



Agenzia Regionale per la Prevenzione
e Protezione Ambientale del Veneto



REGIONE DEL VENETO

Regime idrologico di una sorgente in ambito dolomitico e influsso della siccità monitoraggio in continuo aprile 2018 – aprile 2023

Rapporto tecnico

ARPAV

**Dipartimento Regionale Qualità
dell'Ambiente**

Rodolfo Bassan

**Dipartimento Regionale per la
Sicurezza del Territorio**

Stefano Micheletti

Progetto e realizzazione

**Unità Organizzativa Qualità delle
Acque e Tutela della Risorsa
Idrica**

Fabio Strazzabosco

Unità Organizzativa Idrologia

Sara Pavan

Autori

Lucio D'Alberto

Giorgia Lucianetti

Ringraziamenti: *si ringraziano Benacchio Silvano, Lanfranco Sbardella, Thomas Sbardella, Marco Bonat, Roberto Mazza per 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.

luglio 2023

Indice

SINTESI	1
1. INQUADRAMENTO	2
1.1. Inquadramento	2
2. IDROGRAMMA	3
2.1. Dati disponibili	3
2.2. Confronto livello tra vari anni	4
3. PORTATE	5
3.1. Da misura di livello a portata	5
3.2. Confronto portate e deflussi	7
3.3. Contributo nivale	12
3.4. Coefficienti di svuotamento	15
3.5. Area di alimentazione	17
3.6. Bibliografia	18
4. APPENDICE	19
4.1. Strumentazione e dettagli metodologici	19
4.2. Misure di portata	20
4.3. Deflusso totale	21
4.4. Elaborazioni statistiche	21
4.5. Precipitazioni	22
4.6. Software	22

SINTESI

La presente relazione riporta i primi risultati di un monitoraggio idrologico della sorgente carsica di San Lucano - La Scafa ubicata in comune di Taibon Agordino (BL). Il monitoraggio è stato avviato nel 2018 e ha consentito di osservare il regime idrologico della sorgente in condizioni idrologiche molto diverse, inclusi due eventi di precipitazione estrema (fine ottobre 2018 e inizio dicembre 2020) e la magra molto accentuata dell'anno 2022, record per la siccità nella regione Veneto. Dal confronto del regime idrologico della sorgente nei 5 anni di monitoraggio sono state messe in luce le variazioni di deflusso associate alle scarse precipitazioni registrate negli ultimi anni. Il flusso di base del 2023 è risultato circa il 70% in meno rispetto a quello dell'anno caratterizzato da una ricarica più abbondante, il 2019. In questo ultimo anno nel complesso il volume annuo totale della risorsa idrica è stato ridotto ad un terzo della portata dei primi anni di monitoraggio e si è registrata una riduzione delle riserve regolatrici molto importante. Nella relazione vengono inoltre elaborate delle prime ipotesi di bilancio idrogeologico, con un approfondimento sul contributo dello scioglimento nivale al deflusso sotterraneo e una stima dell'area di alimentazione della sorgente.

1. Inquadramento

1.1. Inquadramento

Dal 3 aprile 2018 è attiva una sonda (modello CTD mini della OTT) con registrazione in continuo presso la sorgente San Lucano – La Scafa in comune di Taibon Agordino (Boscolo et al. 2007, Bonat et al. 2019, Testa et al. 2019) .

La sorgente è una cavità carsica alle pendici settentrionali dei contrafforti del M.Agner.

L'acqua scaturisce alla base di una parete rocciosa sulla sinistra idrografica nei pressi dell'apice del conoide del Livinal dell'Acqua. Il Livinal dell'Acqua non presenta deflusso, bensì è percorso da valanghe che arrivano fin quasi al piede del conoide.

La cavità da dove esce la maggior parte dell'acqua è impostata su una diaclasi subverticale con direzione NNE-SSO. La cavità è stata esplorata e rilevata per circa 15 m di lunghezza (2820 V BL) (Mietto 2005). Altri punti di emergenza sono localizzati verso NO nei pressi di una rientranza della parete.

La parete rocciosa è costituita dalla Dolomia del Serla inferiore alla cui base vi è la Formazione di Werfen (Membro di S. Lucano) fratturata per un piano di faglia immergente a NNO (Pisa et al. 1978). Il punto di emergenza principale è pochi metri sopra il piano di faglia e nei metri di transizione tra la Formazione di Werfen e la Dolomia del Serla Inferiore.

Data la sua localizzazione la sorgente presumibilmente ha come bacino di alimentazione il versante settentrionale del crinale M Agner – Spiz de la Lastia (2872 – 2278 m s.l.m.m.). Questa porzione di territorio, dai 2800 ai 900 m di quota include almeno tre impluvi nella cui parte di media quota si presentano come circhi glaciali abbozzati (da est: Livinal dell'Acqua, tra Spitz Piccol e Spitz Verde, Van de Mez).

La forte acclività dell'area favorisce certamente il ruscellamento che si raccoglie dai colatoi di parete e la caduta di valanghe con conseguente accumulo di neve compattata alla base delle pareti superiori negli incipienti circhi glaciali.

Se il Livinal dell'Acqua non mostra segni significativi di ruscellamento, diverso è per il Van de Mez e un altro impluvio intermedio, che si osservano avere consistente mobilizzazione di detrito dall'apice dei loro conoidi presso lo sbocco nella valle principale.

Dall'osservazione delle foto aeree e analisi di DTM l'orientazione di queste valli sembra essere impostata su direttrici NO-SE, mentre vi sono delle lineazioni che hanno direzione ENE-OSO che dall'ampia valle principale creano cambi di pendenza alla base delle pareti.

2. Idrogramma

2.1. Dati disponibili

Dal 3 aprile 2018 è in registrazione una sonda che rileva conducibilità, temperatura e livello con un intervallo di misura di 12 minuti. I cinque dati sub-orari sono poi stati trasformati in medie orarie.

La registrazione del livello, il battente d'acqua, è espressa come pressione idrostatica nell'unità di misura "bar" che si osserva spaziare tra 0,022 bar e 0,59 bar. Nella figura è riportato il grafico dell'intero periodo di registrazione. Nel grafico si possono notare i due picchi principali riferibili agli eventi di fine ottobre del 2018 e a quello di inizio dicembre 2020. Vi sono poi altri picchi meno elevati che si sviluppano nei periodi autunnali. Si osserva inoltre che dopo i picchi principali autunnali c'è un lungo calo di livello verso i valori di minima che si raggiungono in questo caso ad inizio aprile. Successivamente alle magre primaverili l'idrogramma ha un rialzo di livello con un periodo dove i dati non presentano andamenti altalenanti ma si mantengono su un livello alto e stabile. Questi sono i periodi di morbida estiva determinati dallo scioglimento nivale.

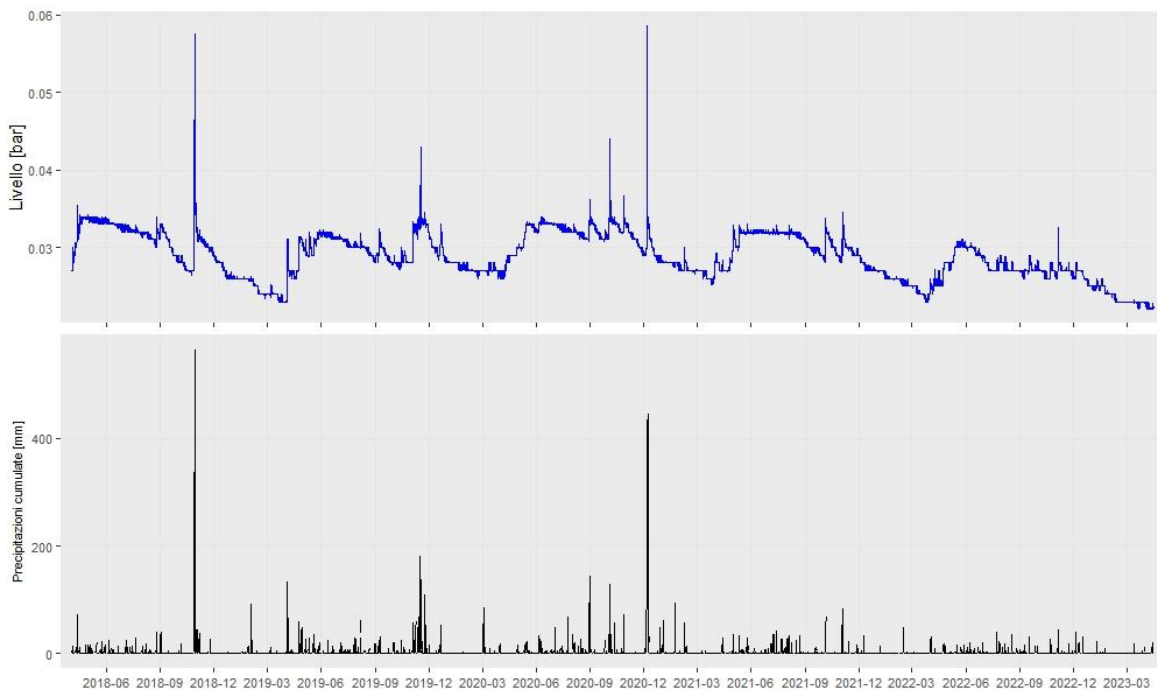


Fig. 1: Andamento delle medie orarie del livello della sorgente San Lucano – la Scafa e precipitazioni cumulate registrate presso la stazione meteo di Agordo.

