



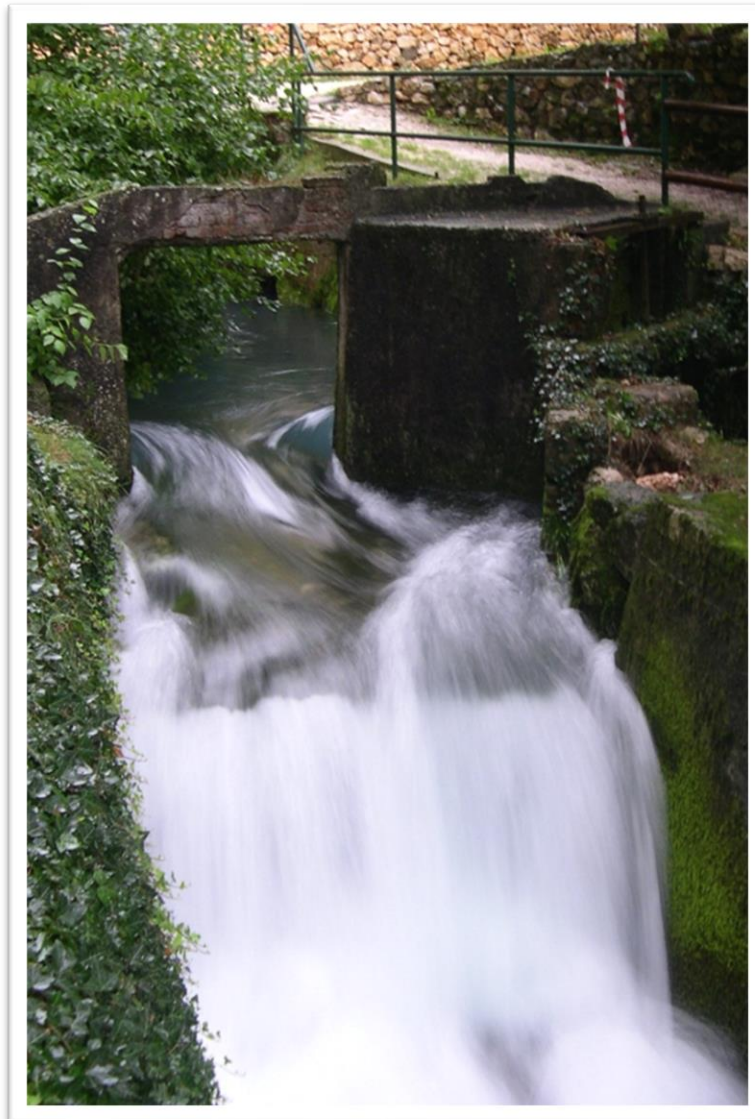
Agenzia Regionale per la Prevenzione
e Protezione Ambientale del Veneto



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente



REGIONE DEL VENETO



Sorgente Nassa-Rea

monitoraggio in continuo

ottobre 2021 – dicembre 2022

Rapporto tecnico

ARPAV

Dipartimento Regionale Qualità dell'Ambiente

Rodolfo Bassan

Progetto e realizzazione

Unità Organizzativa Qualità Acque e Tutela Risorse Idriche

Fabio Strazzabosco

Autori

Lucio D'Alberto

Riccardo De Rossi

Rigraziamenti: *si ringraziano Benacchio Silvano, Dalla Rosa Andrea, Zannoni Jacopo per informazioni e supporto al monitoraggio.*

È consentita la riproduzione di testi, tabelle, grafici ed in genere del contenuto del presente rapporto esclusivamente con la citazione della fonte.

Foto a cura dei dipendenti ARPAV

aprile 2023

Indice

SINTESI	2
1. INQUADRAMENTO	3
1.1. Inquadramento geologico e geomorfologico	3
1.2. Inquadramento idrografico	5
2. STUDI PRECEDENTI	6
3. IDROGRAMMA E DATI DI CONDUCIBILITÀ E DI TEMPERATURA	10
3.1. Scala di deflusso.....	10
3.2. Idrogramma	11
3.3. Parametri fisico chimici.....	12
3.4. Pluviogramma e dati climatici.....	16
4. ANALISI EVENTI IDROGRAMMA	18
4.1. Picchi di piena superiori ai 2 mc/s.....	18
4.2. Picchi di piena tra 1 e 2 mc/s.....	21
4.3. Magra estiva.....	23
4.4. Piene autunnali	26
5. REGIME IDROLOGICO E AREA DI ALIMENTAZIONE	29
5.1. Coefficiente di esaurimento.....	29
5.2. Picchi anomali non associabili a precipitazioni	30
5.3. Bacino di alimentazione.....	31
6. VULNERABILITÀ	33
7. CONCLUSIONI	34
8. BIBLIOGRAFIA	35
9. APPENDICE	36
9.1. Strumentazione e dettagli metodologici.....	36
9.2. Elaborazioni statistiche.....	36
9.3. Andamento conducibilità elettrica durante picchi di piena tra 1 e 2 mc/s	38
9.4. Andamento conducibilità elettrica durante picchi di piena inferiori a 1 mc/s.....	42
9.5. Variabili principali picchi di piena	43
9.6. Picchi di piena lontani da precipitazioni: ipotesi non valide	44
9.7. Sorgenti intercalari, intermittenti, intumescenti, periodiche, ritmiche	45

SINTESI

In questa nota si propongono i risultati preliminari del primo anno di monitoraggio in continuo di alcuni parametri idrofisici della sorgente Nassa-Rea (2401202 Catasto Sorgenti del Veneto). La sorgente è localizzata in comune di Bassano del Grappa ai piedi dell'Altopiano dei Sette Comuni in destra idrografica allo sbocco della valle del Fiume Brenta. Essa, probabilmente alimentata da un sistema carsico, rappresenta un elemento naturale anche di importanza culturale e storica per il paese di Campese che è sorto adiacente alla sorgente.

Il periodo monitorato va dal 27/10/2021 al 17/12/2022.

Le caratteristiche della sorgente che si sono evidenziate sono:

- la bassa variabilità della temperatura e conducibilità elettrica (CE¹);
- alcune piene repentine e intense dopo le piogge;
- avere un regime idrologico con componente periodica per portate basse;
- avere una vulnerabilità intrinseca bassa.

¹ CE Conducibilità elettrica

1. Inquadramento

La sorgente Nassa - Rea è localizzata alle pendici sudorientali dell'Altopiano dei Sette Comuni nella frazione Campese del comune di Bassano del Grappa (fig.1). Il punto di emersione principale non è propriamente visibile a causa di strutture murarie a sostegno di una strada e di un'opera di derivazione dismessa. Altri punti di emersione sono alla rottura di pendio più ad ENE, mentre un pozzettone (fig.3) nell'area adiacente verso SO lo si vede tracimare solo durante piene molto forti.

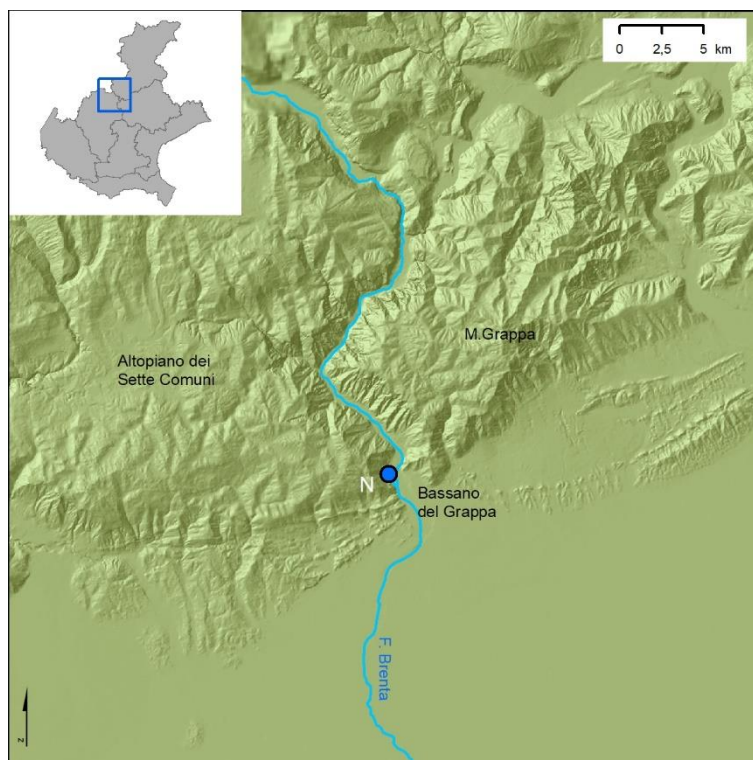


Fig. 1: Mappa d'inquadramento della sorgente Nassa - Rea (punto blu).

1.1. Inquadramento geologico e geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico il punto di emersione è localizzato alla rottura di pendio tra la superficie sommitale del terrazzo alluvionale e il versante in parte caratterizzato da un conoide di detrito e in parte da un altro ammasso detritico (fig.2 e 3).

Il terrazzo alluvionale, la cui superficie è tra le quote 140 m s.l.m.m. a nord e 130 m s.l.m.m. a sud, è costituito da ghiaie grosse arrotondate fluviali del Brenta e si estende tra la sponda destra del fiume e la base del pendio che presenta una rientranza verso ovest, probabile testimonianza di un'antica ansa del corso d'acqua.

Nella parte nord dell'abitato di Campese è presente poi il conoide inattivo della valle che scende dal Monte Caina (Val Vecia). Esso è costituito da clasti grossolani di dolomie e calcari e lambisce a N la zona di emersione idrica. Nella valle, a monte dell'apice del conoide, il detrito presenta zone con clasti della taglia dei massi soprattutto ai lati e materiale più fine (ghiaie grosse) nella parte centrale.

Una parte del versante soprastante la sorgente è coperto da un accumulo detritico i cui clasti sono principalmente della pezzatura dei massi e con riempimento tra essi principalmente di argilla rossa. I grossi blocchi sono sia di dolomia che di calcare. Nella parte inferiore prevalgono blocchi di dolomia. Nella parte superiore sono frequenti blocchi calcarei con morfologie di carso coperto. Localmente vi sono brecce di versante cementate. In certe aree vi sono pendenze minori, qui tra i blocchi e le argille si sono create contropendenze e piccole incisioni che fungono da impluvi. Si ritiene che l'accumulo si estenda verso l'alto fino a 250-300 m s.l.m.m, mentre verso S si esaurisca in corrispondenza della vallecchia retrostante la chiesetta di S.Martino e a nord vada a costituire il fianco destro della valle Val Vecia che è incisa di una

decina di metri entro questo deposito. Morfologicamente si propende a definire questo detrito come un accumulo di frana.

La porzione di versante superiore a queste quote presenta una discontinua copertura colluviale (con spessore fino a 1,5m circa) caratterizzata da argille rosse senza scheletro che lascia intravedere il substrato dolomitico o calcareo. La presenza di argilla rossa a quote più basse nei dintorni di Bassano è stata segnalata da Dal Piazz 1946, ma negli affioramenti da lui descritti entro l'argilla vi sono ciottoli di quarzo e altri sfaticci di porfido e granito facendo ipotizzare che questi detriti siano un antico deposito morenico riferibile alla glaciazione mindeliana.

Pochi metri a monte della bocca sorgentizia principale, verso ovest, vi è una piccola balza rocciosa di dolomia con immersione verso NE (N52/16) e fratture beanti subverticali con direzione N60 e N150. Viste le diverse altre giaciture riscontrate a breve/media distanza, rimane il dubbio che questa non sia roccia in posto ma un grande blocco franato.

Le unità qui descritte sono rappresentate in figura 2; i colori rappresentano le formazioni geologiche del substrato; le aree con retino sono le forme o unità detritiche descritte la cui estensione è volutamente limitata alle porzioni di versante visitate.

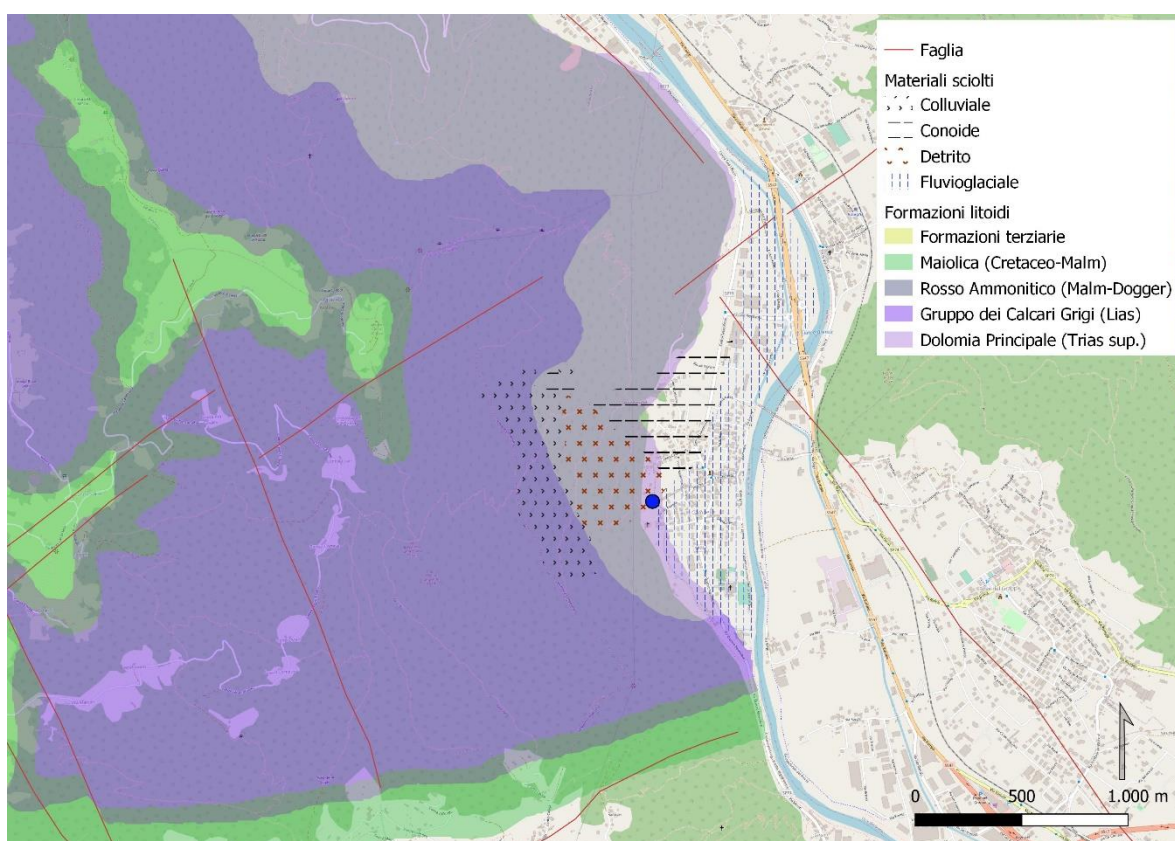


Fig. 2: Mappa d'inquadramento della sorgente Nassa - Rea (punto blu): le linee rosse rappresentano le maggiori faglie della zona; aree colorate evidenziano le formazioni rocciose presenti (Fonte Carta geologica Regione Veneto); aree con retino rappresentano le unità detritiche con estensione solo per l'areale visitato.

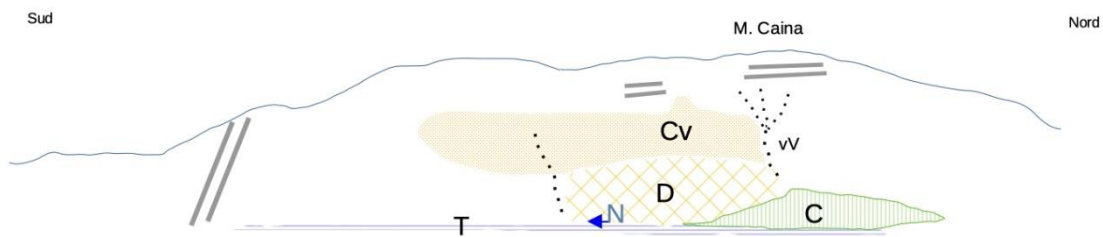


Fig.3: Immagine e schematizzazione dell'area circostante la sorgente Nassa-Rea (N). Sono evidenziati il terrazzo fluviale (T), le aree con detrito (D), il conoide (C), l'area con copertura colluviale (Cv), la Val Vecia (vV), la stratificazione debolmente inclinata nei pressi del Monte Caina e subverticale adiacente al Fiume Brenta. Non sono state valutate le caratteristiche delle altre parti del versante al di fuori dell'area con retino

1.2. Inquadramento idrografico

Il punto di emersione principale è circa a quota 133 m s.l.m.m ed è localizzato a circa 1 km ad ovest del fiume Brenta dove esso sbocca dalla valle verso la pianura.

Oltre alla bocca sorgentizia principale vi sono nell'alveo polle di emersione qualche metro più a valle della sorgente, mentre verso ovest vi è un pozzettone nel prato che si vede tracimare solo durante gli eventi di piena estrema. In condizioni di magra il livello al suo interno è circa 50 cm più basso di quello alla bocca principale.

Più a nordest dove vi è un'area non urbanizzata, al piede del conoide, vi sono modeste depressioni dalle quali emerge acqua all'innalzarsi del livello. In questa zona inoltre confluisce un piccolo impluvio che si origina nella parte superiore dell'ammasso di frana ma che sembra avere un modesto effimero scorrimento idrico.

Gli impluvi principali sono: a nord la Val Vecia, che sembra attivarsi solo parzialmente e in caso di eventi estremi e a sud la Val di S.Martino a scorrimento episodico nella parte terminale e i cui apporti sono convogliati entro il torrente Rea ad un centinaio di metri dalla sorgente.

Sull'ammasso detritico a quota 250 m s.l.m.m., in corrispondenza di un ripiano vi è una pozza alimentata dal detrito e una decina di metri più sopra un pozzo che testimonianze indicano avere sempre qualche goccia d'acqua; alcuni ritengono questa percolazione idrica sia associata alla condensazione dell'aria che fluisce nel detrito grossolano.

2. Studi precedenti

La sorgente è già stata oggetto di monitoraggio tra il 1966 e 1968 da parte dell'Università di Padova (Dal Prà e Stevan 1969). Gli autori hanno compiuto misure con cadenza settimanale per circa 2 anni intercettando l'evento alluvionale del 1966, ma riuscendo a misurare, presso questa sorgente, solo la piena di novembre 1967. In questo periodo i valori estremi misurati sono stati 80 l/s minimi e 4 m³/s massimi con una media per il 1967 di 0,35 m³/s. Dalla pubblicazione si evince che rare misure hanno superato gli 800 l/s (3?) e molto rare sono anche quelle sotto i 100 l/s, mentre il deflusso totale dell'anno 1967 è stato calcolato in 11,16 *10⁶ m³. Gli stessi autori hanno evidenziato che la temperatura ha modeste variazioni intorno ai 10°C (un dato è riportato a 9,1°C mentre tutte le altre misure ricadono nell'intervallo 9,6 - 10,5°C).

