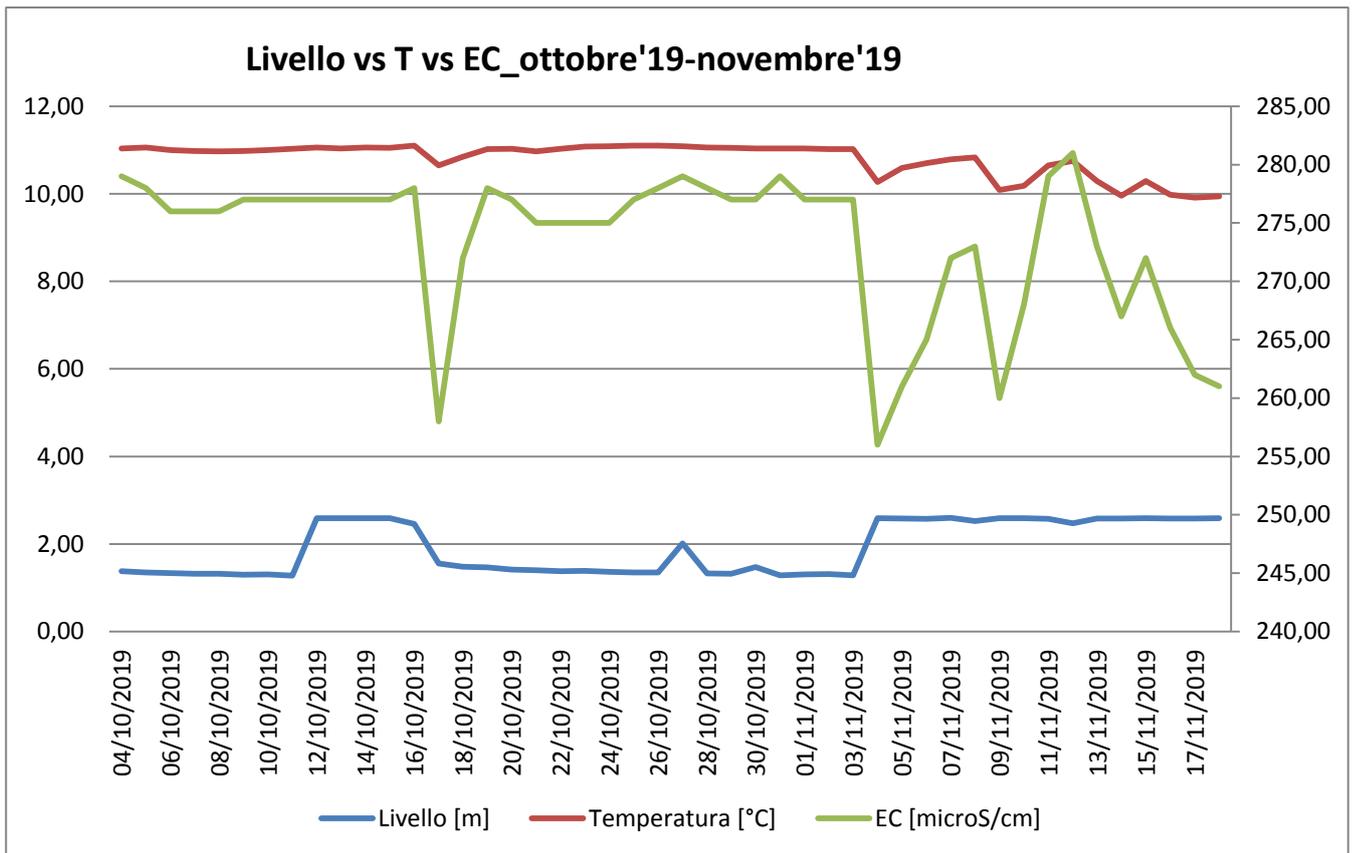


Fig. 5.23: Confronto tra il livello della sorgente ed il conseguente abbassamento di T ed EC

In figura 5.23 si osserva sia un aumento del livello limitato a pochi giorni a causa di precipitazioni piovose limitate temporalmente sia una piena della sorgente prolungata a causa di precipitazioni abbondanti e temporalmente lunghe. Nel primo caso, il livello della sorgente inizia a salire il 12 ottobre 2019 raggiungendo i 2.59 metri di livello. Tale aumento si mantiene per sei giorni prima di tornare a scendere. In questo caso la precipitazione è stata breve e quindi l'aumento del livello limitato con l'attivazione principale dei condotti principale mentre la parte fratturata dell'ammasso roccioso contribuisce in minima parte. Dalla figura si osserva un corrispondente abbassamento di temperatura e conducibilità elettrica toccando un minimo di 10.65 °C e 258 microS/cm il 17 novembre. Si può sempre osservare che, a causa del tipo di precipitazione giornaliera, prima dell'abbassamento dei valori di temperatura e conducibilità, vi sia un piccolo aumento degli stessi; aumento legato ad un piccolo effetto pistone che avviene e che porta alla completa espulsione delle acque di riserva.

Nel secondo caso il livello aumenta, in seguito a diversi giorni piovosi, il 2 novembre fino a raggiungere un massimo di 2.59 m. Il comportamento, in questo caso, della sorgente è identico a quanto descritto in figura 5.18 ovvero una fase di piena dove il livello mantiene il picco per diversi giorni in seguito all'attivazione del sistema fratturato che costituisce l'ammasso roccioso.

Si riporta un ulteriore esempio relativo alle prime due settimane di marzo 2020 dove si nota ancora un abbassamento di temperatura e conducibilità al relativo innalzamento del livello.

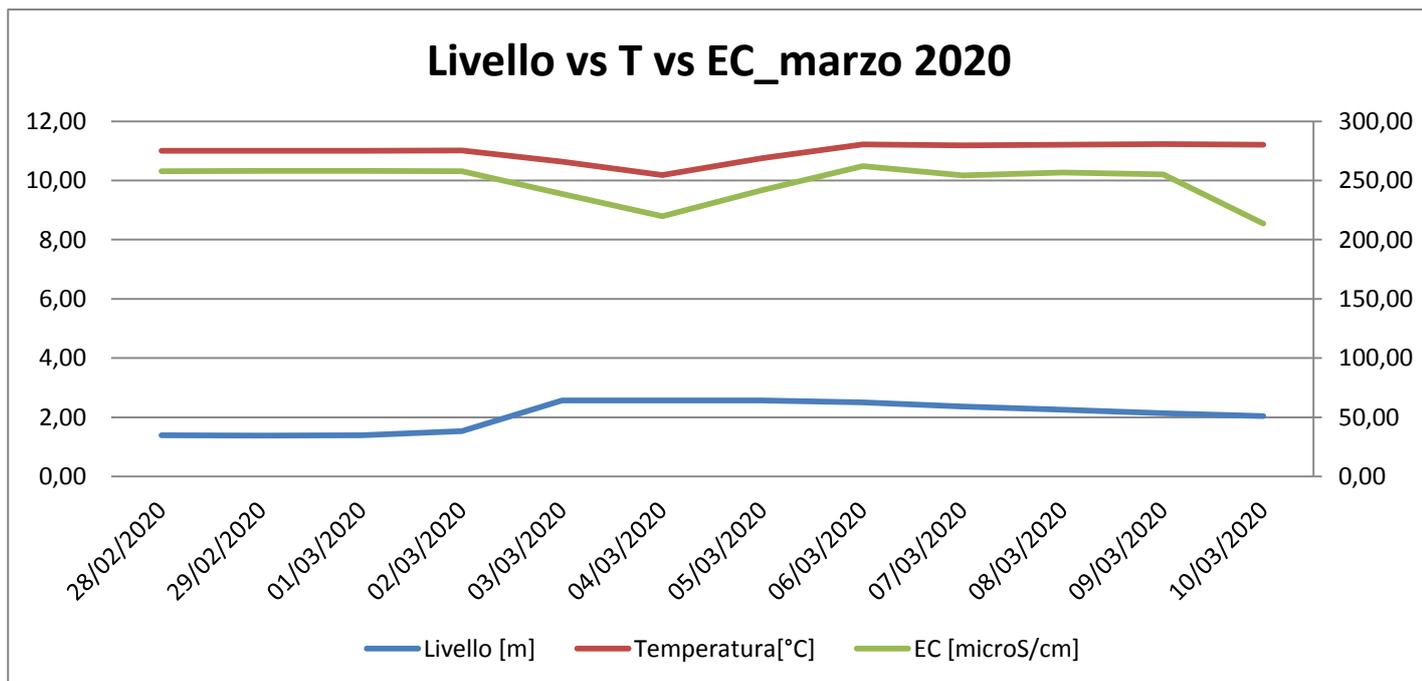


Fig. 5.24: Confronto tra il livello della sorgente ed il conseguente abbassamento di T ed EC

Anche in questo caso il livello inizia ad aumentare il 2 marzo 2020 con conseguente diminuzione di temperatura e conducibilità. Il livello assume un massimo di 2.57 metri al quale corrisponde un minimo di temperatura (10.18 °C) e conducibilità (219.92 microS/cm).

5.4 Misure di portata

In diverse date tra il 2018, 2019 e 2020, grazie alla disponibilità e alla collaborazione del Dott. Alessio Fileccia sono state eseguite delle misure di portata nella canaletta a sezione rettangolare in prossimità della sorgente del Meschio. Tale canaletta è alimentata dalle acque stesse della sorgente e, dunque, per tutta una serie di motivi tecnici, si è preferito effettuare tali misure nel punto sopracitato. Le misure sono state effettuate nelle seguenti date: 07/04/2018, 26/07/2018, 08/09/2018, 8/12/2018, 22/12/2018, 13/01/2020. Le misure sono state effettuate con un mulinello ad elica elettronico. Nello specifico, la canaletta, ove sono state effettuate le suddette, presenta una larghezza di 152 cm mentre le sponde della stessa presentano un'altezza di 120 cm. In prossimità del punto di misura, è presente un'asta idrometrica dalla quale, saltuariamente, sono state prese le misure di altezza della colonna d'acqua, come riportato in tabella 5.6:

DATA	LIVELLO[cm]	DATA	LIVELLO[cm]
07/04/2018	45	23/11/2019	56
26/07/2018	30	14/12/2019	28
08/09/2018	-5	29/12/2019	30
25/10/2018	60	13/01/2020	18
15/12/2018	10	28/01/2020	10
19/01/2019	-3	18/02/2020	6
16/04/2019	5	06/03/2020	38
08/06/2019	-5	30/04/2020	2
14/09/2019	8	08/05/2020	0

Tab. 5.6: *Misure asta idrometrica della canaletta*

Viste le caratteristiche della canaletta di cui sopra, si è scelto di prendere tre misure di velocità a 20 cm, 60 cm e a 120 cm rispetto alla sponda sinistra della canaletta. Di conseguenza, delle tre misure di velocità prese per ogni punto è stata fatta una media aritmetica. Si riporta ora (Tab. 5.7) le diverse misure di portata effettuate comprensive di area bagnata e velocità media:

DATA	V_m [m/s]	Area bagnata[m²]	Q[m³/s]
07/04/2018	2.43	0.915	2.22
26/07/2018	3.2	0.465	1.5
08/09/2018	2.02	0.304	0.61
08/12/2018	2.14	0.608	1.30
22/12/2018	1.77	0.365	0.65
13/01/2020	1.96	0.912	1.79

Tab. 5.7: *Misure della portata, velocità media e area bagnata*

Si riporta infine, Fig. 5.25, il grafico che lega i dati sopra riportati:

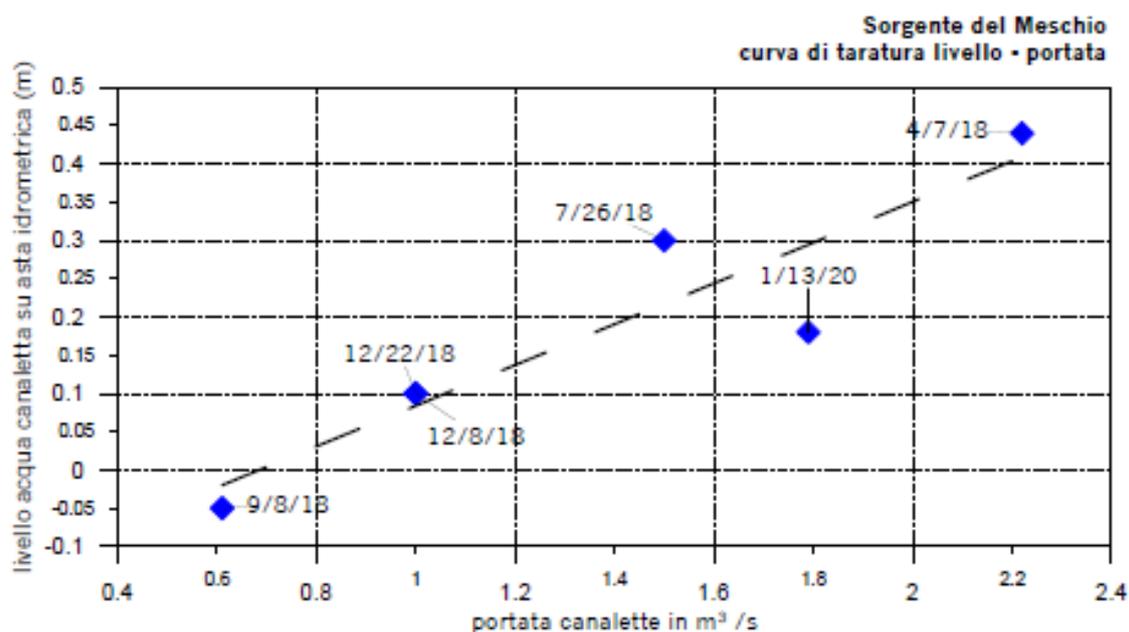


Fig. 5.25: Curva di taratura livello-portata

Quindi la portata della sorgente del fiume Meschio varia da portate di alcune centinaia di l/s in fase di magra fino ad 1-2 m³/s in fase di piena con alcuni picchi superiori ai valori misurati. Chiaramente, come dimostrabile in Fig. 5.24 esiste una relazione lineare tra aumento del livello dell'acqua registrato nella canaletta mediante l'asta idrometrica e la portata.

5.5. Analisi statistica dei dati

Nell'ambito di questo lavoro di tesi, è stata eseguita un'analisi statistica dei dati sia pluviometrici che di livello, temperatura e conducibilità elettrica relativi ai due periodi di monitoraggio della sorgente del Meschio.

Sono stati esaminati statisticamente tutti i dati pluviometrici sia con misure orarie che giornaliere così come i parametri della sorgente i quali, nel loro insieme, sono stati confrontati tra di loro. I dati sono stati trasformati in portate tramite la relazione sotto riportata. In particolare, si sono analizzati dati di portata mediante curve di durata di flusso (FDC), altri parametri di monitoraggio tramite funzioni di auto/cross correlazione e mediante il calcolo dell'indice VESPA (§ 5.7.). L'utilizzo di queste metodologie rappresenta uno strumento di analisi del comportamento idrogeologico di una sorgente al fine di produrre un modello idrogeologico concettuale della sorgente. Nello specifico, le funzioni di autocorrelazione (ACF_s) analizzano come, un valore di un parametro, dipenda da quello precedente in un determinato intervallo di tempo (Larocque et alii, 1998; Mayaud, 2014); l'utilizzo di tali ACF_s consente la quantificazione dell'effetto memoria del sistema in termini di variazioni di scarico della portata analizzando gli autocorrelogrammi (Panagopoulos e Lambarkis, 2006). Quando l'autocorrelazione di valori di portata decresce velocemente si può affermare che il sistema presenta una corta memoria e viceversa. Al contrario, le funzioni di cross correlazione (CCF_s) servono a fornire una correlazione tra serie di dati di input (es. piogge) e una serie di output (es. portata della sorgente) con lo scopo di valutare il ritardo temporale tra l'evento di pioggia e lo scarico di piena della sorgente evidenziando la risposta del sistema ad un impulso di ricarica (Torresan et alii, 2016). In aggiunta, la correlazione in un determinato intervallo di tempo, può essere interpretata come una risposta di ricarica a un evento di infiltrazione per cui il confronto tra i

diversi parametri monitorati può portare alla valutazione del comportamento della sorgente e al tempo impiegato dalle acque di neoinfiltrazione per raggiungere il punto di emergenza attraverso i condotti carsici. L'analisi della FDC rappresenta come si dispongono, in ordine decrescente e in percentuale, le portate durante il monitoraggio della sorgente. Nella curva i valori vengono plottati dal valore più alto a quello più basso senza considerare la sequenza cronologica degli eventi. Si ottiene, dunque, un grafico che mostra in ascissa la percentuale di tassi di flusso che supera la soglia mentre in ordinata si hanno le portate. Dall'analisi della curva risultante e dalla sua pendenza si ricava il grado di carsismo di un determinato sistema; difatti alte pendenze della curva indicano un sistema ben sviluppato dove il flusso avviene nei condotti carsici, mentre una curva con bassa pendenza indica un basso grado di carsificazione in cui il flusso è perlopiù per fratturazione. L'utilizzo di questi metodi dunque consente di formulare un modello idrogeologico di circolazione del serbatoio alimentante la sorgente (Malik, 2015).