L'andamento nel tempo di questi elementi dell'idrogramma evidenzia che la morbida estiva tende ad avere una riduzione temporale che ben si palesa nell'estate 2022. I minimi primaverili sono su valori diversi, ma quello di quest'anno 2023 è ancor più basso degli anni precedenti. I picchi autunnali, esclusi quelli dei due eventi estremi, hanno un valore intermedio nel 2019 e 2020, mentre nel 2021 e 2022 essi sono sia di minor intensità sia iniziati da livelli più bassi tanto che il loro valore massimo raggiunto è comparabile al livello di plateau di morbida estiva.

2.2. Confronto livello tra vari anni

Nel grafico qui sotto riportato sono stati messi a confronto gli idrogrammi dei 5 anni monitorati partendo dalle ore 12 del 03/04 di ogni anno dal 2018 al 2023.

Come si può vedere il livello ha un andamento simile per tutti gli anni, ma su diversi valori di pressione. La linea nera rappresenta l'ultimo anno di monitoraggio (aprile 2022-aprile 2023) che si vede mantenersi su valori più bassi rispetto agli anni precedenti. Si osserva inoltre come il plateau estivo di morbida sia molto corto nel tempo e il suo valore assai più basso rispetto al passato. Altro elemento di differenza è che il picco massimo autunnale del 2022 arriva agli stessi valori di morbida estiva degli altri anni.

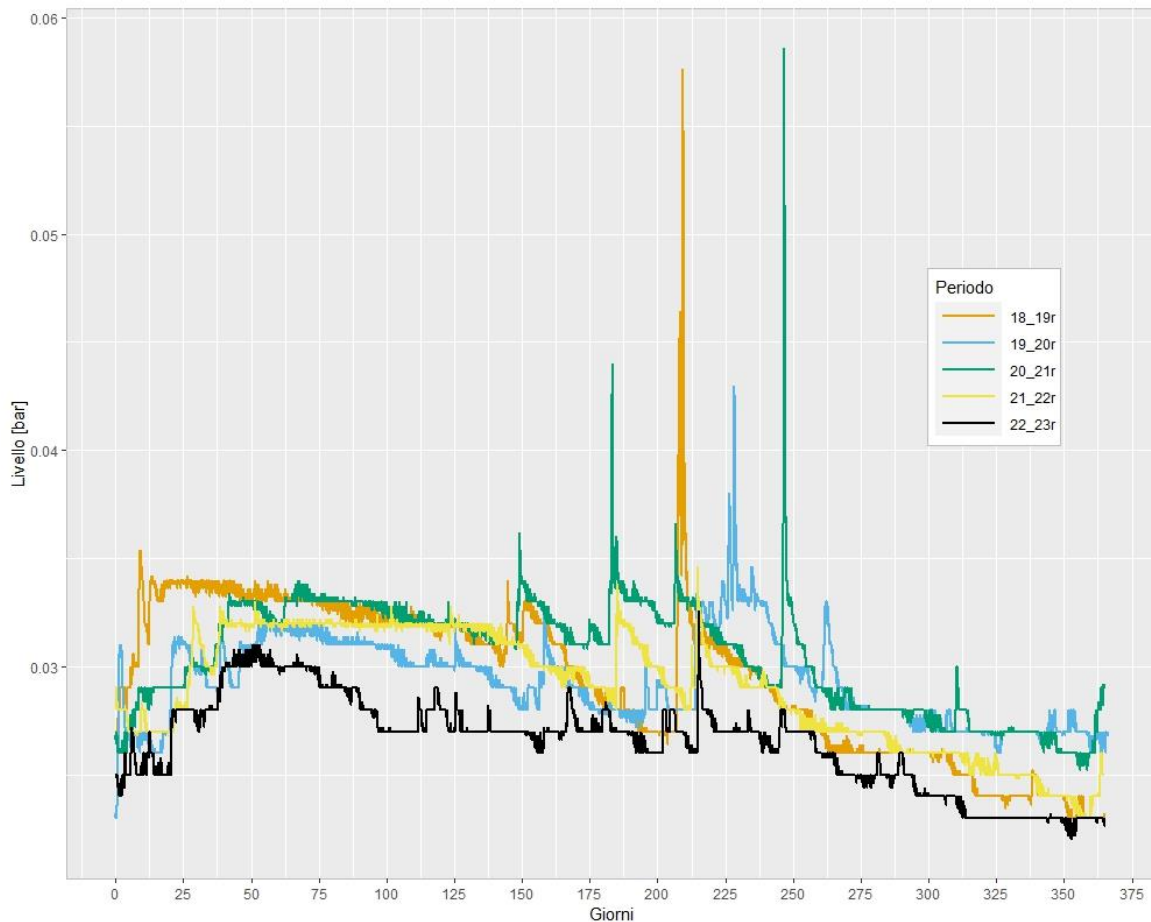


Fig. 2: Grafico di confronto tra la media oraria di livello registrato nei cinque anni di monitoraggio.

3. Portate

3.1. Da misura di livello a portata

Nell'arco di tempo del monitoraggio si sono eseguite varie misure di portata per poter costruire l'equazione delle portate e quindi quantificare il deflusso nel tempo. Si ha così a disposizione una ventina di misure di portata che sono principalmente concentrate in due gruppi di dati, uno con valori molto bassi (10-50 l/s, 0,022 – 0,028 bar) ed uno con valori medi (150-300 l/s, 0,031-0,033 bar). Non si è riusciti ad effettuare misure di piena che possano essere considerate vicine al picco di piena.

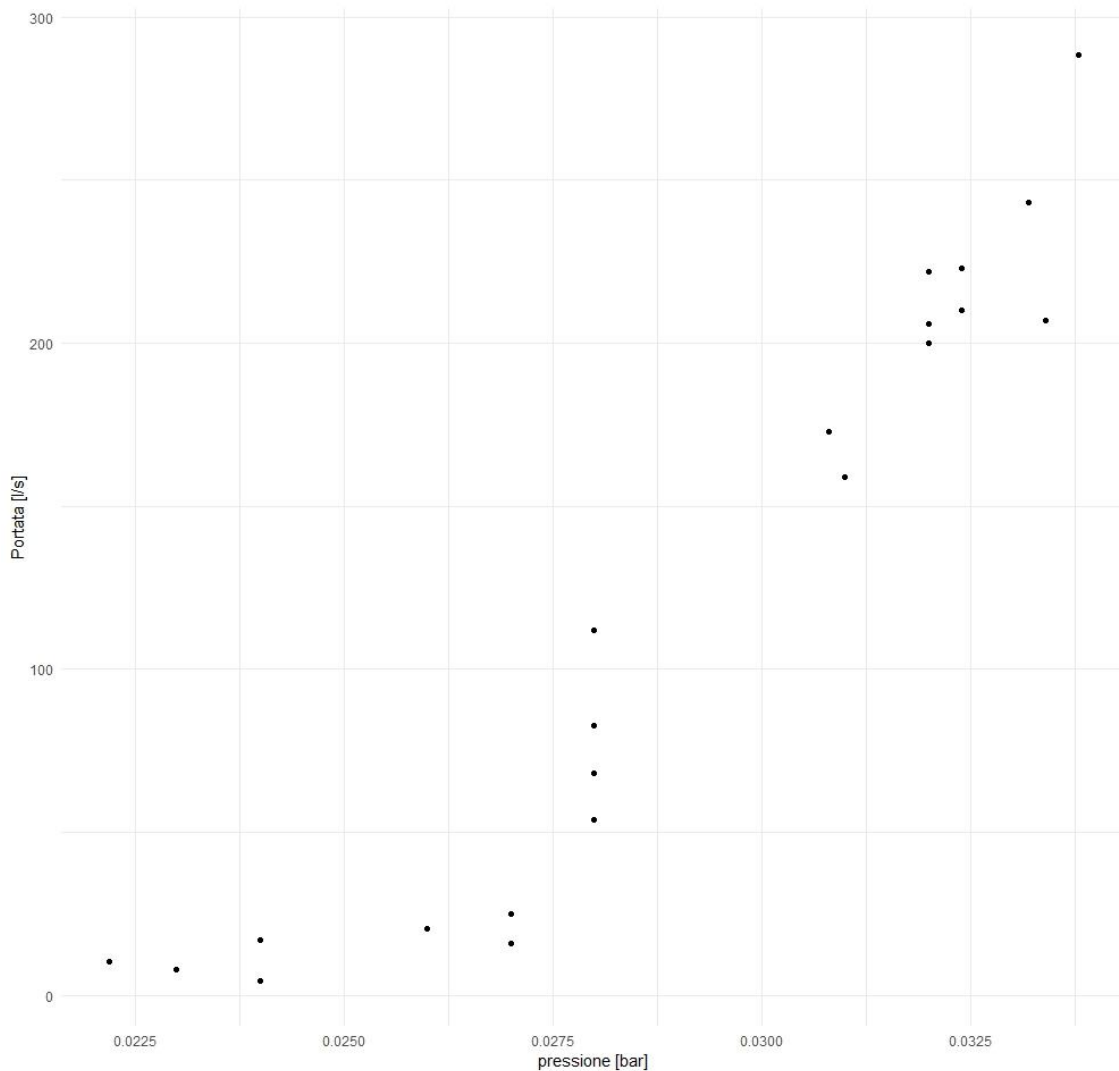


Fig. 3: Grafico a dispersione per correlare le portate misurate alle pressioni medie orarie registrate contestualmente.