Più recentemente, ovvero nei primi anni 2000, ARPAV ha fatto occasionali misure (tab.1 e 2) e analisi. In particolare si è cercato di misurare eventi di magra e in altre occasioni si sono ricercati alcuni parametri per verificare se essi potessero, come traccianti naturali, differenziare il deflusso tra questa sorgente e altre del territorio, ma non si è notata alcuna differenza significativa. In corrispondenza ad uno di questi campionamenti sono stati anche analizzati alcuni inquinanti che sono risultati inferiori al limite di quantificazione (tab. 3)

Tabella 1

data	Portata [l/s]	T [°C]	CE ² a 20°C [µS/cm]
16/03/2006	172	11,8	264
23/06/2006	111	10,9	281
20/02/2008	183	10,4	
03/10/2008	89	10,3	263
04/11/2008	917		
12/05/2009	244	10,2	250
14/07/2011	123	10,2	236
10/08/2011	80		
31/08/2011	75		
18/01/2012	88,5	10,2	252
28/02/2012	104	10,3	250
02/04/2012	71		
17/04/2012	381		



Fig.4: Sorgente in magra (02/04/2012)

² CE Conducibilità elettrica

Tabella 2

Data	Temp (°C)	Silice (mg/l)	Boro (mg/l)	Bario (mg/l)	Stronzio (mg/l)	Uranio (mg/l)	Terre Rare: (µg/l)
22/01/2007	10,2	1,8	0,008	0,008	0,045	0,0018	<0,1
05/03/2007	10,3	1,6	0,007	0,004	0,032	0,0008	<0,1

Terre rare ricercate: Cerio, Disprosio, Erblio, Europio, Gadolinio, Olmio, Lantanio, Lutezio, Neodimio, Praseodimio, Samario, Terbio, Tulio, Itterbio



Fig.5: Pozzettone con deflusso causa piena (25/12/2010 ore 10:30)

Tabella 3

Data 22/01/2007

PARAMETRI	($\mu\text{g/l}$)
Tricloro-Fluorometano	<0,005
1,1,2- Tricloro - Trifluoroetano	<0,002
1,1 Dicloroetene	<0,05
Diclorometano	<0,2
1,2 Dicloroetene [trans]	<0,5
1,1 Dicloroetano	<0,2
1,2 Dicloroetene [cis]	<0,5
Cloroformio	<0,01
1,1,1 Tricloroetano	<0,005
Tetracloruro di carbonio	<0,005
1,2 Dicloroetano	<0,2
Tricloroetilene	<0,005
1,2-Dicloropropano	<0,15
Bromodiclorometano	<0,005
1,3 Dicloropropene [cis]	<0,05
1,3 Dicloropropene [trans]	<0,05
1,1,2 Tricloroetano	<0,1
Tetracloroetilene	<0,005
Dibromoclorometano	<0,01
1,2 Dibromometano	<0,02
Tribromometano	<0,05
1,2,3 Tricloropropano	<1



Fig. 6: Sorgente in piena (16/09/2006)

Nel 2009 e 2010 la sorgente Nassa-Rea è stata inclusa tra quelle campionate e monitorate nell'ambito di prove di tracciamento eseguite con immissione di tracciante al centro dell'Altopiano di Asiago, senza però

poter dare alcun riscontro di presenza del tracciante in quanto i captori non sono più stati ritrovati presso la sorgente e quindi non si è potuto analizzarli (Boifava et al. 2013).

Altre informazioni sulla sorgente arrivano da testimonianze pregresse. Il Parolini (1858) racconta di una sospensione di flusso di circa un giorno sia ad Oliero che alla sorgente Rea (Oliero dalle 11 alle 6 del giorno successivo dei primi di gennaio). Simile osservazione di secca della sorgente è recente, nell'inverno 2000-2001 quando la sorgente è andata in secca il 26/12/2000 e il 01/01/2001 entrambe le date per meno di una giornata (testimonianza raccolta il 20/02/2023).

Inoltre il proprietario della locale ittiocoltura indicava che ogni 7-10 giorni vi sono temporanei innalzamenti della durata di un giorno (testimonianza raccolta il 28/02/2012; portata misurata al momento 104 l/s).

In questi ultimi anni la Scuola Parolini di Bassano in collaborazione con il Gruppo Grotte Giara Modon di Valstagna ha eseguito vari campionamenti e analisi presso questa ed altre sorgenti della zona i cui risultati saranno pubblicati a termine del progetto (Zannoni 2022).

L'attuale monitoraggio condotto da ARPAV consiste nella registrazione in continuo dei parametri: livello, temperatura, conducibilità elettrica presso la sorgente Nassa-Rea e occasionali misure di portata per creare l'idrogramma, individuare il regime idraulico, analizzare le variazioni degli stessi parametri, stimare il bilancio idrico e la vulnerabilità intrinseca dell'acquifero associato.

3. Idrogramma e dati di conducibilità e di temperatura

3.1. Scala di deflusso

Per costruire l'idrogramma si sono eseguite una decina di misure di portata nel torrente-canale a valle della sorgente. L'associazione tra portata e livello (pressione media oraria) ha permesso di costruire la curva delle portate rappresentata nella figura 7. Come si vede molte delle misure corrispondono a valori bassi (minima 49,5 l/s), ma si è riusciti a compiere anche una misura per valori abbastanza alti (1057 l/s).

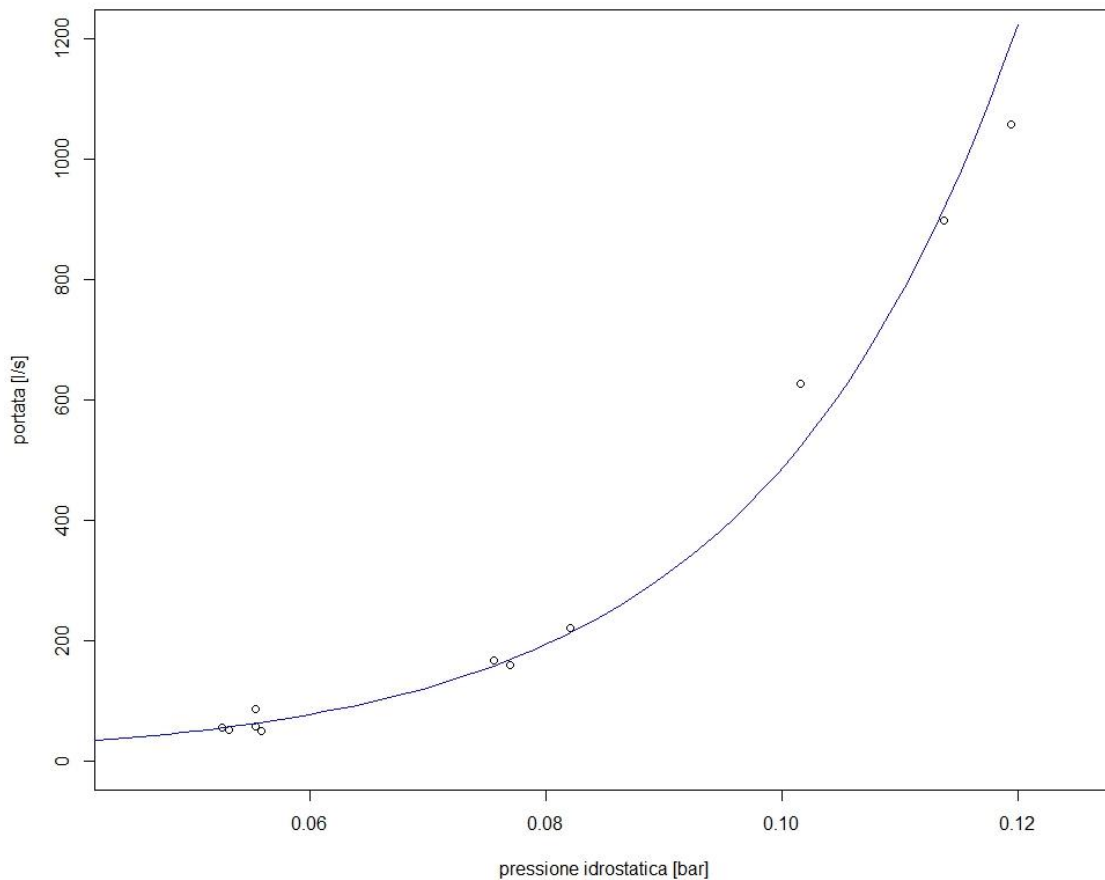


Fig.7: Grafico di correlazione tra pressione registrata (media oraria) e portate misurate per determinare l'equazione delle portate (scala di deflusso). Si può notare che circa la metà delle misure effettuate sono concentrate nei valori bassi di portata.

L'equazione che meglio rappresenta (R^2 0,982) le coppie portata-livello è di tipo esponenziale³:

$$Q = 4,83802 * e^{46,09736x}$$

Nella costruzione dell'idrogramma (fig.9) per buona norma si ritiene che l'equazione sia significativa solo fino a valori di livello del 15% superiori all'intervallo di livello tra le misure di portata effettuate (minima e massima).

³ L'equazione polinomiale seppur con un R^2 0,997 lievemente maggiore acquista un andamento in risalita per le pressioni più basse: es. pressione minima in corrispondenza di misura 0,0526 calcola 58,5 l/s, mentre pressione minima assoluta registrata 0,0502 calcola 62,4 l/s.

Nel grafico di figura 8 il punto "A" rappresenta il limite di significatività superiore dell'equazione. I valori di portata calcolata superiori a questo punto hanno minor attendibilità (61 dati pari allo 0,6 % del totale dei dati).

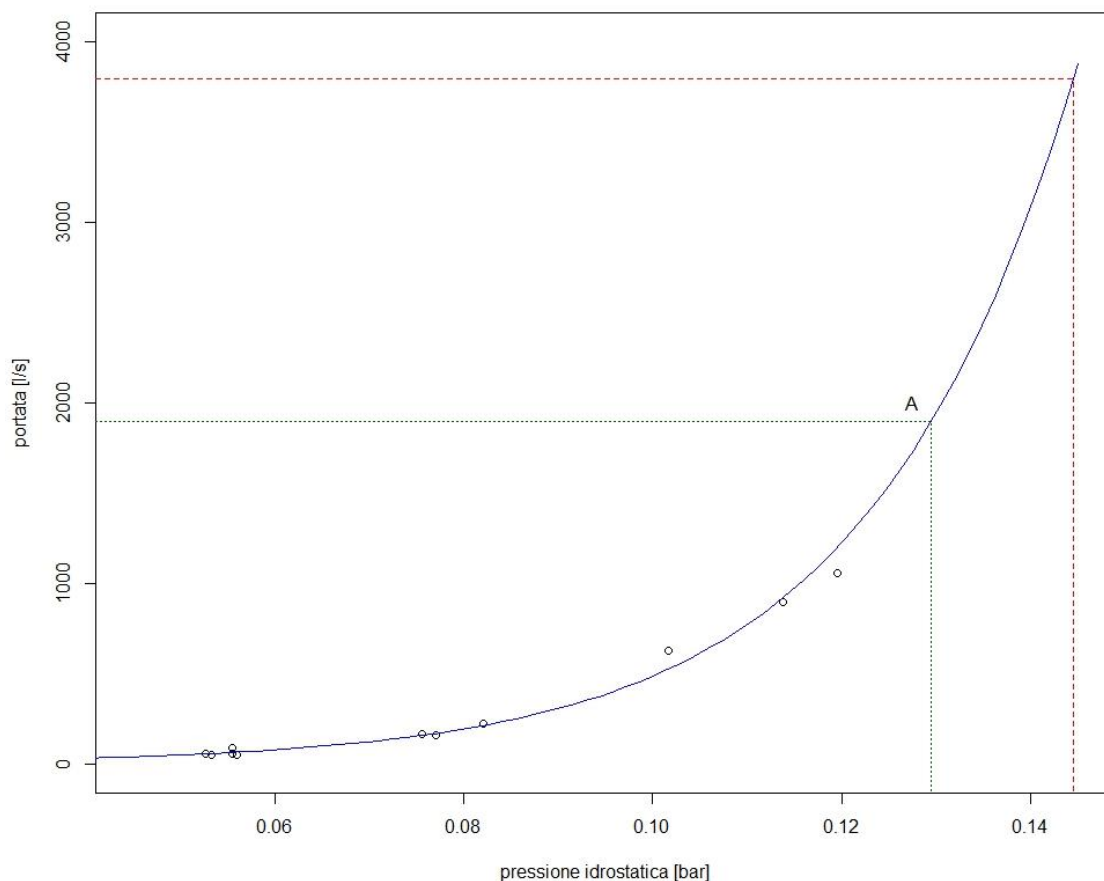


Fig. 8: Grafico di correlazione tra pressione registrata (media oraria) e portate misurate per determinare l'equazione delle portate (scala di deflusso). Si è graficata anche la parte di equazione superiore all'intervallo di significatività che ha inizio dal punto "A" corrispondente alla pressione massima ritenuta significativa.

3.2. Idrogramma

La registrazione dati, da parte della sonda multiparametrica, è avvenuta a frequenza suboraria e le elaborazioni qui riportate sono principalmente come medie orarie (circa 10.000 ore), solo in alcuni casi esse sono riportate come medie giornaliere.

L'intervallo di portata calcolata con media oraria, che copre il periodo di registrazione, è tra i 50 l/s e i 3798 l/s come si può desumere dalla fig.9 e dalla tabella 4. L'indice di variabilità, secondo Meinzer 1927, dai dati calcolati è circa 2270, che indica la sorgente come variabile.

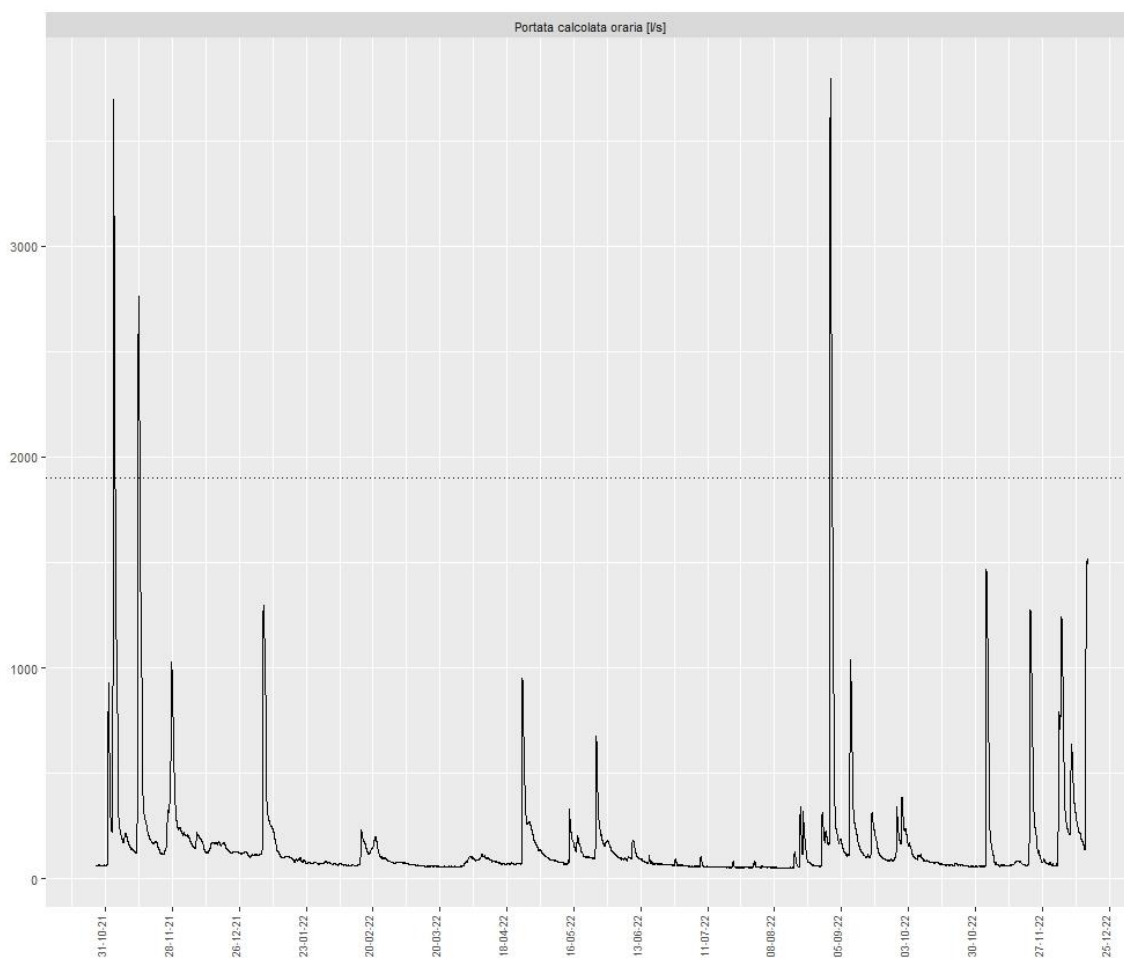


Fig. 9 Idrogramma delle medie orarie della sorgente Nassa-Rea ricavato dal monitoraggio in continuo (28/10/2021-17/12/2022). La linea tratteggiata rappresenta la portata massima (circa 1900 l/s) oltre la quale l'equazione delle portate perde di significatività.

3.3. Parametri fisico chimici

Oltre al livello idrometrico si sono registrati in continuo anche temperatura e conducibilità elettrica dell'acqua.

Tabella 4

	Minima	Media	Mediana	Massima
Portata misurata [l/s]	49,5	311,6	158,6	1057
medie orarie				
Pressione [bar]	0,0508	0,0678	0,0632	0,1446
Portata calcolata [l/s]	50	165	89	3798
Conducibilità a 20°C [μ S/cm]	247	262	259	281
Temperatura [°C]	10,09	10,25	10,26	10,32

Nella tabella 4 è riportata una sintesi dei vari parametri monitorati, mentre nei successivi grafici se ne può osservare l'andamento nel tempo.

Osservando in figura 10 i grafici dei vari parametri registrati si nota che:

- la temperatura ha un generale andamento in crescita seppur in un modesto intervallo di variazione;
- la conducibilità elettrica presenta i valori più bassi nel periodo con le portate minime e con scarse piogge. La conducibilità fa pensare che il ricambio idrico avvenga con alcuni mesi di ritardo, per cui le acque poco mineralizzate delle piogge autunnali del 2021 sono fuoriuscite durante la primavera-estate del 2022, mentre le acque più vecchie vengono spinte fuori in corrispondenza delle piene;
- è possibile ipotizzare che il deflusso delle acque meno mineralizzate sia associabile alla caduta del livello di base primaverile-estivo in ragione delle condizioni di siccità che hanno svuotato il sistema da acque vecchie;
- il generale trend in innalzamento della temperatura è forse da collegare al fatto che anche le acque più recenti, dato l'abbassamento di livello, si sono trovate a scorrere in zone più profonde più calde, ma senza avere tempo per acquisire ulteriore mineralizzazione.

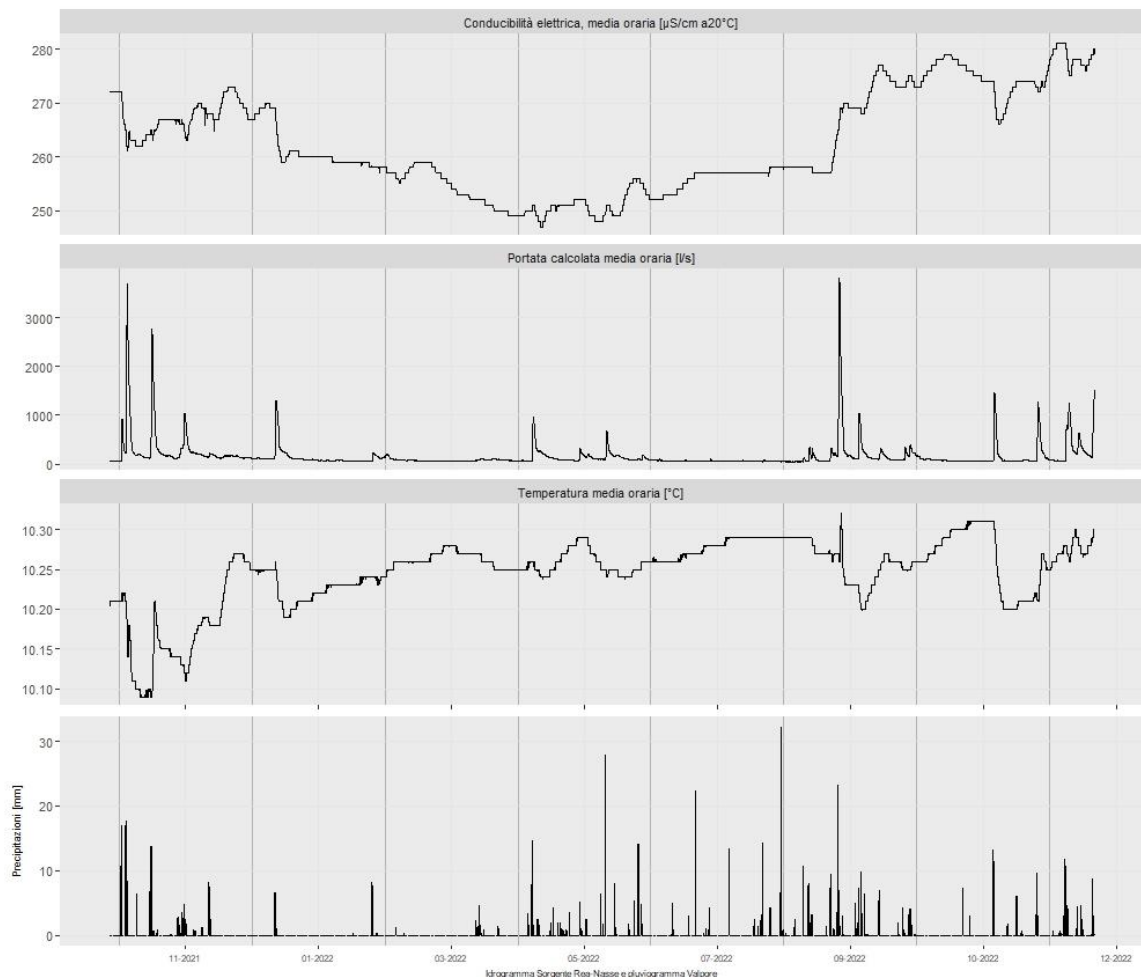


Fig. 10: Grafico di sintesi dei vari parametri monitorati e pluviogramma per la stazione di Valpore (Seren del Grappa). La temperatura nell'intero periodo di registrazione ha un trend in lieve aumento seppure entro un intervallo massimo di 0,2 °C. La conducibilità elettrica, in un intervallo di 30 µS/cm ha periodi di minimo nel periodo primaverile estivo.

