



REGIONE MARCHE
DIPARTIMENTO INFRASTRUTTURE, TERRITORIO E PROTEZIONE CIVILE
DIREZIONE AMBIENTE E RISORSE IDRICHE

SEDE CENTRALE: Via Palestro, 19 - 60125 ANCONA

SEDE TERRITORIALE DI PESARO: Viale della Vittoria, 117 - 61121 PESARO

COMUNE	LOCALITÀ	BACINO IDROGRAFICO
Cagli	Gola del Burano – Fiume Burano	Fiume Metauro

Oggetto:

Pozzo Cagli 1. Monitoraggio a seguito dell'apertura nell'estate 2021

Tipo documento:

RELAZIONE TECNICA

Allegati:	A - Cartografia dell'area di interesse B1 - dati testa pozzo 6 agosto B2 - dati risalita testa pozzo B3 - Dati medi testa pozzo C - Analisi chimiche 2021	
	Redatto da: Dott. Francesco Bocchino con il contributo del Dott. Antonio Mari	
Data inizio redazione	Data ultimo controllo	Data emissione
Novembre 2021	Giugno 2022	Giugno 2022
Revisione	Codice/Nome documento	
2		

1. INTRODUZIONE

Nel corso dell'estate del 2021 a seguito della scarsità di precipitazioni nei mesi primaverili e di inizio estate si è determinata una situazione di severità idrica alta per l'approvvigionamento idropotabile nel territorio dell'AATO 1 sugli schemi idrici più importanti.

Sullo schema idrico dell'acquedotto principale le ridotte portate del torrente Candigliano e del Fiume Metauro hanno comportato la necessità di adottare alcune azioni di contrasto al fine di garantire l'approvvigionamento idropotabile e tra queste l'apertura del pozzo Cagli 1. La funzionalità degli apparati elettrici e meccanici della testa pozzo era stata verificata con una apertura effettuata ad inizio autunno 2020.

Tra le azioni di contrasto adottate, oltre all'attivazione delle captazioni integrative e di soccorso, alle ordinanze per ridurre i prelievi dai corsi d'acqua, è stata chiesta ed attivata la riduzione dei rilasci dagli invasi gestiti dall'Enel, dal 9 luglio all'8 ottobre, l'apertura del pozzo profondo S. Anna (sito nella dorsale del Furlo nella ex cava in località S. Anna) dall'11 luglio all'11 ottobre e l'apertura del pozzo Cagli 1, sino ad un massimo di circa 300 l/s, dal 6 agosto al 20 settembre.

Con l'apertura del pozzo sono stati monitorati i dati di pressione e temperatura a testa pozzo e di portata rilasciata in alveo, nonché le stazioni della rete idro-meteorologica del Centro Funzionale della Protezione Civile e delle portate emunte dalle sorgenti Trella-Cornacchia e di Pieia.

Inoltre, sono state effettuate alcune analisi chimiche sulle acque emunte durante il periodo di apertura del pozzo.

I dati di pressione, portata e temperatura a testa pozzo sono stati ottenuti direttamente dal sistema on-line reso disponibile da Marche Multiservizi, mentre i dati delle analisi chimiche e della pressione presso il vecchio pozzo dell'Acquedotto sono stati forniti da Marche Multiservizi.

I dati delle portate fluviali e delle precipitazioni sono stati ottenuti dal sistema Sirmip on-line gestito dal Centro Funzionale della Protezione Civile Regionale che ha fornito le credenziali per l'accesso ai dati.

Nel seguito sono riportate le analisi e le valutazioni sui dati raccolti.

Nell'allegato A è riportata una cartografia dell'area di interesse con l'ubicazione del pozzo Cagli 1, del pozzo vecchio dell'acquedotto di Cagli, delle sorgenti di Pieia e Trella-Cornacchia e delle stazioni di monitoraggio idrometriche e meteo del Centro Funzionale della Regione Marche citate nel testo.