Per il calcolo dell'equazione delle portate si è deciso di escludere due valori fra i più bassi perchè alla luce di altre misure si è osservato che in condizioni di magra le perdite di subalveo sono significative (es. 15/04/2023 presso l'abituale sezione di misura erano 2 l/s mentre alla base della cascata erano almeno 10,5 l/s). Nella tabella in appendice sono riportati i dati utilizzati per ricavare l'equazione delle portate che meglio correla i dati.

L'equazione che se ne ricava è di tipo esponenziale (con $R^2= 0,89$)

$$y = 1883204718281570x^{8,6989}$$

Questa equazione riesce a correlare l'intervallo di pressione e portata misurati, mentre per valori più alti essa tende a sovrastimare la portata. Infatti i valori di portata calcolati corrispondenti a pressioni maggiori di 0,045 bar sono chiaramente irreali per il contesto morfologico (tra 5 e 36 mc/s).

Per evitare di fare considerazioni basandoci su dati sovrastimati si è applicata la regola per cui si mantengono validi i dati calcolati fino al 15% in più dell'intervallo massimo di pressione misurato. Nel caso specifico l'intervallo è di 0,0118 bar e quindi sono da scartare le misure superiori a 0,03557 bar, che con l'equazione considerata corrispondono ai valori superiori a 472 l/s. I dati che vengono esclusi sono quindi 155 dei circa 44000 dati disponibili (0,35% del totale).

Nelle successive elaborazioni e rappresentazioni, che includono la portata calcolata saranno tenuti solo i dati inferiori a 472 l/s e per quei dati che corrisponderebbero a valori superiori si sostituisce in automatico il valore 472 l/s.

3.2. Confronto portate e deflussi

Come per le pressioni si è creato un grafico per confrontare gli idrogrammi annui delle portate medie orarie calcolate.

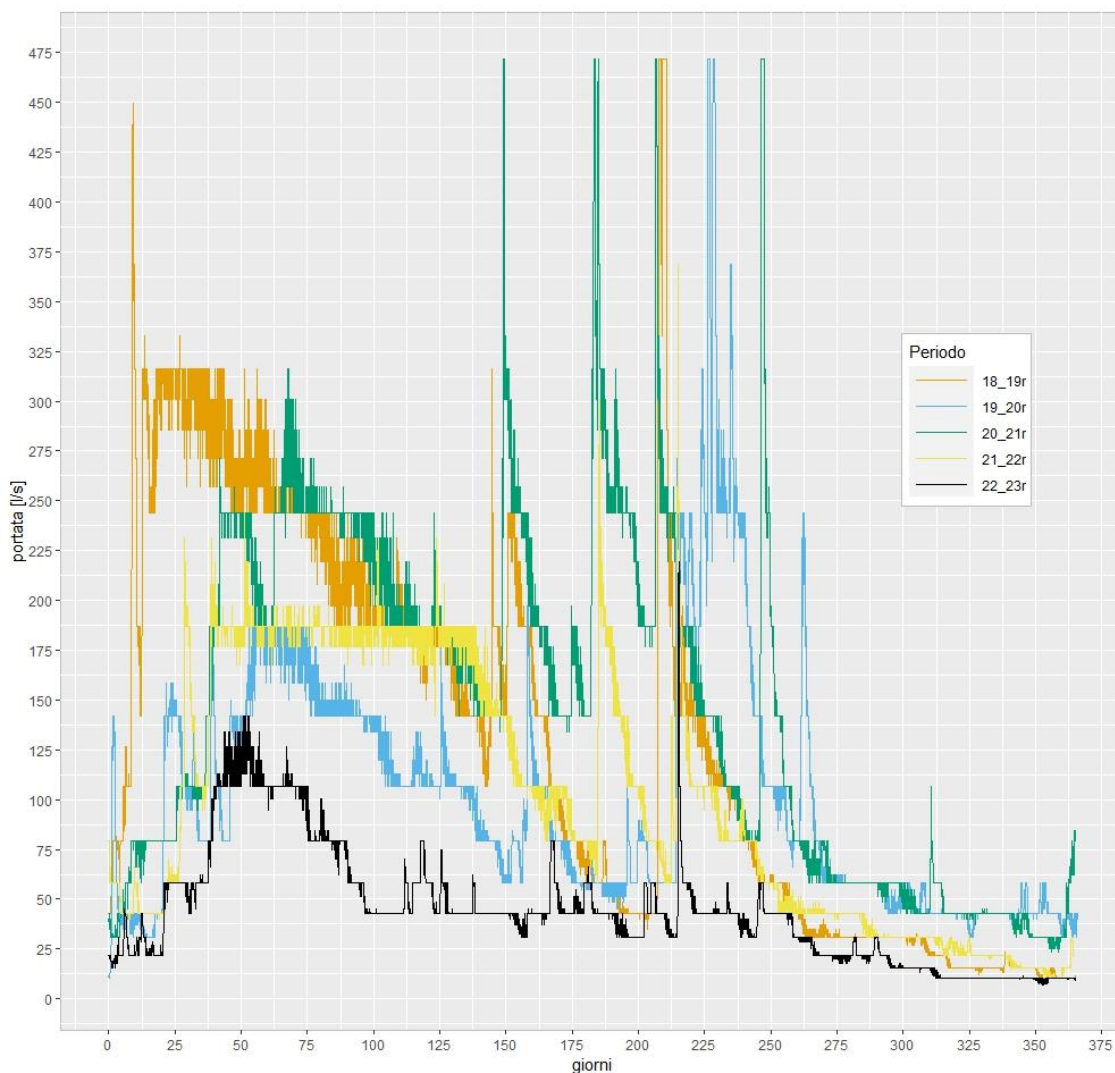


Fig. 4: Grafico di confronto tra la media oraria di portata calcolata nei cinque anni di monitoraggio, con valori solo inferiori alla massima portata ritenuta significativa (472 l/s).

Nel grafico di confronto annuale si osserva quindi che risultano “mozzati” almeno 5 picchi di piena, ma nessuno di questi appartiene agli ultimi 2 anni in indagine (aprile 2021- aprile 2023).

Per un confronto numerico di livelli e deflussi nella tabella si sono riportati i valori più significativi.

		Tabella 1				
Periodo		3 aprile 2018 – 3 aprile 2019	3 aprile 2019 – 3 aprile 2020	3 aprile 2020 - 3 aprile 2021	3 aprile 2021 - 3 aprile 2022	3 aprile 2022 - 3 aprile 2023
Valori registrati (medie orarie)	Pressione massima [bar]	0,0576	0,043	0,0586	0,0346	0,0326
	Pressione mediana [bar]	0,03	0,029	0,031	0,0292	0,027
	Pressione minima [bar]	0,023	0,023	0,0252	0,023	0,022
Valori calcolati	Portata minima [l/s]	10,6	10,6	23,4	10,6	7,2
	Portata massima [l/s]	472	472	472	368,5	219
	Volume defluito [mc]	4120713	3188342 ^{Nota}	4597849	3192876	1394464
	<i>Nota: il 29 febbraio 2020 ha contribuito al deflusso con 3681,5 mc</i>					

Se paragoniamo la mediana della pressione si osserva che l'anno 2022-2023 ha fatto registrare dei valori 0,002-0,004 bar inferiori a quelli degli anni precedenti che corrispondono all'incirca a 2-8 l/s in meno.

Moltiplicando questo dato per i secondi in un anno si ha un deficit dai 63072 ai 252288 mc.

Inoltre si osserva che la portata massima raggiunta, nell'ultimo anno, è meno della metà di quella massima significativa.

Il volume totale annuo defluito risulta assai ridotto. Se nei primi 4 anni il deflusso è stato di 3,2 – 4,6 milioni di metri cubi, il valore di 1,4 milioni di metri cubi è assai più basso.

Considerata $3,298 \cdot 10^6$ mc la media del deflusso del periodo, incluso il 2022-2023, il dato dell'ultimo anno è inferiore alla media di $1,9 \cdot 10^6$ mc.

Per entrare più nel dettaglio delle portate e del regime idrologico, nel grafico seguente si è paragonato il numero di ore, visualizzato in giorni, in cui si è riscontrata ogni singola portata per i vari anni di monitoraggio. Cioè suddivisi i dati per annualità dal 3 aprile ore 12:00 al 3 aprile successivo si sono ordinati gli stessi valori in maniera decrescente assegnando ad essi un progressivo in ore (1 – 8760) e giorni (1-365).