5.5.1. Analisi statistica dei dati del monitoraggio maggio 2017- dicembre 2018

L'analisi statistica, come detto, è stata eseguita usando il codice R. In Fig. 5.26 vengono riportati, nel loro insieme, i parametri monitorati su base giornaliera:

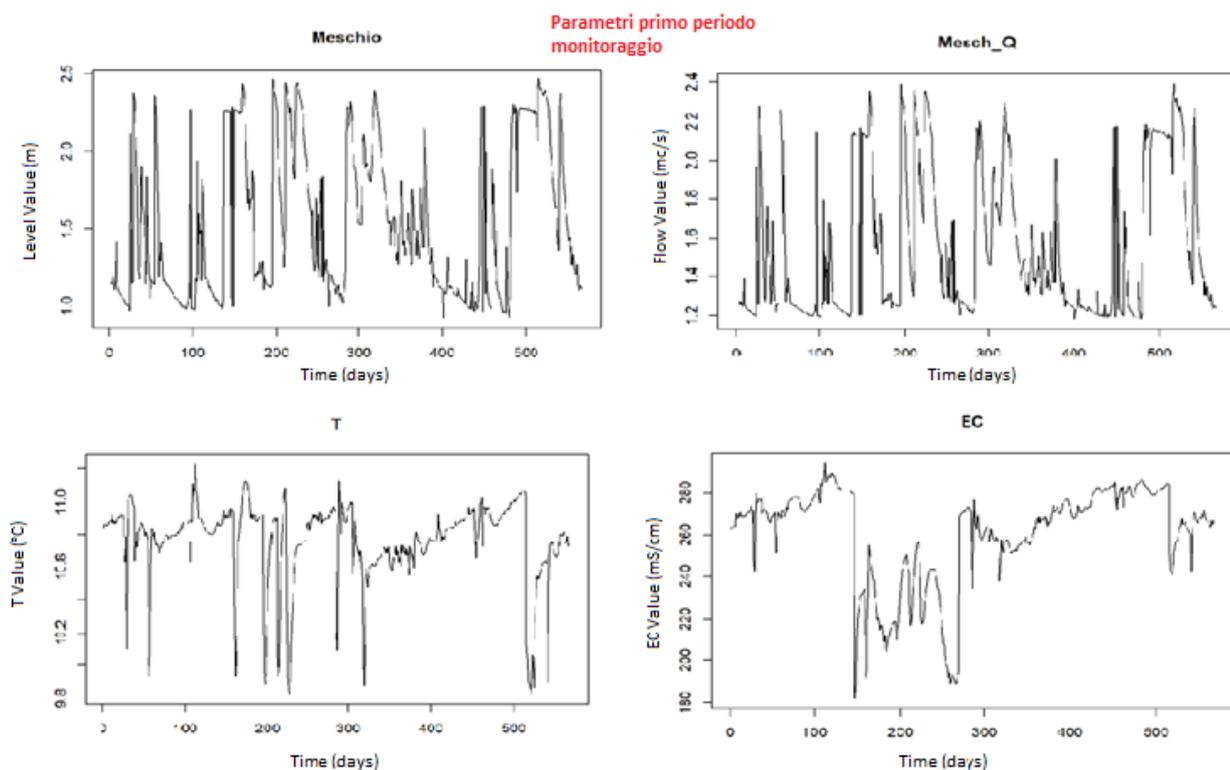


Fig. 5.26: Andamento dei parametri monitorati della sorgente (RStudio)

Successivamente sono stati analizzati gli istogrammi dei dati monitorati evidenziando i tipi di distribuzione dei dati sotto riportati in figura 5.27:

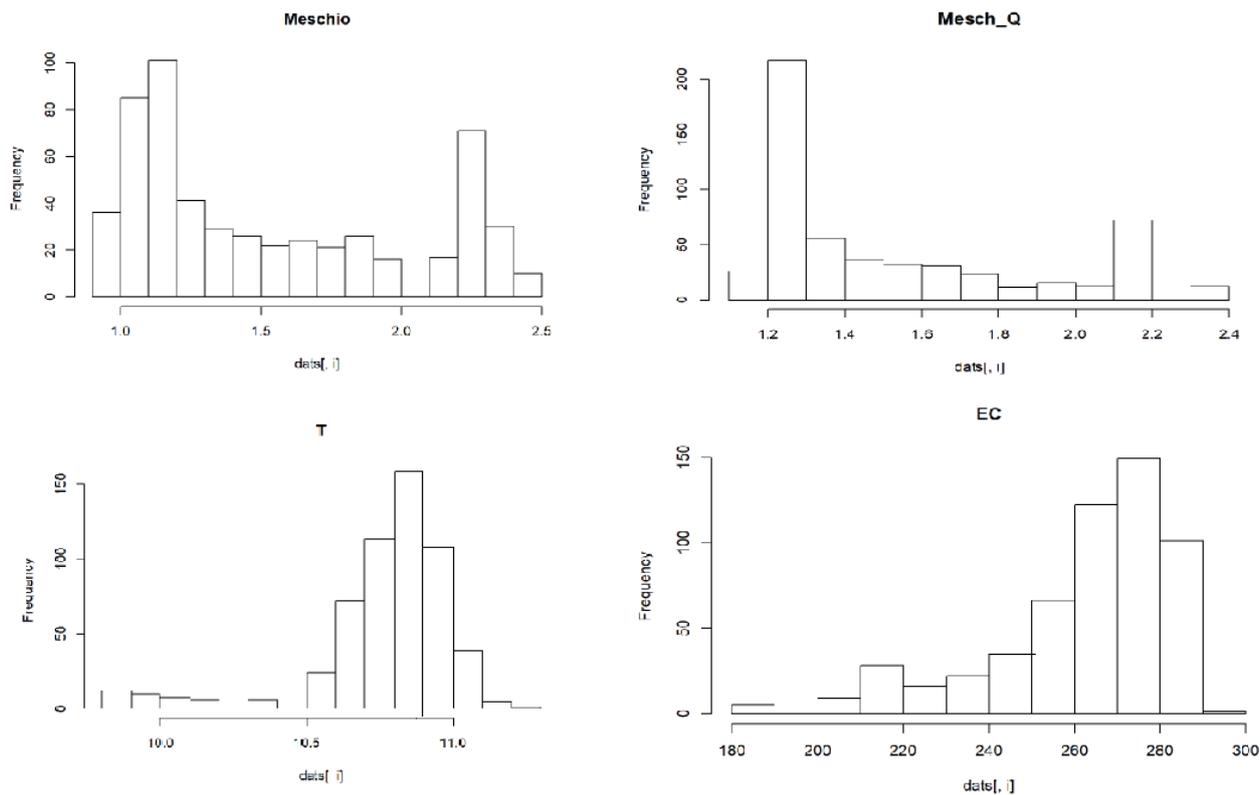


Fig. 5.27: Istogrammi dei dati di livello, Q, T, EC nel periodo di monitoraggio da maggio 2017 a dicembre 2018 (RStudio)

A questo punto è stata creata la curva di durata del flusso FDC:

FDC Meschio

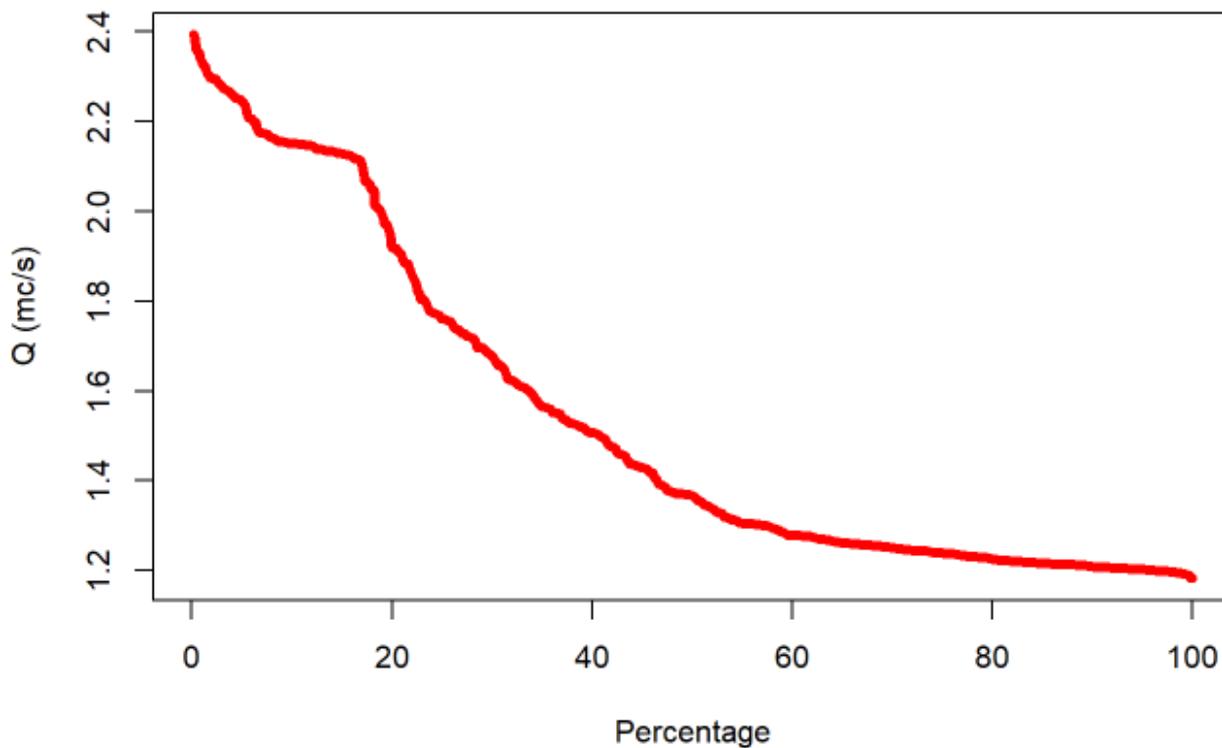


Fig. 5.28: Curva di durata del flusso (FDC) su dati giornalieri

Come si osserva dalla figura 5.28, la curva presenta fino al valore di percentuale del 40% una forte pendenza indice di un comportamento iniziale fortemente carsico. Dal 10% al 20% si nota che i valori formano uno scalino che probabilmente è legato al movimento artificiale della paratoia presente a valle della sorgente oltreché allo sfioro del muro che la delimita. Dal 40% al 60% la curva tende a ridurre la pendenza indice di un sistema mediamente carsico. Oltre il 60% vi è un appiattimento della curva che evidenzia un sistema fratturato a permeabilità più bassa. Queste considerazioni vengono confermate dall'analisi dell'autocorrelogramma riportato in Fig. 5.29:

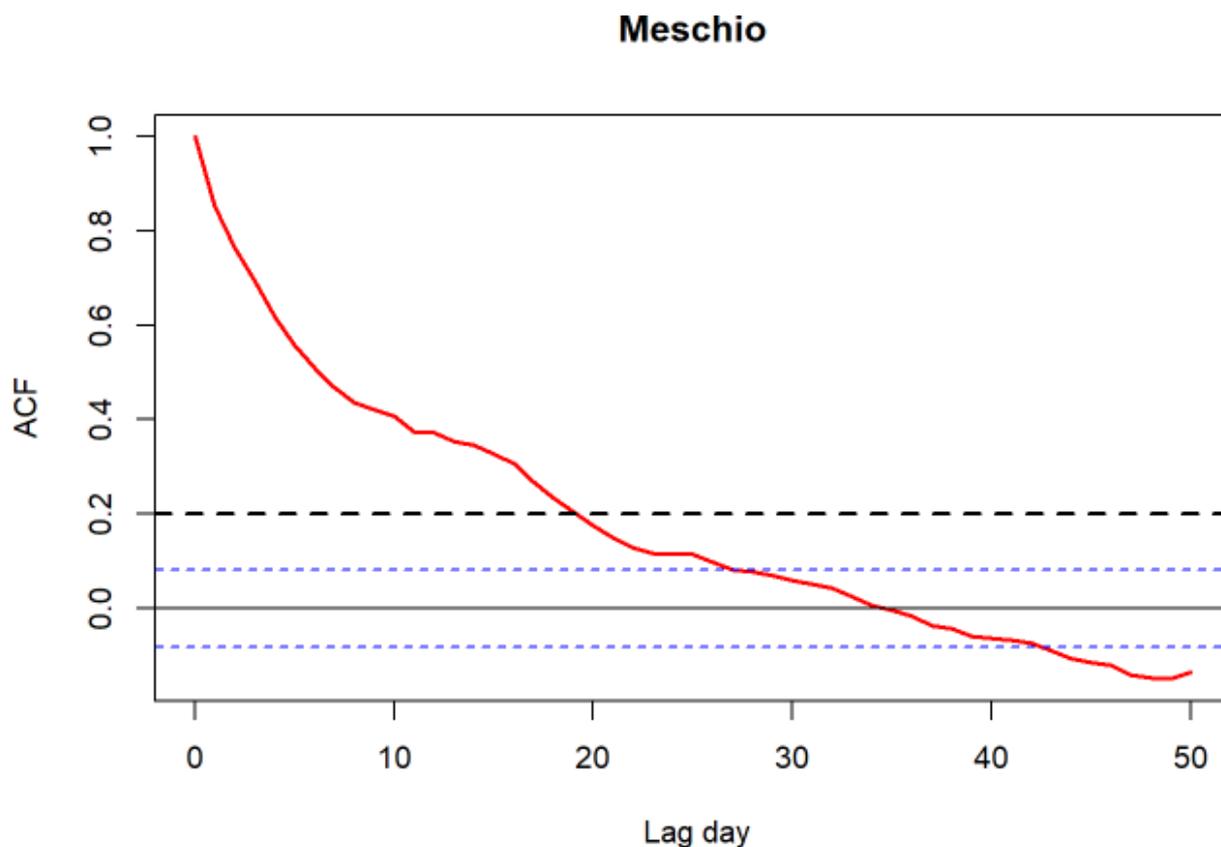


Fig. 5.29: Autocorrelogramma su valori giornalieri (RStudio)

L'analisi ACF_s evidenzia una iniziale e forte pendenza della curva nei primi 8/9 giorni indicando, dunque, l'esistenza di un sistema di condotti carsici ben sviluppati che comporta un veloce flusso di scarico. Successivamente, fino a circa 20 giorni, si osserva una seconda componente della curva che presenta una pendenza intermedia che descrive un sistema mediamente carsificato.

Prendendo in considerazione le stazioni pluviometriche riportate al paragrafo § 5.2., dall'analisi CCF_s sulle piogge, è emerso che gli eventi piovosi sono tra di loro simultanei per cui non c'è ritardo tra le diverse stazioni; ciò significa che gli eventi non sono diversi tra loro in termini di tempi di arrivo. In figura 5.29 si riporta alcuni esempi della crosscorrelazione tra i dati pluviometrici e di questa relazione di simultaneità tra essi:

CCF tra stazioni pluviometriche

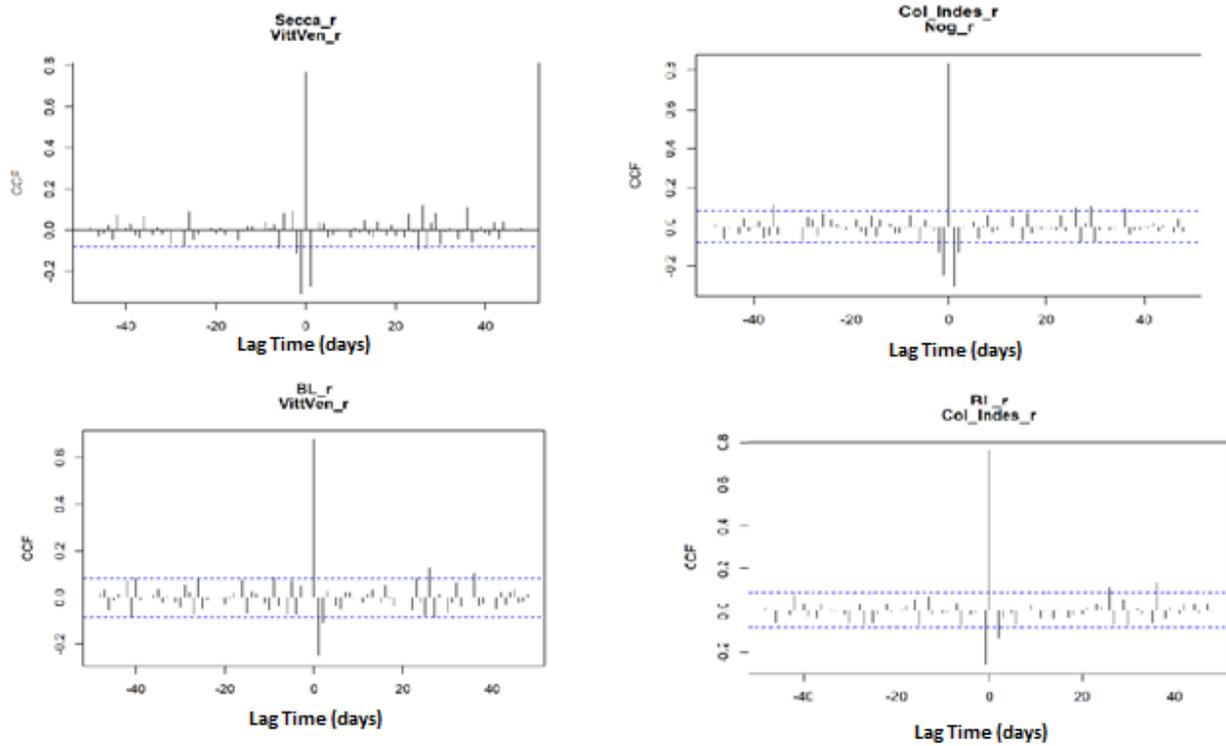


Fig. 5.30: Crosscorrelazione tra i dati pluviometrici giornalieri di alcune stazioni pluviometriche (RStudio)

Visti i risultati delle crosscorrelazioni tra i dati pluviometrici e la simultaneità, si è applicata la stessa procedura tra gli input pluviometrici e il livello della sorgente. In tutte le otto stazioni analizzate, si è osservato lo stesso comportamento. Si guardi la Fig. 5.31:

CCF tra stazioni pluviometriche e sorgente del Meschio

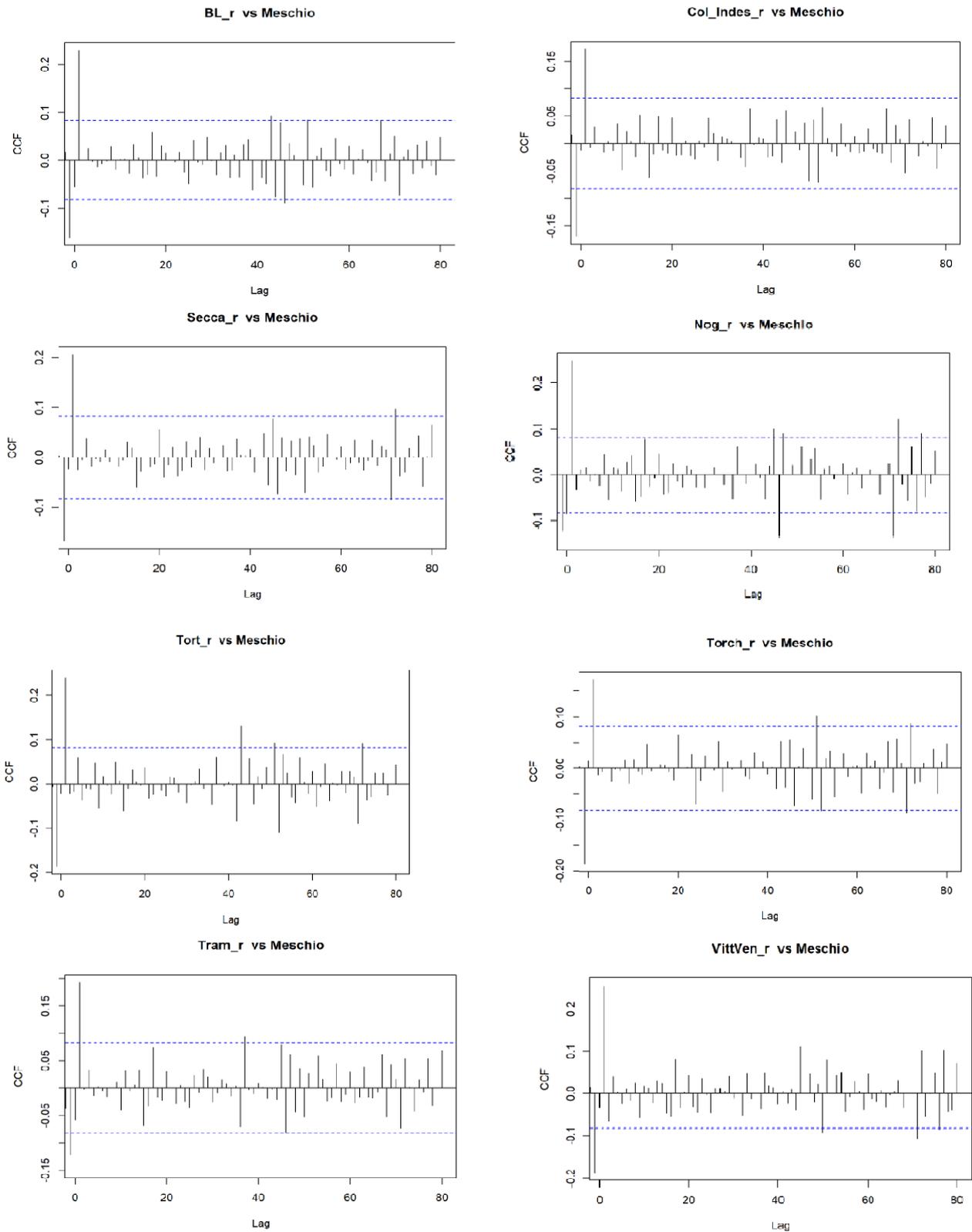


Fig. 5.31: Crosscorrelazione tra i dati pluviometrici giornalieri e livello della sorgente

Dalla figura 5.31 si nota essenzialmente come tra le serie di input (piogge) e le serie di output (livello sorgente) non vi sia contemporaneità, ma vi sia un ritardo di un giorno dall'evento piovoso. Avendo riscontrato un ritardo di 1 giorno si sono andati ad analizzare i dati orari per definire di quante ore, all'interno della giornata, fosse il ritardo. In questo senso, vista la disponibilità dei dati orari ARPAV, sono state analizzate con la sorgente le stazioni pluviometriche di Nogarolo, San Antonio Tortal e La Secca. Dalle figure sottostanti, si osserva che il ritardo risulta essere di un'ora, ma si vede in maniera molto chiara anche un segnale di correlazione a circa 72 ore:

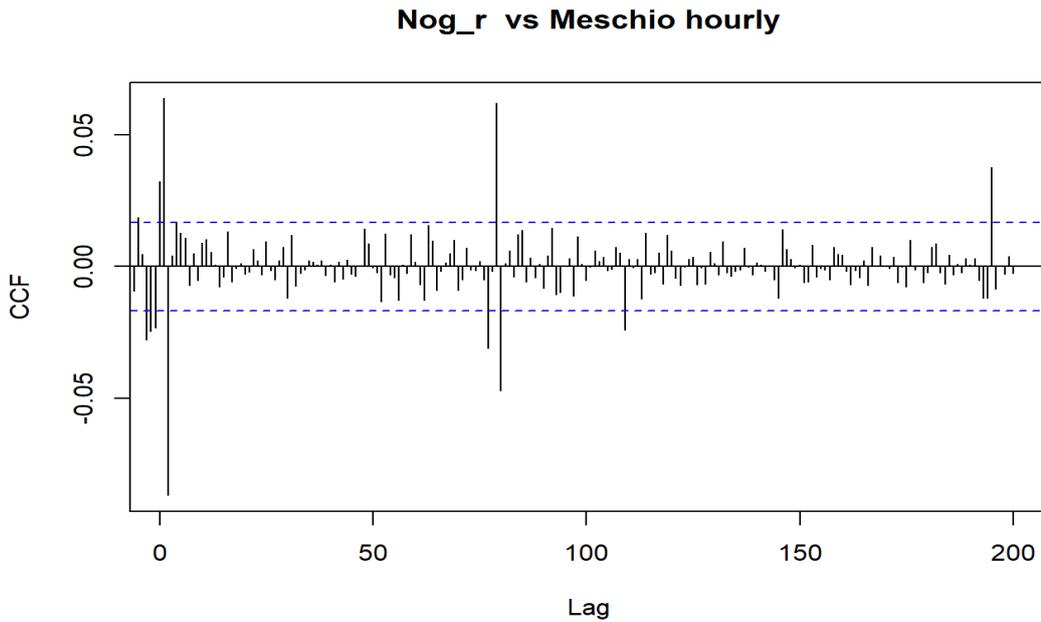


Fig. 5.32: Crosscorrelazione oraria tra i dati pluviometrici di Nogarolo e il livello della sorgente

Tort_r vs Meschio hourly

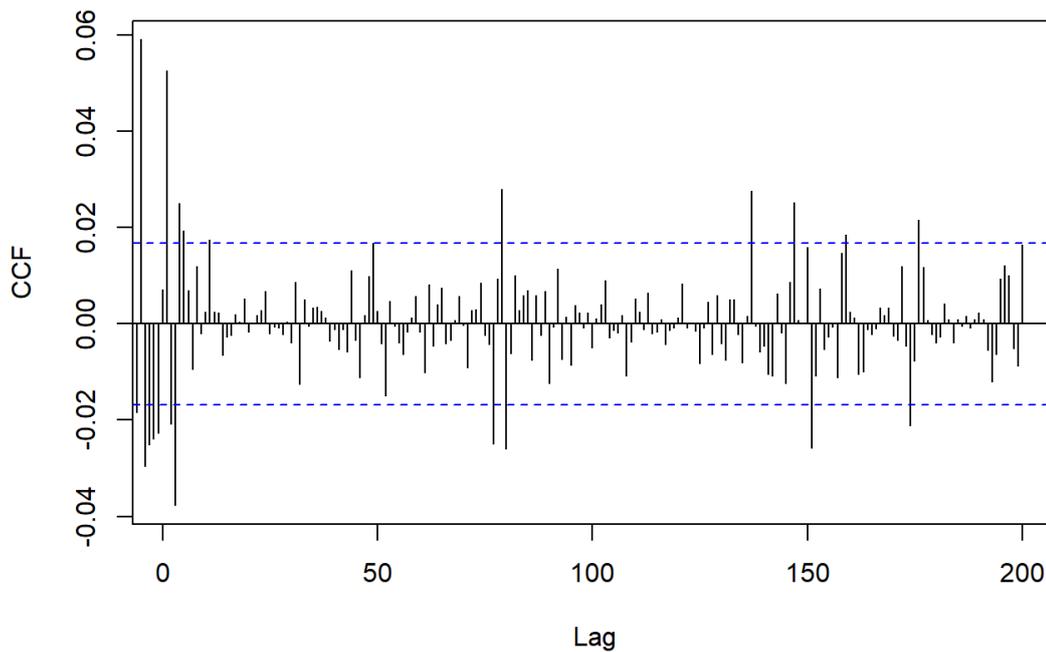


Fig. 5.33: Crosscorrelazione oraria tra i dati pluviometrici di S. Antonio Tortal e il livello della sorgente

Secca_r vs Meschio hourly

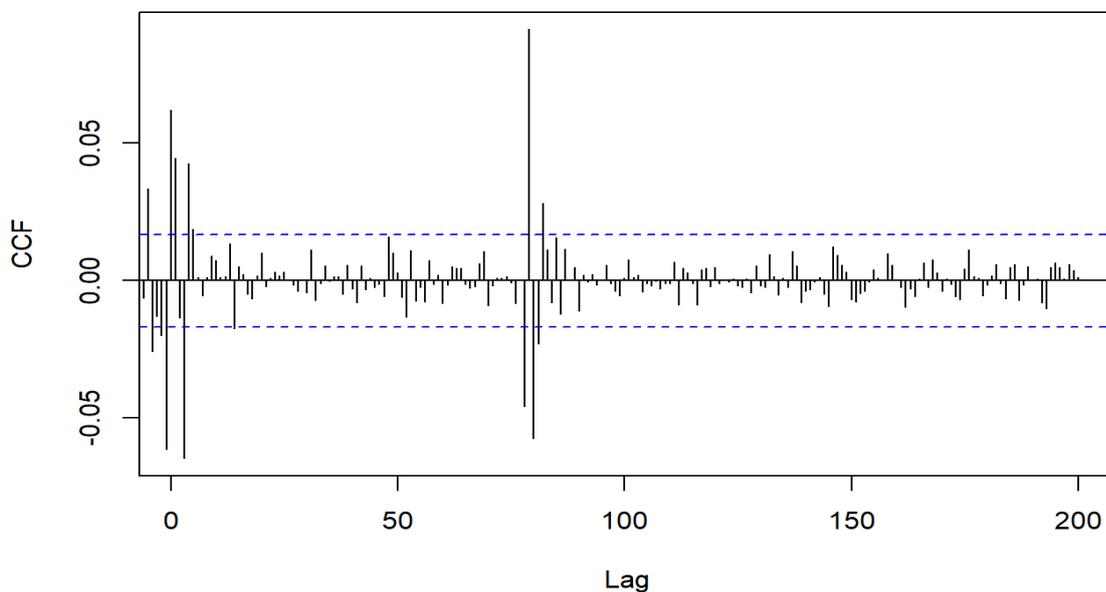


Fig. 5.34: Crosscorrelazione oraria tra i dati pluviometrici di La Secca e il livello della sorgente

Successivamente l'analisi mediante le funzioni di crosscorrelazione si è concentrata sul rapporto del livello con temperatura e conducibilità. Ci si concentra prima sulla temperatura dove l'input è rappresentato dal livello della sorgente e l'output dalla temperatura. In conseguenza del fatto che l'analisi statistica è stata eseguita sia con dati giornalieri che orari, verranno riportati entrambe le descrizioni come fatto sopra.

Si riporta in figura 5.35 il crosscorrelogramma giornaliero:

T vs Meschio daily

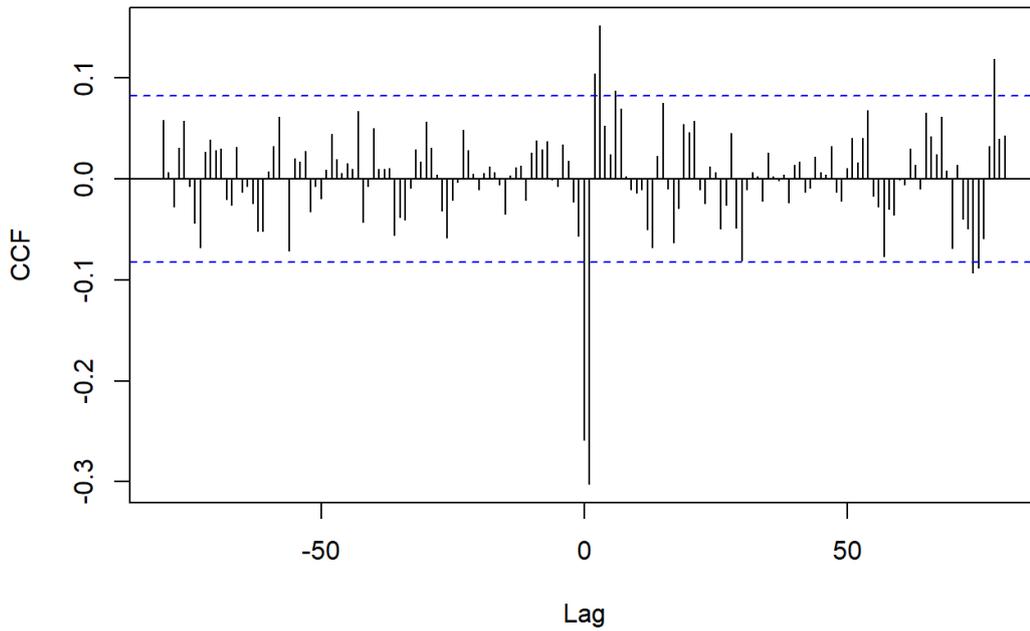


Fig. 5.35: Crosscorrelazione giornaliera tra livello e temperatura della sorgente (RStudio)

In Fig. 5.35 si vede una forte correlazione negativa a zero e al primo giorno per poi al secondo e terzo un debole segnale positivo. Questo trend lo si osserva anche nei dati orari, come riportato in Fig. 5.36:

T vs Meschio hourly

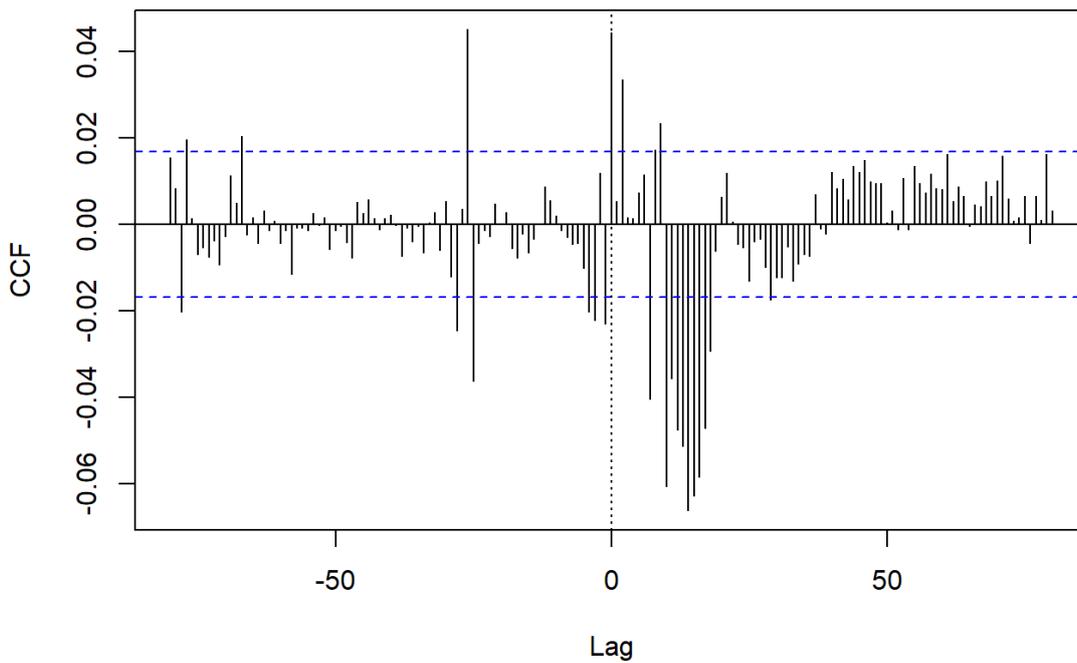


Fig. 5.36: Crosscorrelazione oraria tra livello e temperatura della sorgente (RStudio)

Dalla figura 5.36 si osserva una significativa correlazione positiva a 0, 2 ore e una fortemente negativa essenzialmente dalle sette ore in poi. Principalmente, quindi, vi è una significativa correlazione negativa tra livello e temperatura nel comportamento generale con una iniziale correlazione positiva.