Si ringrazia il personale di Marche Multiservizi (Mauro Franco, Fabio Arcangeli, Andrea Tiboni) per l'assistenza durante le operazioni di apertura del pozzo, con l'estrazione dei dati rilevati e registrati presso i loro sistemi di controllo e per i campionamenti dell'acqua analizzata presso il laboratorio di Marche Multiservizi.

Si ringrazia anche il personale del Centro Funzionale della Protezione civile regionale (Francesca Sini, Valentino Giordano, Marco Lazzeri) per le misure di portata dirette in alveo presso le stazioni idrometriche del Centro Funzionale regionale e la fornitura dei dati rilevati, nonché per l'accesso potenziato alla banca dati Sirmip-Online.

Inoltre Pierpaolo Tiberi dell'attuale Direzione Protezione Civile e Sicurezza del Territorio per l'aiuto nella ricerca e raccolta dei documenti relativi allo studio eseguito da Aquater e alle attività di monitoraggio eseguite successivamente.

2. DESCRIZIONE DEL POZZO

La perforazione del pozzo "Cagli 1" è terminata il 23 settembre 1991 e il montaggio dell'originaria testa pozzo è stata completata il 4 ottobre 1991.

Il pozzo ha una profondità di 262,50 m, dei quali i primi 97,50 m incamiciati con casing di diametro variabile da 24" (61 cm) a 13 3/8" (34 cm), mentre la restante parte, per un'altezza di 165 m, è a foro libero da 12 1/4" (31 cm).

Durante la perforazione la pressione registrata è stata pari a:

- 3 bar da circa 27.5 m a circa 44 m di profondità;
- 6 bar a circa 79.0 m;
- 13 bar da circa 53 m a circa 122 m di profondità;
- 22 bar da circa 126 m a fondo foro;

Durante la perforazione è stata riscontrata una portata:

- variabile tra 0.5 l/s e circa 5 l/s sino a 124.5 m di profondità;
- variabile tra circa 35 l/s a 170 l/s tra 125 m e 217 m (con significativo incremento alla quota di 205 m);
- variabile tra 225 l/s e 250 l/s tra circa 231 m e 247 m, con venute più significative a 234.0 m, 237.5 m e 234 m;
- con aumento improvviso sino a 300 l/s a circa 247.5 m, per la presenza di una cavità;
- con aumento improvviso a 360 l/s a circa 250 m di profondità per l'incontro di una importante frattura;
- in ulteriore aumento, in particolare a 253.0 m e 259.5 m raggiungendo circa 520-530 l/s con perforazione a fondo foro.

Ordinariamente il pozzo è utilizzato per prelevare una portata media di circa 30 l/s (variabile tra 22 e 38 l/s) per servire i comuni di Cagli e Acqualagna, mentre il suo utilizzo per alimentare il Fiume Burano è consentito solo in caso di situazioni di emergenza/siccità.

3. PRECEDENTI PROVE DI POMPAGGIO

A seguito della realizzazione del pozzo Cagli 1 sono state fatte dall'Aquater due prove di pompaggio.

La prima tra il 09/04/1992 e il 16/04/1992, con vari gradini di portata (50.3 – 99.2 – 214.0 – 296.0 – 398.0 l/s). Da tale prova è stata valutata dall'Aquater una portata critica del pozzo di 340 l/s e una portata ottimale di 300 l/s; secondo l'Aquater le perdite

di carico erano esclusivamente attribuibili alla risalita dell'acqua nel pozzo. Dalla curva di risalita è stata valutata una trasmissività di $1,7 * 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

La seconda prova di portata è stata effettuata il 27/05/1992 con 8 gradini di portata (66.1 – 117.0 – 189.9 – 238.0 – 269.4 – 318.2 – 371.7 – 415 l/s). Dalla seconda prova l'Aquater ha valutato che sino a alla portata di 415 l/s non è stato individuato il punto critico di emungimento e che, pertanto, la portata ottimale di emungimento potrebbe essere maggiore o uguale a 415 l/s. Anche in questo caso l'abbassamento del livello durante il pompaggio è stato imputato principalmente alle perdite di carico dovute al diametro del pozzo. Di questa prova di pompaggio non è stato trovato il rapporto con i dati registrati durante la stessa.