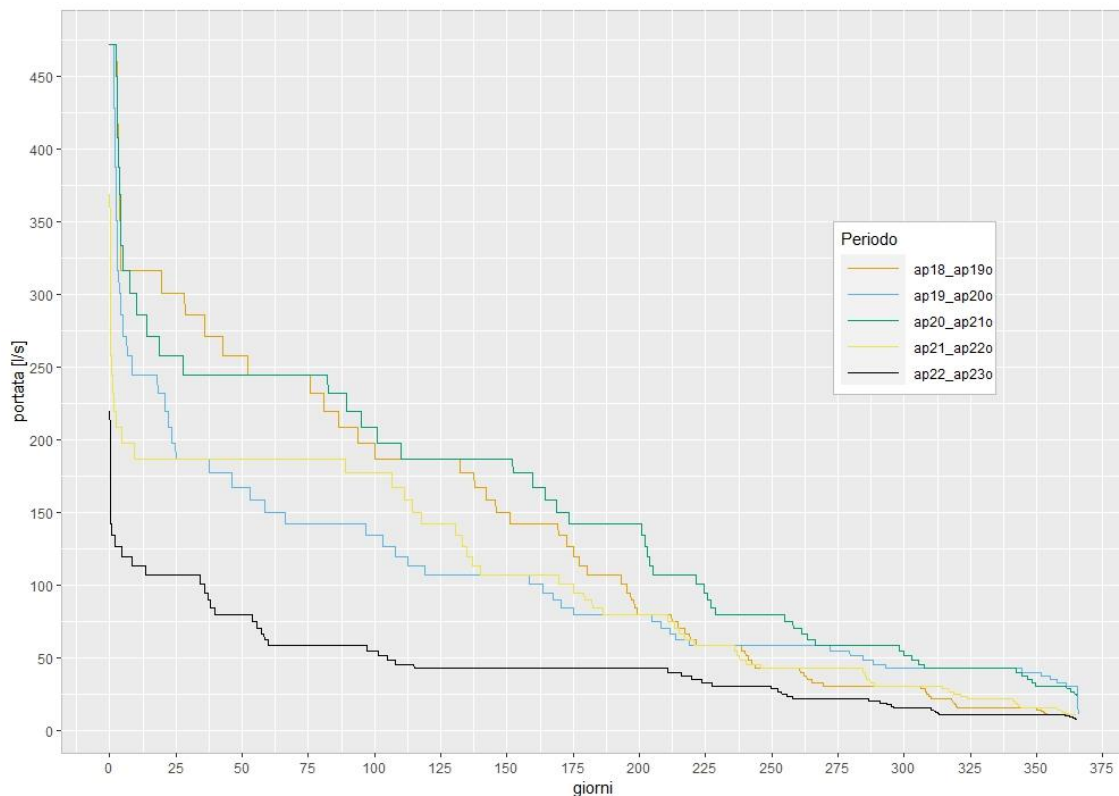


Fig. 5: Comparazione portate orarie e numero di giorni di riscontro delle stesse.

Come già evidenziato anche nel grafico di figura 5 si può notare che la portata massima dell'ultimo anno (in nero) è circa la metà di quella massima ritenuta significativa in base alle misure effettuate.

L'altra importante differenza osservabile è che le portate registrate per periodi più lunghi sono per il 2022-2023 (43 l/s circa 90 giorni, 10 l/s per circa 50 giorni) assai più basse di quelle degli anni precedenti che si manifestano però per periodi più brevi.

Quindi nel 2022-2023 da valori intermedi, coincidenti con i picchi di piena, si è passati direttamente a valori molto bassi.

Per gli altri anni invece si è avuto un lento calo con intervalli temporali a portate intermedie. Le portate minime (uguali o inferiori a 43 l/s) si sono avute solo per un centinaio di giorni.

Il flusso di base, con le portate minime (fig.6), che si hanno in genere nel periodo tardo invernale – inizio primavera, per il 2022-2023 è stato di 10 l/s la metà dei 20-25 l/s del 2018-2019 e 2021-2022, e ben più basso dei circa 43 l/s del 2019-2020 e 2020-2021.

Paragonando il deflusso di base si può osservare che il 2018-2019 ha raggiunto valori minimi simili a quelli del 2022-2023 ma pur sempre più alti e per periodi più brevi.

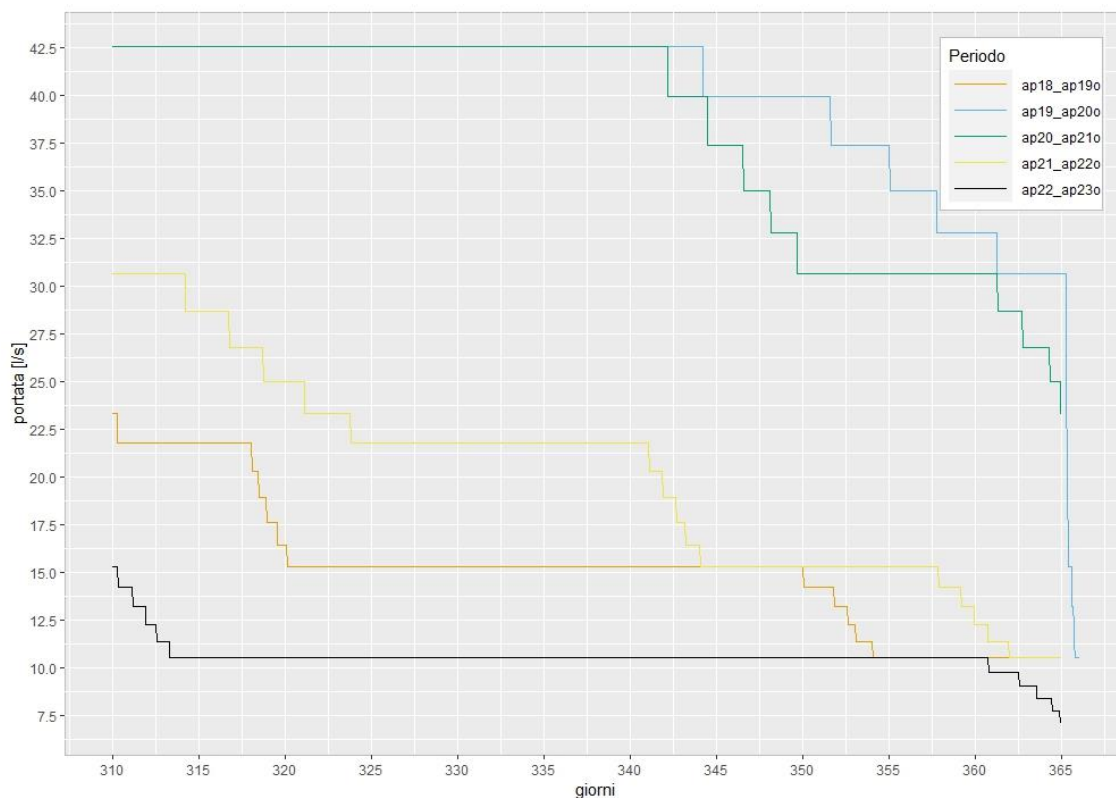


Fig. 6: Comparazione del deflusso di base nei vari anni.

Provando a fare un calcolo del volume totale defluito per le portate più basse si ottengono i valori di tabella 2 che paragonano i dati come se fossero degli ultimi 55 giorni del periodo annuale (310-365 giorni)

Tabella 2						
Periodo	3 aprile 2018 – 3 aprile 2019	3 aprile 2019 – 3 aprile 2020	3 aprile 2020 – 3 aprile 2021	3 aprile 2021 – 3 aprile 2022	3 aprile 2022 – 3 aprile 2023	
	sottoperiodo 310-365gg					
Valori calcolati	Portata minima [l/s]	10,6	10,6	23,4	10,6	7,2
	Portata massima [l/s]	23,4	42,6	42,6	30,7	15,3
	Volume defluito [mc]	72530	192257 ^{Nota}	181827	95482	50361
	Differenza volume rispetto a 2022-2023	22169	141896	131466	45121	-
<i>Nota: il 29 febbraio 2020 ha contribuito al deflusso con 3681,5 mc</i>						

Come si può notare anche il totale del flusso di base è sceso a circa il 70% di quello del 2019 e al 26% di quello del 2020.

Per il periodo primaverile-estivo, quello che maggiormente risente l'influsso dello scioglimento nivale, si hanno condizioni di morbida continua cioè portate sostenute. Per comparare i dati di questi anni si è scelto il periodo dal 7 aprile ore 14:00 (momento in cui tutte le serie di dati sono in aumento) alle 23 del 25 agosto (poco prima dell'inizio di un picco).

Gli idrogrammi sono riportati in figura 7 e in essa si può notare come l'estate 2022 presenti portate molto più basse degli altri anni, portate che sono quantificate in tabella 3.