La CCF_s tra livello e conducibilità elettrica è stata eseguita ponendo in input il livello ed in output la conducibilità. In figura 5.37 si riporta la crosscorrelazione su valori giornalieri:

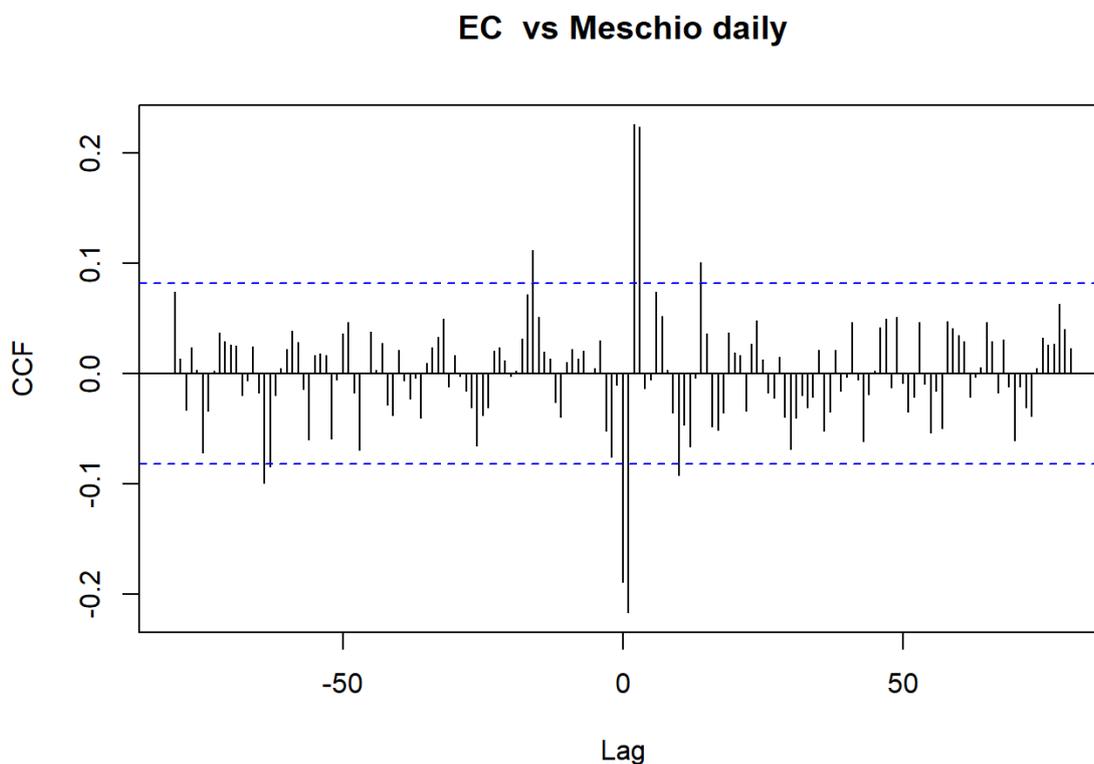


Fig. 5.37: Crosscorrelazione giornaliera tra livello ed EC della sorgente (RStudio)

Dalla figura emerge come vi sia una correlazione negativa istantanea e a un giorno per poi essere positiva il secondo e terzo giorno. Nell'analisi oraria dei dati si vede molto bene la correlazione negativa dei primi giorni e quella positiva a 58 ore (coincidenza con il secondo/terzo giorno). Vi è però una forte correlazione positiva a 0 ore che indicherebbe un iniziale effetto pistone.

EC vs Meschio hourly

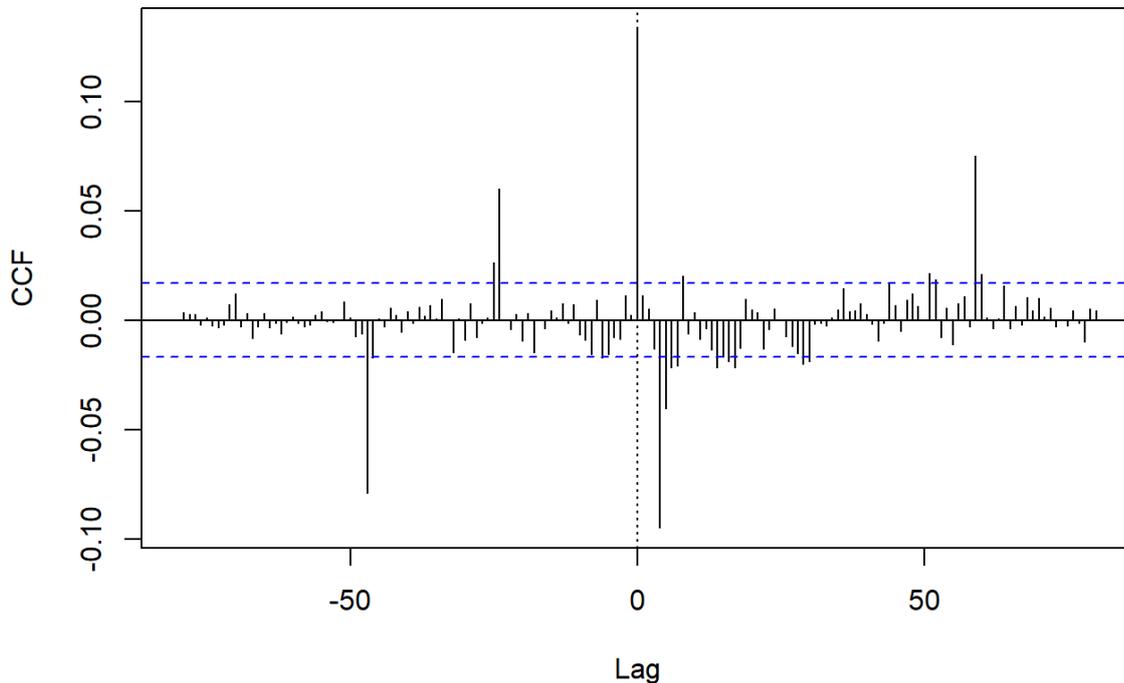


Fig. 5.38: Crosscorrelazione oraria tra livello ed EC della sorgente (RStudio)

In sintesi, la CCF_s mostra nel caso della temperatura, considerati i dati orari, massima correlazione positiva a zero così come nel caso della conducibilità. Massima correlazione negativa invece la si ha a 13 ore di ritardo mentre per la conducibilità a 9 ore di ritardo.

La correlazione positiva ed istantanea che si ha a zero ore sia nel caso della temperatura che in quello della conducibilità elettrica, indicherebbe, come già osservato in Fig. 5.36 e 5.38, l'esistenza di un sistema carsico ben sviluppato con un effetto pistone che si esaurisce rapidamente; la correlazione positiva che si vede sia nel caso di CCF_s tra piogge e livello che in quello di CCF_s tra livello e temperatura/conducibilità elettrica generalmente attorno alle 60-70 ore sarebbe, probabilmente, riconducibile ad un nuovo contributo dovuto ad un sistema carsico fratturato. Inoltre, la limitata positività nell'intervallo di 2/3 ore successive all'apporto infiltrativo indicherebbe l'avvenimento di un piccolo effetto pistone in corrispondenza di precipitazioni meno intense che non sostituiscono completamente le acque di riserva presenti all'interno del sistema. Tale fenomeno lo si osserva per esempio in figura 5.23 dove si vede un piccolo innalzamento dei valori di temperatura e conducibilità prima di un loro ideale abbassamento.

Il generale e significativo andamento negativo delle CCF_s , a sua volta, indica un comportamento di sostituzione o anche detto di spiazzamento nel quale ad un aumento di livello vi è una diminuzione di temperatura e conducibilità e viceversa.

Si è anche analizzata una eventuale relazione tra la sorgente del Meschio ed il lago Morto quotato a 274 m s.l.m.. Si riportano in figura 5.39 i dati disponibili del lago Morto per il primo periodo di monitoraggio confrontati con i dati pluviometrici relativi alla stazione di Vittorio Veneto.

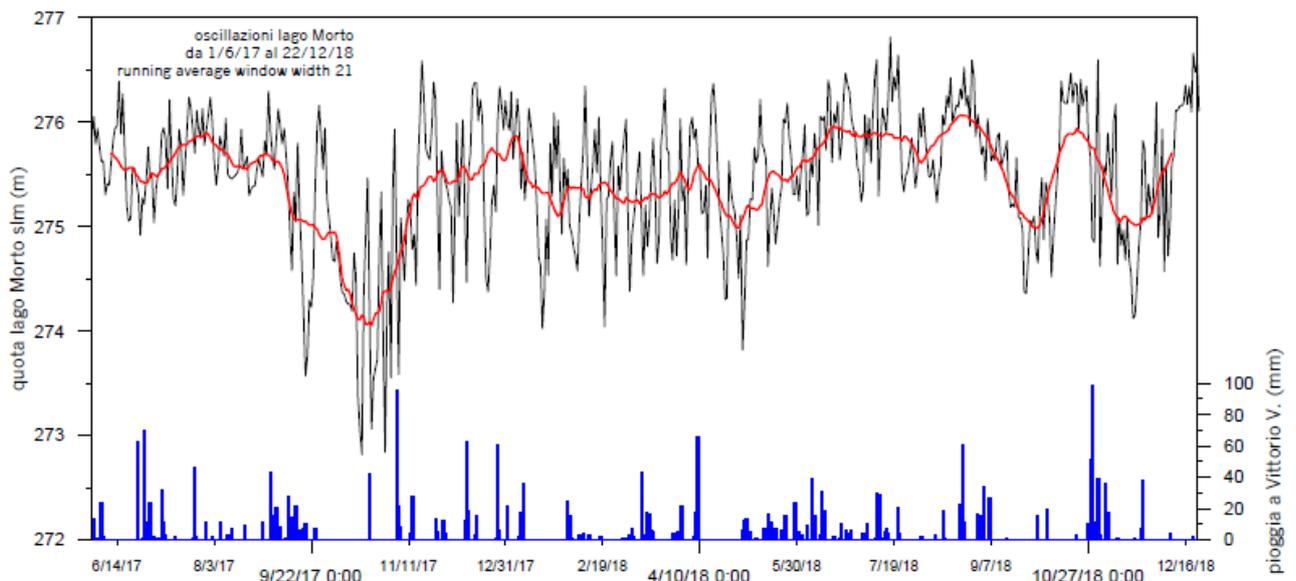


Fig. 5.39: Andamento del livello del lago in relazione ai dati di pioggia

Da tale analisi, come si nota in figura 5.40, non emerge alcuna significativa correlazione.

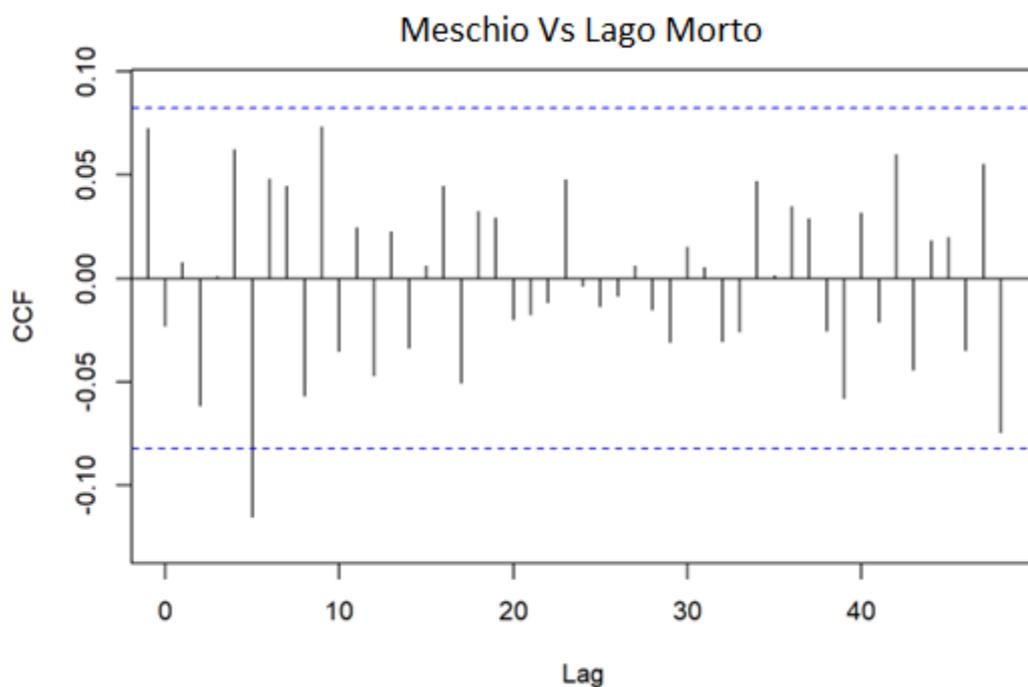


Fig. 5.40: Crosscorrelazione tra sorgente del Meschio e lago Morto (RStudio)

5.5.2. Analisi statistica dei dati del monitoraggio settembre 2019-maggio 2020

Si riportano in seguito i risultati dell'analisi statistica effettuata sui dati del secondo monitoraggio ovvero quello da settembre 2019 a maggio 2020. In Fig. 5.41 vengono riportati, nel loro insieme, i parametri monitorati su base giornaliera relativi a tale periodo:

Parametri secondo periodo monitoraggio

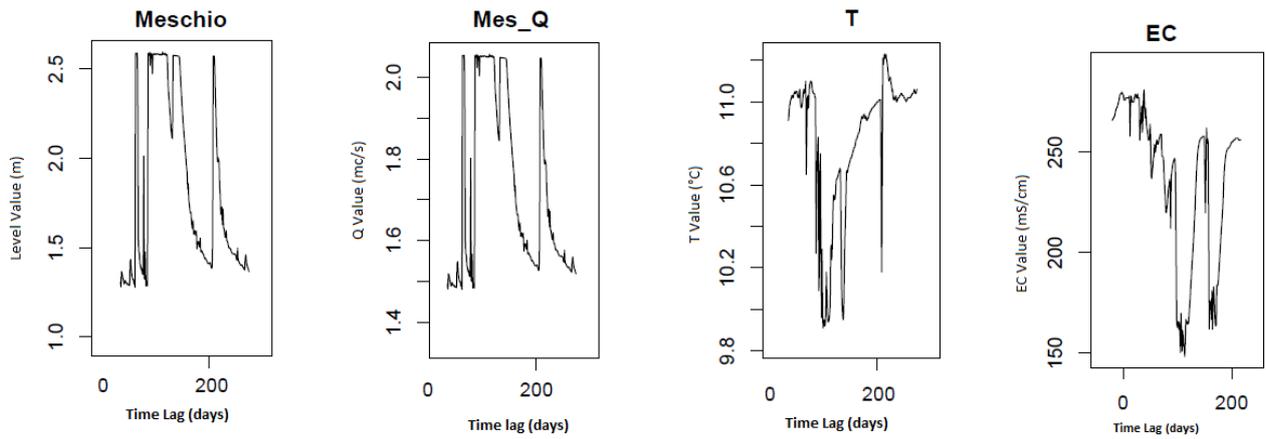


Fig. 5.41: Andamento dei parametri monitorati della sorgente (RStudio)

Come precedentemente fatto, è stata creata la curva di durata del flusso FDC sempre su base giornaliera:

FDC Meschio daily

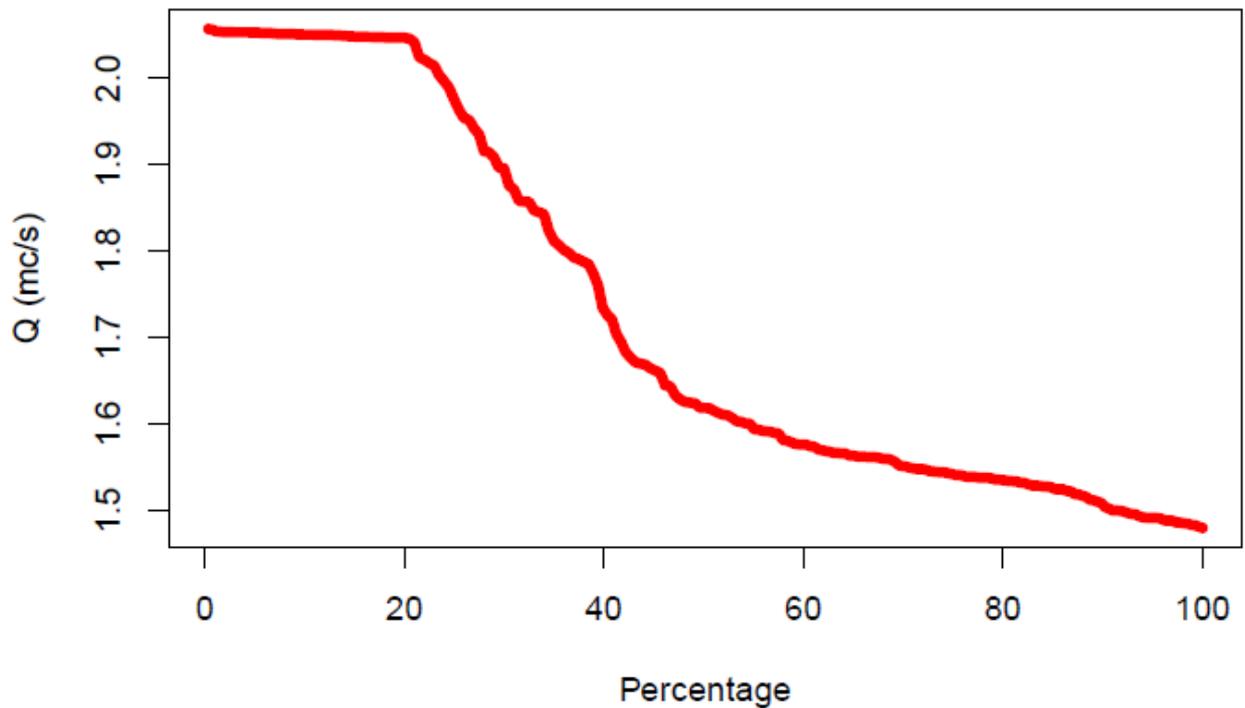


Fig. 5.42: Curva di durata del flusso (FDC) su dati giornalieri

Si vede un evidente appiattimento della curva tra 0 e 20% dovuto al movimento artificiale della paratoia; dal 20% al 45% la curva ha una forte pendenza indice di un sistema carsico ben sviluppato, mentre dal 45% in poi la curva si appiattisce ad indice di un sistema fessurato.