Successivamente sono state effettuate altre prove di emungimento o apertura del pozzo per varie durate e differenti portate. Quelle per le quali sono stati reperiti alcuni dati e/o la descrizione sono le seguenti:

- prove effettuate tra aprile e agosto 1994, con portate di 30.2-30.5 l/s e 61.5 l/s;
- prove effettuate ad aprile-maggio e settembre 1997, con portate di 200 l/s;
- prove effettuate a febbraio, luglio-agosto e settembre-ottobre 1998, con portate di circa 300 l/s e 395 l/s;
- aperture ad aprile e ottobre 1999 con portate tra 98 l/s e 380 l/s;
- prova effettuata dal 31 luglio 2003 al 20 agosto 2003 con i seguenti gradini di portata: 100 - 150 - 300 - 400 - 300 - 150 - 100 l/s.

Successive aperture sono state effettuate negli anni 2000, in particolare in occasione di anni siccitosi per sostenere le portate fluviali e l'approvvigionamento idropotabile. Gli ultimi anni durante i quali sono state effettuate le aperture sono stati il 2007, 2012, 2017 e il 2020.

Dell'apertura effettuata nel 2020 è stato redatto il report "*Pozzo Cagli 1. Verifica della funzionalità della testa pozzo e prova di emungimento. Rapporto preliminare*" del 6 ottobre 2021.

4. SINTESI DELLA SITUAZIONE DELL'ESTATE 2021

Dai dati forniti giornalmente da Enel si è notato che a causa delle ridotte precipitazioni primaverili le portate giornaliere stimate in arrivo alle dighe si sono ridotte sin dall'inizio di giugno, con valori inferiori a quelli del 2017 (anno siccitoso) già dal 22 giugno, scendendo rapidamente sotto i 1350 l/s.

La riduzione delle portate si è notata anche presso l'idrometro di Acqualagna del Centro Funzionale della Protezione Civile, posto a monte dell'invaso del Furlo, che ha mostrato un andamento simile; al 4 luglio la portata media giornaliera stimabile dalla scala di deflusso provvisoria è pari a circa 740 l/s, comunque inferiore ai 1350 l/s sopra citati.

Parallelamente si sono ridotti notevolmente anche gli apporti dal Fiume Metauro.

Il valore di portata di 1350 l/s in ingresso alla diga del Furlo è un valore di attenzione significativo del possibile approssimarsi della sofferenza del sistema di approvvigionamento idropotabile, in quanto circa corrispondente alla somma delle

portate da concessione (600 l/s) e di rilascio attuale dalla diga di Tavernelle (750 l/s). Pertanto, con valori di portata in arrivo alla diga del Furlo inferiori a tale limite e portate in arrivo dal Fiume Metauro molto ridotte, come può accadere nei mesi estivi, il sistema di approvvigionamento dell'acquedotto principale (che serve circa 231000 abitanti) può entrare in deficit.

Il giorno 2 luglio si è tenuto il Comitato Provinciale di Protezione Civile durante il quale è stato fatto il punto della situazione.

In data 7 luglio con nota prot. 0845419|07/07/2021|R_MARCHE|GRM|SMD|P la P.F. Tutela delle acque e Difesa del Suolo e della Costa ha disposto la possibilità di adottare una deroga ai rilasci delle dighe al verificarsi di condizioni definite (portate stimate in ingresso alla diga del Furlo inferiori a 1200 l/s e volume utile di regolazione presso gli invasi inferiore al 50% di quello massimo disponibile sui tre invasi) e l'indicazione di alcune prescrizioni tra le quali l'attuazione di monitoraggi.

Il 12 luglio, vista la riduzione dei volumi invasati presso le dighe, si è tenuta una riunione ristretta del Comitato Provinciale di Protezione Civile nel corso della quale si è deciso di provvedere all'apertura del pozzo profondo S. Anna, con il rilascio dell'acqua emunta nel Torrente Candigliano, per una portata di 100-150 l/s.