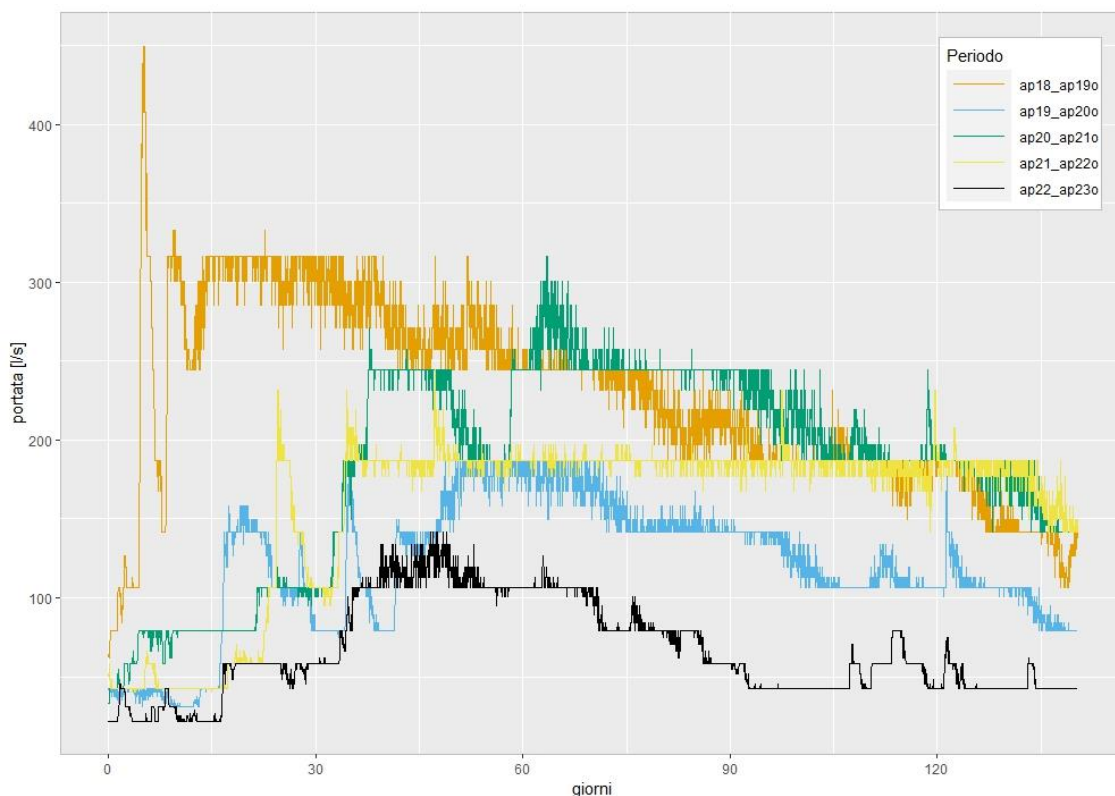


Fig. 7: Comparazione idrogrammi morbide estive (7 aprile – 25 agosto)

Tabella 3						
Periodo	3 aprile 2018 – 3 aprile 2019	3 aprile 2019 – 3 aprile 2020	3 aprile 2020 – 3 aprile 2021	3 aprile 2021 – 3 aprile 2022	3 aprile 2022 – 3 aprile 2023	
	sottoperiodo 7 aprile – 25 agosto					
Valori calcolati	Portata minima [l/s]	62,2	30,7	32,8	39,9	21,8
	Portata mediana [l/s]	231,5	119,5	186,8	186,8	58,5
	Portata massima [l/s]	449,6	197,2	316,5	244,1	141,7
	Volume defluito [mc]	2752333	1452276	2228122	1910293	809183
	<i>Differenza volume rispetto a 2022-2023</i>	1943150	643093	1412639	1101110	-
	<i>Precipitazioni [mm]</i>	590,2	640,8	561,2	587,6	421,8

Osservando i dati della tabella 3 si può intuire come l'estate 2022 abbia avuto sia i deflussi minimi che le minime precipitazioni. E' interessante notare che la minima differenza di acqua defluita è con l'anno 2020, anno che però ha visto le maggiori precipitazioni del sottoperiodo in esame. Questo è dovuto al fatto che il mese di agosto del 2020 è stato uno fra i più piovosi e nevosi riscontrati; contemporaneamente l'inverno 2019-2020 ha avuto un deficit di neve significativo (ARPAV Bollettino risorsa idrica n. 313 e 321).

3.3. Contributo nivale

Considerando che il bacino di alimentazione include accumuli nivali è molto probabile che una parte del deflusso sia dato da scioglimento di nevai o nevato presente alle pendici delle pareti.

Il contributo dello scioglimento nivale è deducibile paragonando l'idrogramma con l'andamento della conducibilità elettrica e la temperatura dell'acqua nel periodo estivo (Fig. 8). Nel grafico si osserva che la portata dai valori minimi primaverili inizia ad aumentare nonostante le scarse precipitazioni. Si osserva anche che più o meno contestualmente si verifica un calo di temperatura e di conducibilità. Altre variazioni di conducibilità sono da correlare alle precipitazioni in quanto simultaneamente si osserva un aumento di temperatura associabile alle piogge. Nel caso specifico del 2022 il calo drastico è intorno a metà maggio a cui si associano ulteriori diminuzioni di conducibilità elettrica in concomitanza di eventi piovosi. Da fine maggio in poi temperatura e conducibilità cominciano nuovamente e lentamente a risalire, probabile indizio che è terminato il diretto contributo nivale e l'acqua staziona un po più a lungo nell'acquifero consentendone nuovamente il riempimento dopo la magra invernale.

Vista la scarsità di precipitazioni dell'estate 2022 si è provato a fare il calcolo del volume minimo defluito presso la sorgente la cui origine potrebbe essere legata allo scioglimento nivale.

Non conoscendo l'area di alimentazione della sorgente è difficile determinare l'ammontare della componente del deflusso sotterraneo legata alla neve. Si può provare a fare un calcolo partendo dal deflusso di base di minimo 10,5 l/s (febbraio – aprile 2023) assumendo che sotto questo valore vi siano solo riserve permanenti nell'acquifero e quindi in poco tempo si arrivi all'interruzione del deflusso estivo viste le minime precipitazioni che si sono avute. Quindi la differenza (32,1 l/s) tra il minimo estivo (42,6 l/s) e il minimo assoluto primaverile (10,5 l/s) potrebbe indicare il minimo volume corrispondente alla neve e ghiaccio sciolti nel periodo estivo in assenza di precipitazioni. Si può così stimare che, durante l'estate 2022, quotidianamente siano usciti almeno 2773 mc di acqua associabili ad accumuli nivali.

Provando a comparare gli idrogrammi dei vari anni nei grafici delle figure 8 e 9 si sono evidenziati con righe blu verticali i periodi in cui il segnale idrogeochimico (conducibilità e temperatura in calo) evidenzia un prevalente contributo nivale e con righe gialle il breve periodo senza piogge entro il quale le portate potrebbero essere prevalentemente determinate dallo scioglimento nivale.

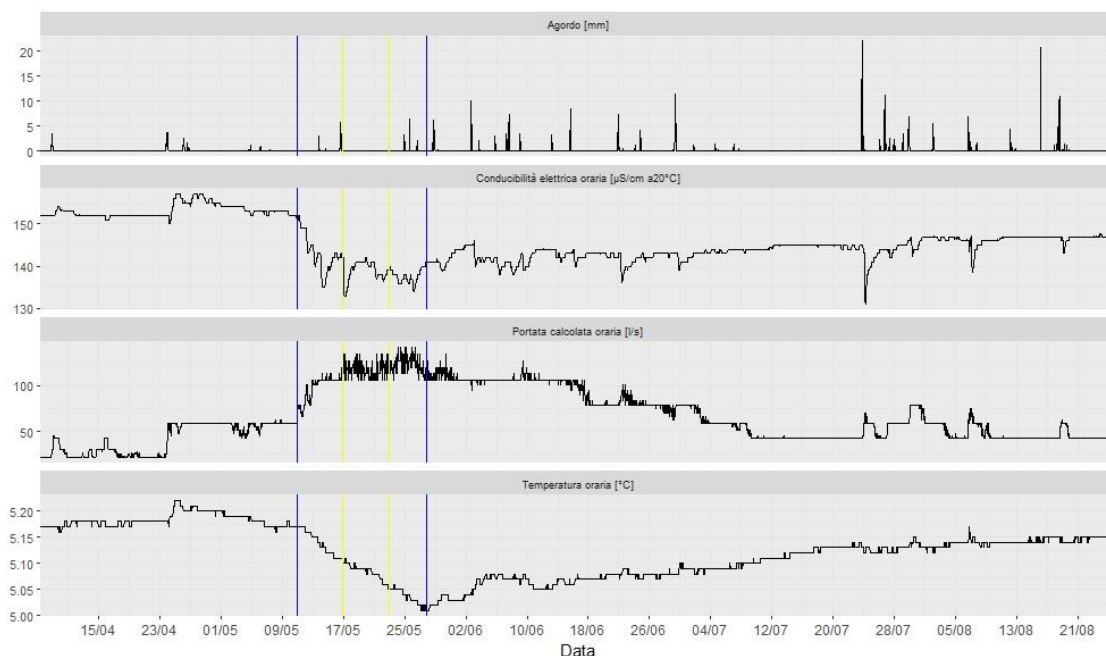


Fig. 8: Pluviogramma, idrogramma e chemiogramma del periodo estivo 2022. Le righe blu delimitano il periodo con prevalente deflusso da scioglimento nivale, quelle gialle indicano il periodo senza precipitazioni da cui si è estrapolata la portata usata per il calcolo del possibile contributo nivale.

Nei grafici si nota la differenza di ampiezza del periodo in cui vi è chiaramente deflusso da scioglimento nivale, periodi che vanno da 17 a 56 giorni.

Nel 2022 questo periodo è il più breve, 17 giorni, tutto in maggio, mentre per gli altri anni considerati, il periodo di scioglimento spazia tra aprile e luglio.