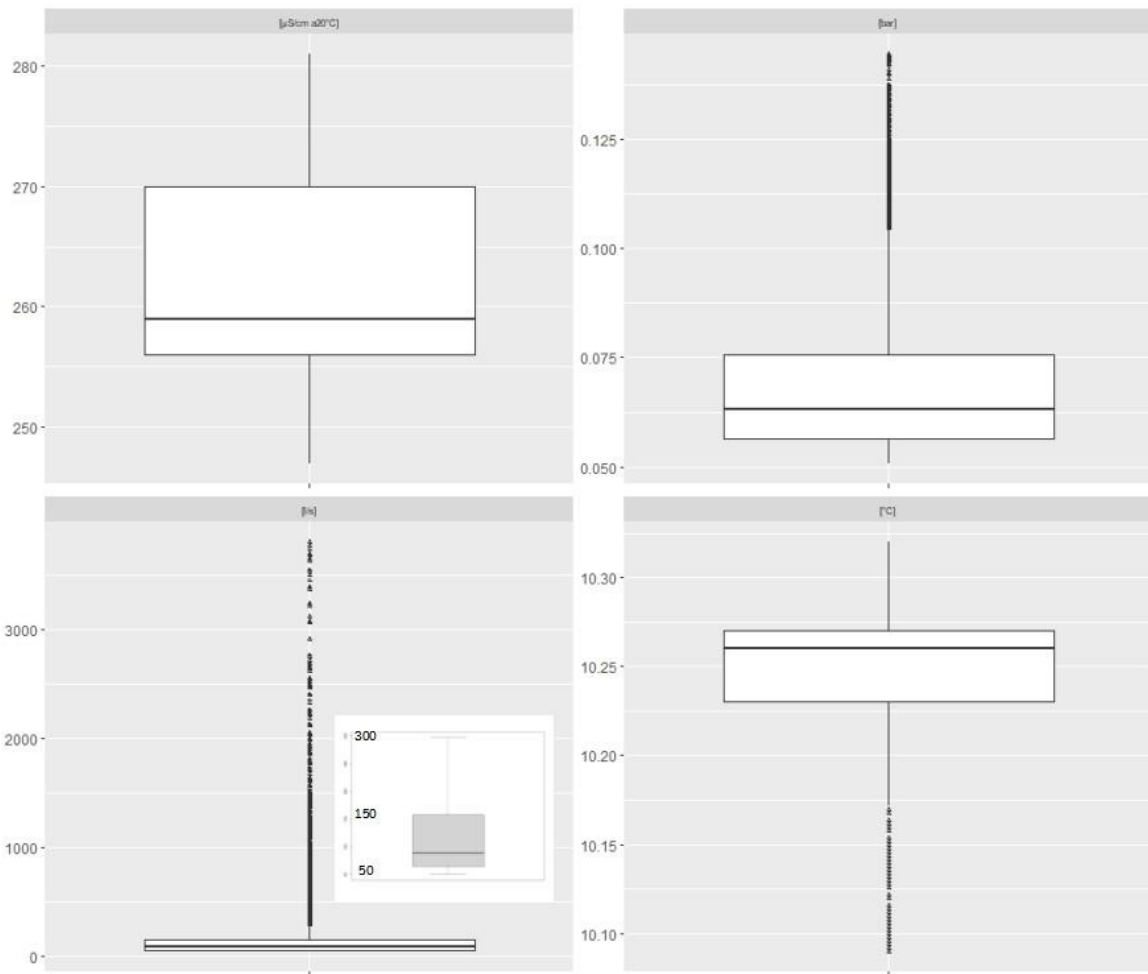


Fig. 11: Boxplot dei parametri misurati e della portata calcolata dove l'insero espande il grafico influenzato dai dati *outliers*. Come si può osservare la mediana (segmento orizzontale più grosso) della temperatura è spostata verso l'alto, mentre le altre variabili la hanno verso il basso.

La distribuzione statistica dei dati per i tre parametri misurati più la portata calcolata è evidenziata nei boxplot (fig.11). Si osserva che la conducibilità pur non avendo una grande variabilità presenta la mediana verso i valori bassi, quindi con indicazione di minor mineralizzazione; la temperatura invece, con una variabilità ancor minore, presenta degli *outlier* e nel minimo intervallo di variazione la mediana è verso l'alto, indicando temperature meno influenzate dalle variazioni stagionali oppure che la componente da acque più fredde è minore. Sembra quindi che il tempo di residenza sia sufficiente per acquisire una stabilità termica, ma non sufficiente per incrementare la mineralizzazione.

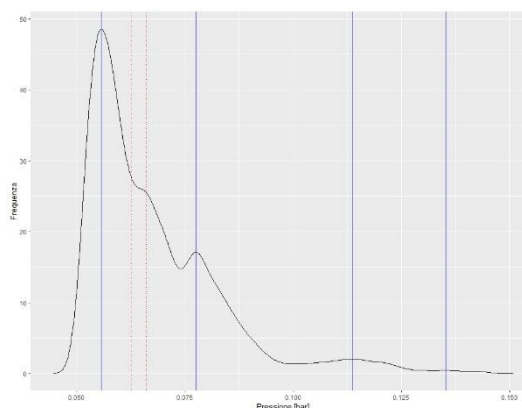
Un'altra maniera per verificare la distribuzione dei dati dell'idrogramma è valutare le frequenze nel set di dati.

Si è così eseguito il calcolo della distribuzione delle densità di probabilità (KDE) dei dati di livello (tab. 5, fig. 12). Da questa elaborazione si può ipotizzare quali livelli/portate rappresentano tipi di deflussi diversi. Per questa analisi vi è da considerare che quest'anno di rilevamento è stato particolarmente secco (media regionale precipitazioni -32%, ARPAV-DRST 2023) e quindi anche le densità sono più evidenti per condizioni di basso regime. Nel caso specifico si può notare come al picco principale si associa un basso picco secondario e tra i due vi sia un intervallo con andamento a mo' di scalino.

Tabella 5

Pressione [bar]	Densità	Portata [l/s]
0,0556	48,5	62,77
0,0625	27 circa	86,28
0,066	26 circa	101,39
0,0774	17,1	171,48
0,1138	2,1	918,21
0,1352	0,4	2462

Figura 12



Tab. 5 e fig. 12: Calcolo delle densità KDE dei dati di pressione registrati: si osservano due evidenti picchi (0,0556 e 0,0774 bar); nella tabella si sono inoltre riportati in corsivo i dati corrispondenti allo scalino tra i due picchi (0,0625-0,066- bar)

Si è provato a verificare se questi “particolari” valori di pressione (tab 5; fig. 12) hanno una qualche corrispondenza con i valori di conducibilità elettrica. Quel che se ne deduce è che l’intervallo di conducibilità tra 260 e 268 $\mu\text{S}/\text{cm}$ non è rappresentato per livelli inferiori a 0,0556 bar oppure tra 0,0625 e 0,066 bar (corrispondenti allo scalino nel grafico delle densità) ad eccezione di 4 dati. Invece per livelli superiori o uguali ai 0,1138 bar la conducibilità è sempre sopra i 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Il grafico di dispersione dei dati livello-conducibilità è riportato nella figura 13 dove si nota l’assenza di correlazione specifica tra le due variabili e che i valori di livello più alti corrispondono ad un intervallo di conducibilità mediano (260-270 $\mu\text{S}/\text{cm}$) rispetto all’intero intervallo registrato. Questo probabilmente evidenzia che, in corrispondenza del colmo di piena (pressione >0,1246 bar corrispondente a circa 1517 l/s), non prevalga nè un deflusso di pistonaggio nè di sostituzione con nuova acqua piovana. Considerando che vi è un aumento di livello si può pensare che questo incremento di carico idraulico vada ad attivare gallerie parzialmente allagate e quindi con acque più mineralizzate. O forse, nel dettaglio è pensabile che circuiti di drenaggio superficiale si immettano nel reticolo appena a monte dello scarico terminale portando diluizione, ma non tale da far scendere la conducibilità. Ulteriori approfondimenti si possono avere analizzando in dettaglio l’idrogramma in rapporto al pluviogramma.

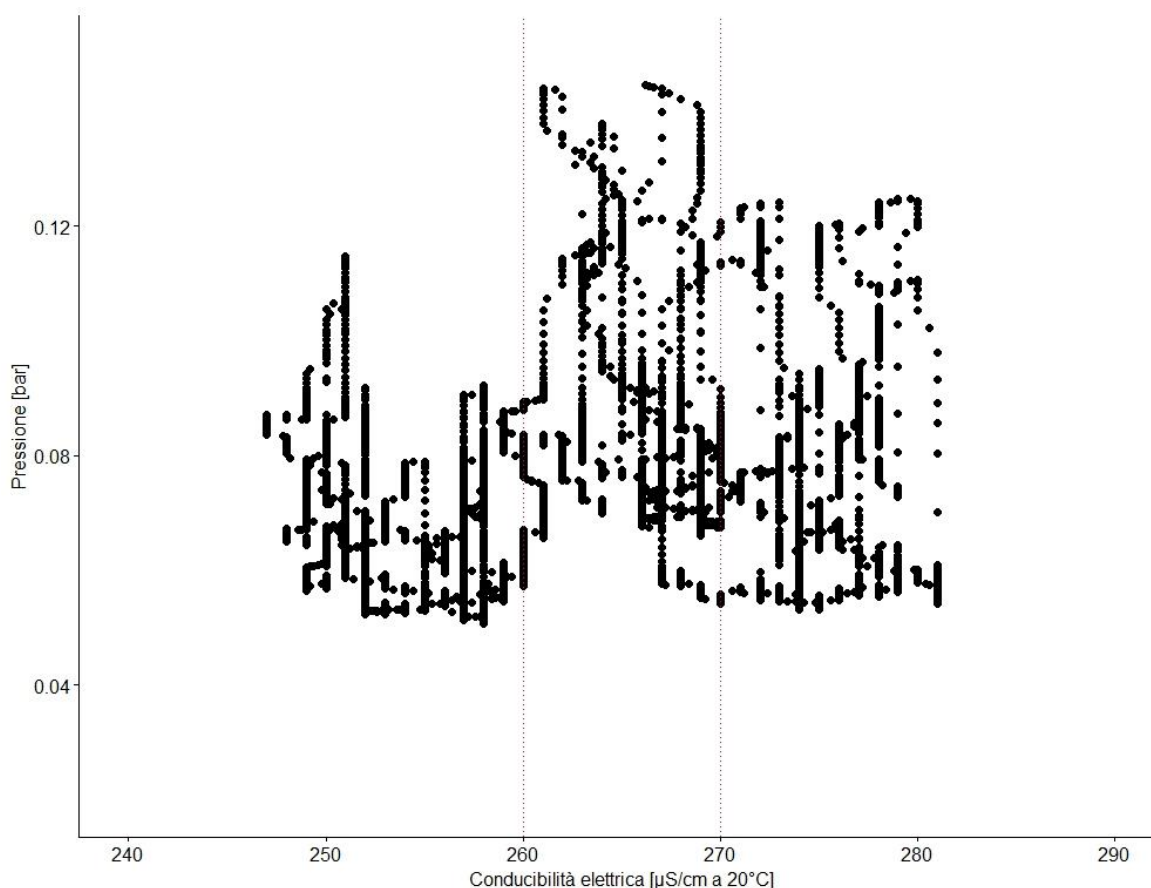


Fig. 13: grafico a dispersione delle coppie di dati livello-conducibilità elettrica. Non si osserva alcuna correlazione diretta tra i dati. Si può invece notare che i valori più alti di livello corrispondono ad un intervallo intermedio della conducibilità (260-270 circa).

3.4. Pluviogramma e dati climatici

I dati di precipitazione sono stati acquisiti dalle stazioni meteorologiche ARPAV-Centro Meteo di Teolo. Qui vengono usati i dati, sia come medie orarie che giornaliere, di 11 stazioni meteorologiche dell'area circostante la sorgente (Asiago aeroporto, Bassano del Grappa, Breganze, Crosara Marostica, Lusiana, Pove del Grappa Costalunga, Enego Piana Marcesina, Rosà, Solagna Villaggio del Sole, Seren del Grappa Valpore, Valstagna). Per entrambe le serie i dati di precipitazione sono stati puliti da valori spuri 0,2 mm che non avessero altri valori nell'arco delle 6 ore antecedenti e successive per quanto riguarda i dati orari e nel giorno prima e giorno dopo per quanto riguarda i dati giornalieri.

Si sono poi identificati anche gli "eventi" di precipitazione considerandoli diversi se separati da almeno 6 ore di assenza di precipitazioni. Di ogni evento si è poi calcolata anche la precipitazione cumulata.

Predisposti così i dati si sono fatte varie prove di correlazione incrociata tra il livello alla sorgente e le precipitazioni degli 11 pluviometri presi in esame. I pluviogrammi che più si correlano con il regime della sorgente sono localizzati sull'adiacente Massiccio del Grappa e non direttamente sul gruppo montuoso Altipiano dei Sette Comuni e Colline di Marostica che sono morfologicamente "sovrastanti" la sorgente (Appendice "Elaborazioni statistiche"). Può sembrare strano ma la stazione più correlata è Valpore (Seren del Grappa) sul lato N della zona sommitale del Monte Grappa, quindi in una posizione idrogeologicamente difficile da ipotizzare (fig. 14).

Per altre analisi si sono utilizzati anche i dati medi delle precipitazioni annue e dell'evapotraspirazione (Hargreaves) sia del periodo di monitoraggio che di lunga serie storica.

In questo contesto si sono usati solo i dati delle stazioni più alte in quota che verosimilmente possono rappresentare le condizioni del bacino di alimentazione della sorgente.

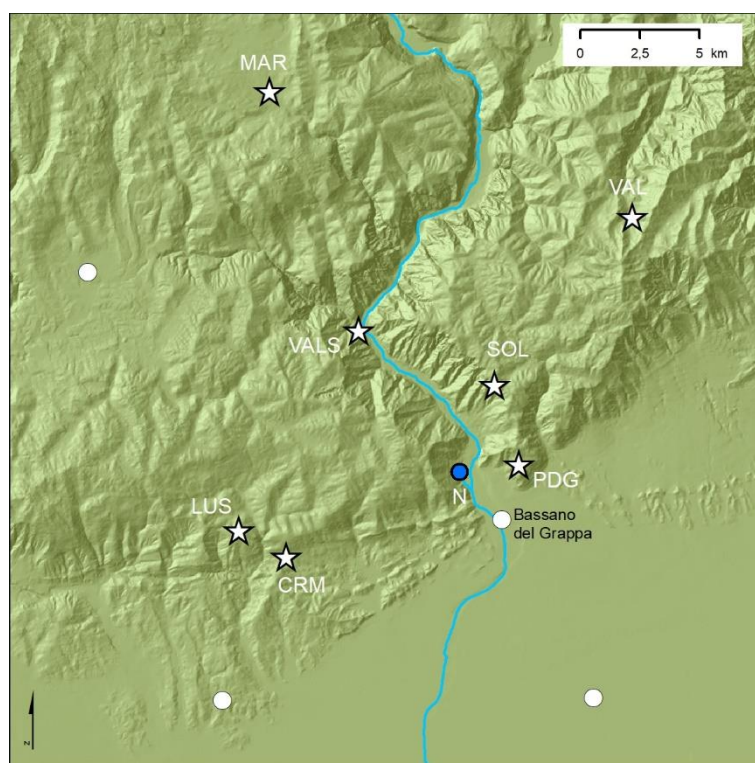


Fig. 14: Mappa d'inquadramento della sorgente Nassa - Rea (punto blu) e delle stazioni meteorologiche considerate. Stelle bianche indicano stazioni meteorologiche con la miglior correlazione in quanto a precipitazioni e livello alla sorgente (CRM Crosara di Marostica, LUS Lusiana, MAR Piana di Marcesina, PDG Pove del Grappa, SOL Solagna, VAL Valpore, VALS Valstagna), i punti bianchi invece rappresentano le stazioni meteorologiche con minima correlazione, vedasi "Appendice elaborazioni statistiche".

Mediamente le precipitazioni del lungo periodo sono di oltre 1500 mm annui con un evapotraspirazione di circa 690 mm (45%), mentre per il periodo di monitoraggio le stesse variabili sono rispettivamente di 1350 e 737 mm (Tab. 7). Conseguentemente le precipitazioni efficaci sono nell'ordine di 800 o 600 mm.

Tabella 6

	Precipitazioni [mm]		Evapotraspirazione [mm]	
	1994-2016	2021-2022	1994-2016	2021-2022
Asiago	1458	1062	733	825
Lusiana	1527	1288	685	697
Piana di Marcesina	1779	1373	675	739
Pove del Grappa	1386	1092	782	789
Valpore		1936	574	636
<i>MEDIA</i>	<i>1537</i>	<i>1350</i>	<i>690</i>	<i>737</i>

4. Analisi eventi idrogramma

Se si osserva l'idrogramma e l'andamento di conducibilità e temperatura in rapporto alle precipitazioni, si possono fare alcune ipotesi sul regime idrologico della sorgente. L'analisi degli eventi di piena viene qui sintetizzata per gli elementi più interessanti ma alcune elaborazioni sono riportate nell'appendice a fine testo. Nel periodo di registrazione vi sono stati due eventi di piena superiori ai 3 mc/s ed uno superiore ai 2 mc/s, mentre sono 8 quelli intorno ad 1 mc/s. Vi sono poi vari picchi minori (sull'ordine di poche centinaia di l/s).

4.1. Picchi di piena superiori ai 2 mc/s

L'analisi dei picchi di piena superiori ai 2 mc/s produce il primo grafico di figura 15 dove i 3 picchi sono stati allineati a partire dalla portata minima antecedente al picco (218 l/s circa per l'evento di inizio novembre 2021, 122 l/s per quello di metà novembre e 163 l/s circa per quello di fine agosto 2022). Nel secondo grafico si sono anche allineati i dati di pioggia cumulata dei singoli eventi presso la stazione meteorologica di Valpore. Con la linea blu e la verde tratteggiata si sono graficati i dati di inizio e metà novembre 2021, mentre quella arancione rappresenta l'evento di fine agosto 2022. Le cose che balzano all'occhio sono che la forma dell'idrogramma è la stessa per gli eventi principali, mentre molto si discostano tra loro le precipitazioni cumulate. E' difficile da comprendere come due piene, che partendo da portate di base simili raggiungono portate massime comparabili, abbiano come contributo di pioggia valori molto diversi (circa un terzo per l'evento di fine agosto 2022, rispetto a inizio novembre 2021). Considerato che l'evento di fine agosto 2022 viene dopo un prolungato periodo di siccità e di intensa evapotraspirazione potenziale viene il dubbio che il sistema riesca a scaricare solo fino ad una certa portata, ma il crollo improvviso di portata fa intuire che vi devono essere altre vie di deflusso altrettanto efficienti.