Il 6 agosto si è tenuto un Comitato di Protezione Civile nel corso del quale, vista la situazione delle ridotte portate in arrivo alle dighe e dei limitati volumi invasati è stato deciso di effettuare l'apertura del pozzo Cagli 1 con una portata sino a 150 l/s; prima di mantenere il prelievo costante a circa 150 l/s è stata effettuata una prova di emungimento a gradini di breve durata con prelievo sino a 400 l/s, il giorno 6 agosto.

Successivamente, il giorno 11 agosto, vista la situazione ancora critica, con una riunione in forma ristretta del Comitato di protezione Civile è stato deciso di aumentare il prelievo dal pozzo Cagli 1 sino a 300 l/s.

Con il miglioramento della situazione dei deflussi fluviali, a seguito di alcune precipitazioni a fine agosto, nel corso del Comitato di Protezione Civile del 3 settembre è stato deciso di ridurre il prelievo del pozzo Cagli 1 da circa 300 l/s a circa 150 l/s.

Con il verificarsi di ulteriori precipitazioni intorno al 20 settembre e a seguito di un parziale recupero dei volumi invasati presso le dighe si è deciso di interrompere il prelievo dal pozzo Cagli 1.

Infine, a seguito delle abbondanti precipitazioni avute all'inizio di ottobre, nell'ambito del Comitato di Protezione Civile del 12 ottobre è stata decisa l'interruzione del prelievo dal pozzo S. Anna, sino ad allora mantenuto sempre attivo.

Tabella 1 – sintesi apertura del pozzo Cagli 1

Giorno	Ora (circa)	Portata emunta rilasciata in alveo (l/s)	Note	Analisi chimiche (data e portata immessa nel fiume Burano)
06/08/2021	12:00	150 (0-400)	Apertura del pozzo con una prova a gradini della durata di 30' con prelievo da 50 l/s a 400 l/s; dalle ore 20:00 riduzione del prelievo a 150 l/s.	06/08 (n. 2 campioni: a 100 l/s e 397 l/s) 07/08 (150 l/s) 11/08 (147 l/s)
11/08/2021	12:10	300	Aumento del prelievo a 300 l/s	23/08 (282 l/s) 01/09 (279 l/s) 03/09 (278 l/s)
03/09/2021	12:00	150	Riduzione del prelievo a 150 l/s	21/09 (147 l/s)
21/09/2021	12:00	0	Interruzione del prelievo	13/10

Nel grafico Figura 4a, in fondo alla relazione, è rappresentata la situazione dei volumi invasati presso le dighe e delle portate da inizio giugno a inizio novembre.

Sono rappresentati il volume totale invasato presso le tre dighe, la portata del T. Candigliano stimata da Enel all'ingresso della diga del Furlo, la portata complessiva stimata dai dati Enel del T. Candigliano e del F. Metauro, i rilasci ai fini del DMV dalla diga di Tavernelle, le portate emunte dal pozzo S. Anna e dal pozzo Cagli 1. Sono rappresentati nel grafico, inoltre, i fabbisogni nominali teorici in uscita dal sistema (600 l/s approvvigionamento + 750 l/s di rilascio dalla diga di Tavernelle) e le portate effettive in uscita dal sistema (prelievo idropotabile dagli invasi di San Lazzaro e Tavernelle + rilasci effettivi dalla diga di Tavernelle).

Il grafico permette di valutare gli effetti delle azioni intraprese in risposta all'andamento della situazione idrologica dei corsi d'acqua. La riduzione dei rilasci dalla diga di Tavernelle e l'apertura dei pozzi profondi ha permesso di frenare la riduzione dei volumi invasati e mantenerli in equilibrio in attesa del verificarsi delle precipitazioni che hanno permesso di accumulare maggiori volumi negli invasi.