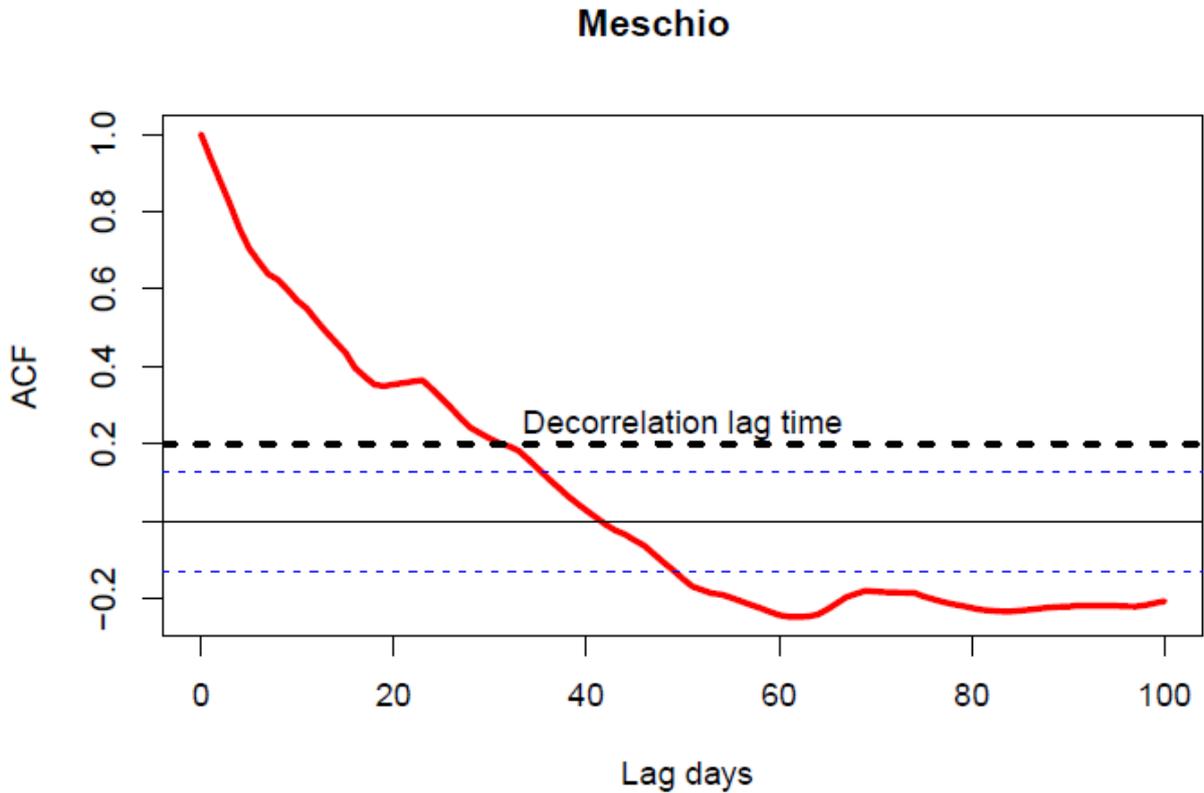


Fig. 5.43: Autocorrelogramma su valori giornalieri (RStudio)

Dall'analisi ACF emerge, come in precedenza, una forte pendenza della curva nei primi venti giorni indicando l'esistenza di un sistema carsico ben sviluppato che comporta un veloce flusso di scarico. Dai venti giorni in poi la pendenza della curva tende a diminuire indicando un sistema da mediamente carsificato a fratturato.

Nel periodo di monitoraggio analizzato in questo paragrafo, è emerso che l'analisi CCF_s sulle piogge fornisce la simultaneità degli eventi piovosi come riscontrato nel paragrafo precedente riguardante il primo periodo di monitoraggio. Si riporta in figura 5.44 alcuni esempi di crosscorrelazione tra i dati pluviometrici:

CCF tra stazioni pluviometriche

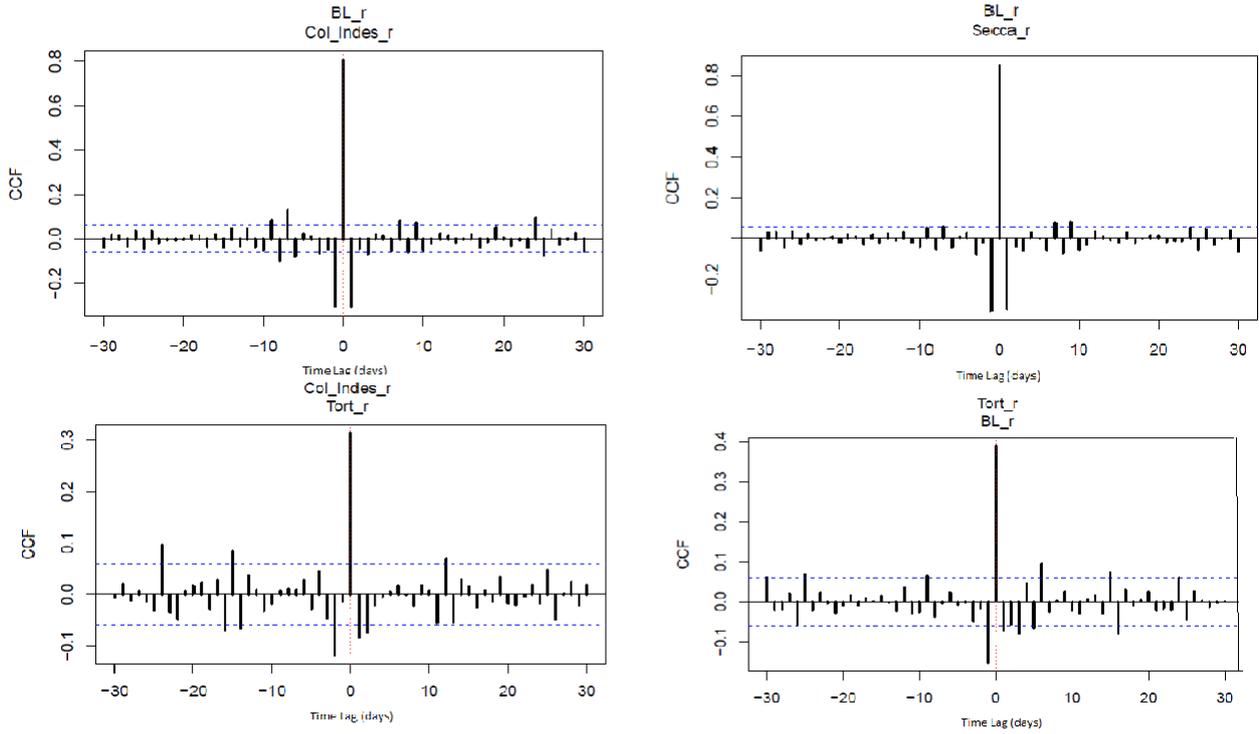


Fig. 5.44: Crosscorrelazione tra i dati pluviometrici giornalieri di alcune stazioni pluviometriche (RStudio)

Vista la simultaneità, è stata applicata, come in precedenza, la crosscorrelazione tra gli input pluviometrici e il livello della sorgente (output). Si è osservato, in tutte le otto stazioni analizzate, lo stesso comportamento come riportato in figura 5.45:

CCF tra stazioni pluviometriche e livello del Meschio

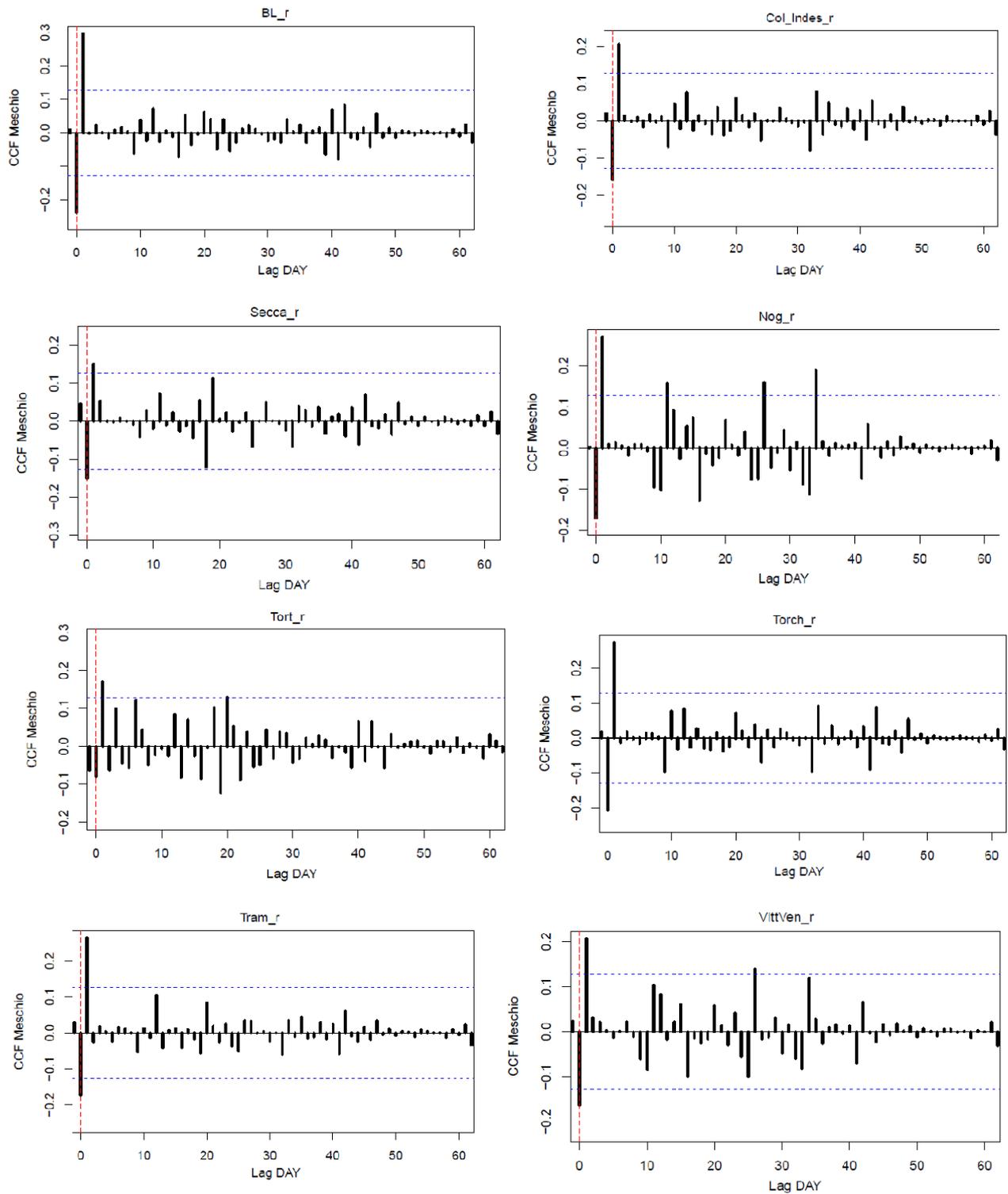


Fig. 5.45: Crosscorrelazione tra i dati pluviometrici giornalieri e livello della sorgente

Come si osserva dalla figura 5.45, tra serie di input (piogge) e serie di output (livello della sorgente) vi è un ritardo di un giorno dall'evento piovoso. Conseguentemente, come fatto nel paragrafo precedente, sono stati analizzati i dati orari per definire se il ritardo fosse ancora di un'ora. Visti i dati a disposizione, anche in questo caso sono state prese in esame le stazioni di Nogarolo, San

Antonio Tortal e La Secca. Tale analisi, come emerge in Fig. 5.46, conferma la risposta oraria della sorgente rispetto all'evento piovoso:

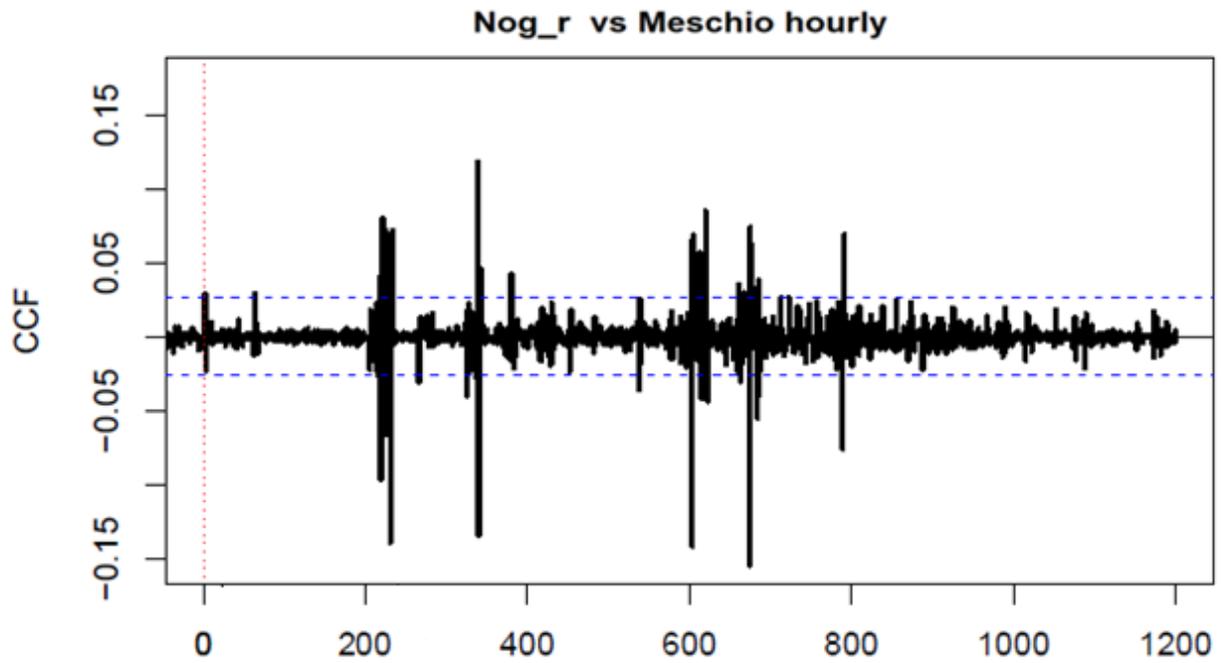


Fig. 5.46: Crosscorrelazione oraria tra i dati pluviometrici di Nogarolo e il livello della sorgente

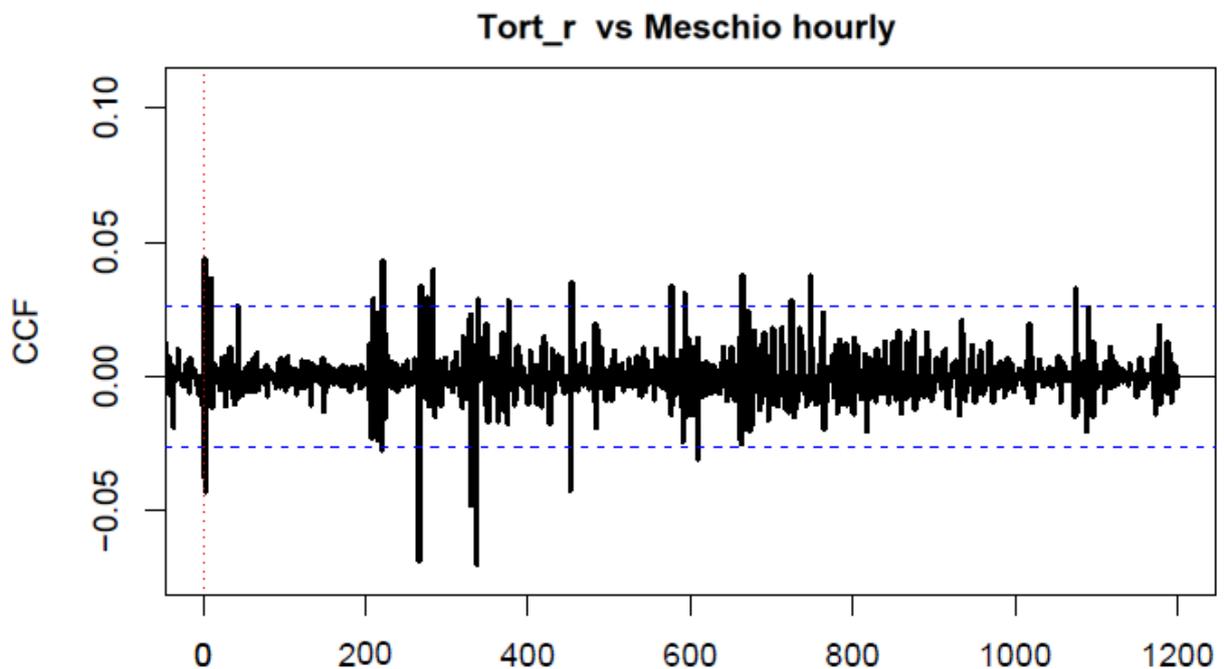


Fig. 5.47: Crosscorrelazione oraria tra i dati pluviometrici di S. Antonio Tortal e il livello della sorgente

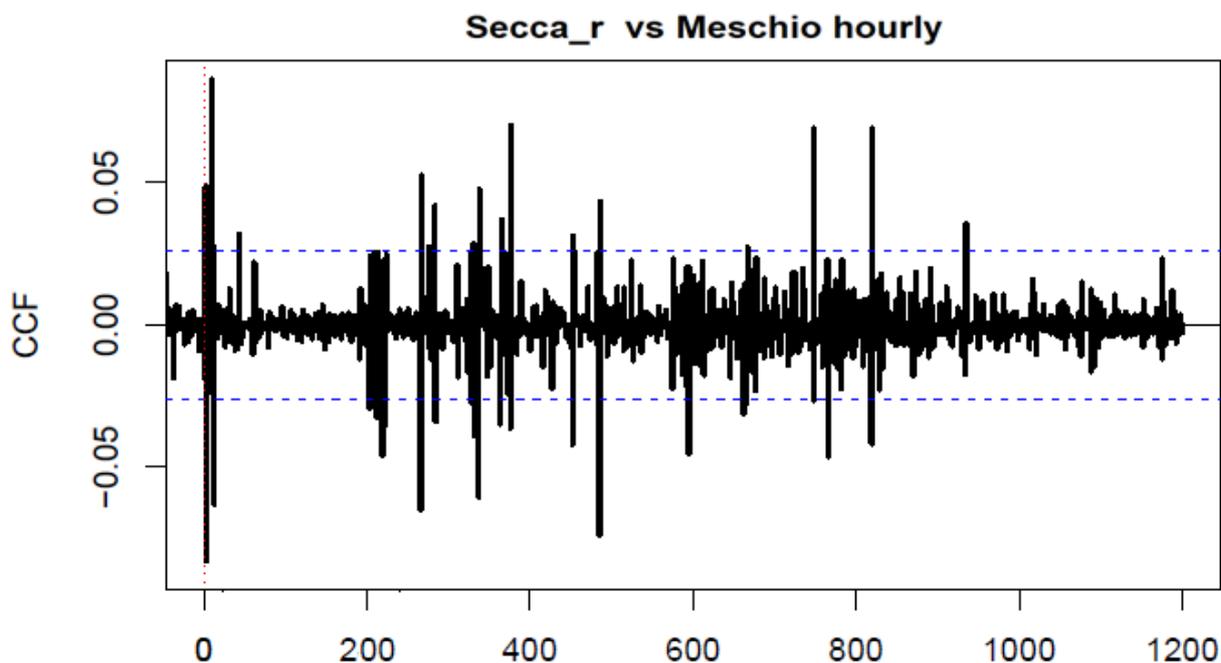


Fig. 5.48: Crosscorrelazione oraria tra i dati pluviometrici di La Secca e il livello della sorgente