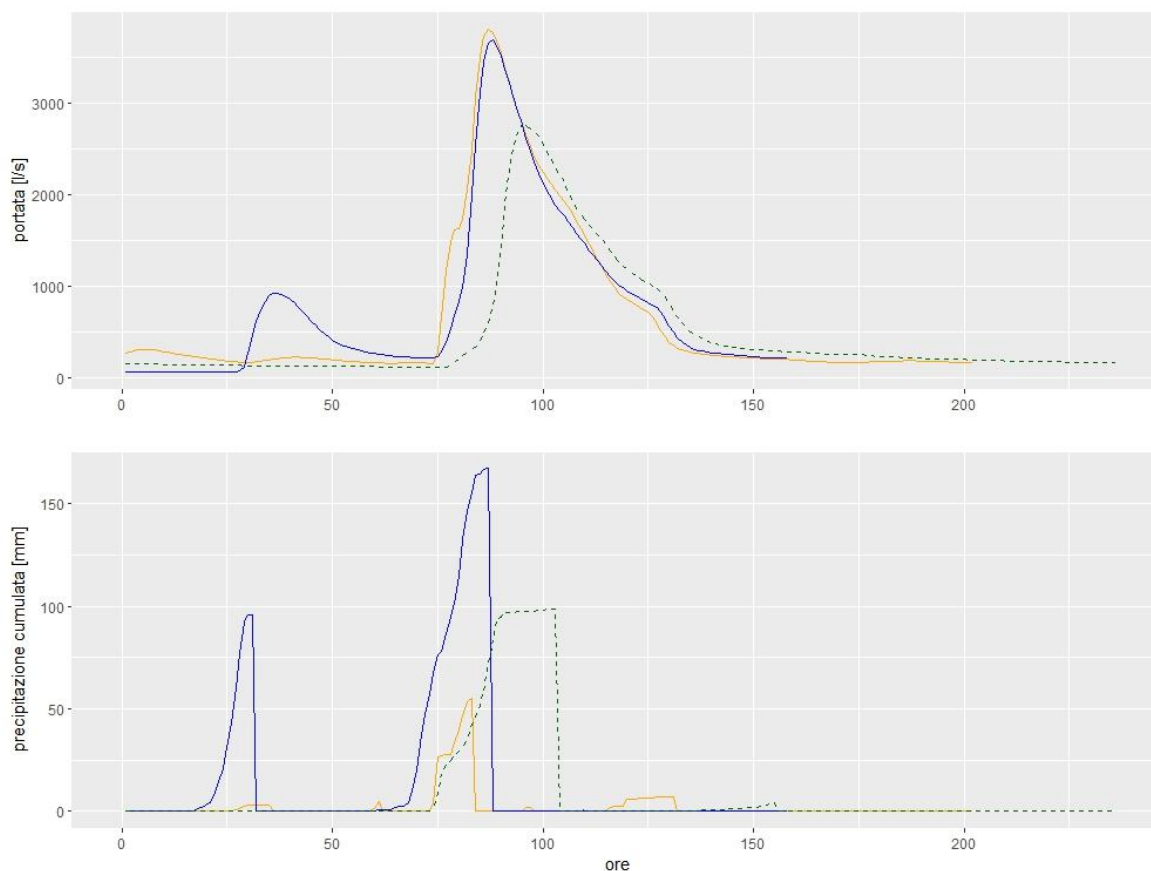


Fig.15: Idrogramma e precipitazioni cumulate delle piene superiori a 2 mc/s. Linea blu evento di inizio novembre 2021 (picco dalle 17 del 3/11 alle 6 del 7/11 partendo da una portata di circa 218 l/s), linea tratteggiata verde metà novembre 2021 (dalle 20 del 13/11 alle 15 del 20/11 con portata di base 122 l/s), linea arancione evento di fine agosto 2022 (picco dalle 19 del 30/8 alle 4 del 5/9 partendo da una portata di circa 163 l/s). Come si può osservare i due picchi principali sono molto simili tra loro, sebbene le piogge cumulate siano molto diverse tra loro e in accordo con i dati delle altre stazioni meteo.

Provando a fare un bilancio idrico dei tre eventi si ottengono i dati di tabella 7 usando i seguenti criteri: dati di precipitazione della stazione Valpore che risultano quelli con massima correlazione con l'idrogramma; totale infiltrazione (nessuna evapotraspirazione e nessun ruscellamento); calcolo del volume d'acqua defluito nel periodo togliendo la portata di base per tutto il periodo.

Tabella 7

Evento	Portata di base [l/s]	Portata massima [l/s]	Portata finale	dalle alle	Durata [ore]	Volume defluito [mc]	Pioggia cumulata [mm]	Area minima [kmq]
inizio novembre 2021	218	3694	219	17:00 3/11 - 6:00 7/11	86	303391	167	0,18
metà novembre 2021	122	2763	170	20:00 13/11 - 15:00 20/11	163	306941	102	3,01
agosto 2022	163	3798	164	19:00 30/08 - 4:00 5/09	130	346005	69	5

Questi dati evidenziano come l'acqua defluita, esclusa la portata di base pre evento, sia comparabile in tutti tre gli eventi, ma in un arco di tempo un po' diverso. L'area minima del bacino di alimentazione che ne consegue è assai diversa.

Un ulteriore paragone tra i picchi è valutare l'andamento della conducibilità elettrica (CE) e della temperatura durante la piena. Stroj et. al. (2020), per una sorgente in Croazia, evidenziano a mo' di ciclo di isteresi, un andamento di calo della conducibilità elettrica durante l'incremento della portata e un successivo aumento dello stesso parametro durante la fase di svuotamento che riporta a valori simili a quelli iniziali.

Nel caso della sorgente Nassa – Rea si osserva un andamento diversificato anche tra i picchi analizzati e in un intervallo molto ristretto sull'ordine massimo di 7 $\mu\text{S}/\text{cm}$. L'andamento temporale rappresentato nei grafici di figura 16 è rosso, giallo, verde, grigio, blu. Si osserva che per la conducibilità il picco di inizio novembre 2021 vede un calo dello stesso parametro nella fase aumento delle portate, mentre in fase di svuotamento si ha nuovamente un incremento della conducibilità elettrica che però si interrompe e cambia verso al di sotto dei 1500 l/s.

Nel picco di metà novembre al lievissimo cambiamento in fase di aumento di portata segue un generale incremento di conducibilità che porta a valori finali più alti di quelli iniziali.

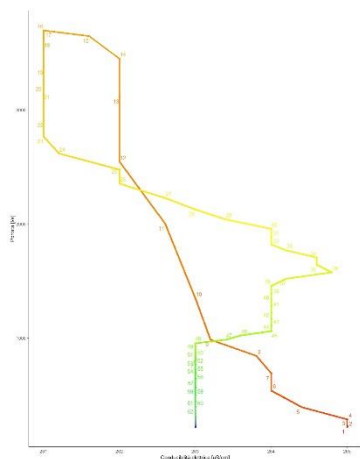
Per la piena di agosto 2022 si ha invece lento aumento di conducibilità sia nella fase di riempimento che di svuotamento.

L'andamento della temperatura seppure in un intervallo di variazione modestissimo, presenta per i picchi una costanza o una lievissima diminuzione nella fase di innalzamento della portata, mentre in fase di calo esso ha un iniziale incremento seguito da un decremento, comportamento simile a quello osservato per la conducibilità durante la prima piena autunnale.

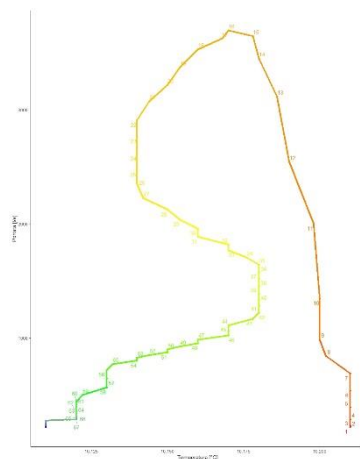
Inoltre si osserva che si mantiene una lieve opalescenza dell'acqua (debole torbidità) anche per lungo tempo dopo gli eventi di piena; questa torbidità residua potrebbe essere legata ai grossi accumuli di argilla presenti nell'area detritica sovrastante ma sarebbe necessario un approfondimento su questo argomento, in quanto nel torrente Rea non si ravvisano aree con sedimento fine.

3 – 7 novembre 2021

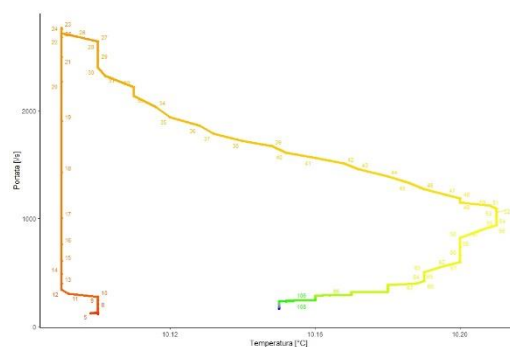
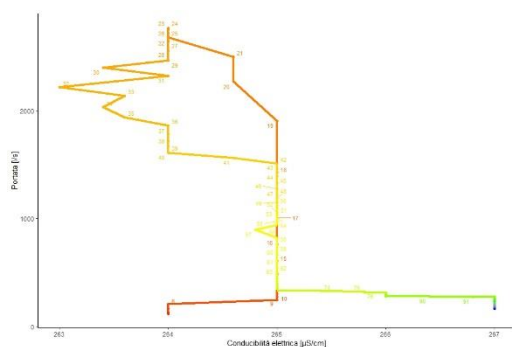
Conducibilità elettrica (intervallo 4 - 4 - 7 $\mu\text{S/cm}$)



Temperatura (intervallo 0,1 °C)



13-20 novembre 2021



30 agosto – 5 settembre 2022

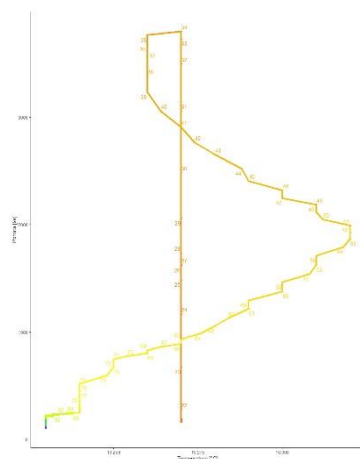
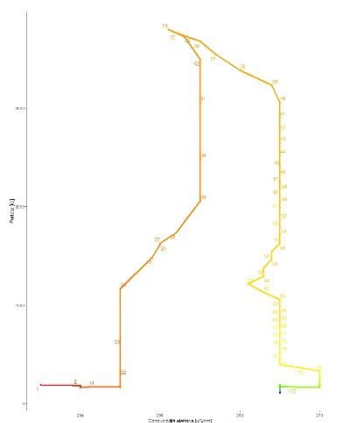


Fig. 16: Variazione di conducibilità e temperatura (asse delle x) durante i principali picchi di piena (portate asse delle y). Il colore della linea (rosso, arancione, giallo, verde, grigio, blu) e la numerazione rappresentano la sequenza temporale delle medie orarie. Pur nel ristretto intervallo di variazione nessuno degli eventi ritorna alle condizioni iniziali.

4.2. Picchi di piena tra 1 e 2 mc/s

Si è provato a fare lo stesso tipo di elaborazioni anche per i picchi di piena tra 1 e 2 mc/s (tab. 8). Limitatamente alla conducibilità i grafici sono nelle pagine finali di appendice.

Tabella 8

Portata [l/s]			Durata		Deflusso	Pioggia	Bacino	Note
massima	inizio	fine	da - a	ore	[mc]	[mm]	minimo [kmq]	
953	67,58	98,62	20:00 23/04 00:00 05/05 2022	269	173550	87,6 (18,8+68,8)	1,98	CE e T tornano a valore iniziale
1030	114,3	205	9:00 25/11 10:00 3/12 2021	194	171118	72,2 (31,8+8,4 +21,6+10,4)	2,37	CE in calo in fase ascendente e inizio svuotamento, poi aumento
1040	109,15	109,65	7:00 8/9 16:00 14/9 2022	154	107900	71,8 (8,4+1,2+19,8 +20,6+3,4+0,2 +17,8+0,2+0,2)	1,5	CE stabile fino inizio svuotamento (750 l/s), lieve calo, poi stabile fino a 250 l/s, quindi aumento
1244	60,5	218	9:00 4/12 00:00 9/12 2022	112	204049	108,4 (2+0,4+77+29)	1,88	CE inizio stabile poi calo fino al colmo, stabile in svuotamento fino a 700 l/s poi aumento
1273	59,67	79	19:00 21/11 04:00 28/11 2022	154	152717	89,6	1,7	Fase riempimento stabile fino a 800 l/s, lieve calo e poi stabile in svuotamento fino a stessa portata, poi incremento
1297	116,96	127	03:00 05/01 22:00 11/01 2022	163	165784	70,4	2,35	Fase di riempimento CE stabile, da colmo picco in calo
1469	57,78	67,9	22:00 03/11 12:00 08/11 2022	111	139407	90,2	1,54	CE stabile in fase di riempimento, da colmo piena calo poi lieve aumento nell'ultima parte del svuotamento

In questi casi, che corrispondono al solo intervallo 950-1500 l/s (non vi sono dati tra 1500 e 2700 l/s), si osservano diversi comportamenti della conducibilità elettrica. Si è provato a verificare se questi andamenti avessero una correlazione diretta con la portata o con l'intensità di innalzamento del livello o con l'intensità di pioggia ma non si è riscontrata alcuna corrispondenza (Appendice: "variabilità principali picchi di piena").

In alcuni casi, nell'arco di tempo fra quando la portata aumenta e quando cala a valori paragonabili a quelli iniziali, la conducibilità elettrica (CE) ha una minima modifica per tutta la fase di riempimento e solo dal colmo di piena inizia a calare per raggiungere un valore inferiore a quello iniziale (linea arancione in fig. 17). Questo andamento sembra più comune per portate superiori ai 1250 l/s, ma anche per portate sull'ordine dei 900 l/s.

In altri casi (linea verde in fig. 17), oltre ad un andamento simile al precedente con un lieve calo già sopra gli 800 l/s, nella fase dello svuotamento si ha una stabilità della conducibilità elettrica (circa tra i 700-500 o 250 l/s circa), quindi si innesca un aumento che porta a valori superiori a quelli iniziali.

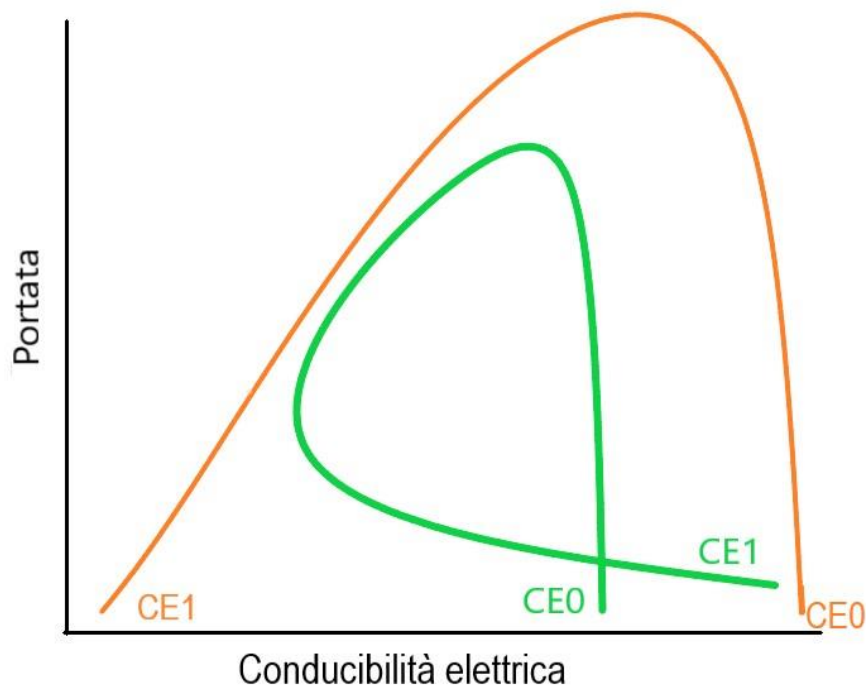


Fig.17: Schema di sintesi dell'andamento della conducibilità elettrica (CE) durante le piene tra 1 e 2 mc/s. Conducibilità iniziale (CE0), conducibilità finale (CE1). L'intervallo massimo di variazione è di 8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ che è circa 3 volte l'intervallo dell'accuratezza strumentale.

In queste fasi di cambiamento della CE o di stabilità si è osservato che molto spesso i cambiamenti avvengono in poche ore, mentre la condizione di stabilità dura per molte ore e anche su un ampio spettro di portate. Si sono così presi i cicli di andamento della CE durante le piene e si sono suddivisi in "aumento", "stabile", "calo". In alcune situazioni è stato facile fare la suddivisione, in altre, dove vi erano degli intervalli di stabilità, si è preferito mantenere continua la fase di "calo" o "aumento" anche se tali fasi erano interrotte da alcune ore di stabilità.

La sintesi di questa suddivisione è riportata nelle figure 18. Nella colonna di sinistra sono rappresentati assieme i segmenti di "aumento", "stabile", "calo" della conducibilità elettrica nelle varie piene tra 1 e 2 mc/s; mentre nella colonna di destra sono rappresentate le ore dei segmenti per ogni piena il cui valore di colmo è il numero dell'etichetta. Si può osservare che le fasi di aumento della conducibilità (CE) si attivano sotto i 700 l/s e in fase di svuotamento; le fasi di calo della CE invece caratterizzano gli svuotamenti principalmente all'incirca tra 1500 e 500 l/s, mentre meno significative sono sia quelle sotto queste portate che quelle in fase di riempimento. Nei tre grafici di sinistra si osserva che tutte le fasi non interessano valori di CE tra 250 e 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dalla distribuzione oraria dei vari segmenti si osserva che gli aumenti sono quelli più lunghi, mentre i più frequenti sono quelli stabili.

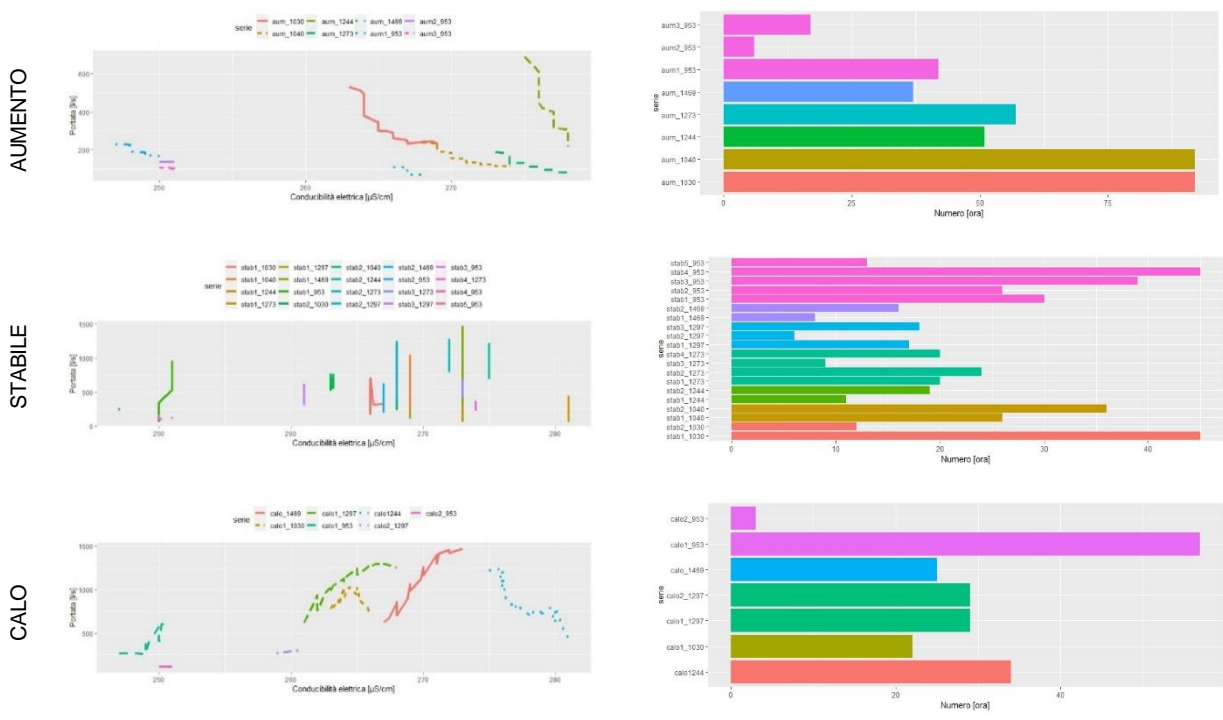


Figura 18: Suddivisione delle piene in segmenti con variazioni o stabilità della conducibilità elettrica. Nella colonna di sinistra i segmenti in funzione della portata; nella colonna di destra gli istogrammi evidenziano la lunghezza dei singoli segmenti. Le sigle che rappresentano i segmenti sono costituite da lettere che rappresentano aumento, calo o stabilità e un numero che indica la portata massima del picco a cui si riferiscono oltre a un numero sequenziale.

Sintetizzando si può dire che tra 1 e 2 mc/s le piene mostrano calo o aumento della conducibilità elettrica solo in fase di svuotamento, mentre il periodo di riempimento è essenzialmente caratterizzato da stabilità e quindi da fuoriuscita di acqua con mineralizzazione simile a quella antecedente la piena.