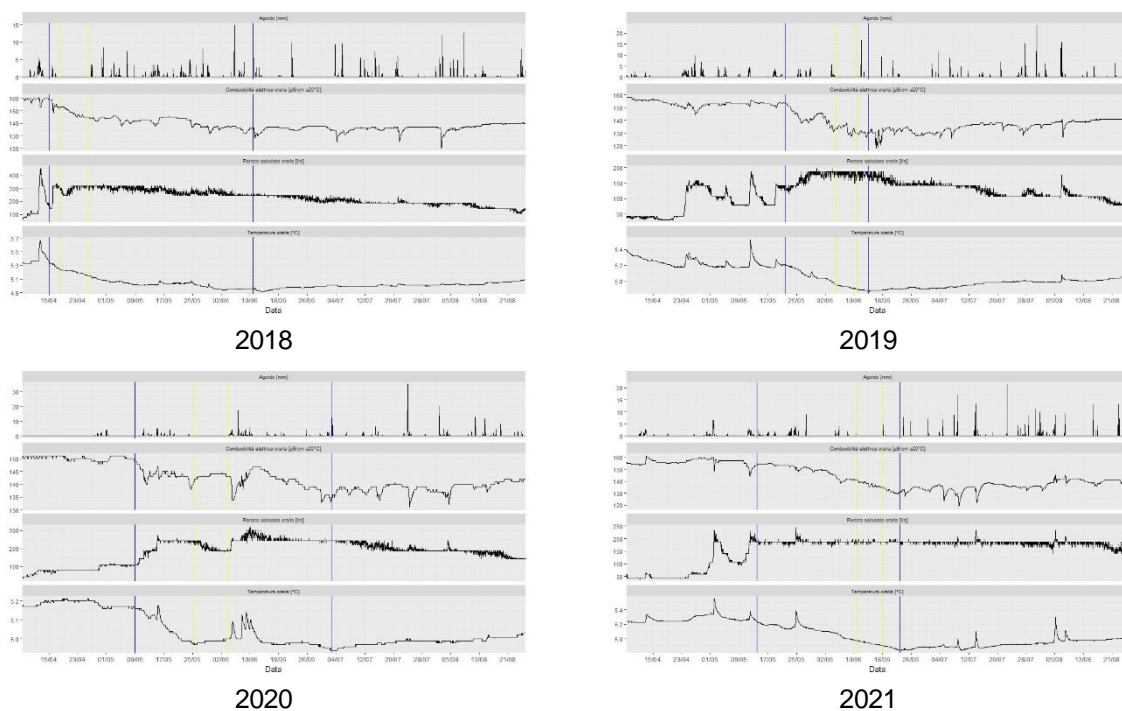


Fig. 9: Idro e chemiogrammi dei periodi estivi dei vari anni con evidenziati i periodi di forte contributo nivale al deflusso (righe blu) e breve intervallo senza precipitazioni dal quale si è estrapolata la portata di confronto.

Tenuto conto che non si riesce a distinguere gli apporti legati alle piogge e lo scioglimento nivale indotto dagli stessi apporti, per il calcolo dei volumi d'acqua di possibile contributo nivale (tabella 4), si è proceduto nel seguente modo. Entro i periodi selezionati si è individuato il sottoperiodo senza precipitazioni e si è individuata la portata più stabile, probabilmente quella meno influenzata dalle precipitazioni dei giorni precedenti (stabile). Partendo da questo valore si sono fatte due simulazioni. Per ottenere il contributo nivale giornaliero minimo nella simulazione alla portata stabile è stata sottratta la portata minima e frequente (min.rif) antecedente al periodo in cui ha inizio il calo di conducibilità e temperatura. Nella seconda simulazione alla portata stabile è stata tolta la portata del flusso di base minimo riscontrato (10,5 l/s primavera 2023) per ottenere il possibile massimo contributo nivale giornaliero. Come si può osservare dalla tabella sia le portate "stabili" sia quelle minime di riferimento sono abbastanza frequenti e quindi il contributo abbastanza uniforme. Non è così però per il 2022 che il contributo giornaliero è circa la metà di quello degli altri anni per entrambe le simulazioni.

Tabella 4								
anno	Deflusso per scioglimento			Portate di riferimento [l/s]			Ipotetico contributo nivale giornaliero [mc]	
	da	a	giorni	stabile	min rif.	base	minimo	massimo
2018	15/4	11/6	56	244	141,7	10,5	8838	20174
2019	22/5	14/6	23	186,8	141,7	10,5	3897	15232
2020	9/5	3/7	55	186,8	106,5	10,5	6937	15232
2021	14/5	23/6	40	186,8	100,5	10,5	7456	15232
2022	11/5	28/5	17	106,5	58,5	10,5	4147	8294

3.4. Coefficienti di svuotamento

In questo paragrafo si prova ad analizzare la curva di svuotamento del massimo evento di piena del 2022 e di uno del 2020.

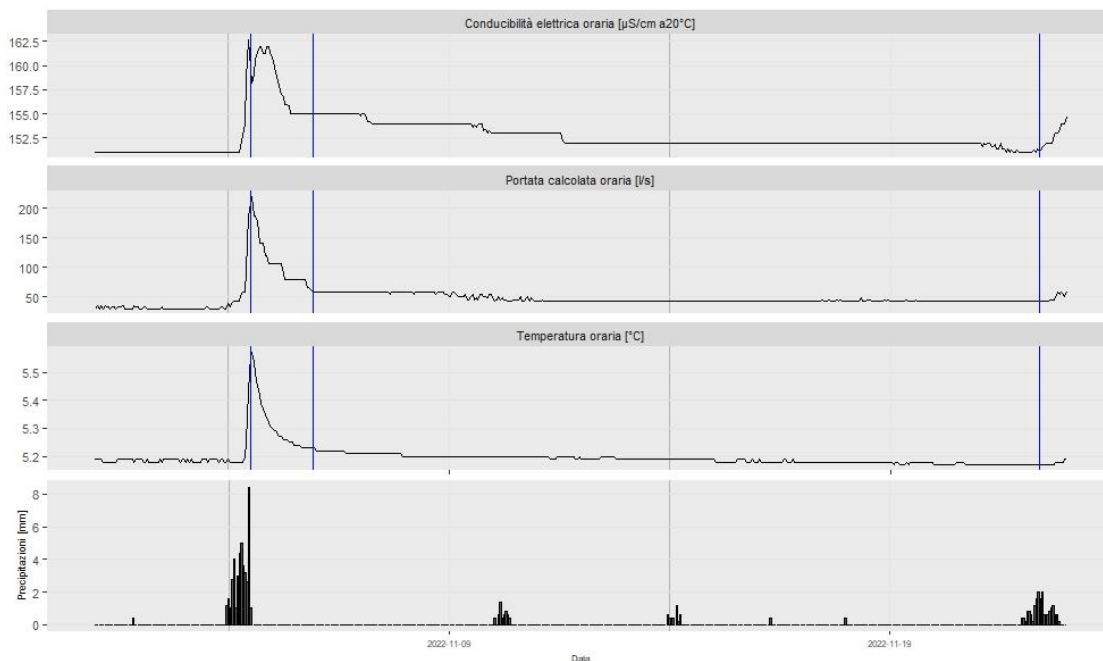
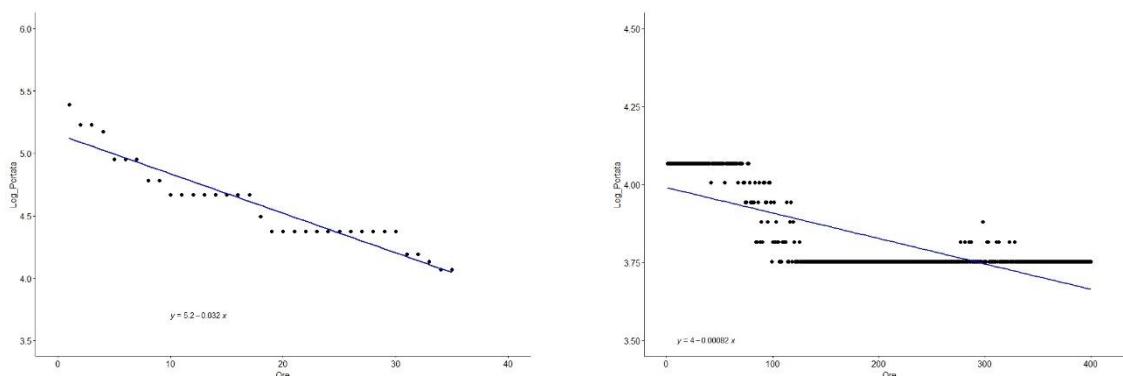


Fig. 10: Idrogramma del picco e svuotamento novembre 2022. Le porzioni tra le righe blu indicano dove si sono calcolati i coefficienti di svuotamento alfa.

Per il 2022 si è scelto di analizzare la curva di svuotamento del picco massimo che si è avuto a inizio novembre. La curva di svuotamento può essere suddivisa in 2 parti: una di decremento dal 4 al 5 novembre, ed una di esaurimento dal 5/11 al 22/11. I coefficienti α ottenuti sono rispettivamente di 0,032 e 0,00082.



Decremento dalle ore 13 del 4/11/2022 alle ore 23 del 5/11/2022. Coefficiente $\alpha = -0,032$. Portata da 219 a 58 l/s.

Esaurimento dalle ore 23 del 5/11/2022 alle 10 del 22/11/2022. Coefficiente $\alpha = -0,00082$. Portata da 58 a 43 l/s.

Fig. 11: Coefficienti alfa curva di svuotamento 4-22 novembre 2022

Per il 2020 si è scelto un picco autunnale con portata di picco stimata sull'ordine dei 600 l/s. In questo caso la curva di svuotamento è stata suddivisa in 3 porzioni una per il decremento e altre due per l'esaurimento.