In seguito, l'analisi CCF_s si è concentrata sulla relazione tra livello della sorgente (input) e temperatura (output). Tale analisi, come in precedenza, si sviluppa sia su base giornaliera che oraria:

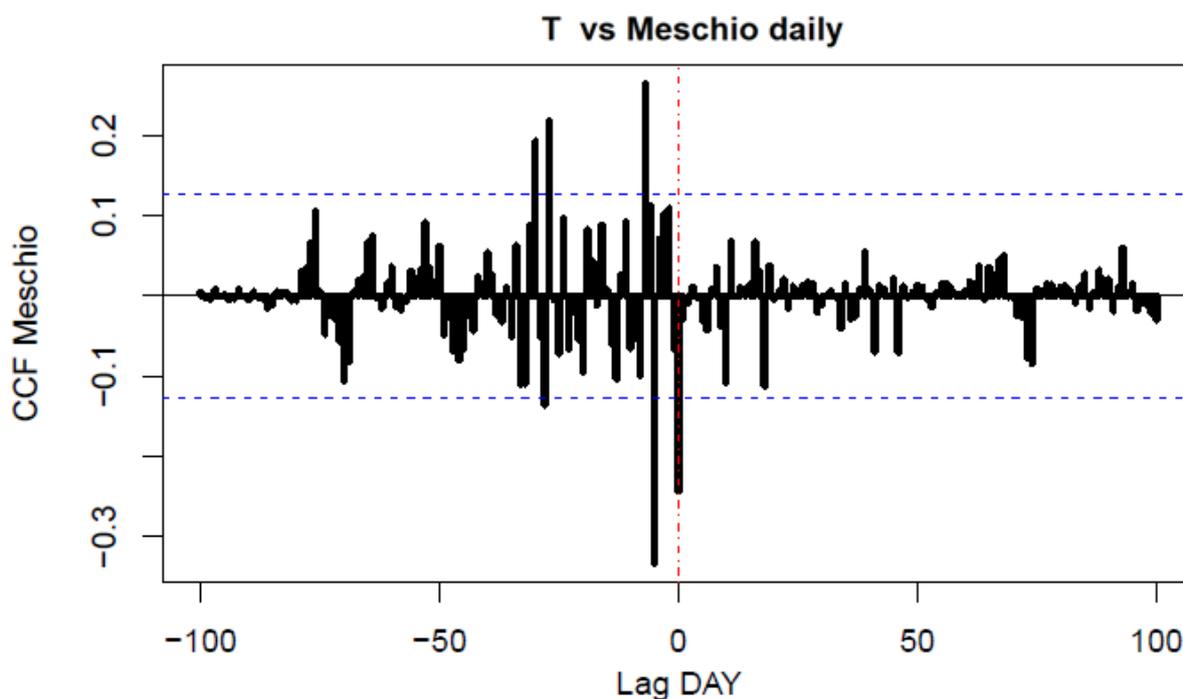


Fig. 5.49: Crosscorrelazione giornaliera tra livello e temperatura della sorgente (RStudio)

Dalla figura 5.49 si osserva una forte correlazione a zero. Nei dati orari si nota invece una differenza poiché la correlazione risulta essere positiva ad indice di un piccolo effetto pistone che avviene nella prima ora di ricarica della sorgente diventando poi negativa come in figura 5.50:

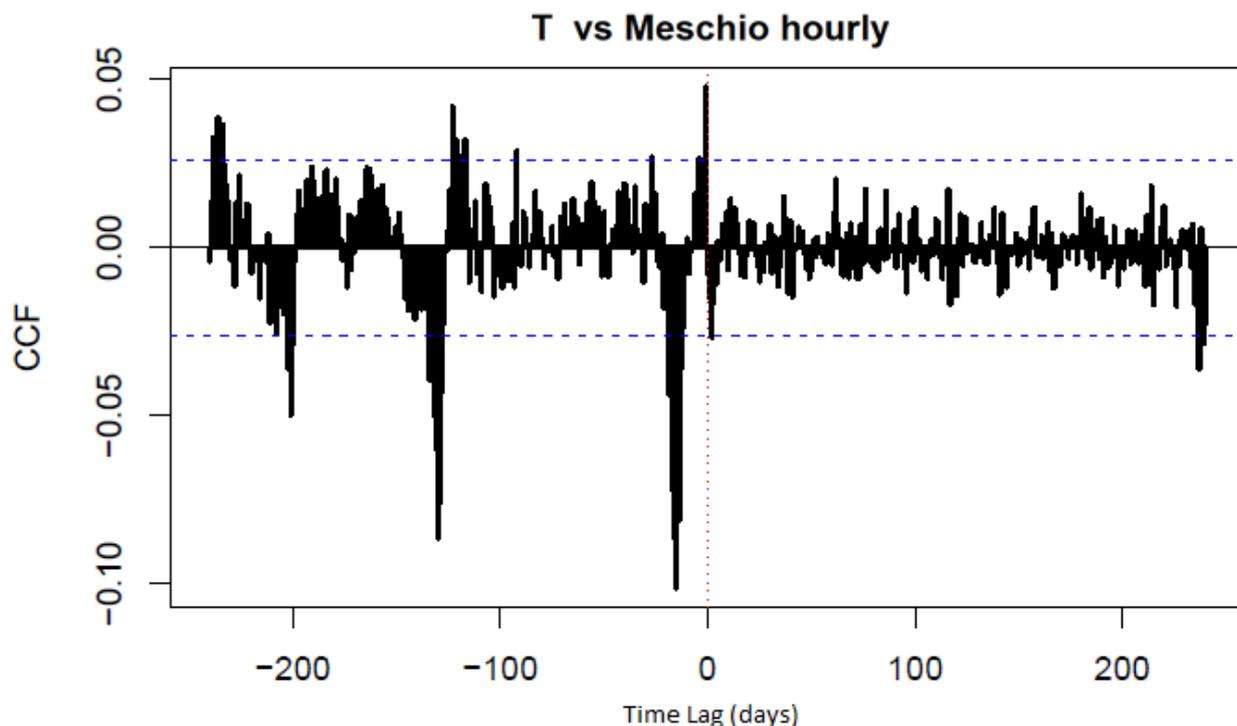


Fig. 5.50: Crosscorrelazione oraria tra livello e temperatura della sorgente (RStudio)

La CCF tra livello e conducibilità elettrica è stata eseguita ponendo in input il livello ed in output la conducibilità. In figura 5.51 si riporta la cross correlazione su valori giornalieri:

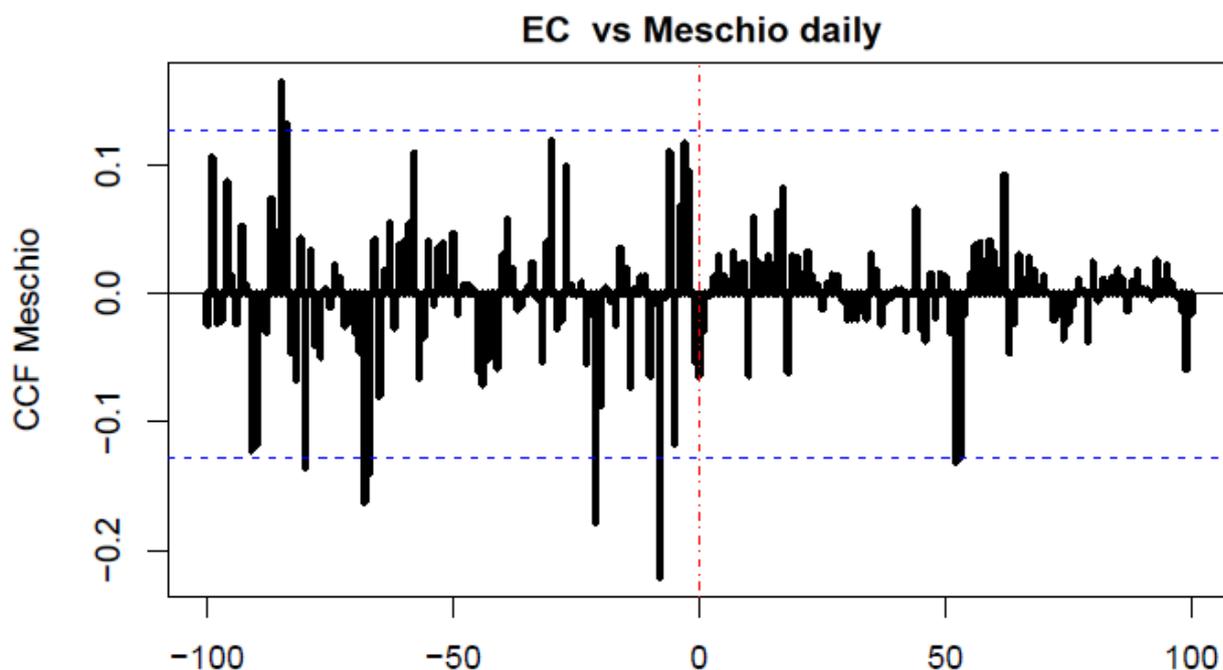


Fig. 5.51: Crosscorrelazione giornaliera tra livello ed EC della sorgente (RStudio)

Dalla figura si osserva che vi è una correlazione negativa non significativa però. Nei dati orari, come nel caso della temperatura, vi è una correlazione istantanea positiva per poi diventare subito negativa indice del piccolo effetto pistone.

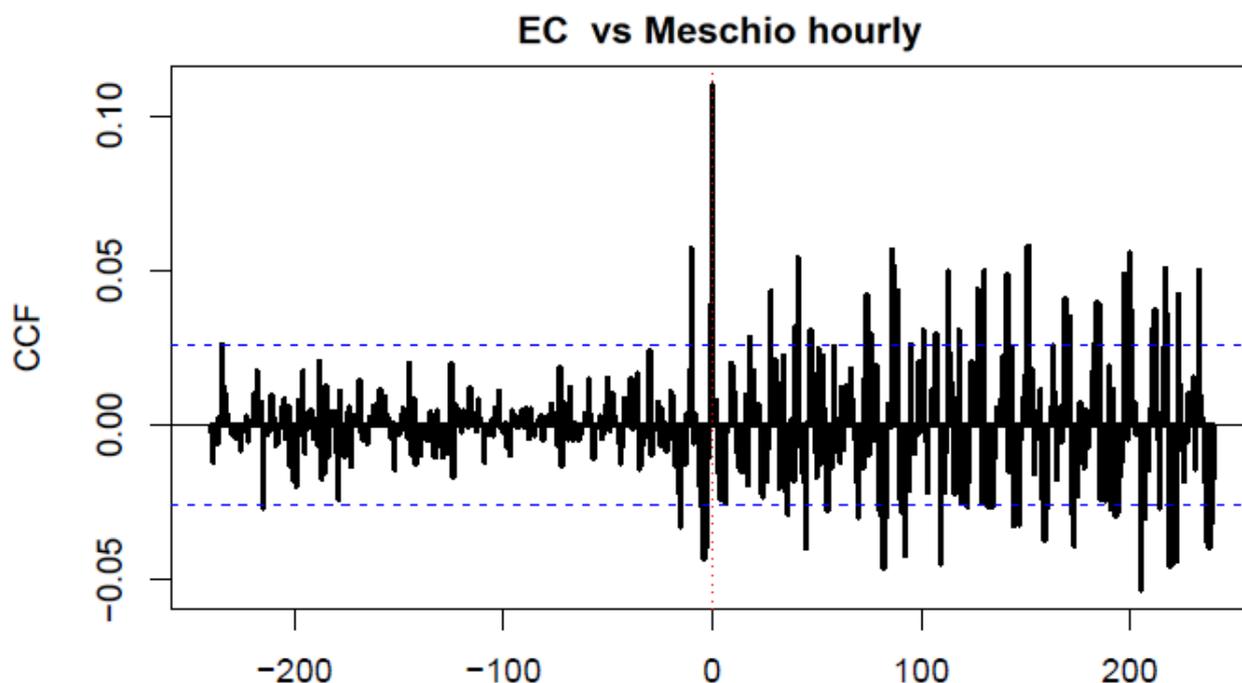


Fig. 5.52: Crosscorrelazione oraria tra livello ed EC della sorgente (RStudio)

In sintesi, dall'analisi statistica effettuata sui dati monitorati emerge una certa uguaglianza con l'analisi riguardante il primo periodo di monitoraggio. Dall'analisi CCF sui dati pluviometrici si osserva contemporaneità tra le stazioni mentre, sempre da tale analisi tra piogge e livello della sorgente, si nota una risposta con ritardo di un giorno e di un'ora considerando rispettivamente l'analisi CCF su dati giornalieri e orari come già osservato nella precedente analisi statistica riportata al paragrafo § 5.5.1.. Nell'analisi CCF riguardante livello della sorgente (input) e temperatura (output) e la successiva analisi tra livello della sorgente (input) e conducibilità elettrica (output) indica, soprattutto nei dati orari, una correlazione positiva nelle prime 1/2 ore ad indice dell'avvenimento di un piccolo effetto pistone come riscontrato precedentemente in occasioni di precipitazioni meno intense le cui acque di neoinfiltrazione non sostituiscono completamente quelle di riserva.

Il generale trend di queste analisi è perlopiù negativo andando ad indicare un comportamento prevalente di sostituzione.

5.6. Indice VESPA

Nel corso della analisi statistica dei dati eseguita nel paragrafo precedente, è stato determinato anche l'indice VESPA. Tale indice è utile per definire la vulnerabilità intrinseca dell'acquifero che alimenta la sorgente alla quale segue la determinazione dell'area di salvaguardia della sorgente. Diversi sono le metodologie seguite per la determinazione della vulnerabilità di una sorgente, ma visti i parametri a disposizione circa la sorgente oggetto di studio si è scelto l'utilizzo dell'indice VESPA. La vulnerabilità dell'acquifero dipende da tutta una serie di parametri quali litologia, struttura e geometria dell'idrostruttura, natura del suolo, tipo di copertura, processi dinamici del sistema idrogeologico etc.

Il metodo VESPA (*"Vulnerability Estimation For Spring Protection Area"*) è una metodologia che permette di delimitare le aree di salvaguardia con la valutazione della vulnerabilità ad un eventuale inquinamento dell'acquifero. Per l'utilizzo di tale metodo è necessario almeno un anno di

monitoraggio della sorgente in continuo. In tale lavoro di tesi la sorgente è stata monitorata complessivamente, togliendo il periodo di rimozione degli strumenti, per circa due anni e mezzo. Tale metodo utilizza monitoraggi con intervalli orari. I parametri usati sono: portata, temperatura e conducibilità elettrica. Tale indice è stato calcolato mediante la formula:

$$V=c(\rho)\beta\gamma$$

dove: $c(\rho)$ è un fattore di correlazione che dipende dal tipo di circolazione della sorgente; β è un coefficiente che dipende dalla temperatura e γ è legato, invece alla portata. Tutti e tre i coefficienti che danno l'indice VESPA vengono determinati attraverso una formula appropriata. Si osserva che un valore di β basso indica un tempo lungo di permanenza nell'acquifero e, dunque, un sistema poco vulnerabile e viceversa mentre un indice γ basso indica un modesto grado di vulnerabilità e viceversa (DGR. nr. 1621 Allegato II, 2019)

Nel caso in esame, il calcolo di tale indice è stato effettuato con il programma RStudio. Si precisa che, visto il monitoraggio effettuato, i valori di portata utilizzati sono stati ricavati dal valore di livello compensato misurato dagli strumenti Diver utilizzati mediante la formula:

$$Q= 0.4373*L+0.9217$$

dove L indica il livello della sorgente.

Dal calcolo dei coefficienti mediante RStudio è emerso che:

$$c(\rho)=-0.18;$$

$$\beta=2.4964;$$

$$\gamma=0.875582.$$

Il prodotto dei tre è pari a 0.4. Di conseguenza l'indice VESPA V è uguale a 0.4. Considerando le fasce di vulnerabilità, V è compreso tra 0.1 e 1. Quindi, risulta che la sorgente ha un grado di media vulnerabilità.

Dalla analisi del coefficiente $c(\rho)=-0.18$, inoltre, è stato possibile individuare il fenomeno prevalente di comportamento della sorgente. Difatti, in generale, è possibile distinguere tre principali tipi di fenomeni ovvero:

- *Tipo A "sostituzione"* che rappresenta un sistema ben sviluppato dove ad un evento piovoso corrisponde un aumento del livello e della portata della sorgente ma abbassamento di temperatura e conducibilità elettrica;
- *Tipo B "pistone"* che rappresenta un moderato sistema di drenaggio e che comporta un aumento di temperatura e conducibilità elettrica quando aumentano livello e portata della sorgente;
- *Tipo C "omogeneizzazione"* che rappresenta un sistema poco sviluppato dove ad una piena i parametri si mantengono all'incirca stabili.