4.3. Magra estiva

Interessante è poi analizzare i dati registrati nel periodo di magra estiva, nel grafico di figura 19 sono rappresentati i dati delle medie orarie nel periodo 11 giugno – 18 agosto 2022. Come si osserva vi sono alcuni modesti picchi che interrompono lo svuotamento e contemporaneamente vi sono modeste precipitazioni.

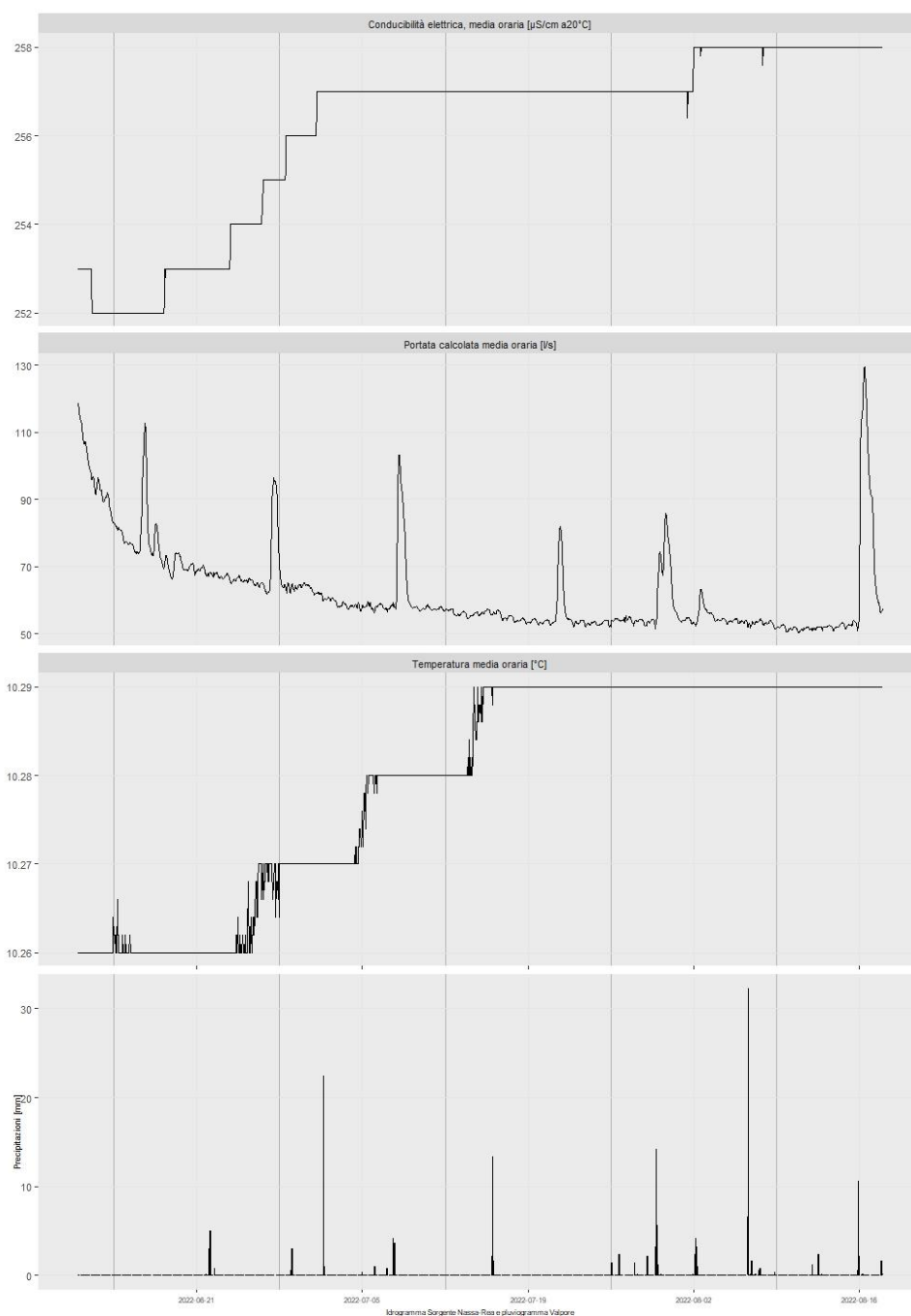


Fig. 19: Grafico delle medie orarie dei parametri Conducibilità elettrica, Portata, Temperatura della sorgente e pluviogramma del periodo 11/06 – 18/08/2022. Come si osserva vi sono alcuni picchi di portata che non sembrano corrispondere con le precipitazioni.

Si è iniziato con analizzare il picco del 20-22/7 in quanto è quello più distante dalle precipitazioni. Come si osserva dal grafico in figura 20 vi è una distanza di 4 giorni tra la precipitazione e il picco di portata che passa dai 52,69 l/s agli 82 l/s in 19 ore per poi tornare al livello iniziale in altre 27 ore. Dai dati si osserva anche che durante l'incremento di portata e il ritorno alla portata di base non vi sono state variazioni di conducibilità e di temperatura.

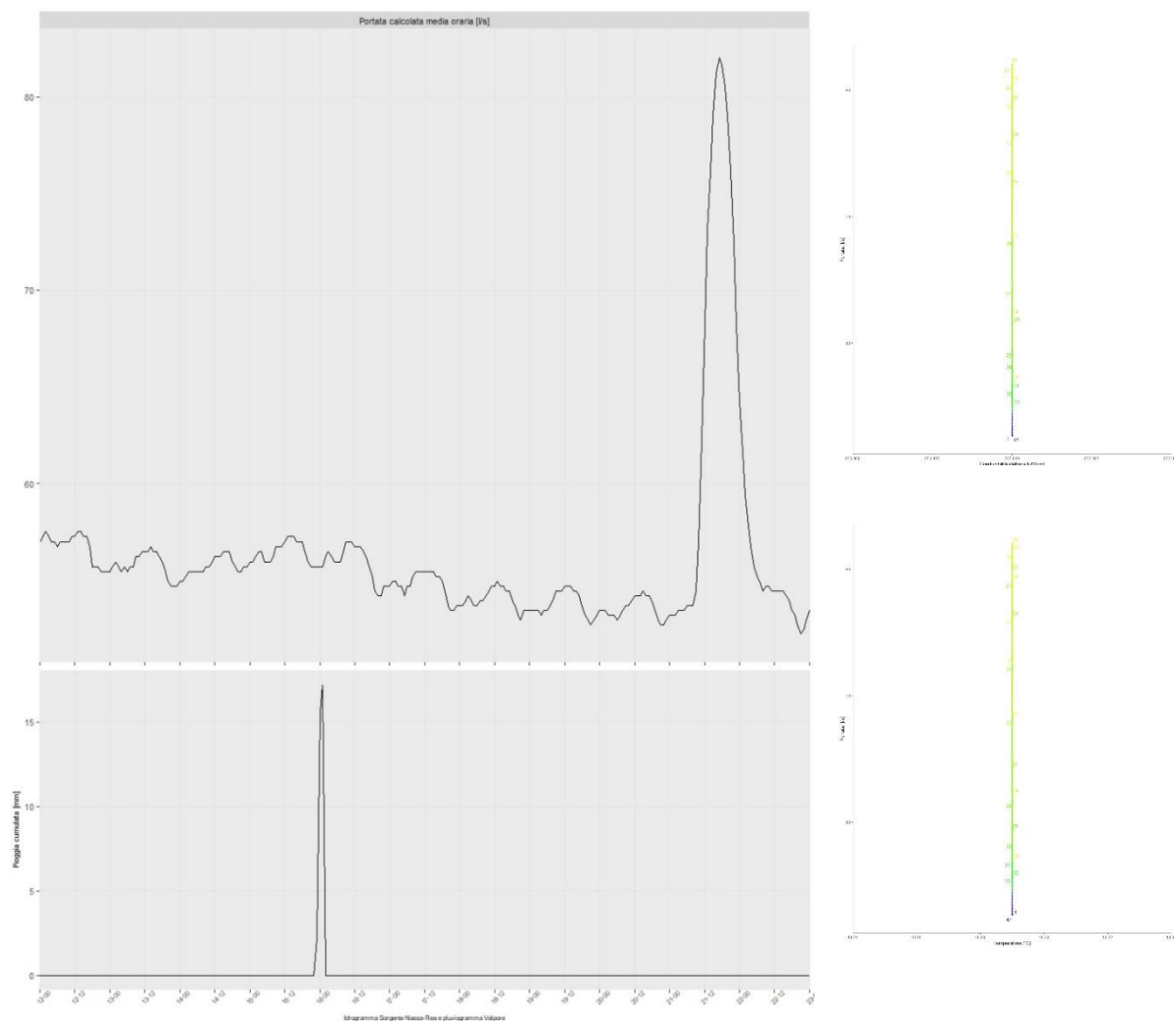


Fig.20: Idrogramma e pluviogramma 12/07 -22/07/2022. Si nota come il picco abbia una forma simmetrica e sia attivo 4 giorni dopo un evento piovoso. Nei grafici a destra l'andamento della conducibilità e della temperatura durante l'evento di piena: si può notare che a questo picco di portata non è associabile alcuna variazione di conducibilità e temperatura.

Anche gli altri picchi di questo periodo estivo hanno dimostrato avere caratteristiche simili in questo contesto di scarse precipitazioni, la sintesi dei dati è riportata in tabella 9.

Tabella 9

Durata		ore	Portata		Colmo	Deflusso	Precipitazioni	Note
da	a		inizio (fine) [l/s]	massima [l/s]	data-ora	[mc]	[mm]	
08/06 22:00	12/6 10:00	84	92,5	184	9/6 15:00	10903	23,4+14,8	lieve aumento T; CE costante in fase di aumento Q poi lieve calo in svuotamento
16/06 01:00	17/06 04:00	27	73,76	112,73	16/06 15:00	1411	0	nessuna variazione T e CE
26/6 22:00	28/6 14:00	40	62	94,5	27/6 16:00	1825	9	lievi variazioni T; CE stabile
7/7 20:00	9/7 6:00	34	57,5	103	8/7 2:00	2339	1,6+0,8 +11,3	nessuna variazione T e CE.
20/7 22:00	22/7 20:00	46	52,5	82	21/7 17:00	1332	17,2	nessuna variazione T e CE.
29/07 19:00	31/7 23:00	49	51,5 (53,4)	86	30/7 16:00	2784	3+25,4	nessuna variazione T e CE
2/8 4:00	3/8 20:00	40	52,7 (53,7)	63	2/8 15:00	645	10,8	nessuna variazione T e CE
15/8 21:00	17/8 20:00	47	51	129,5	16/8 11:00	6283	1,2+2,4+0,2 +15+0,2	nessuna variazione T e CE
18/8 5:00	27/8 7:00	204	56	339 e 321	18/8 19:00	41960	2,6+29,8 +3,8+6,8+0,2	calo T all'aumento del secondo sub-picco ; CE lieve calo in deceremento secondo sub-picco

Nel prossimo paragrafo “5.2 Picchi anomali...” saranno fatte ipotesi sul fenomeno che regola questi picchi che tendono ad avere un'intensità in aumento e in diminuzione abbastanza simili e non hanno associate variazioni di temperatura e conducibilità elettrica. Come osservazione aggiuntiva si nota come inoltre molti picchi hanno inizio verso sera.

4.4. Piene autunnali

Nei 13 mesi di monitoraggio si sono osservati alcuni eventi di piena e di morbida autunnali. Oltre ad alcuni picchi con portata tra 1 e 2 mc/s vi sono da segnalare alcuni incrementi e decrementi di portata simili a quelli estivi. Infatti a fine novembre 2022, ma non a novembre 2021, nella fase di svuotamento si sono susseguiti 2 picchi, in coda ad un picco principale, non direttamente associabili a precipitazioni, e altri 2 con

modestissime precipitazioni (≤ 2 mm cumulata). Questi, che si evidenziano meglio con il grafico di livello (Fig. 21, tab. 10), hanno lievi variazioni di temperatura e conducibilità eccetto l'ultimo, che non presenta alcuna variazione. Questi picchi hanno inoltre il colmo di piena nello stesso intervallo di livello di quelli estivi, che sono difficilmente associabili a precipitazioni.

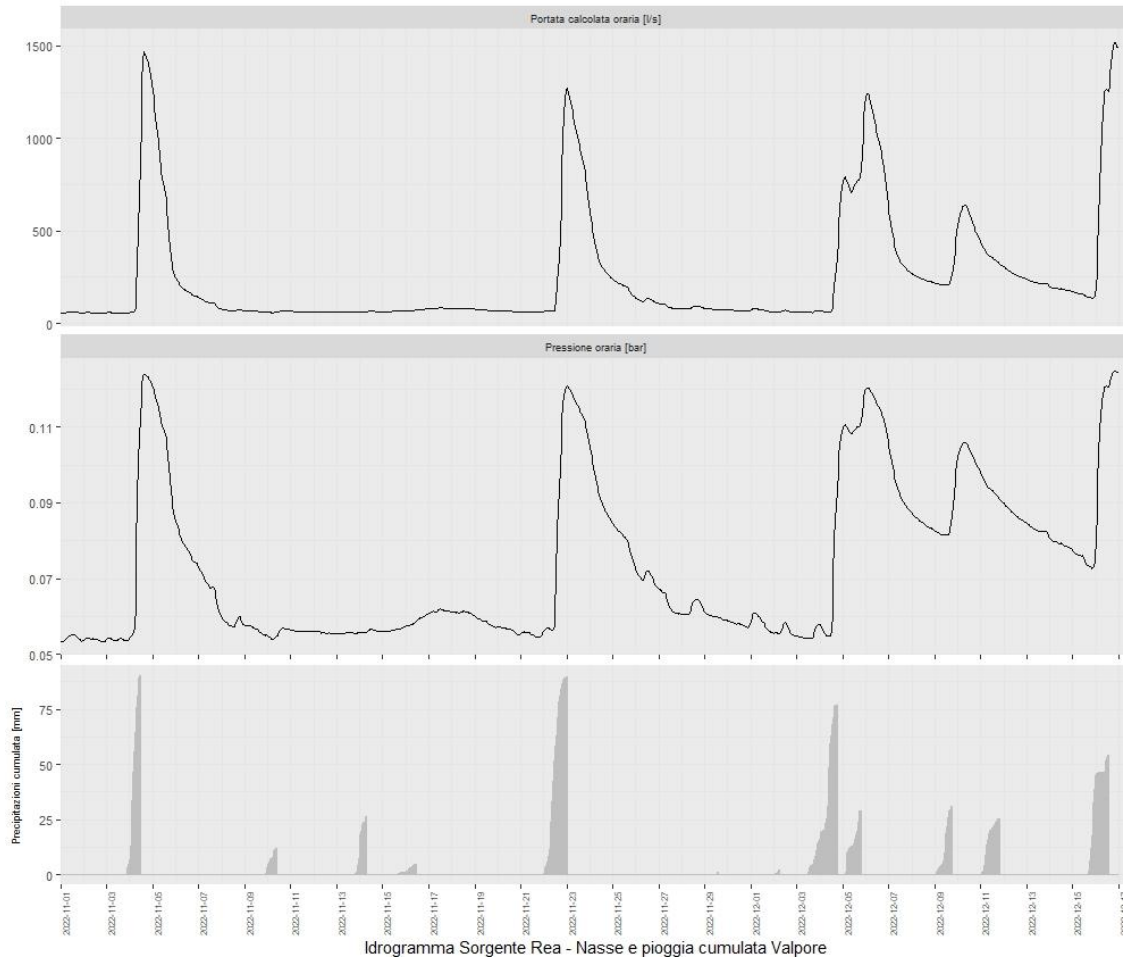


Fig. 21: Picchi principali e secondari del periodo autunnale 2022. Si può osservare che i picchi secondari sono presenti dopo l'evento di piena del 23 novembre mentre non sono presenti nel periodo precedente dopo le precipitazioni di inizio novembre. Sebbene le precipitazioni cumulate dei due eventi siano equiparabili, le precipitazioni del 21-22 novembre sono più dilazionate nel tempo.

Tabella 10

Durata		ore	Pressione		Colmo	Portata		Deflusso	Precip.	Note
Da	a		inizio (fine) [bar]	max [bar]	data ora	inizio	max	[mc]	[mm]	
7:00 26/11	19:00 26/11	13	0,0695 (0,0692)	0,0721	26/11 13:00	119	134,31	365	789,6?	lieve aumento CE; lieve calo T
7:00 28/11	03:00 29/11	21	0,0606	0,0645	29/11 15:00	79,05	94,61	598	789,6?	lieve aumento Temp; e CE
21:00 30/11	16:00 01/12	20	0,0571	0,061	1/12 4:00	67,27	80,5	493	1	nessun cambiamento in CE; lieve aumento in Temp
06:00 02/12	18:00 02/12	13	0,0555	0,0585	2/12 12:00	62,49	71,75	200	2	nessuna variazione in Temp e CE

5. Regime idrologico e area di alimentazione

Le elaborazioni statistiche di correlazione incrociata con le precipitazioni delle stazioni pluviometriche evidenziano i valori più alti ad un ritardo tra le 15 e le 17 ore dall'evento atmosferico. In alcuni casi vi è un brusco calo di correlazione o un picco secondario con un ritardo di circa 60 ore.

Si è provato a paragonare anche la differenza in tempo tra le precipitazioni e le variazioni di livello delle medie orarie. Quindi la correlazione precipitazioni - variazioni di livello ha evidenziato dei valori massimi (0,55 per Valpore e 0,4 per Lusiana) con sole 3 ore di ritardo che potrebbe indicare che le precipitazioni più intense innescano un aumento di livello a circa 3 ore di distanza.

Si è inoltre calcolato il tempo di risposta di molti picchi come ore tra l'inizio dell'evento piovoso e l'innalzamento di livello uguale o superiore a 0,001 bar (appendice: Variabili principali picchi di piena). L'intervallo che si è riscontrato è tra le 2 e le 27 ore con una media di circa 9h30'. Il ritardo di innesco non sembra avere alcuna correlazione con la portata iniziale (tra 50 e 220 l/s circa) nè con l'intensità di innalzamento massima (0,001-0,019), nè con la cumulata di pioggia all'inizio del riempimento (tra 11 e 76 mm), nè con la stagione.

In sintesi si può affermare che per questo periodo di monitoraggio, caratterizzato da anomala aridità, i picchi di piena risultano avere un repentino innalzamento di livello (riempimento) ed un altrettanto veloce decremento al quale segue una lenta fase di esaurimento. Nel periodo d'indagine sono risultati più importanti i picchi autunnali o di fine estate, mentre quelli primaverili sono stati di modesta intensità.

Le correlazioni tra conducibilità elettrica e temperatura dell'acqua mostrano un andamento opposto tra i due parametri per circa 50 giorni, poi hanno variazioni concordi.

5.1. Coefficiente di esaurimento

Nell'ambito del regime idrologico e della curva di svuotamento della sorgente si è cercato di individuare i parametri medi che caratterizzano il calo di portata nella fase di esaurimento.

Tralasciando la parte di idrogramma con veloce diminuzione di portata (fase di decremento) e analizzando solo le porzioni a lento calo si sono individuati sette periodi di esaurimento che hanno permesso di calcolare il coefficiente alfa da inserire nell'equazione di Maillet per stimare il calo di portata.

I coefficienti, insieme ai periodi (dalle 169 alle 793 ore consecutive) e all'intervallo delle portate sono riportati nella tabella 11 oltre ad essere visualizzati nel grafico sottostante (fig. 22).