Nel seguito si riportano alcuni dati sintetici per alcune azioni intraprese:

Azione	Dato
Giorni di attività del prelievo dal pozzo S. Anna	93
Volumi prelevati dal pozzo S. Anna (mc)	1.168.200
Giorni di attività del prelievo dal pozzo Cagli 1 con immissione nel F. Burano (compresi quelli di inizio e fine, conteggiati per intero)	47
Volumi immessi nel F. Burano dal pozzo Cagli 1	857.500
Giorni di riduzione dei rilasci del DMV attuale dalla diga del Furlo	26
Volumi di riduzione dei rilasci del DMV attuale dalla diga del Furlo	323.600
Giorni di riduzione dei rilasci del DMV attuale dalla diga di San Lazzaro	78
Volumi di riduzione dei rilasci del DMV attuale dalla diga di San Lazzaro	1.877.500
Giorni di riduzione dei rilasci del DMV attuale dalla diga di Tavernelle	84
Volumi di riduzione dei rilasci del DMV attuale dalla diga di Tavernelle	3.015.800

Pertanto, ad un prelievo di 2.025.700 mc di acqua dai pozzi profondi si è sommata una riduzione dei rilasci di mc 3.015.800 dalla sola diga di Tavernelle e di 5.216.900 mc dalla somma dei tre invasi.

Tra le azioni attuate, indicate anche come condizioni per attuare la riduzione dei rilasci, vi è stata anche l'utilizzo di pozzi ad uso acquedottistico nelle pianure alluvionali del F. Foglia e del F. Metauro. L'utilizzo dei pozzi del Fiume Foglia è stato caratterizzato da alcuni picchi di prelievo determinati dalla necessità di sostenere l'approvvigionamento dell'acquedotto anche a causa della rottura della condotta principale proveniente dal potabilizzatore di San Francesco; il prelievo, che nei mesi non estivi si attesta su circa 5-15 l/s, nel corso del mese di agosto è aumentato a 90-100 l/s.

A queste azioni si sommano i provvedimenti emessi dalla P.F. Tutela del Territorio di Pesaro e Urbino per ridurre/bloccare i prelievi da corso d'acqua superficiale nel bacino del Fiume Metauro e le ordinanze emesse da alcuni comuni per limitare i prelievi ad uso non potabile.

5. Prova di emungimento a gradini sino a 400 l/s

Il giorno 6 agosto, prima di fissare il prelievo a 150 l/s, è stata effettuata una prova di emungimento a gradini, con una durata di circa 60 minuti tra un gradino e il successivo, sino ad un massimo di circa 400 l/s; successivamente il prelievo è stato diminuito e fissato a circa 150 l/s.

È stata effettuata anche per poter effettuare un confronto con una prova simile eseguita dall'Aquater il 27 maggio 1992. Di questa prova si dispone della descrizione sintetica nell'elaborato "G. Perforazione" dello studio Aquater ma non è stato trovato il diagramma ("Fig. 31") citato nella relazione né il rapporto di prova originario. Da questa prova nella relazione è indicato che dalla curva caratteristica del pozzo nel diagramma abbassamenti/portate non si evidenzia, sino alla portata massima di 415 l/s, il punto critico di emungimento.

In tabella 2 sono riportati i valori registrati nel 2021 e quelli disponibili per la prova Aquater.

Tabella 2 – Sintesi della prova a gradini del 6 agosto e confronto con i dati disponibili relativi alla prova Aquater del 27 maggio 1992.