Prendendo in considerazione gli intervalli seguenti:

$$-1<\rho<-0.2 \text{ Tipo A}$$

$$-0.2<\rho<0.2 \text{ Tipo C}$$

$$0.2<\rho<1 \text{ Tipo B}$$

È possibile notare come il caso di studio sia al limite tra un comportamento di Tipo C "omogeneizzazione" e di Tipo A "sostituzione". La sostituzione indica, come detto, un comportamento attribuibile ad un sistema ben sviluppato mentre l'omogeneizzazione può essere attribuito a un sistema fratturato. Logicamente tale indice non consente la separazione dei due contributi, ma enfatizza, però come un comportamento possa prevalere sull'altro.

Determinata la vulnerabilità dell'acquifero, è possibile dimensionare l'area di salvaguardia della sorgente seguendo le linee guida del DGR nr.1621 del 05/11/19 secondo il quale il dimensionamento della zona di tutela assoluta segue la Tab. 5.8:

Classe di vulnerabilità intrinseca	Estensione verso monte "D" (metri)	Estensione verso valle "d" (metri)	Estensione laterale "% D" (metri)
Bassa	10	2 (10)	7.5 (10)
Media	20	5 (10)	15
Alta	30	5 (10)	22.5
Elevata	40	10	30

Tab. 5.8: dimensionamento della ZTA (DGR nr.1621, 2019)

La zona di tutela assoluta dunque ha estensione verso monte di 20 metri, verso valle di 5 metri e lateralmente di 15 metri. La zona di rispetto, invece, segue le indicazioni riportate in tabella 5.9:

Classe di vulnerabilità intrinseca	Estensione (in metri) a monte della ZR (L)
Bassa	200
Media	400
Alta	2000
Elevata	Intero bacino di alimentazione

Tab. 5.9: dimensionamento della ZR (DGR nr.1621, 2019)

Per cui la zona di rispetto relativa alla sorgente del Meschio ha un'estensione di 400 metri a monte.

5.7. Bilancio idrogeologico

Nell'ambito di questo lavoro di tesi, è stato effettuato un bilancio idrogeologico per effettuare una stima di ricarica annua della struttura idrogeologica al fine di quantificare il processo di ricarica-scarico del sistema.

Nello specifico, il primo passo è stato quello di valutare la piovosità media annua per una griglia discretizzata del territorio d'interesse. Per fare questo sono state selezionate e ricostruite le serie storiche di dati pluviometrici per un periodo di 14 anni (2005-2019). Sono state prese in considerazione le stazioni pluviometriche riportate al paragrafo § 5.2. ad eccezione della mancanza delle stazioni di Nogarolo e di La Secca in quanto mancanti del dato relativo alla temperatura dell'aria. Avendo tali dati è stato possibile calcolare i valori medi mensili nei 14 anni considerati per poi calcolare la somma annuale dei dati pluviometrici mensili. Stesso procedimento è stato fatto per i dati termometrici con la differenza che sono state calcolate le medie mensili e da queste è stata ricavata una retta di regressione tale da poter legare temperatura e quota.

Si riportano in tabella 5.10 e tabella 5.11 i dati pluviometrici e termometrici con le relative quote delle stazioni:

STAZIONE	Quota	Anni	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SETT	OTT	NOV	DIC	TOTALE(mm)
Belluno	377	2005-2019	85.5	91.1	94.8	125.8	171.6	149.1	152.5	148.7	149.1	129.7	170.6	99.6	1568.1
Col Indes	1181	2005-2019	94.5	82.1	106.2	170.7	201.7	171.6	158.2	164.4	168.6	188	278.7	126.3	1911.0
S.Ant.Tor.	544	2005-2019	93.8	87.9	107.3	147.3	176.9	146.8	126.9	137.4	159.2	175.6	263	130.6	1752.7
Torch	593	2005-2019	75.9	62.9	81.5	116.6	146.5	146	135.5	139.5	140.3	145.6	196.7	89.7	1476.7
Tramedere	1002	2005-2019	113.7	99.1	125.3	186.3	209.5	166	153.2	166.6	170.7	204.9	319.4	156.5	2071.2
Vitt.Veneto	123	2005-2019	83.6	82.5	100	129.9	149.4	127.8	125.8	145.6	143.2	134.7	192.3	90.3	1505.1

Tab. 5.10: Precipitazioni medie mensili annuali delle stazioni pluviometriche considerate

STAZIONE	Quota	Anni	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SETT	OTT	NOV	DIC	MEDIA(° C)
Belluno	377	2005-2019	0.2	2.5	6.9	11.4	15	19.2	21.1	20.3	16.4	11.5	5.9	0.6	10.92
Col Indes	1181	2005-2019	-0.2	0.1	3.1	6.4	10.6	14.5	16.4	16.4	12.1	8.4	4	0.8	7.72
S.Ant.Tor.	544	2005-2019	0.6	2.2	6.2	9.9	14.2	18.1	19.9	19.6	15.3	11	5.8	1.3	10.34
Torch	593	2005-2019	1.2	2.6	6.3	10	14.1	18	19.9	19.6	15.4	11.2	6.2	1.9	10.53
Tramedere	1002	2005-2019	-3.6	-2.2	1.5	5.4	10	14	15.7	15.3	11.1	7.1	2.2	-2.8	6.14
Vitt.Veneto	123	2005-2019	3.7	5.2	9.2	13.5	17.7	21.9	23.8	23.5	18.9	14.1	9.2	4.8	13.79

Tab. 5.11: Temperature medie mensili annuali delle stazioni pluviometriche considerate

Generalmente i valori di piovosità e temperatura dipendono da diversi fattori sia climatici che morfologici. A parità di regime sia pluviometrico che termometrico si riscontra che vi è una relazione con la quota. Difatti si osserva che la piovosità media annua tende ad essere più abbondante all'aumentare della quota come riportato in Fig. 5.53; mentre la temperatura diminuisce all'aumentare della quota come riportato in Fig. 5.54:

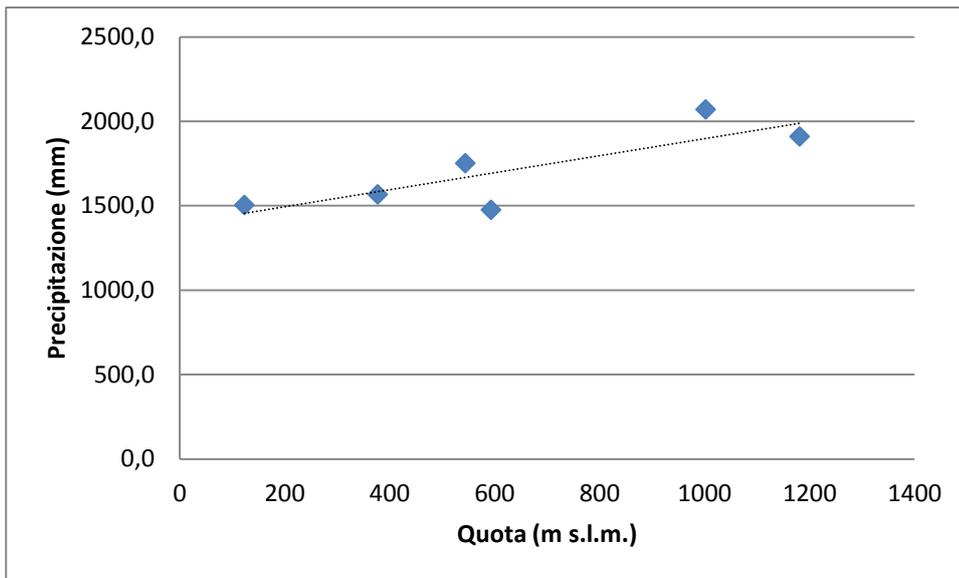


Fig. 5.53: Relazione Quota-Piovosità

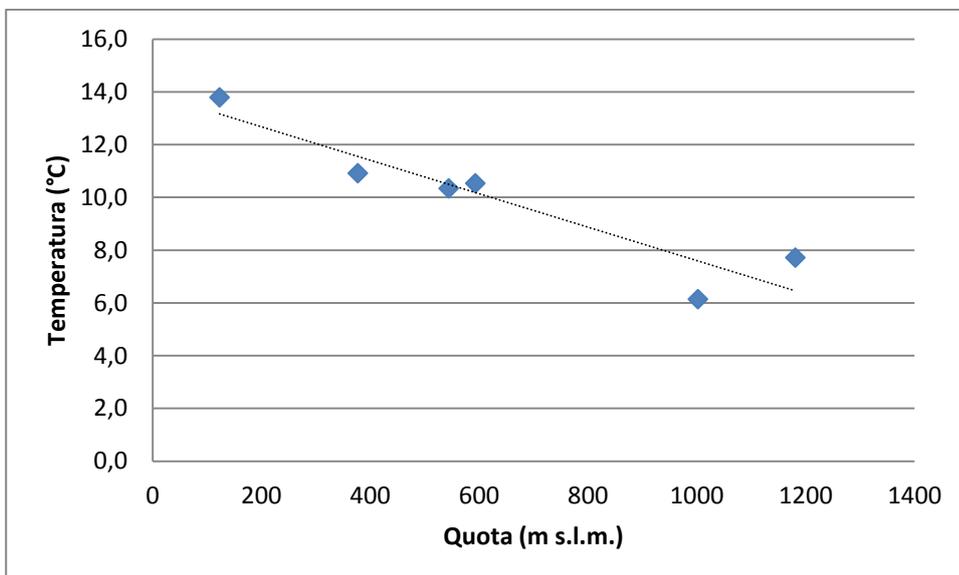


Fig. 5.54: Relazione Quota-Temperatura

Effettuati questi calcoli si è proceduti con il calcolo delle equazioni piovosità-quota [$P=f(q)$] e temperatura media annua [$T=f(q)$]. Queste relazioni sono state determinate attraverso l'applicazione del metodo dei minimi quadrati ai dati pluviometrici e termometrici e alla loro quota (Civita, 2005). Nello specifico, la variazione della piovosità media interannuale o della temperatura media interannuale corretta è esprimibile mediante l'equazione di una retta del tipo:

$$y=ax+b$$

di conseguenza, nel caso della piovosità, si ottiene:

$$P=0.51Q+1392.56$$

mentre per la temperatura:

$$T=-0.006Q+13.94$$

dove Q risulta essere la quota media di ogni cella discretizzata.

Si tratta ora di determinare la quota media relativa ad ogni cella. Per effettuare tali calcoli sono stati utilizzati i DTM 1:25000 della zona di interesse mediante il programma ArcMap. Ogni cella ha dimensioni di 25*25 m e presenta una quota media.

Quindi, una volta ricavate le quote per ogni cella, è possibile attribuire un valore di piovosità per ogni cella di interesse stimando la piovosità, di conseguenza, di tutta l'area. Avendo i valori noti di P e T per ogni cella su tutta l'area di interesse, è stata determinata l'evapotraspirazione reale (E_r in mm/anno) mediante la formula di Turc (1954):

$$E_r = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P^2}{L^2}\right)}}$$

dove L è il potere evaporante dell'atmosfera e vale:

$$L = 300 + 25T + 0.005T^3$$

La stessa procedura è stata applicata a tutte le celle componenti l'area di interesse.

Una volta ricavate tutte queste informazioni, si è proceduti con il calcolo del valore di precipitazione efficace, espressa in mm/anno, facendo la differenza tra piovosità totale ed evapotraspirazione:

$$P_e = P - E_r$$

E' seguito il calcolo dell'infiltrazione efficace moltiplicando il valore di precipitazione efficace per il coefficiente di infiltrazione χ , il quale considera la presenza di un acquifero carsico e inghiottitoi, diversa copertura di vegetazione, pendenze etc, è compreso tra 0.8 e 1. Seguendo quanto riportato da Civita si è scelto il valore di χ pari a 0.95. Questo calcolo è sempre stato fatto per ogni cella su tutta l'area di interesse studiata.

$$I = P_e * \chi$$

Essendo l'infiltrazione efficace espressa in mm/anno, essa è stata divisa per mille al fine di ricavare il valore in m/annui.

Infine, per ogni cella elementare, si determina il volume medio annuo di acqua che si infiltra moltiplicando il valore di infiltrazione efficace per l'area della cella:

$$V_i = I * A$$

E' quindi stata ipotizzata un'ipotetica area del bacino di alimentazione pari a circa 7 km². Si è scelta tale area perché era stata ipotizzata come area di alimentazione della sorgente in ambito di tesi triennale sulla base di valutazioni non precise a causa della mancanza di misure di portata, di tale bilancio e delle informazioni di precipitazione ed infiltrazione efficace. Tale area è stata utilizzata per effettuare la somma dei valori ottenuti per ogni cella determinando il volume totale medio annuo che si è infiltrato nell'area di ricarica del sistema. (Vigna, 2003). In particolare, in riferimento ad una prima ipotetica area del bacino di alimentazione, è emerso che, per un'area di circa 7 km², il volume atteso di acqua che si infiltra è pari a 9.9 Mm³/annuo con una portata di 0.314 m³/s.

Quindi è stato calcolato il volume giornaliero, espresso in m³/giorno, scaricato dalla sorgente del Meschio in un anno (20 dicembre 2017-20 dicembre 2018) a partire dalla portata. È emerso che nell'anno considerato e con una precipitazione annua (considerata la stazione pluviometrica di Vittorio Veneto) di 1459.2 mm, il volume scaricato dalla sorgente è pari a 51.4 Mm³/annuo con una portata di circa 1.63 m³/s.

In base ai calcoli fatti e alle ipotesi effettuate su di una prima ipotetica area di alimentazione della sorgente è emerso che l'ipotesi è sottostimata di circa 5 volte e che, dunque, l'ipotetica area del bacino della sorgente dovrebbe essere di circa 35 km².

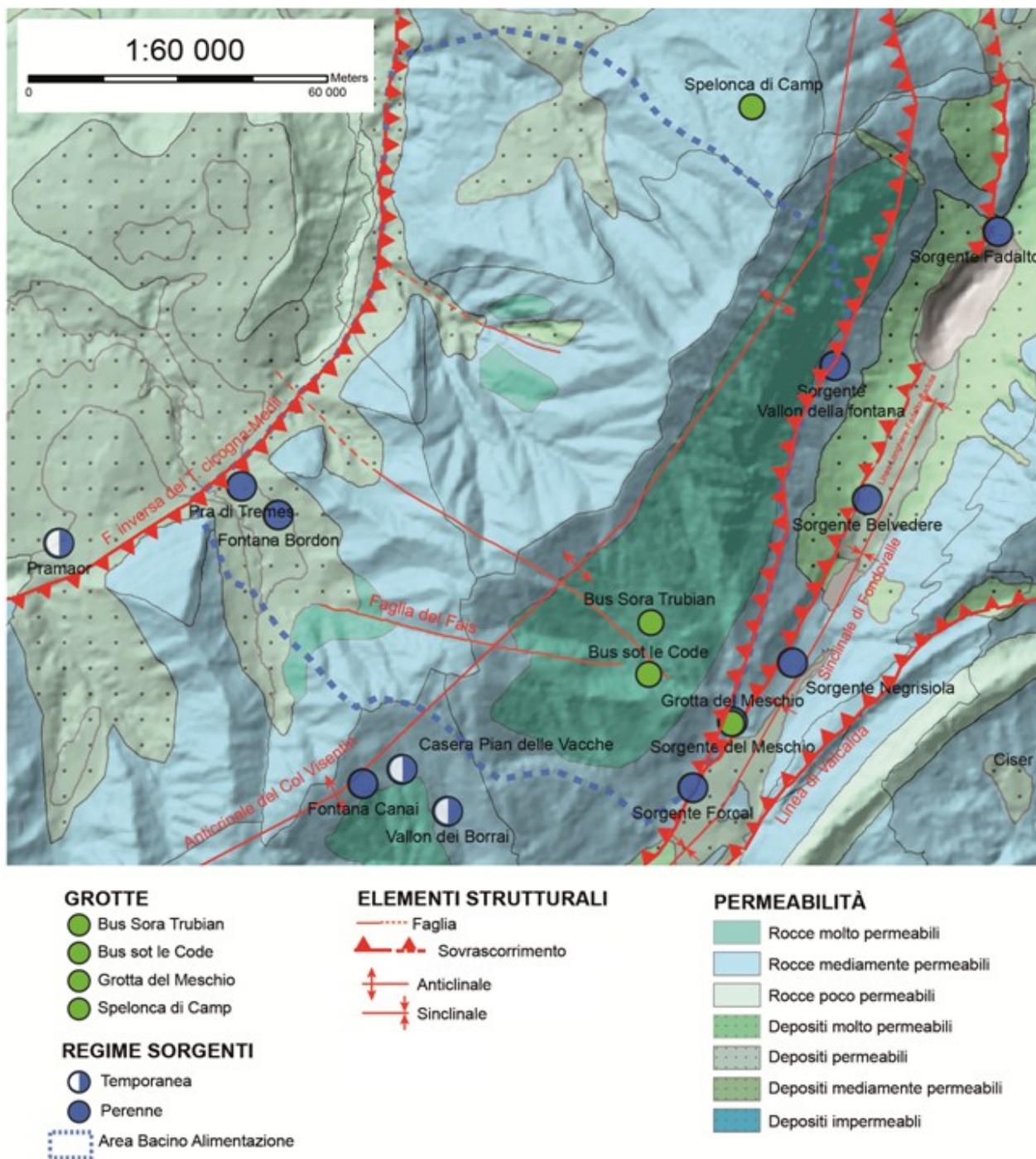


Fig. 5.55: Ricostruzione ipotizzata del bacino di alimentazione della sorgente del fiume Meschio

5.8. Modello idrogeologico concettuale

In accordo con le indagini eseguite, combinando i risultati di tali indagini e le analisi statistiche eseguite, si può delineare un modello idrogeologico concettuale per la sorgente del fiume Meschio. Nello specifico, la geologia della zona, la tettonica, il monitoraggio eseguito, le informazioni raccolte circa il chimismo delle acque, le tecniche di FDC, ACF, CCF e indice VESPA permettono

di ottenere delle informazioni qualitative e quantitative circa il sistema carsico, il suo grado di carsificazione, le dimensioni di tale sistema e le caratteristiche proprie dell'acqua. Il monitoraggio mediante CTD Diver, durato circa due anni e mezzo, ha permesso di stabilire le variazioni dei parametri della sorgente quali temperatura e conducibilità elettrica così come l'andamento del livello della sorgente. Mediante tale monitoraggio si è osservato come, ad un aumento del livello della sorgente, vi sia, simultaneamente e nell'andamento generale, una diminuzione di temperatura e conducibilità. Inoltre, in alcuni eventi si è osservato un piccolo e limitato aumento di questi due valori per poi successivamente scendere dovuto ad un piccolo effetto pistone. La sorgente presenta delle fasi di piena molto consistenti che portano, talvolta, alla tracimazione del muro di contenimento alto circa un metro e mezzo rispetto al piano campagna le quali si alternano a fasi di magra che mantengono, comunque, un livello considerevole d'acqua e che, di conseguenza, non appaiono così pronunciate.