Tabella 11

da	a	ore	Q _{in}	Q _{fin}	alfa	R ²
13/01/22	15/02/22	793	110,67	67,27	-0,00065	0,82
01/03/22	28/03/22	337	77,96	54,92	-0,00056	0,82
17/06/22	27/06/22	241	76,18	62,49	-0,00066	0,73
29/06/22	07/07/22	193	63,94	57,51	-0,00065	0,8
09/07/22	21/07/22	298	59,12	53,17	-0,0003	0,8
04/08/22	11/08/22	169	54,16	50,55	-0,00036	0,67
09/10/22	04/11/22	625	93,75	58,85	-0,00064	0,84

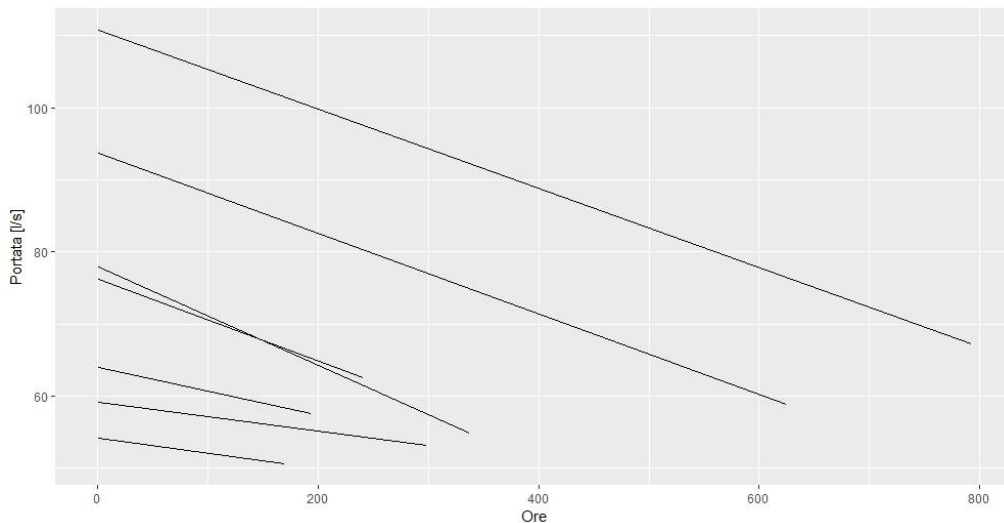


Figura 22: andamento degli spezzoni di curva di esaurimento usati per calcolare i coefficienti alfa. Si notano due inclinazioni differenti per portate indicativamente maggiori o inferiori a 60 l/s

L'esaurimento osservato va da un minimo di 7 giorni ad un massimo di 33 giorni.

Si può osservare che si hanno 2 valori di alfa, uno per portate tra 100 e 60 l/s (-0,0063 medio) ed un altro, circa la metà, (-0,00033 medio) per portate più basse.

Dai periodi analizzati si può intuire che le condizioni utili per applicare il coefficiente più alto coprono un periodo massimo di un mese, mentre per il coefficiente più basso sono solo circa 7-10 giorni.

Questi coefficienti sono molto bassi se paragonati a quelli della tabella di sintesi proposta da Stevanovic (2015) per definire il grado di carsificazione. Infatti per valori di alfa <0,001 l'autore indica un grado di carsificazione di 0,5 che rappresenta una circolazione sotterranea profonda associabile a zone di faglia e cataclasiti che smorzano le variazioni di portata.

5.2. Picchi anomali non associabili a precipitazioni

La presenza di picchi anomali, non associabili a precipitazioni e in linea di massima senza variazioni di conducibilità e temperatura, nella fase di svuotamento sia estiva che autunnale rappresentano delle variazioni nell'idrogramma e al regime idrologico di un certo interesse.

Si possono fare varie ipotesi per spiegare questi picchi (vedi appendice), ma quella che si ritiene più probabile è associata al riempimento e svuotamento ciclico di un sifone.

Per spiegare poi l'invarianza di conducibilità elettrica e temperatura si può pensare che l'acqua di pioggia appena infiltrata rimanga arretrata e prima di poter raggiungere la sorgente riesce a mineralizzarsi a meno che il quantitativo non sia tale (portata in uscita alla sorgente >500-700 l/s circa) da innalzare il livello e probabilmente innescare gallerie e sifoni più alti che trasferiscono l'acqua direttamente nei pressi della sorgente.

Si pensa quindi che questi modesti picchi secondari nella fase di esaurimento, sia estiva che autunnale, evidenzino pulsazioni periodiche di sifoni come osservabili presso sorgenti intermittenti. Idealmente una sorgente intermittente passa da una condizione di portata nulla a un picco di piena che in breve tempo si esaurisce e successivamente questo si ripete ciclicamente con intervalli abbastanza costanti. Il fenomeno che regola questo andamento è "l'effetto sifone". Nella letteratura scientifica italiana, già da inizi 1900 queste sorgenti sono definite come "intermittenti", mentre autori stranieri più recentemente le nominano in vari modi: intermittent, periodic, rhythmic, ebb and flow.

In Veneto, sorgenti finora riconosciute avere un certo grado di ritmicità sono quelle di Montorio in comune di Verona (Melotti et al. 1996) e quelle del Meschio a Vittorio Veneto (Boscolo et al. 2007). Seppure le sorgenti con andamento ritmico siano considerate rare, è probabile ve ne siano altre nell'area veneta visto

che sono comuni in ambiti carsici ed è solo la mancanza di un monitoraggio in continuo che non ha permesso l'individuazione di altre sorgenti simili.

Esperimenti eseguiti da Xiao et al. (2021) sul funzionamento delle sorgenti "ritmiche" evidenziano che esse hanno un comportamento periodico netto (frequenza e deflusso attivo o nullo) se alimentate da uno specifico intervallo di apporti idrici in funzione della geometria dei volumi del "serbatoio" retrostante.

Gli studiosi Guo et al. (2023) comparando prove di laboratorio con l'idrogramma della sorgente *Chaoshuidong spring* hanno modellizzato la ritmicità e le portate della sorgente che sono influenzate dalle dimensioni del sifone, dall'apporto idrico in entrata nel "serbatoio" a monte del sifone e da altri parametri. Le dimensioni del sifone sembrano limitare anche la portata massima che esce alla sorgente.

Gli attuali dati sulla sorgente Nassa-Rea fanno vedere come in fase di svuotamento per portate inferiori a circa 70 l/s sono presenti picchi secondari. I dati non permettono di distinguere se si tratta di un sistema composto da un deflusso di base a cui si associano uno o più piccoli volumi di riserva regolati da sifoni, oppure se si tratta di un unico grande volume di riserva regolato da almeno un sifone che riesce a mantenere un certo deflusso (50-60 l/s).

Orientativamente, con le attuali elaborazioni si propende per un modello che ha un deflusso di base, sull'ordine dei 50 l/s, entro discontinuità secondarie, che si innesta nella condotta carsica a valle del sifone e del serbatoio (sorgente intercalare secondo autori italiani, vedasi appendice "Sorgenti intercalari...").

Usando i dati dei soli 5 picchi estivi senza variazioni di CE e T si propone, per il sifone, un volume medio di circa 2.677 mc. Questi picchi presentano una durata media di 43 ore, un deflusso totale medio di 2.677 mc escluso il deflusso di base tra 51 e 57 l/s.

Questo volume corrisponde a circa 17 l/s che potrebbe rappresentare il deflusso medio in entrata nel serbatoio per innescare l'andamento periodico dei picchi.

Questo comportamento periodico sembra anche correlabile con il differenziarsi dei due coefficienti di esaurimento alfa in quanto esso è all'incirca intorno ai 60 l/s.

Le testimonianze di temporanee interruzioni ed i diversi coefficienti alfa forse possono aiutare a capire se il sistema è regolato da un unico sifone che favorisce un regime periodico o se vi è associato anche un deflusso di base collegato ad altre vie di deflusso.

5.3. Bacino di alimentazione

I dati fin qui raccolti permettono di calcolare un bilancio idrico provvisorio e da questo stimare l'estensione dell'area di alimentazione.

Dalla sintesi dei dati si ricava una portata media di 165 l/s mentre quella mediana è poco più della sua metà. Calcolando la sommatoria del dato di portata media oraria tra il 28/10/2021 e il 27/10/2022 si ha che il volume defluito in un anno è di poco inferiore ai 5 milioni di metri cubi.

Nella tabella 12 sono sintetizzati i dati e i valori calcolati; nella parte alta quelli di precipitazione con medie a sinistra (periodo 1994-2016) e dati delle singole stazioni meteorologiche verso destra per l'anno di monitoraggio 2021-2022; nella parte bassa sinistra vi sono i dati di portata; nelle righe centrali in grassetto le aree di alimentazione calcolate dai suddetti dati. Per calcolare l'area minima di alimentazione si possono fare tre tipi di calcolo basati sul bilancio:

- rapporto tra il volume defluito nell'anno e la precipitazione media annua. In questo caso l'area di alimentazione è quella minima in assoluto in quanto si ipotizza che tutte le precipitazioni si infiltrino e contribuiscano al deflusso della sorgente. Nello specifico l'area risulta di circa 3,2 km².
- rapporto tra il volume defluito nell'anno e le precipitazioni efficaci, cioè tolta l'evapotraspirazione media annua dalle precipitazioni totali. In questo caso l'area minima è più realistica e risulta di circa 5,7 km². Questo calcolo si è applicato anche usando i dati delle singole stazioni meteorologiche.
- rapporto tra il volume defluito nell'anno e la componente di precipitazioni efficaci che rimane dopo aver tolto il volume ruscellato in uscita dai bacini idrografici della zona a monte della sorgente. Calcolo non eseguito per mancanza di dati reali di ruscellamento e che inoltre si ritiene minimo.

Tutti i risultati dei calcoli effettuati sono sintetizzati nelle righe centrali in grassetto della tabella 12 e i valori di area di alimentazione estremi sono schematicamente mappati in figura 23 con un poligono rosso ed uno azzurro. L'intervallo di area minima di alimentazione che ne risulta è abbastanza ampio (3,2 - 16,1 km²) soprattutto in funzione della stazione meteorologica considerata. Per i metodi di calcolo è ragionevole considerare valido e molto realistico tenere conto solo dell'evapotraspirazione, in quanto essendo in area di

altopiano carsico il ruscellamento uscente è trascurabile. Questo è supportato dal fatto che vi sono porzioni di territorio che presentano contropendenze e quindi anche eventuali ruscellamenti concentrati finiscono per infiltrarsi presso inghiottitoi all'interno delle stesse aree. Tali aree sono rappresentate nella figura 23 con un bordo grigio che sono, per quanto noto agli scriventi, le parti di bacini idrografici senza ruscellamento uscente (BISRU).

In conclusione si ritiene che l'area di alimentazione della sorgente possa avere un'estensione intermedia (10 - 12 km²) più coerente con i dati di precipitazione ed evapotraspirazione delle stazioni meteorologiche presenti nella parte meridionale dell'altopiano. La localizzazione e lo sviluppo geografico dell'area che alimenta la sorgente deve però venir definita con valutazioni di tipo strettamente geologico e idrogeologico in base alle litologie e fratturazioni dell'ammasso roccioso qui presenti.

Tabella 12

Singole stazioni meteorologiche		Valpore	P.Marcesina	Pove d. Grappa	Lusiana	
↓	Media precipitazione annua [mm]	1537	1936	1373	1092	1288
	Evapotraspirazione [mm]	690	636	739	789	697
	Evapotraspirazione [%]	45	33	54	72	54
	Prec. efficaci [%]	55	67	46	28	46
	Prec. efficaci [mm]	847	1300	634	303	591
Area da precipitazioni efficaci [km²]		5,7	3,7	7,7	16,1	8,2
Area da precipitazioni medie annue [km²]		3,2				
Volume annuo (2021-2022) [mc]		4872600				
Portata mediana oraria [l/s]		89				
Portata media giornaliera [l/s]		159,6				
↑	Portata media oraria [l/s]	165				

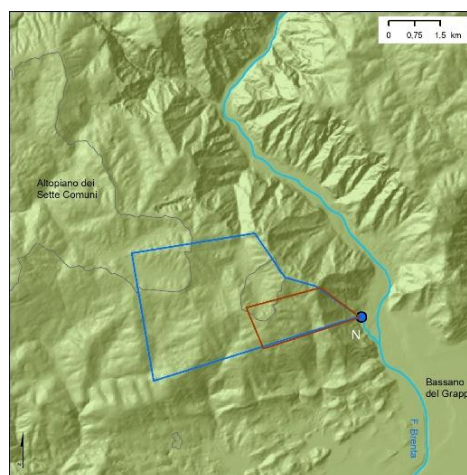


Figura 23: Rappresentazione ipotetica dell'estensione areale dell'area di alimentazione della sorgente. In rosso l'area minima assoluta (3,2 km²) in blu la più grande tra le aree minime da precipitazioni efficaci (16 km²). Le aree con sottile linea grigia rappresentano le zone senza ruscellamento superficiale uscente (BISRU).

6. Vulnerabilità

L'area a monte della sorgente è inclusa nella carta della vulnerabilità dell'Altipiano dei Sette Comuni (Aurighi et al. 2006) ottenuta usando il metodo SINTACS. Questo territorio è definito principalmente come Alta vulnerabilità ma alcuni ambiti, come le doline della Valle Rana, a vulnerabilità Elevata.

Avendo a disposizione poco più di un anno di monitoraggio in continuo si può procedere alla stima della vulnerabilità intrinseca con il metodo del tempo di dimezzamento e con il metodo VESPA.

Il metodo del "tempo di dimezzamento" (Civita 2008) è valutato sul dimezzamento della portata per il picco di piena principale dell'idrogramma su dati giornalieri. In questo caso la registrazione include due picchi molto simili come intensità: entrambi evidenziano che la portata si dimezza in meno di un giorno. Questa velocità di svuotamento secondo questo metodo indica una vulnerabilità "Elevata". In tabella 13 sono riportati i dati riferibili a tali eventi tra cui le portate registrate più vicine alla portata massima dimezzata.

Tabella 13

Qmax giornaliera [l/s]	Data	$Q \cong 0,5 Q_{max}$ [l/s]	Data 0,5Qmax	Situazione (Civita2008)	Vulnerabilità (Civita2008)
2639	31/08/2022	1239 (1320)	01/09/2022	A	Elevata
2417	04/11/2021	1161 (1208)	05/11/2021	A	Elevata

Il metodo VESPA invece correla contemporaneamente portata, conducibilità e temperatura e le loro variazioni. Il calcolo di questo indice per questa sorgente è di 0,08 dai dati orari e di 0,06 da quelli giornalieri.

Entrambi questi valori cadono nell'intervallo di vulnerabilità bassa (Galleani et. alii 2011).

La differenza che emerge da questi due metodi (*bassa* con VESPA, *elevata* con dimezzamento) forse è in parte legata alla quantità di dati elaborati per uno e per l'altro metodo.

Però l'analisi di dettaglio dell'idrogramma e dei picchi di piena esplicitata nei paragrafi precedenti, fa vedere minime variazioni di temperatura e conducibilità che sembrano escludere l'arrivo veloce di acque di neoinfiltrazione.

Quindi, dovendo scegliere il risultato dei due metodi applicati, si può propendere per il risultato del metodo VESPA come giudizio rappresentativo.

7. Conclusioni

Il monitoraggio ha evidenziato che seppure la sorgente abbia aumenti di portata repentini seguenti alle precipitazioni, questi non hanno una corrispondente variazione idrofisica. Le variazioni di temperatura e conducibilità sono molto smorzate e lente a palesarsi. Quindi si ipotizza che l'aumento di portata sia semplicemente un aumento del carico idrostatico e non un deflusso di acque di recente infiltrazione.

Questo andamento probabilmente spiega l'enorme divario di classe di vulnerabilità tra il metodo del tempo di dimezzamento e il metodo VESPA. Il risultato del primo metodo infatti è espressione del deflusso di piena e di un solo parametro, mentre il risultato del secondo metodo in questo caso meglio descrive il regime idrologico più frequente paragonando tre parametri diversi.

Dai dati di bilancio idrico si stima preliminarmente un bacino di alimentazione sull'ordine dei 10-12 km².

Un altro elemento interessante che emerge dall'idrogramma sono i piccoli picchi secondari nella fase di esaurimento non solo estiva. Essi evidenziano probabilmente pulsazioni periodiche di sifoni come osservabili presso sorgenti intermittenti (o ritmiche o periodiche).

Questo comportamento periodico sembra anche correlabile con il differenziarsi dei due coefficienti di esaurimento alfa che è all'incirca intorno ai 60 l/s.

L'osservazione di comportamento "ritmico", che apparentemente compare solo verso le condizioni di magra può quindi rappresentare un campanello di allarme che forse può preannunciare fenomeni di secca della sorgente per sorgenti che non hanno mai evidenziato tali tipi di ritmicità. E' probabile che con ulteriore monitoraggio sia possibile stimare la portata sotto la quale si entra in queste condizioni.

A seguito di questa prima analisi manca ancora da capire perchè temperatura e conducibilità non variano; si spera che la continuazione del monitoraggio possa permetterne una migliore comprensione.

8. Bibliografia

ARPAV-DRST (2022); Rapporto sulla risorsa idrica in Veneto al 31/12/2022 n. 370

ARPAV-DRST (2023) Bollettino risorsa idrica 31/01/2023 n. 378

Boscolo C., D'Alberto L., Mion F. (2007): Atlante delle sorgenti del Veneto. ARPAV

Civita M. (2008): An improved method for delineating source protection zones for karst springs based on analysis of recession curve data. *Hydrol. J.* 16, 855–869. doi:10.1007/s10040-008-0283-4.

D'Alberto L. (2018): Bacini idrografici senza ruscellamento uscente del Veneto (BISRU). <https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/acqua/acque-interne/acque-sotteranee/approfondimenti/bacini-idrografici-senza-ruscellamento-uscente-del-veneto-bisru>

Dal Piaz G. (1946) : Avanzi morenici pre wurmiani allo sbocco della Valle del Brenta presso Bassano. *Acta Pont. Acc. Sc.* , X, 15, 155-166.

Dal Prà A., Stevan L. (1969): Ricerche idrogeologiche sulle sorgenti carsiche della zona di Valstagna, in destra Brenta, ai piedi dell' Altipiano dei Sette Comuni. *Tecnica Italiana*, v. 10, 12 pp.

Galleani L, Vigna B, Banzato C, Lo Russo S (2011) Validation of a vulnerability estimator for spring protection areas: the VESPA index. *J Hydrol* 396:233–245.

Guo X., Li J., Zeng Y., Jiang C., Zhou H., Huang K. (2023): A theoretical model for simulating periodic processes of intermittent karst springs considering changed recharge rates into siphon cavity, *Journal of Hydrogeology* n. 617, 129017, 11p.

Melotti S., Zorzin R. (1996): Uno strano fenomeno osservato nelle sorgenti di Montorio (Monti Lessini Verona). Proceedings of the international congress Alpine Caves: alpine karst systems and their environmental context. Asiago (VI), Italy, June 11th-14th, pp. 293-297, Federazione Speleologica Veneta, a cura di Verico P. e Zorzin R.

Parolini A. (1858): Nota sulla sospensione temporanea nel corso dell'Oliero avvenuta nel gennaio di quest'anno. *Atti Regio Istituto Veneto Scienze Lettere Arti*, v. 3, n. 6, pp. 226-229, Venezia.

Sanz E., Rosas P., Menéndez-Pidal I. (2016): Drainage and siphoning of a karstic spring: a case study. *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 78, no.3, p. 183–197. DOI: 10.4311/2015ES0134

Stevanovic Z. (2015): Karst aquifers. Characterization and engineering. *Professional Practice in Earth Sciences*, Springer Science, 692pp.

Stroj A., Briški M., Oštrić M. (2020): Study of Groundwater Flow Properties in a Karst System by Coupled Analysis of Diverse Environmental Tracers and Discharge Dynamics. *Water*, v.12, n.9, 20pp

Zannoni J. (2022): La speleologia e la scuola a guardia delle risorse idriche della Valbrenta, p. 257-261. In: 10 sporchi lustri, 50 anni di speleologia, cinquant'anni di storia del Gruppo Grotte Giara Modon, p.339, Pixartprinting, Quarto d'Altino.

Xianxuan Xiao X., Zhang. Q. (2021): Physical and analytical modeling of rhythmic karst springs. *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 83, no. 3, p. 109-119. DOI:10.4311/2020ES0119

9. Appendice

9.1. Strumentazione e dettagli metodologici

Dal 27 ottobre 2021 è stata installata una sonda (modello CTD mini della OTT) con registrazione in continuo presso la sorgente Nassa - Rea. La sonda rileva conducibilità, temperatura e livello; si è scelto un intervallo di misura di 12 minuti. Lo strumento ha un range di livello fino a 10 m di battente d'acqua con accuratezza del 0,05% al fondo scala che corrisponde a 0,5 cm (o 0,00049 bar). Questa, secondo l'equazione delle portate usata, corrisponde a circa a 1 l/s. La risoluzione è 0,0001 bar o 0,1 cm.

La registrazione del livello è in bar di battente d'acqua.

La sonda è stata installata in un tubo da un pollice forato posizionato nella pozza a ridosso del muro sotto il quale vi è la cavità da dove sgorga l'acqua. Il battente d'acqua al momento dell'installazione era di circa 50 cm e la sonda è adagiata su un supporto interno ad un paio di cm dal punto di appoggio del tubo.