gradino	Orario	Prova agosto 2021				Prova maggio 1992		
		Q (mc/s) (1)	P (bar) Pozzo Cagli 1	Dh (m)	P (bar) Pozzo acquedotto Cagli	Q (mc/s)	P (bar) Pozzo Cagli 1 (2)	Dh (m) (2)
0 (**)		0.000	22.5 (*)	0.0		0	24.29	0.0
01		0.036	21.99	5.2	21.56			
1		0.082	20.99	15.4	21.52	0.066	23.76	5.4
2		0.138	20.00	25.5	21.44	0.117	23.05	12.6
3		0.184	18.5	40.8	21.38	0.190	22.03	23.0
4		0.233	16.74	58.7	21.28	0.238	21.02	33.3
5		0.283	14.99	76.6	21.19	0.269	19.63	47.5
6		0.332	12.75	99.4	21.06	0.318	18.19	62.2
7		0.378	10.49	122.5	20.97	0.372	16.51	79.3
8		0.418	8.24	145.4	20.88	0.415	14.90	95.8
9		0.184	18.74	38.3	21.19			

(*) valore non disponibile; ipotizzato tale valore in assenza di alcun prelievo (indicativo);

(**) si riferisce alla situazione di inizio prova con prelievo di circa 36 l/s per gli acquedotti di Cagli e Acqualagna;

(1) Portata totale immessa nel fiume più quella prelevata per l'acquedotto.

(2) Considerando 1 bar = 0,986923 atm = 10,1974 m di acqua

Nel grafico (Figura 5a) sono rappresentati i dati di pressione e portata registrati ogni 10 minuti il giorno 6 agosto.

Il grafico della pressione alla testa del pozzo Cagli 1 è parzialmente influenzato dall'entità del prelievo per l'acquedotto di Cagli, come si vede dal grafico prima dell'inizio della prova a gradini; quando si riduce il prelievo la pressione aumenta leggermente, come è accaduto tra le 2:40 e le 6:30 di notte.

Ad ogni gradino di aumento di portata la pressione varia quasi istantaneamente per poi rimanere stabile. Ugualmente, con la riduzione di portata da circa 400 l/s a circa 150 l/s la variazione di pressione in aumento è repentina, a testimonianza di un acquifero molto permeabile e ben alimentato.

Con il calo della pressione a testa pozzo la portata prelevabile per l'acquedotto di Cagli si riduce, in particolare con l'apertura del pozzo Cagli 1 a 350-400 l/s.

La variazione di pressione, ma di entità molto più contenuta e andamento abbastanza graduale, si riscontra anche al pozzo Cagli acquedotto (nominato Burano vecchio da Marche Multiservizi). Si ricorda che il pozzo Cagli acquedotto è stato realizzato nel 1975 dal Comune di Cagli, prima della realizzazione del pozzo Cagli 1 e ha una profondità di 90-100 m (secondo quanto riassunto in una nota della P.F. Demanio idrico, porti e lavori pubblici del 30/05/2008). È ubicato circa 270 m a NNE del pozzo Cagli 1 e anche in questo pozzo l'acqua è in pressione.

Le temperature registrate dalla sonda a testa pozzo sono rimaste costanti durante la prova a 9.94 °C; solo con il prelievo tra circa 350 l/s e 400 l/s si è riscontrato un aumento sino a 10.12 °C, subito ridotto a 9.94 °C quando la portata è scesa a circa 150 l/s. La temperatura dell'acqua fluente nel fiume Burano misurata manualmente a monte dell'immissione dell'acqua emunta dal pozzo, alle ore 13:00 e alle ore 15:00, era pari rispettivamente a 15.0 °C e 15.2 °C. La temperatura dell'acqua emunta dal pozzo Cagli 1, misurata presso l'immissione del F. Burano, era pari a 10.9-10.7 °C.

Gli andamenti sono simili a quelli riscontrati con la prova di pompaggio effettuata a ottobre 2020.

Per l'analisi dei dati di pompaggio è stato considerato il prelievo esistente verso la rete acquedottistica di Cagli e Acqualagna, che varia tra circa 22 e 38 l/s, con un valore medio di circa 30 l/s. Tale prelievo complica parzialmente l'analisi poiché il pozzo si trova ordinariamente in condizione di emungimento.