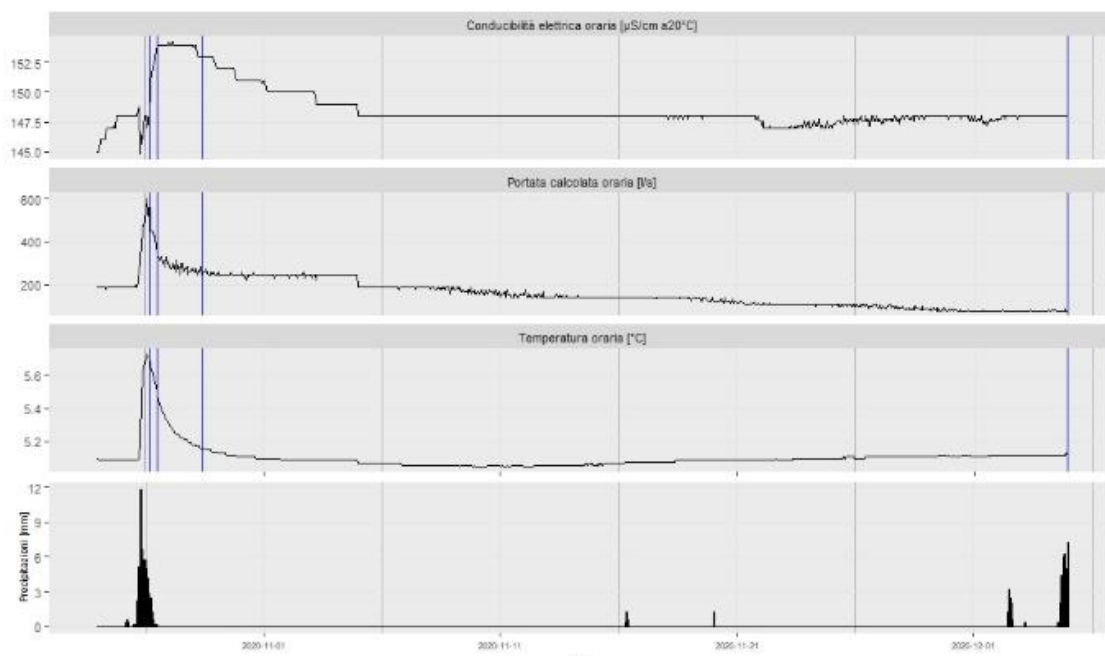
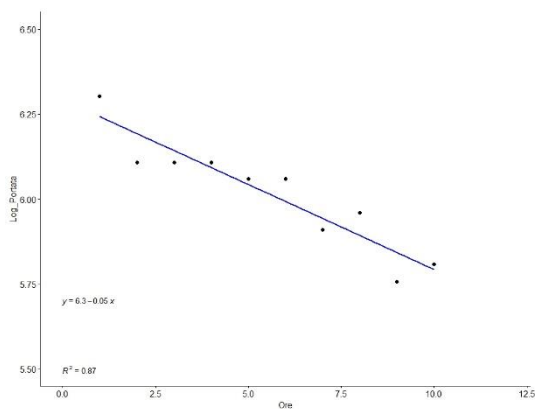
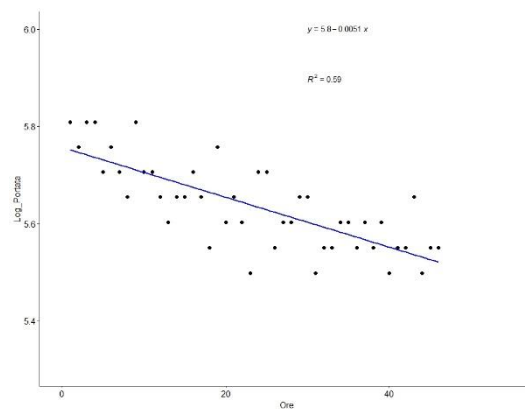


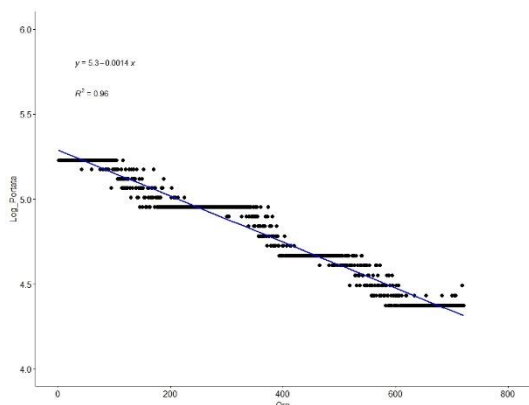
Fig. 12: Idrogramma del picco e svuotamento novembre 2020. Le porzioni tra le righe blu indicano dove si sono calcolati i coefficienti di svuotamento alfa.



Decremento dalle ore 5 alle ore 14 del 27/10. Coefficiente $\alpha = -0,05$. Portata da 546 a 333 l/s



Decremento dalle 14 del 27/10 alle 11 del 29/10. Coefficiente $\alpha = -0,0051$. Portata da 333 a 257 l/s



Esaurimento dalle ore 11 del 29/10 alle 00 del 05/12. Coefficiente $\alpha = -0,0015$. Portata da 257 a 79 l/s

Fig. 13: Coefficienti alfa curva di svuotamento 27 ottobre – 5 dicembre 2020

In figura 14 si può osservare che il picco del 2022 ha un corto e veloce decremento seguito da un relativamente lungo e lento esaurimento. La piena del 2020 ha invece uno svuotamento più veloce, ma più lungo nel tempo. Confrontando l'intervallo di portata dei due picchi si può notare che il picco del 2022 ha avuto un decremento molto più veloce del picco del 2020 che per lo stesso intervallo di portata era in fase di esaurimento. Questo può indicare che l'acquifero era già vuoto e le precipitazioni che hanno originato il picco non sono state sufficienti per incrementare il livello idrico interno e rimpinguare le riserve dinamiche.

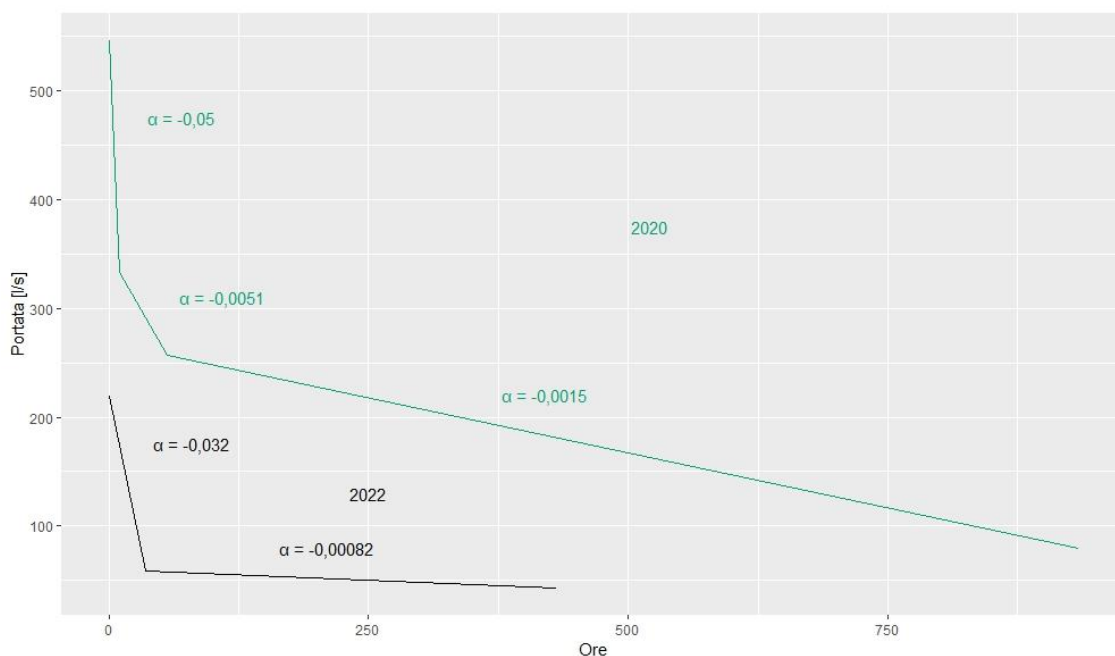


Fig. 14: Confronto delle curve di svuotamento dei picchi analizzati.

3.5. Area di alimentazione

Dai valori totali d'acqua defluiti (tenuto conto delle sole portate non superiori a 472 l/s) e dalle precipitazioni si prova a fare un calcolo approssimato dell'estensione dell'area di alimentazione. Pur non tenendo conto della componente di ruscellamento e del fatto che gli accumuli nevosi contribuiscono al deflusso in ritardo, nella tabella seguente si riportano i dati dei singoli anni idrologici. In questo caso si preferisce fare il calcolo con base l'anno idrologico in quanto inizio e fine in autunno permettono di associare gli apporti nevosi al corrispondente deflusso estivo.

Partendo dal presupposto che il bilancio idrologico annuale sia in pareggio e che gli accumuli nevosi vengano smaltiti nello stesso anno si è provveduto a calcolare la minima area di alimentazione come:

- rapporto tra il volume annuo defluito e le precipitazioni annue totali della stazione meteo di Agordo
- rapporto tra il volume annuo defluito e le precipitazioni efficaci, cioè le precipitazioni totali annue al netto dell'evapotraspirazione
- rapporto tra il volume defluito e l'ipotetico volume calcolato mediante il coefficiente unitario del bacino del Tegnias chiuso alla presa Ai Vanti.