Le misure di portata effettuate in prossimità della sorgente hanno evidenziato come la sorgente sia caratterizzata da portate considerevoli che raggiungono, in fase di piena, alcuni metri cubi al secondo mentre in fase di magra ci si mantiene su diverse centinaia di l/s.

L'analisi dettagliata dei dati pluviometrici ha permesso di stabilire che in caso di precipitazioni intense e prolungate la sorgente ha una risposta rapida e raggiunge il picco in maniera molto veloce per mantenerlo anche un paio di giorni. Lo scarico del sistema all'emergenza, risulta essere molto lento in quanto avviene anche nel giro di una settimana se non dieci giorni. Nel caso invece di eventi meno intensi e prolungati la risposta della sorgente è sempre oraria (attorno le cinque/sei ore) e manifesta un raggiungimento del picco veloce e limitano nella sua persistenza. Dall'attenta analisi di tali eventi è possibile osservare come vi sia una risposta del livello solitamente attorno alle 50-80 ore dopo un primo aumento orario dopo l'evento piovoso.

L'analisi statistica, effettuata attraverso l'utilizzo di FDC, CCF, ACF e indice VESPA, ha permesso di combinare i parametri studiati per capire: la risposta del sistema in relazione al percorso delle acque di neoinfiltrazione, la grandezza del sistema carsico e il grado di vulnerabilità del sistema stesso.

Concettualmente, dunque, si potrebbe considerare un sistema carsico che presenta dei dreni principali e ben sviluppati legati ad un alto sviluppo del sistema carsico che fornisce la risposta oraria della sorgente rispetto all'evento piovoso. Importante, poi, è la componente legata alla fratturazione della massa rocciosa in quanto consente il lento drenaggio delle acque spiegando il ritardo dell'aumento della portata della sorgente dopo circa 2-3 giorni dall'evento piovoso. Come si può vedere dalla FDC, Fig. 5.29 e Fig. 5.42, e dalla ACF, Fig. 5.30 Fig. 5.43. Come mostrato dalla CCF, dopo un evento piovoso, le acque "fresche" raggiungono il punto di emergenza entro un giorno di ritardo e specificatamente con un'ora di ritardo rispetto all'evento mediante condotti carsici ben sviluppati.

L'utilizzo di tali analisi porta, inoltre, a pensare la presenza di una potente riserva d'acqua nella zona satura in prossimità della sorgente e in accordo con il contesto geologico e tettonico locale. Tale presenza fa sì che lo scarico dell'acqua da parte del sistema sia molto lento in caso di fenomeni piovosi intensi anche, soprattutto, a causa del sistema di fratturazione legata all'ammasso roccioso.

In riferimento all'andamento dei parametri, si può dedurre che ci sia una sostituzione prevalente da parte delle acque di neoinfiltrazione per precipitazioni più intense e, dunque, in fase di piena. Nel caso in cui si abbiano delle precipitazioni meno intense in fase di magra, l'effetto di sostituzione

non avviene completamente, ma, anzi, la temperatura e la conducibilità tendono ad avere un andamento perlomeno lineare o un lieve aumento.

Tale comportamento lo si riconduce all'ipotesi della presenza di una riserva di acqua alla base del sistema carsico e in prossimità della sorgente tale da creare un piccolissimo e limitato effetto pistone come lo si può vedere dalla CCF_s tra livello e temperatura e dalla CCF_s tra livello e conducibilità elettrica. Tale effetto provoca la completa espulsione delle acque di riserva a favore di quelle di sostituzione.

Infine, il calcolo dell'indice VESPA identifica che la sorgente abbia una media vulnerabilità con un drenaggio che sta al limite tra il Tipo "Sostituzione" e il Tipo "Omogeneizzazione".

Dal bilancio idrogeologico è emerso che, secondo la portata ricavata giornalmente dalle misure sperimentali fatte, il volume scaricato dalla sorgente si attesta nell'ordine di più di cinquanta milioni di metri cubi annui con una portata media di 1.63 m³/s. Ciò significa che, viste le ipotesi effettuate al paragrafo § 5.8., il volume scaricato dalla sorgente deriva da un'area di alimentazione di circa 35 km² e che comprende anche il versante bellunese del Col Visentin topograficamente più alto rispetto alla sorgente.

L'area definita equivale a quella della sola sorgente in base alle considerazioni e ai calcoli effettuati in questo lavoro di tesi, ma l'area di alimentazione potrebbe essere più estesa e collocarsi in un grande sistema che costituisca un'unica area di alimentazione delle diverse sorgenti presenti nella valle.

Altra considerazione da fare circa l'intero sistema che potrebbe o meno condizionare la portata della sorgente, dunque l'alimentazione della stessa, portando ad una sovrastima o sottostima dell'ipotesi fatta, è il fattore umano. Come detto in precedenza, la sorgente del Meschio si trova in un contesto dove lo sfruttamento delle acque con fini idroelettrici e potabili all'interno della valle ha una storia centenaria. Il sistema dei tre laghi presenti nella valle è di fatto una continuazione del sistema idroelettrico che vede il suo inizio nel Cadore-Comelico passando per il Vajont. All'interno della Val Lapisina i laghi sono collegati tra loro mediante condotte forzate e gallerie drenanti portando ad una alterazione del drenaggio naturale delle acque sia superficiali che non andando chiaramente a modificare i volumi in gioco. E' da considerare ulteriormente il fatto che all'interno della valle vengono portati volumi d'acqua ulteriori provenienti dalla zona cadorina e bellunese. Il fattore umano stesso modifica anche il comportamento della sorgente a causa del movimento della paratoia influenzando il livello e la portata in gioco così come lo sfioro del muro di contenimento comporta una tendenza del livello a rimanere lineare in una eventuale fase di piena.

Sulla base di tali considerazioni, è lecito affermare che l'acquifero carsico è un sistema con rete a dreno dominante che presenta però, in concordanza con le litologie e le componenti strutturali presenti, acque di riserva importanti collocabili in corrispondenza della zona sorgiva all'interno della Maiolica. Si definisce un sistema con rete a dreno dominante un sistema sviluppatosi in presenza di sistema con notevole carsificazione dove la rete di drenaggio è impostata prevalentemente in corrispondenza di collettori collocati in prossimità del substrato impermeabile. Sia i collettori principali che secondari costituiscono una rete di deflusso organizzata per cui gli apporti infiltrativi vengono smaltiti velocemente dal sistema dando appunto, in corrispondenza di un evento di piena, il fenomeno di sostituzione prevalente.

CAPITOLO SESTO

6.1. Conclusioni finali

Il presente lavoro di tesi si è focalizzato sulla caratterizzazione idrogeologica della sorgente del fiume Meschio in località Savassa Alta, Vittorio Veneto, Treviso.

La sorgente del Meschio non è utilizzata a scopo idro-potabile, ma solo a livello industriale in quanto le sue acque vengono usate per produrre energia elettrica. Durante lo studio, diverse sono state le fasi che hanno portato a una prima delimitazione del bacino idrogeologico della sorgente. Dalla fase di rilevamento è emerso che la sorgente del Meschio fa parte di tutta una serie di scaturigini carsiche che sono presenti sul fianco destro della Val Lapisina. Alcune di queste sono a carattere perenne, mentre altre, hanno carattere temporaneo.

Dallo studio è emerso che la sorgente del fiume Meschio è una sorgente di tipo “Valchiusano”. Le portate sono variabili, come detto, da centinaia di l/s ad alcuni metri cubi al secondo mentre non si hanno dati chimici sufficienti per poter effettuare una classificazione geochimica delle acque. In prossimità della sorgente sono presenti importanti sovrascorrimenti appartenenti alla Linea Longhere-Fadalto-Cadola che sbarrano l’acquifero determinando una soglia di permeabilità sottoposta.

Nel corso della ricerca è stata messa in opera una stazione di monitoraggio in continuo del livello, della temperatura e della conducibilità elettrica. I dati sino ad ora rilevati evidenziano che la temperatura delle acque è compresa nell’intervallo di 9.82 °C e 11.25 °C con una temperatura media pari a 10.77 °C mentre la conducibilità elettrica ha un valore medio di 250.11 microS/cm.

In relazione all’analisi comparata dei diversi parametri monitorati emerge che l’acquifero è caratterizzato dal fenomeno di sostituzione prevalente cioè, in seguito all’immissione nel sistema di acque di neoinfiltrazione, le acque presenti nello stesso vengono completamente sostituite. Si nota inoltre, la presenza di un piccolo effetto pistone in corrispondenza di fenomeni piovosi meno intensi. Questo fenomeno è indice della presenza di acque di riserva presenti nella Maiolica al di sotto dell’area sorgiva del Meschio. La presenza di queste acque concorda con la tipologia di sorgente e con l’assetto tettonico presente nell’area di studio in quanto la presenza del sovrascorrimento della Linea Longhere-Fadalto-Cadola crea uno sbarramento per le acque sotterranee di riserva che, di conseguenza, tendono ad accumularsi in prossimità di questo. Dallo studio del comportamento della sorgente tramite il monitoraggio e l’analisi statistica dei dati è emerso che il fenomeno di sostituzione prevalente sia quello principale che condiziona l’andamento dei diversi parametri della sorgente. L’acquifero carsico è un sistema con rete a dreno dominante. Si suppone che lo spartiacque sotterraneo sia presente nel versante bellunese del Col Visentin. Si tratta di un acquifero potente e limitato alla base dalla presenza delle marne appartenenti alla Formazione di Igne.

Per delimitare la grandezza del bacino di alimentazione della sorgente è stato fatto un bilancio idrogeologico attraverso lo studio di precipitazioni e temperature di sei delle otto stazioni pluviometriche studiate (causa mancanza di dati delle due non considerate) nell’arco di 14 anni. Considerando la stazione più prossima alla sorgente (Vittorio Veneto) la precipitazione media annua è pari a 1505 mm. Il bilancio è stato effettuato con ArcMap dove sono stati calcolate tutte le diverse componenti di evapotraspirazione, precipitazione efficace, infiltrazione efficace e volume infiltratosi nell’area studiata comprendente il massiccio del Col Visentin e Val Lapisina. Dal

bilancio e dallo studio del volume scaricato dalla sorgente in un anno (circa 51 Mm³/annuo) è emerso che il bacino della sorgente ipotizzato può essere stimato in circa 35 km². Tale area è stata disegnata in base alle litologie, alla tettonica e alle sezioni geologiche e idrogeologiche che sono state fatte e che si trovano in allegato. Si precisa che tale ipotesi, a causa della complessità della zona dal punto di vista idrogeologico e a causa dell'azione umana di sfruttamento delle acque, possa essere sotto o sovrastimata così come resta l'ipotesi che l'area di alimentazione, che è stata studiata e ipotizzata in questo lavoro di tesi, sia una parte di un'unica area di alimentazione delle diverse sorgenti che sono presenti nella zona sia nel versante lapisino che bellunese.

BIBLIOGRAFIA

- A. Bosellini, 1991: *Introduzione allo studio delle rocce carbonatiche*.- Editore Bovolenta, pp. 172-179, Ferrara
- A. Bosellini, D. Masetti, M. Sarti, 1981: *The limestone: an oolitic deepsea fan, Middle Jurassic, Venetian Alps*.- Guidbk. Excurs. 8, 2nd I.A.S. Regional Meeting, pp. 59- 95, Bologna.
- G.P. Bozzo e E. Semenza, 1973: *Nuovi elementi tettonici del Vallone di Fadalto e loro inquadramento nella struttura del Veneto nord- orientale*.- Boll. Mus. St. Nat. Ven., suppl. XXIV, pp. 11- 25, Venezia.
- M. Bozzolan, 1992: *Geologia e Geomorfologia della Valle Lapisina dalla Sella di Fadalto a Serravalle (TV)*.- Tesi di laurea in Scienze Geologiche, Università di Padova, pp. 14- 86.
- R. Cafiero, 1989: *La sorgente del Meschio a Savassa*.- In: *Topografia antica di Serravalle e della Val Lapisina*. Giovanni Tomasi, pp. 89-90.
- G. Carraro, 2011: *Riscoprire le Prealpi Trevigiane- 30 escursioni a piedi da Valdobbiadene a Vittorio Veneto*.- ediciclo editore, p. 214.
- M. Civita, 2005: *Idrogeologia applicata e ambientale*.- Casa Editrice Ambrosiana, pp. 5- 432, Milano.
- V. Costa, C. Doglioni, P. Grandesso, D. Masetti, G. B. Pellegrini, E. Tracanella, 1996: *Note illustrative del foglio063 Belluno*.- Serv. Geol. St., pp. 26-36, Roma.
- A. Dal Prà, 1993: *Caratteri geologico-tecnici delle fonti di approvvigionamento dell'acquedotto comunale di Vittorio Veneto*.- Relazione tecnica inedita, pp. 1- 26.
- L. Dall'Arche, U. Mattana, V. Toniello, 1979: *I limiti raggiunti dall'antico ghiacciaio del Piave nella Val Lapisina e in Valmareno (TV)*.- St. Trent. Sc. Nat., Acta Geologica, volume 56, pp. 39-52.
- L. De Nardo, 1996: *Studio interdisciplinare di carattere ambientale sulla Val Lapisina*.- Tesi di laurea in Scienze Naturali, Università di Padova, pp. 5-80.
- A. Della Libera, 2004: *Il linguaggio delle pietre*.- Dario De Bastiani Editore, pp. 17- 103, Godega di Sant'Urbano.
- C. Fadat, 1963: *Etude stratigraphique et tectonique de la region du lac de S. Croce*.- Bull. Soc. Geol. France, serie 7, volume 5, pp.798- 802, Parigi.
- F. Ferasin, 1958: *Il complesso di scogliera Cretaceo del Veneto centro orientale*.-Mem. Ist. Geol. Min. Univ. Padova, volume 21, p. 54.
- M. Fontana e B. Martinis, 1968: *Ricerche sui calcari oolitici giurassici del Bellunese*.- Riv. Ital. Paleont. Strat., volume 74, pp.1117- 1230, Milano.
- Larocque M., Mangin A., Razack M., Banton O, 1998: *Contribution of correlation and spectral analyses to regional study of large karst aquifer*.-J Hydrol 205(3-4), 217-231
- Malik P., 2015: *Evaluating discharge regimes of Karst aquifer*.- Professional Practice in Earth Science, Springer, Heidelberg, 692 pp, Germany
- Mayaud C., Wagner T., Benischke R., Birk s., 2014: *Single event time series analysis in a binary Karst catchment evacuate using a ground-water model (Lurbach system, Austria)*.- J Hydrol 511, 628-639 pp
- U. Mattana, 1974: *Glacialismo e fenomeni periglaciali nel territorio delle Prealpi Venete*.- Editore Natura e Montagna, A. XXI, n°2-3, pp.5- 13, Bologna.

- Panagopoulos e Lambarkis, 2006: *The contribution of time series analysis to the study of the hydrodynamic characteristics of the karst systems: application on two typical karst aquifers of Greece.*- J Hydrol 329; 267-277 pp
- G. B. Pellegrini e N. Surian, 1996: *Geomorphological study of the Fadalto landslide, Venetian Alps, Italy.*- In: *Geomorphology*, volume 15, pp. 337-350, Liverpool.
- Torresan F., Fabbri P., Piccinini L., Dalla Libera N., Pola M., Zampieri D., 2020: *Defining the hydrogeological behavior of karst springs through an integrated analysis: a case study in the Berici Mountains Area (Vicenza, NE Italy).*- J Hydrol
- B. Vigna, 2001: *Gli acquiferi carsici.*- Quaderni didattici della Società Speleologica Italiana, volume 12, Erga Edizioni, pp. 6- 34, Genova.
- Regione Veneto, Piano di tutela delle Acque, Servizio Idrico Integrato e Tutela delle Acque, *DGR. nr. 1621 Allegato II*, 2019

SITOLOGIA

- ARPA Veneto, 2017: Bollettini meteo.- [Online] reperibile da: <http://arpa.veneto.it/arpavinforma/bollettini/risorsa-idrica.htm/> [Accesso effettuato il 29 ottobre 2017]
- ARPA Veneto, 2017: Bollettini meteo.- [Online] reperibile da: http://arpa.veneto.it/bollettini/meteo60gg/Mappa_precipitazioni.htm/ [Accesso effettuato dal 12 maggio al 30 novembre]
- Regione Veneto, 2017: Dati Territoriali della Regione Veneto.- [Online] reperibile da: <http://idt.Regione.Veneto.it/app/metacatalog.htm/> [Accesso effettuato dal 6 al 30 novembre]
- B. Vigna, 2009: *Gli acquiferi in rocce carbonatiche.*- Progetto Powerpoint 2009, pp.1- 90.
- B. Vigna, 2009: *Il monitoraggio degli acquiferi in rocce carbonatiche.*- Progetto Powerpoint 2009, pp.1- 90.
- B. Vigna, 2009: *I traccianti artificiali.*- Progetto Powerpoint 2009, pp.1- 62.