Contestualmente al posizionamento del datalogger sono stati posizionati dei marker di riferimento per misurare il livello con un metro centimetrato:

- fascetta sul tubo di protezione della sonda all'altezza del livello dell'acqua al momento dell'installazione;
- fascetta sul terzo anello metallico dal basso adiacente al portale d'ingresso della captazione come punto da dove misurare il livello dell'acqua;
- vite sul muro E dell'opera di presa alla stessa altezza della fascetta sull'anello metallico;
- vite sullo stesso muro E dell'opera di presa poco sotto il limite superiore del muro e sulla verticale della vite di cui al punto precedente ad una distanza di 98 cm

Le misure di portata sono state fatte con correntometro elettromagnetico OTT MFPro. Le sezioni di misura scelte sono state due:

- per condizioni di magra o normali, soglia in lastre di roccia lungo il torrente 300 m a valle della sorgente localizzata in corrispondenza di una panchina del percorso pedonale tra due passerelle;
- per condizioni di piena o morbida, lato di monte del ponte ad un centinaio di metri dalla sorgente.

Per le precipitazioni si sono usati i dati orari e giornalieri di undici stazioni meteo presenti nell'area circostante (Centro Meteo Teolo – ARPAV), mentre l'idrogramma del Brenta sono dati da stazioni della rete idrometrica ARPAV.

Le elaborazioni dati sono state eseguite con Microsoft Access® per la preparazione degli stessi a medie orarie e giornaliere; mentre le elaborazioni statistiche e i grafici con software R e suoi estensioni (packages: broom, cowplot, dplyr, ggpmisc, ggplot, ggpubr, ggrepel, graphics, grid, lubridate, tidyverse, tcltk, TTR). Immagini cartografiche con QGIS e ArcGis®.

9.2. Elaborazioni statistiche

Per il periodo in indagine si sono effettuate alcune elaborazioni statistiche.

ACF – Autocorrelazione del livello della sorgente come dati medi orari di pressione. Questa evidenza un secondo picco intorno agli 11 giorni (circa 250 ore).

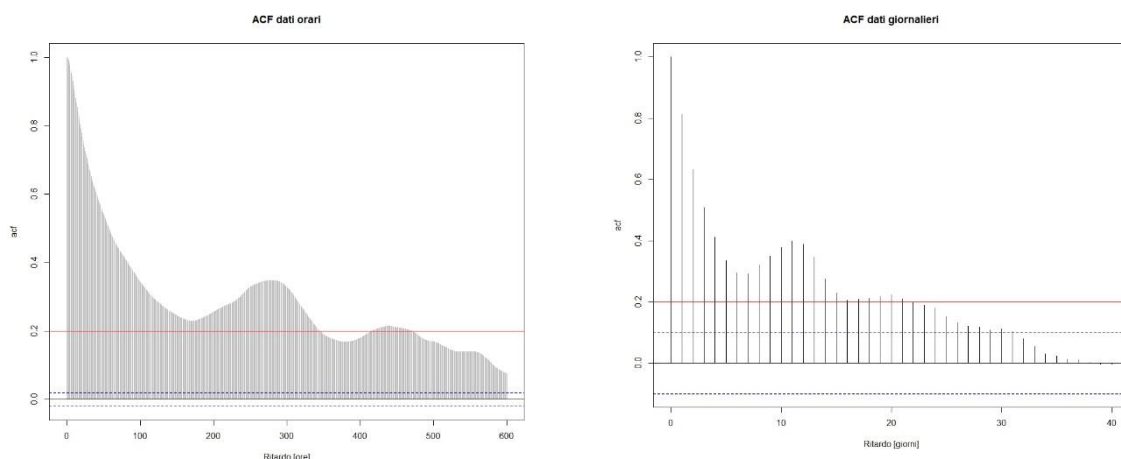


Fig. 24: Autocorrelazione dati livello orario e giornaliero. Si osserva che vi è un picco intorno agli 11 giorni e si scende sotto la soglia di significatività 0,2 dopo i 20 giorni.

CCF - Correlazione incrociata tra il livello della sorgente e le precipitazioni ad alcune stazioni meteorologiche della zona. Nella tabella sottostante sono riportati i valori di CCF e ritardo per le varie stazioni meteo. Dai dati giornalieri si nota che tutte le stazioni hanno la massima correlazione con un "ritardo" di un giorno e quelle il cui valore è più alto sono Valpore, Pove del Grappa, Lusiana e Crosara di Marostica. Usando i dati orari si osserva che la massima correlazione è associata alle precipitazioni presso Valpore seguite da quelle presso Villaggio del Sole (Solagna), Piana di Marcesina, Pove del Grappa, Valstagna, Crosara e Lusiana con un ritardo che sta tra le 16 e le 17 ore.

Precipitazioni a	Gruppo montuoso	CCF_o	Ritardo_o	CCF_g	Ritardo_g
Valpore (Seren d. G.)	M. Grappa	0,32	-16	0,6	-1
Villaggio d.Sole (Solagna)	M. Grappa	0,27	-17	nc	nc
Piana Marcesina	Alt. 7 Comuni	0,26	-16	0,52	-1
Pove d. G.	M. Grappa	0,26	-16	0,59	-1
Valstagna	Alt. 7 Comuni	0,26	-15	nc	nc
Lusiana	Alt. 7 Comuni	0,25	-17	0,57	-1
Crosara (Marostica)	C. Marostica	0,25	-16	0,59	-1
Breganze	Pianura	0,23	-17	0,54	-1
Asiago	Alt. 7 Comuni	0,22	-17	0,53	-1
Bassano d. G.	Pianura	0,21	-17	0,49	-1
Rosa'	Pianura	0,21	-18	0,53	-1

Paragonando i grafici riferiti a queste località è interessante notare come da SO a NE la correlazione abbia un picco secondario a circa 60 ore, picco che viene sostituito da un lento calo mantenendosi su determinati valori (0,14-0,17) fino a circa 60 ore. Questo potrebbe essere evidenza dell'effetto secondario di precipitazioni provenienti dai versanti meridionali.

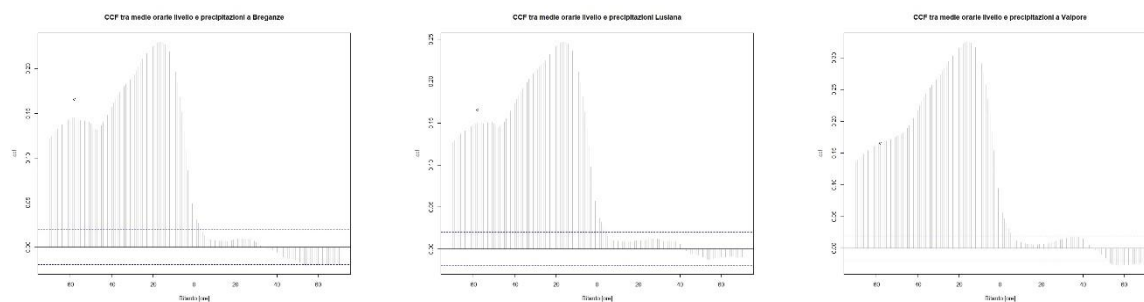


Fig. 25: Grafici di correlazione incrociata tra livello dell'acqua alla sorgente e precipitazioni a varie stazioni meteorologiche, da medie orarie. I grafici sono ordinati, come un transetto SO-NE partendo da sinistra. Si nota come il picco secondario sia pronunciato per la stazione di Breganze (SE), mentre il valore corrispondente più alto dello stesso (Valpore) è rappresentato dal cerchio rosso.

Si è poi calcolata la differenza di livello tra due ore consecutive e paragonata questa alle precipitazioni. La correlazione tra la differenza di livello ($\geq 0,001$ cioè superiore al doppio dell'accuratezza strumentale) e le precipitazioni è massima a 3 ore di ritardo con 0,55 riferito a Valpore, e 0,4 a Lusiana.

La correlazione tra conducibilità e temperatura dell'acqua è inversa fino a circa 1200 ore (circa 50 giorni) di ritardo oltre questo dato questi parametri hanno variazioni concordi.

Si sono anche comparati gli eventi di precipitazioni e le precipitazioni cumulate tra Lusiana e Valpore.

La corrispondenza rimane buona fino a metà luglio, da metà luglio a novembre diminuisce

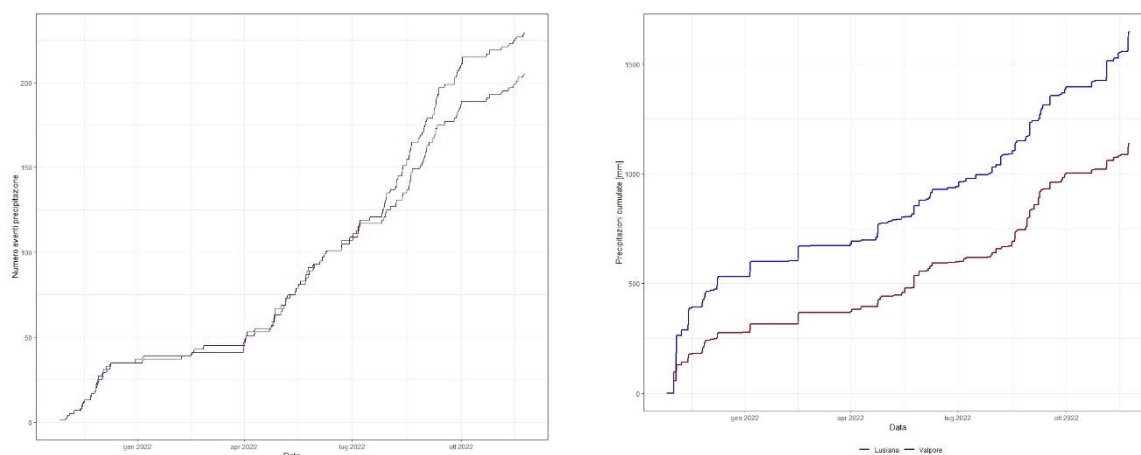
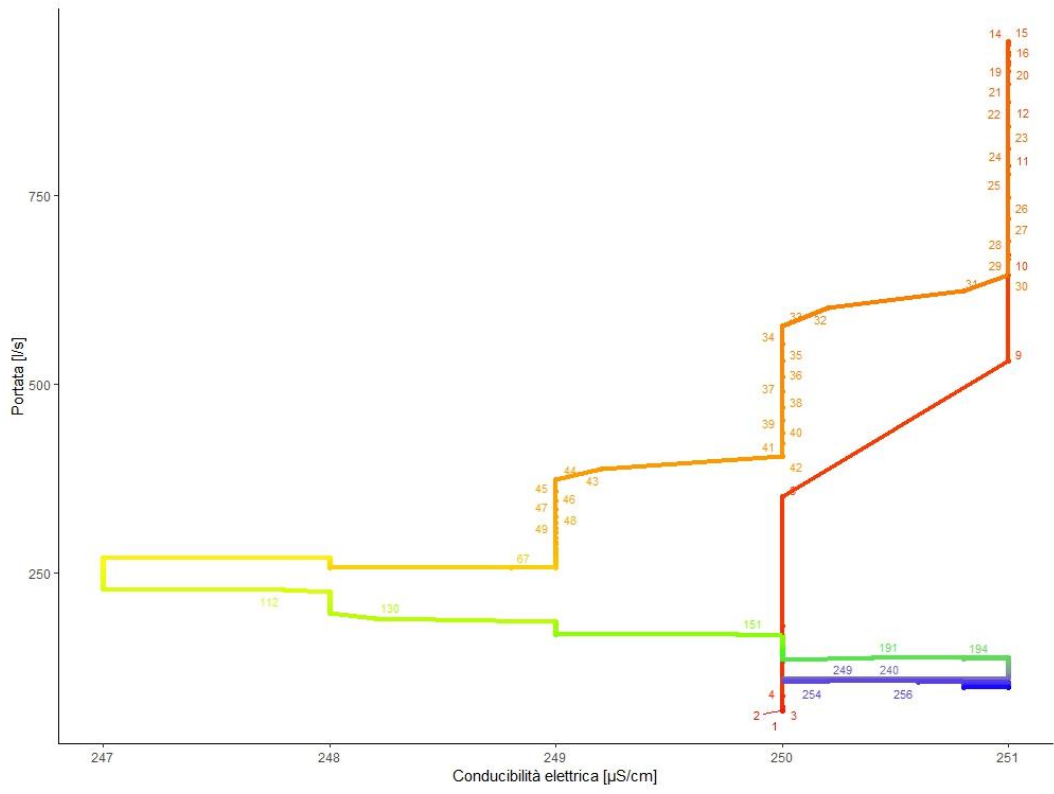


Fig. 26: Comparazione tra precipitazioni a Valpore e Lusiana: a sinistra numero di eventi piovosi; a destra cumulate.

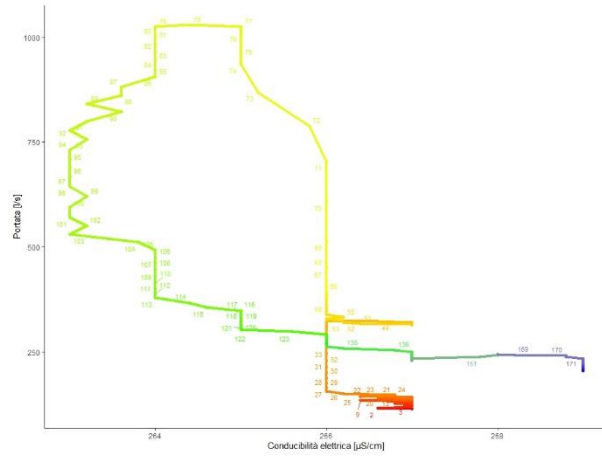
9.3. Andamento conducibilità elettrica durante picchi di piena tra 1 e 2 mc/s

Si riportano i grafici di andamento delle medie orarie della conducibilità elettrica in funzione della portata quando questa ha raggiunto valori di picco dai 900 ai 1500 l/s. Le linee del grafico e la numerazione si susseguono nel tempo con la sequenza cromatica Rosso Arancione Giallo Verde Grigio Blu.

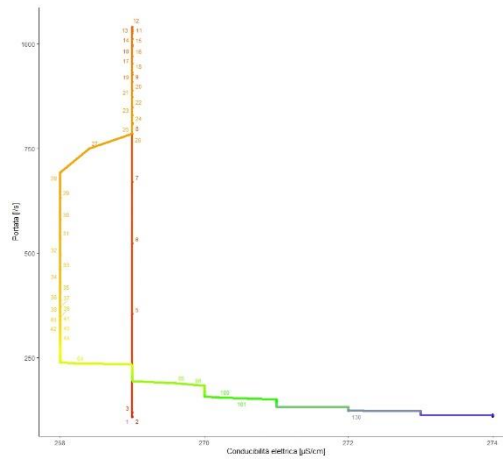
23 aprile 5 maggio 2022 Qmax 953 l/s



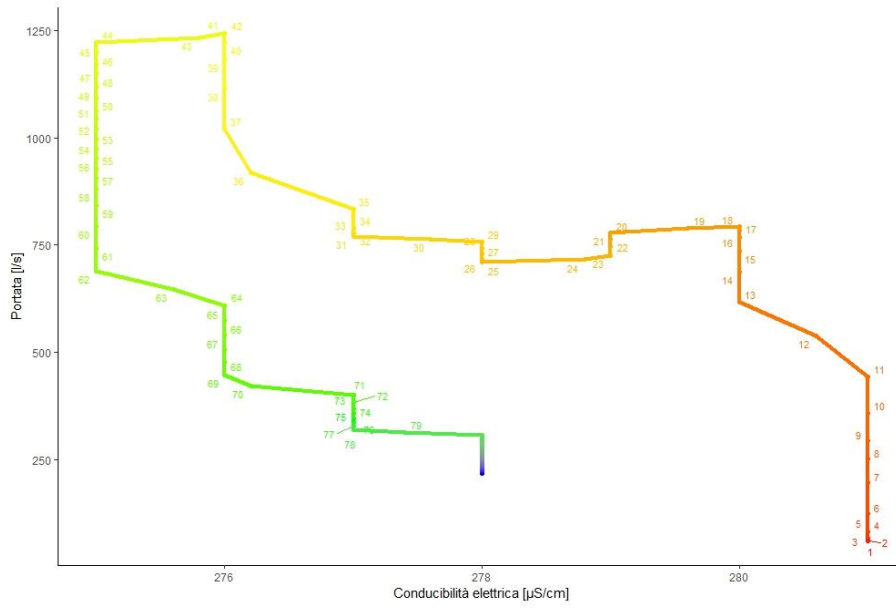
25 novembre 3 dic 2021 Qmax 1030



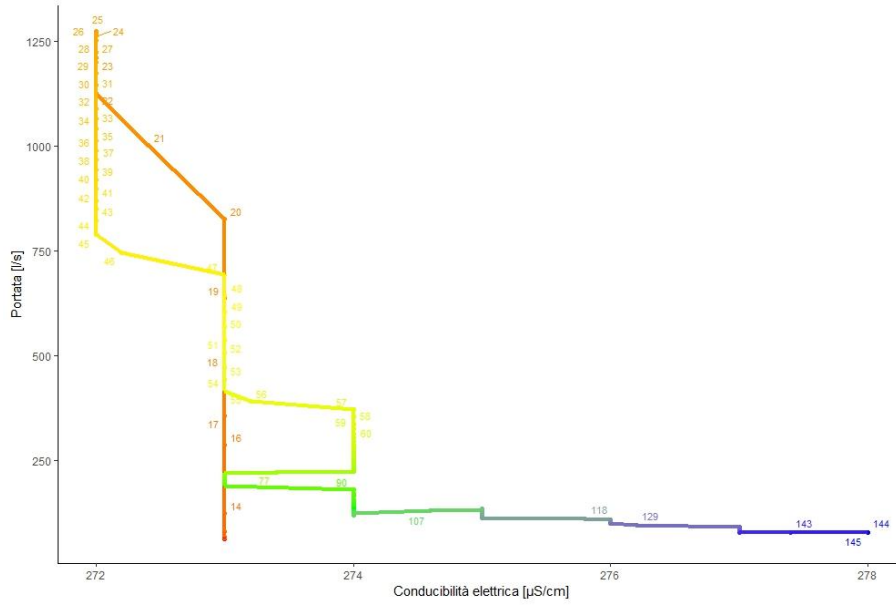
8-14 sett 2022 Qmax 1040 l/s



4-9 dicembre 2022 intervallo 6 micS Qmax 1244



22-28 novembre 2022 intervallo 6 micS Qmax circa 1273 l/s



5-9 gennaio 2022 Qmax 1297 l/s

4-9 novembre 2022 intervallo 8 micS Qmax 1469# l/s

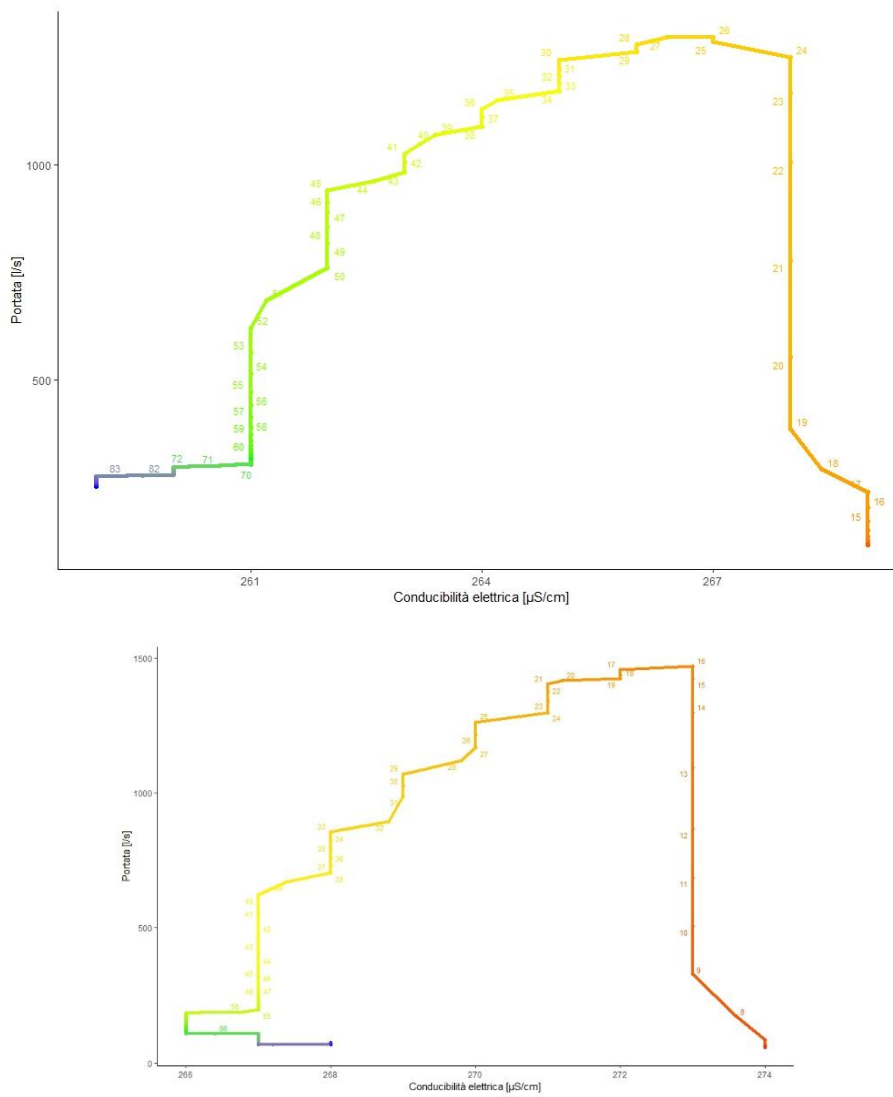


Fig. 27: andamento conducibilità elettrica durante le piene tra 1 e 2 mc/s

9.4. Andamento conducibilità elettrica durante picchi di piena inferiori a 1 mc/s

Si riportano i grafici di andamento delle medie orarie della conducibilità elettrica in funzione della portata quando questa ha raggiunto valori di picco di alcune centinaia di litri al secondo. Le linee del grafico e la numerazione si susseguono nel tempo con la sequenza cromatica Rosso Arancione Giallo Verde Grigio Blu.