Per le analisi è stata ipotizzata una pressione in assenza di prelievo più alta di 0.5 bar rispetto alla situazione con il prelievo acquedottistico attivo e un gradino fittizio iniziale ad un prelievo di circa 36 l/s (quello riscontrato all'inizio del primo gradino). Il valore di pressione considerato prima dell'inizio del prelievo verso il fiume a 50 l/s (ovvero al gradino fittizio di 36 l/s) è quello registrato nelle ore immediatamente precedenti, pari a 21.99 bar.

Nel grafico Figura 5b è riportato l'andamento della depressione piezometrica (considerando 1 bar = 10.1974 m di colonna d'acqua) in funzione della portata di prelievo.

Per il grafico è stata considerata oltre alla portata immessa nel fiume anche quella prelevata per alimentare la rete acquedottistica di Cagli e Acqualagna.

La curva non evidenzia un punto di flesso particolarmente evidente e non è facilmente individuabile la portata critica. Un parziale aumento di pendenza si ha tra i 280 e i 330 l/s. In ogni caso oltre tali portate la curva è piuttosto regolare, mostrando un lieve aumento di pendenza.

L'Aquater, con le prove effettuate nel 1992, aveva valutato una portata critica tra 340 l/s (a seguito di un più netto cambio di pendenza, ottenuto con la prima prova) e almeno 415 l/s (in assenza di un netto cambio di pendenza, con la seconda prova, svolta in

maniera simile a quella effettuata nel 2021), ovvero una portata critica piuttosto rilevante.

Essendo l'acquifero in pressione, l'andamento parabolico della curva mostra la presenza di perdite di carico quadratiche che potrebbero essere legate al condizionamento del pozzo, come ha ipotizzato l'Aquater a seguito delle prove effettuate nel 1992. Secondo Celico (P. Celico, Prospezioni idrogeologiche, Vol. I, 1986) la presenza di perdite di carico quadratiche in pozzi senza filtro e pre-filtro potrebbero essere legate alla presenza di un acquifero eterogeneo e anisotropo, come nel caso in esame.

Nella figura 5c è riportato il grafico portata specifica – abbassamenti, nel quale si può notare come all'aumento della depressione (quindi della portata) la portata specifica diminuisce, prima rapidamente, poi gradualmente. Il primo tratto, con un andamento irregolare, è affetto da maggiore incertezza per l'influenza del prelievo verso l'acquedotto di Cagli ad inizio prova. In ogni caso dal terzo punto si nota un aumento della pendenza con l'aumento dell'abbassamento (ovvero della portata).

L'andamento può essere determinato dalla presenza di un acquifero eterogeneo dove si sovrappongono gli apporti da zone con fratture beanti/condotti carsificati con gli apporti da zone con fratturazione più minuta (dove l'acqua subisce maggiori attriti), che sono via via più interessate con l'aumento delle portate emunte.

Nel grafico 5d è riportato il grafico portata – abbassamento specifico, togliendo i primi due gradini per i motivi sopra citati.

Nel grafico, con interpolazione lineare sono stati valutati i parametri C e Q dell'equazione:

$$Dh = B * Q + C * Q^2$$

Dove Q è la portata (in mc/s) e Dh l'abbassamento in m.

Nell'equazione B rappresenta le perdite di carico lineari, dovute in parte al deflusso laminare esistente nell'acquifero e in parte al condizionamento del pozzo (filtro, pre-filtro e diametro tubazioni rivestimento), mentre C rappresenta le perdite di carico quadratiche generalmente funzione del condizionamento del pozzo, ma nel caso di foro scoperto tali perdite compaiono anche quando l'acquifero è eterogeneo e anisotropo, come nel caso in oggetto.

5.1. Confronto con i dati di portata del Fiume Burano

Parallelamente alla prova di pompaggio sono stati tenuti sotto controllo i dati di livello registrati presso gli idrometri del Centro Funzionale della Protezione Civile regionale lungo il Fiume Burano.

I dati di livello sono poi convertiti in dati di portata con le scale di deflusso determinate dal Centro Funzionale della Protezione Civile regionale lungo il Fiume Burano.

I dati di portata sono stati estratti dal SIRMIP on-line del Centro Funzionale, con le credenziali di accesso fornite.