Tabella 5					
Anno Idrologico	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022 - 2023 parte
Precipitazioni [mm]	1758.8	1772.4	1737.4	945.2	311.8
Deflusso [mc]	2627203	4281644.6	4020091.8	1877587.0	447323.1
Area [kmq]	1,49	2,42	2,31	1,99	1,43
Evapotraspirazione [%]	58	58	58	58	58
Precip. effic. [mm]	739	744	708	397	131
Area [kmq]	3,56	5,75	5,51	4,73	3,42
Coeff. unitario [l/s kmq]	41	41	41	41	
Deflusso ipotetico [mc]	1292976	1292976	1292976	1292976	
Area [kmq]	2,03	3,31	3,11	1,45	

Come si può vedere dalla tabella 5 l'area di alimentazione così calcolata è sull'ordine 1,4 -2,4 kmq sulla precipitazione totale e lievemente superiore (1,4 – 3,3 kmq) se calcolata con il coefficiente unitario.

Le dimensioni aumentano ovviamente (3,4 – 5,7 kmq) sottraendo l'evapotraspirazione.

L'area di alimentazione così calcolata è da intendersi sottostimata e affetta dall'approssimazione di aver escluso le portate superiori ai 472 l/s perchè ritenute non adeguatamente calcolate. Queste approssimazioni però si hanno solo per gli anni idrologici 2018-2019 e 2020-2021 che sono stati caratterizzati da eventi estremi e quindi il calcolo della portata oraria per i momenti di picco è fortemente sbilanciato verso valori alti. In questi due casi che presentano una variazione di deflusso calcolato superiore del 30% e 15% corrispondono incrementi di area di alimentazione sull'ordine di 0,5 e 0,4 kmq e di 1,2 -1,1 kmq nel caso si consideri l'evapotraspirazione.

3.6. Bibliografia

ARPAV Dipartimento Regionale Sicurezza del Territorio (2020): Bollettino risorsa idrica n. 313. 30 aprile 2020

ARPAV Dipartimento Regionale Sicurezza del Territorio (2020): Bollettino risorsa idrica n 321. 31 agosto 2020.

Bonat M., Lucianetti G., Mastrotillo L., Viaroli S., Mazza R. (2019): The role of alpine valley fill deposits for groundwater storage (Dolomites, Italy). Grundwasser, v.25 (2019): 3-14.

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

Mietto P. (2005): Elenchi catastali delle grotte del Veneto X aggiornamento generale. Supplemento a Speleologia Veneta, v. 13, 112 pp., Federazione Speleologica Veneta, Vicenza.

Pisa G., Farabegoli E., Ott E. (1978): Stratigrafia e paleogeografia dei terreni Anisici della conca di Agordo e dell'Alta Val di Zoldo (Dolomiti sudorientali). Mem. Soc. Geol. It., v. 18, pp. 63-92.

Testa B., Aldighieri B., D'Alberto L., Lucianetti G., Mazza R. (2019): Hydrogeology and Hydromorphology: a Proposal for a Dual-Key Approach to Assess the Geo-Hydrological Heritage Site of the San Lucano Valley (Belluno Dolomites, Italy). Geoheritage; v. 11, 309–328.

4. Appendice

4.1. Strumentazione e dettagli metodologici

Dal 3 aprile 2018 è stata installata una sonda (modello CTD mini della OTT) con registrazione in continuo presso la sorgente San Lucano – La Scafa. La sonda rileva conducibilità, temperatura e livello; si è scelto un intervallo di misura di 12 minuti. La registrazione del livello è in bar di battente d'acqua. 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). La risoluzione è 0,0001 bar o 0,1 cm. Questa, secondo l'equazione delle portate usata corrisponde ad una differenza di portata come indicato in tabella.

Pressione [bar]	Portata [l/s]	Differenza [l/s]
0,0219 - 0,022	6,9 – 7,2	0,3
0,0284-0,0285	66,1 – 68,2	2,1
0,0355 – 0,0356	460,7 – 472,2	11,5

La sonda è stata installata in un tubo del diametro di un pollice forato posizionato nella pozza tra i blocchi allo sbocco della cavità.

4.2. Misure di portata

Le misure di portata sono state fatte con due diversi correntometri. Fino ad inizio 2020 micromulinello SEBA, mentre successivamente correntometro elettromagnetico OTT MFPro. La sezione di misura usata è nel torrente quasi alla base del tratto molto ripido. Si è osservato però che in condizioni di magra si esegue una miglior misura appena a valle della cascata e non nel ripido alveo detritico per probabile infiltrazione in subalveo.

Data	Pressione media oraria	Portata misurata	Portata calcolata	Differenza misurata - calcolata	Differenza	Note
	[bar]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	%	
22-mag-18	0,0332	169	257,29	-88,29	-52,24	
23-mag-18	0,0334	207	271,09	-64,09	-30,96	Univ. RomaTre
09-lug-18	0,032	200	186,79	13,21	6,6	
13-ago-18	0,031	159	141,71	17,29	10,87	Univ. RomaTre
04-set-18	0,0324	223	208,1	14,9	6,68	
05-dic-18	0,028	112	58,46	53,54	47,8	
22-feb-19	0,024	17	15,29	1,71	10,06	
06-giu-19	0,032	222	186,79	35,21	15,86	
31-ago-19	0,028	82,6	58,46	24,14	29,23	
07-nov-19	0,0324	210	208,1	1,9	0,9	
12-giu-20	0,0332	243,2	257,29	-14,09	-5,79	
07-ott-20	0,0338	288,5	300,67	-12,17	-4,22	
19-apr-21	0,027	16	42,61	-26,61	-166,31	
20-lug-21	0,032	206	186,79	19,21	9,33	
14-ott-21	0,0308	173	133,95	39,05	22,57	
09-feb-22	0,026	20,5	30,68	-10,18	-49,66	
27-mar-22	0,023	8	10,56	-2,56		escluso
04-lug-22	0,028	68	58,46	9,54	14,03	
21-set-22	0,027	25	42,61	-17,61	-70,44	
06-nov-22	0,028	54,06	58,46	-4,4	-8,14	
28-gen-23	0,024	4,6	15,29	-10,69		escluso
15-apr-23	0,0222	10,5	7,76	2,74	26,1	

4.3. Deflusso totale

Il calcolo del deflusso totale è stato influenzato dal non disporre di alte misure di portata in condizioni di piena e contemporaneamente di includere nel periodo 2 eventi estremi (fine ottobre 2018 e inizio dicembre 2020). Nella tabella che segue sono messi a confronto i valori di portata totali defluiti sia considerando l'intero intervallo di livello registrato che ottenuti sostituendo il valore 472 l/s ai picchi superiori alla significatività dell'equazione delle portate.

Anno Idrologico	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022 - 2023 <small>parte</small>
Deflusso [mc]	3508368	4348806	4709310	1877587	447323
Deflusso non superiore a 472 l/s [mc]	2627203	4281645	4020092	1877587	447323
Differenza [mc]	881165	67162	689218	0	0
Anno solare	3 aprile 2018 – 3 aprile 2019	3 aprile 2019 – 3 aprile 2020	3 aprile 2020 - 3 aprile 2021	3 aprile 2021 - 3 aprile 2022	3 aprile 2022 - 3 aprile 2023
Deflusso [mc]	5001958	3254913	5288149	3192462	1394383
Deflusso non superiore a 472 l/s [mc]	4120792	3188541	4598141	3192462	1394383
Differenza [mc]	881166	66372	690008	0	0

4.4. Elaborazioni statistiche

Per il periodo in indagine si sono effettuate alcune elaborazioni statistiche. Per scegliere quale stazione meteorologica sia meglio correlata all'andamento della sorgente si è calcolata la correlazione incrociata tra le precipitazioni e le portate. Il coefficiente più alto 0,22 è risultato per le stazioni meteo di Agordo e di Sant'Andrea di Gosaldo con un tempo di ritardo di 6 e 5 ore. La stazione di Passo Valles è risultata avere una correlazione di 0,18 con 9 ore di ritardo. Si è deciso di usare quindi i dati di precipitazione della stazione di Agordo e non quelli di S.Andrea di Gosaldo perchè questa stazione durante l'evento di fine ottobre 2018 ha avuto un'interruzione.

4.5. Precipitazioni

Per le precipitazioni si sono usati i dati orari e giornalieri di alcune stazioni meteo presenti nell'area circostante (Centro Meteo Teolo – ARPAV).

Come si è visto il deflusso totale annuo è stato altalenante tra $3,2 \cdot 10^6$ e $4,6 \cdot 10^6$ mc, ma nell'ultima annata esso è sceso a $1,4 \cdot 10^6$ mc.

Nella seguente tabella sono riportate le precipitazioni delle stazioni di Agordo, Col di Prà, S. Andrea di Gosaldo.

Si può osservare come nel periodo aprile 2022 - aprile 2023 vi è stato un drastico calo di precipitazioni che rispetto alla media del breve periodo è dell'ordine 600 – 800 – 660 mm e rispetto al lungo periodo è dell'ordine di 610 – 840 – 530 mm.

	Precipitazioni annue [mm]		
	Agordo	Col dei Prà	S. Andrea Gosaldo
2018-2019	1569.8	1759.6	2015.8
2019-2020	1873.2	2127.8	2387.0
2020-2021	1885.8	2123.0	2229.8
2021-2022	1036.0	1275.8	1462.6
2022-2023	838.0	809.8	1191.0
Media	1440	1619	1857
Dati medi 1993-2016			
precipitazioni	1453	1654	1721
evapotraspirazione	838	764	626
evapotraspirazione %	58	46	36

4.6. Software

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.

Unità Organizzativa Qualità delle Acque e Tutela della Risorsa Idrica

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