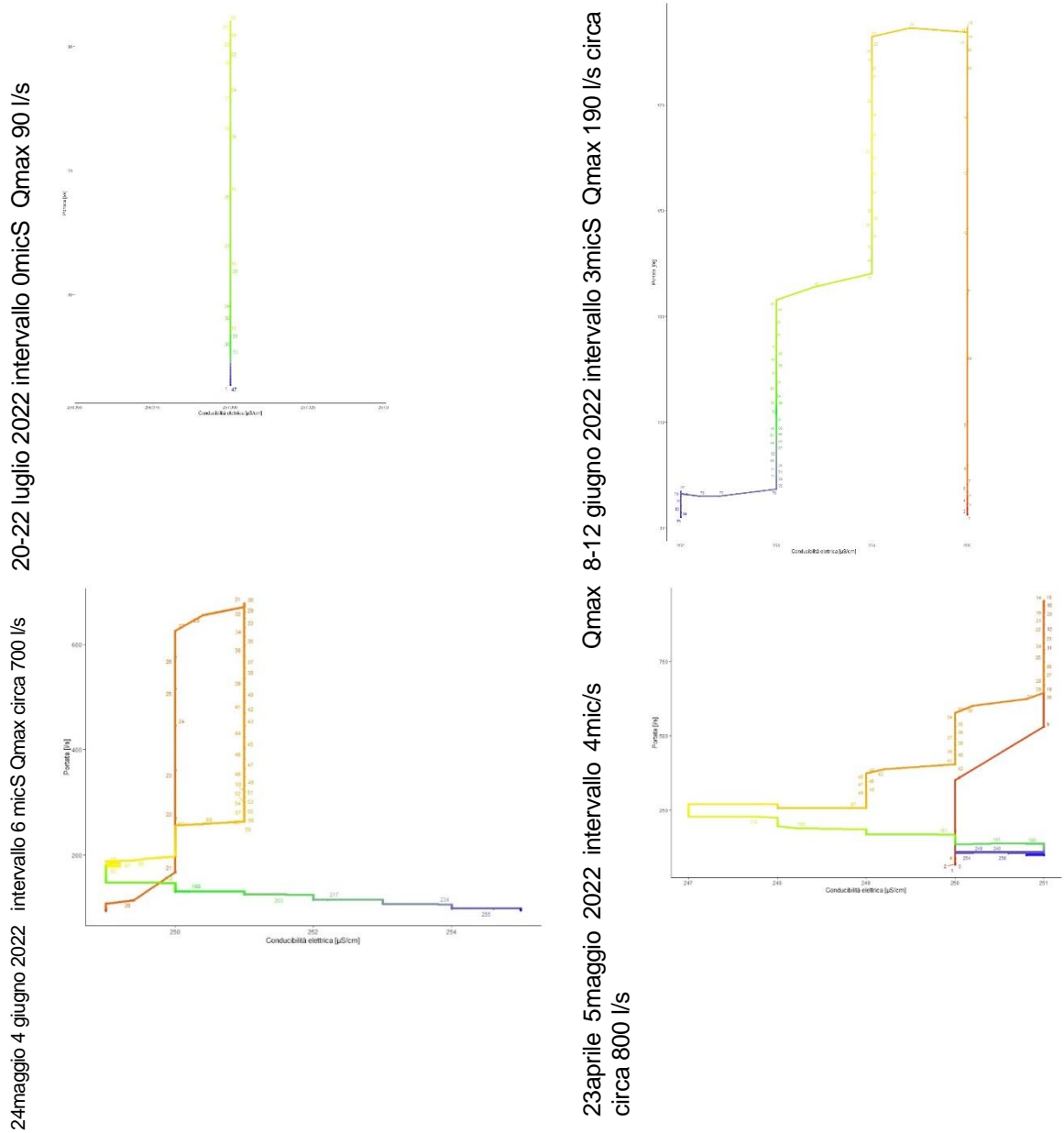


Fig. 28: alcuni esempi di andamento della conducibilità elettrica durante le piene inferiori ad 1 mc/s

9.5. Variabili principali picchi di piena

Nella tabella sottostante sono riportate alcune variabili di alcuni picchi di piena.

VmaxL è la variazione massima di livello in bar riscontrata tra medie orarie successive. Si è tenuto conto solo delle variazioni uguali o maggiori di 0,001 bar (circa 2 volte l'accuratezza strumentale). E' il campo di ordinamento crescente della tabella.

Portata "inizio" è la portata di base prima dell'inizio dell'aumento di livello, mentre "massima" rappresenta il valore al colmo di piena.

Precipitazioni da dati orari pluviometro stazione Valpore (Seren del Grappa). "intensità" è il valore orario massimo registrato per l'evento piovoso antecedente o contemporaneo al picco di piena. "cumulata innalzamento" è la quantità di pioggia caduta fino al momento in cui si registra un aumento di livello maggiore di 0,001 bar.

Ritardo è il lasso di tempo in ore tra inizio di evento piovoso e inizio aumento di livello.

Andamento, "max-min" sintetizza l'andamento della conducibilità elettrica durante il picco: CE0CE0 significa nessun cambiamento nell'arco di tempo considerato; CE0CE1 indica che la conducibilità iniziale è maggiore di quella finale; CE1CE0 si ha un aumento tra inizio e fine dell'evento; "a" e "d" indicano aumento e diminuzione intermedie entro le fasi estreme del picco.

data	VmaxL [bar]	Portata		Precipitazioni		Ritardo Ore	Andamento max-min
		inizio [l/s]	massima [l/s]	intensità [mm/h]	cumulata ad innalzamento >0,001 [mm]		
2-3 agosto 2022	0,001	53	63	4,2	11,2	12	CE0CE0
20-22 luglio 2022	0,002	53	82	na	na	na	CE0CE0
29-31 luglio 2022	0,0021	52	86	14,2	25	6	CE0CE0
26-28 giugno 2022	0,0019	62	94	0,2	na	na	CE0CE0
7-9 luglio 2022	0,0034	57	103	4,2	11,4	8	CE0CE0
16-17 giugno 2022	0,0015	74	113	0,2	0,2	10	CE0CE0
15-17 agosto 2022	0,0055	51	130	10,6	15	4	CE0CE0
8-12 giugno 2022	0,0022	93	184	4,8	13,2	8	CE0CE1
13-16 maggio 2022	0,0103	76	332	5,2	11,2	3	CE0CE1
18-27 agosto 2022	0,0112	56	339	8	22	7	CE0CE0
18-19 agosto 2022	0,0112	56	339	8	22	7	CE0CE0
24-28 maggio 2022	0,0104	94	677	27,8	28,6	6	CE0adaCE0
1-3 novembre 2021	0,0186	63	927	17	76	11	CE0CE1
23-27 aprile 2022	0,0157	68	953	14,6	49	7	CE0aCE1
25 novembre - 3 dicembre 2021	0,0036	114	1030	4,8	30,2	24	CE1daCE0
8-14 settembre 2022	0,0121	109	1040	9,8	13,8	4	CE1CE0
4-9 dicembre 2022	0,0102	61	1244	11,7	63,2	27	CE0CE1
21-28 novembre 2022	0,0121	60	1273	9,6	58,4	13	CE1CE0
5-11 gennaio 2022	0,0078	127	1297	6,6	29,2	9	CE0CE1
3-9 novembre 2022	0,0151	58	1469	13,2	55,8	11	CE0CE1
13-20 novembre 2021	0,0076	122	2763	13,8	24,6	5	CE1adCE0
3-7 novembre 2021	0,0086	218	3694	17,6	76,2	15	CE0daCE1
30 agosto -5 settembre 2022	0,019	163	3798	23,2	26,8	2	CE1CE0

9.6. Picchi di piena lontani da precipitazioni: ipotesi non valide

Visti i piccoli picchi di piena riscontrati distanti da eventi di pioggia e in ambito della curva di esaurimento, si sono fatte alcune ipotesi prima di confermare la ritmicità per effetto sifone. Queste ipotesi sono qui descritte.

Un'ipotesi potrebbe essere legata ad aumenti di livello del fiume Brenta più a nord, dovuti a rilasci idroelettrici, questi impedirebbero il facile deflusso presso bocche in alveo (es. sorgente Borin a Campolongo) creando un fenomeno di rigurgito che si propaga nell'acquifero fin alla sorgente Nassa-Rea. Si è provato quindi a correlare l'idrogramma della sorgente con l'idrogramma del livello massimo orario del Brenta nei pressi del bivio per Enego e presso Barzizza a N di Bassano. Dall'immagine non sembra esservi una chiara correlazione; viste le derivazioni e rilasci lungo lo stesso fiume sarebbe importante poter fare il confronto anche con il livello del fiume presso la traversa di Mignano in posizione intermedia tra le due analizzate.

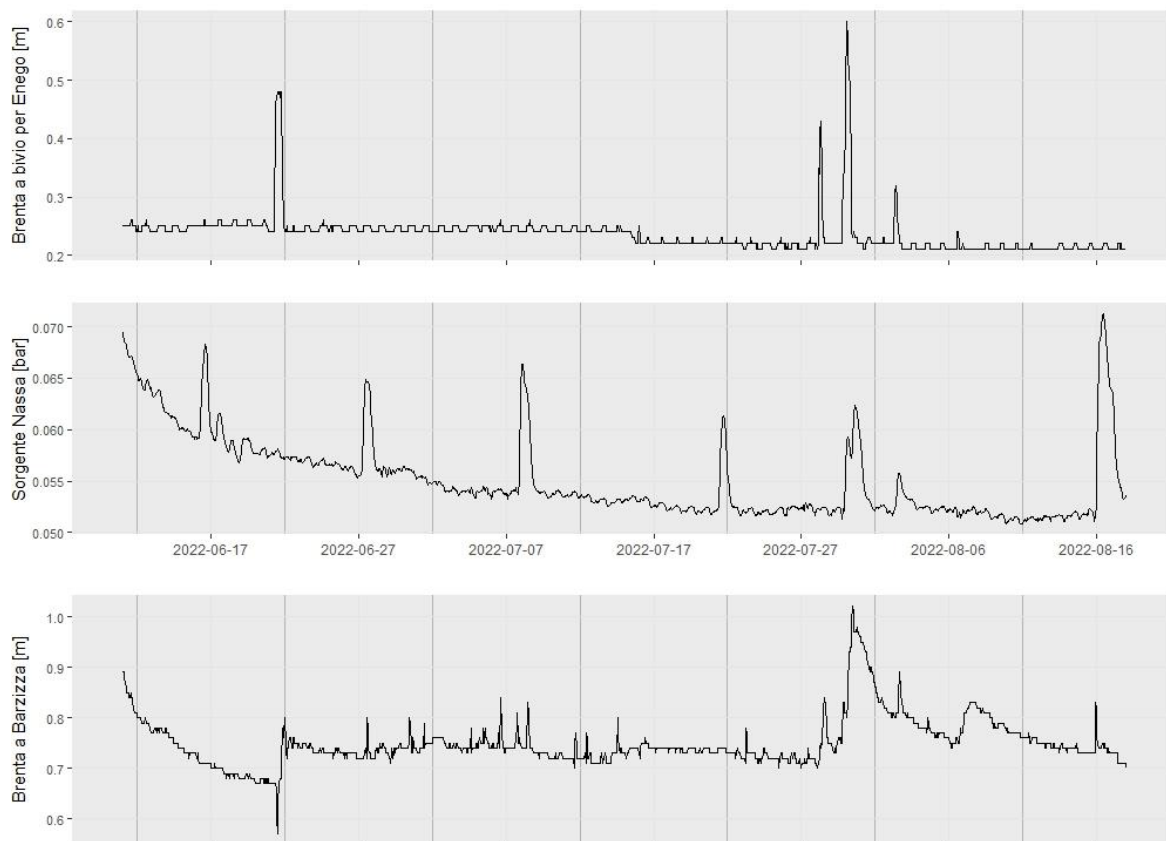


Fig.29: Comparazione del livello della sorgente con il livello massimo del fiume Brenta nel periodo estivo 2022. I picchi alla sorgente non sembrano essere influenzati da picchi nel fiume.

Oppure si può ipotizzare che questi picchi rappresentino il contributo da diversi sottosistemi epicarsici posti a quote e distanze diverse. Nannoni et alii 2022, per la sorgente Pollaccia nelle Alpi Apuane, osservano contributi diversi dalle varie aree con epicarso, ma sempre associati a fenomeni di diluizione con variazioni anche significative di temperatura e conducibilità elettrica. Nel caso di Nassa-Rea invece questi picchi non hanno variazioni di questi due parametri e questo fenomeno si registra anche per alcuni picchi autunnali.

Alcuni di questi picchi secondari sono palesemente lontani da antecedenti eventi di pioggia e spesso non mostrano alcuna variazione di conducibilità e temperatura. Una ricerca ha evidenziato come una sorgente in alcune condizioni abbia picchi di piena più ritardati rispetto alla normalità (Sanz et al. 2016). Questi autori

propongono, in base alle caratteristiche geologiche del luogo oggetto della loro indagine, un modello che ha apporto idrico da 3 diverse idrostrutture e che il comportamento idrodinamico sia anche legato alla presenza di sifoni o di restringimenti di sezione. Partendo da questo spunto si può ipotizzare che anche nel caso di Nassa-Rea vi sia un apporto da più idrostrutture che fanno arrivare la piena in tempi diversi e che avvicinandosi alla sorgente il flusso passi tra restringimenti di sezioni che modificano il segnale dell'idrogramma (es. Smart 1983 in Ford e Williams 2007, fig. 6.23 pag. 175). A seconda del livello raggiunto dall'acqua vengono interessate condotte e discontinuità diverse forse anche con condizioni di sifonamento.

9.7. Sorgenti intercalari, intermittenti, intumescenti, periodiche, ritmiche

Nella letteratura scientifica vi è una certa diversificazione nella nomenclatura che riguarda le sorgenti che hanno deflusso variabile ritmico. Per non incrementare la confusione si preferisce usare le definizioni da autori italiani: sorgenti intermittenti e intercalari.

Canavari 1928. "Le sorgenti non perenni si possono suddividere dapprima in due sottogruppi secondo che dipendano o no dagli andamenti delle piogge"... "In alcune regioni di rocce fessurate, come ad esempio nei calcari, affiorano talvolta singolari sorgenti che erogano acqua ad intervalli brevi e regolari, con andamenti ritmici, che non hanno alcuna relazione con i fenomeni meteorologici. Queste sono le sorgenti o fontane intermittenti propriamente dette e le sorgenti intercalari"... "Le seconde, invece, ritmicamente aumentano e diminuiscono di erogazione ma però non inaridiscono mai completamente." (p-751-752, Canavari M. 1928: Manuale di geologia tecnica)

Principi 1946 "sorgenti intermittenti si riserva a quelle che in periodi di tempo determinati, che si ripetono ritmicamente, danno o no acqua"... "dalle sorgenti intermittenti si distinguono le sorgenti intercalari, le quali ad intervalli fissi ed indipendenti dalle stagioni danno alternativamente differenti quantità di acqua senza scomparire mai del tutto. Secondo Darcy per spiegare questo fenomeno basta supporre che la ramificazione che fornisce l'acqua alla caverna, si suddivida e che uno dei rami si vuoti, al di fuori del sifone, direttamente sul bacino della sorgente;" (pag. 917-919, Principi P. 1946: Trattato di geologia applicata, seconda edizione, tomo II)

Desio 1959. "Fra le sorgenti di fessura dobbiamo ricordare, da ultimo, due tipi particolari; esse pure per lo più di tipo carsico, che abbiamo già menzionato per il loro singolare regime e cioè le sorgenti intermittenti e le intumescenti o intercalari." ... "Le sorgenti intercalari differiscono dalle precedenti soltanto per il fatto che nel ramo discendente del sifone si aprono alcune fessure d'alimentazione che forniscono acque alla sorgente anche durante la fase di riempimento del serbatoio interno" (pag. 316, Desio A. 1959: Geologia applicata all'ingegneria, seconda edizione).

Alcuni altri autori che hanno studiato o citato sorgenti con andamento ritmico.

Guo et al. 2023, intermittent karst spring

Xiao et al. 2021, periodic spring

Kresic and Stevanovic 2010: "Intermittent springs discharge only for a period of time, while at other times they are dry"... "Ebb and flow springs, or periodic springs... Their discharge occurs in relatively uniform time intervals (periods) and is explained by the existence of a siphon..." (pag. 37, Kresic N. and Stevanovic Z. 2010: Groundwater hydrology of springs)

Ford and Wallace 2007: "periodic and rhythmic springs". (Ford D. and Wallace P. 2007: Karst hydrogeology and geomorphology)

La Moreaux and Tanner 2001: "Periodic spring. a spring that ebbs and flows, owing to natural siphon action." (La Moreaux P.E. and Tanner J.T., 2001: Springs and bottled waters of the world)

Alfaro C. and Wallace M. 1994: "Intermittent... exhibit great variability in flow (not climatically controlled) do to hydrological physics..." (Alfaro, C., Wallace, 1994: M. Origin and classification of springs and historical review with current applications. Environmental Geology, 24, 112–124. <https://doi.org/10.1007/BF00767884>)

Urzendowski L. 1993, ebb and flow. (Urzendowski L. 1993: "Spectral analysis of the flow behavior of Big Spring, Kings Canyon National Park, California" (1993). UNLV Theses, Dissertations, Professional Papers, and Capstones. 1445. <http://dx.doi.org/10.34917/3433935>).

Atwell 1732: "Intermitting and reciprocating springs". (Atwell J., 31 August 1732: Conjectures upon the nature of intermitting and reciprocating springs. <https://doi.org/10.1098/rstl.1731.0054>). ["reciprocating" significa "su e giù" oppure "avanti e indietro". Nel suo testo questo autore disegna un possibile modello con sifoni e serbatoi che possano spiegare il fenomeno].

Plinio il Giovane; I secolo d.C.: "interim ille certis dimensisque momentis vel subtrahitur vel assurgit" (Plinio il Giovane, Lettera IV.30) [l'autore descrive l'andamento ritmico della sorgente e con dei quesiti propone alcune ipotesi sull'origine del comportamento. La sorgente descritta si trova nei pressi del Lago di Como, ora è chiamata "Sorgente Pliniana" ed è in comune di Torno].

Unità Organizzativa Qualità Acque Interne

Via Rezzonico , 41

35131 Padova, (PD)

Italy

Tel. +39 049 7393 783

E-mail: orac@arpa.veneto.it



ARPAV

Agenzia Regionale per la Prevenzione e
Protezione Ambientale del Veneto

Direzione Generale
Via Ospedale Civile, 24
35121 Padova

Italy
tel. +39 049 82 39 301
fax. +39 049 66 09 66

e-mail: urp@arpa.veneto.it
e-mail certificata: protocollo@pec.arpav.it
www.arpa.veneto.it