Inoltre precedentemente, durante e successivamente alla prova sono state effettuate alcune misure di portata dal Centro Funzionale della Protezione Civile Regionale, sia sul

Fiume Burano che sul Fiume Bosso e Fiume Candigliano, riassunte nella successiva Tabella 3.

Dai dati rappresentati nella tabella 3 si nota l'utilità delle misure di portata dirette nel fiume se si vogliono avere dati più precisi, soprattutto in condizioni di basse portate, rispetto a quelle ottenibili dalla scala di deflusso. In ogni caso i dati registrati agli idrometri sono importanti per monitorare le variazioni nel tempo dei livelli idrometrici (e delle portate).

Pertanto, le valutazioni riportate nel seguito sui valori di portata stimate dalle scale di deflusso sono utili soprattutto per confronti sui trend e hanno incertezza maggiore rispetto a valutazioni derivanti da misure dirette delle portate.

Il fiume Burano nell'attraversamento dell'omonima gola riceve l'alimentazione da una serie di sorgenti distribuite (cosiddette sorgenti lineari). Caprari e Nanni (1999) sulla base di misure di portata effettuate negli anni 1994-1995 hanno stimato un apporto complessivo delle sorgenti lineari nell'attraversamento della dorsale pari a circa 390 l/s. Mastrolillo (2001), sulla base di una serie di misure di portata effettuate nel tempo, ha ipotizzato che il Burano nell'attraversare la gola riceve un apporto di circa 390 l/s dal Complesso basale e di circa 70 l/s dal complesso della Scaglia.

Negli ultimi anni, sulla base delle portate ricavabili dalle stazioni idrometriche installate e da alcune misure di portata effettuate sin dal 2012, l'apporto delle sorgenti lineari è variabile e stimabile, indicativamente, tra circa 200 e 500 l/s.

A tale proposito nel grafico di figura 5.1a sono messe a confronto le portate medie giornaliere presso l'idrometro di Ponte Cavour, all'uscita della Gola del Burano, sulle ascisse, e la differenza di portata media giornaliera tra quella valutata all'idrometro di Ponte Cavour e quella a Pontedazzo, all'ingresso della Gola, ipotizzando che la differenza di portata sia legata all'apporto delle sorgenti lineari. Sono stati utilizzati tutti i dati disponibili tra il 01/01/ 2019 e il 30 novembre 2021. Si notano alcuni punti allineati verso la parte a sinistra del grafico secondo una linea inclinata poco meno di 45°. Si ritiene che tali punti possano rappresentare l'apporto delle sorgenti lineari non influenzati o poco influenzati dalle precipitazioni, mentre i punti maggiormente dispersi sono relativi ai dati influenzati dalle precipitazioni, caratterizzati da maggiori valori di portata defluente. I punti allineati a sinistra sono maggiormente addensati per apporti delle sorgenti tra circa 150 l/s e 300 l/s ma si riscontrano vari dati allineati sino a circa 500 l/s. Tale aspetto potrà essere ulteriormente analizzato con una analisi più approfondita dei dati di portata, che come detto possono essere affetti da alcune incertezze.

Dai dati di portata misurati dal Centro Funzionale ad agosto e settembre, al netto dell'immissione del pozzo Cagli 1, la differenza di portata la misura a Pontedazzo e quella a Cagli Civita è di circa 300 l/s (272-296 l/s), inferiore a quella ottenuta dai dati medi giornalieri ottenuti dalla scala di deflusso (336-392 l/s).

Tabella 3. Misure di portata effettuate sul Fiume Burano e confronto con i livelli registrati agli idrometri e le portate ottenibili dalle scale di deflusso provvisorie.

data	Portata misurata (mc/s)	Portata media giornaliera da scala di deflusso (mc/s)	Portata media giornaliera stimata da Enel all'ingresso della diga del Furlo (mc/s)	Immissione media giornaliera dal Pozzo Cagli 1 nel Fiume Burano (mc/s)	Apporto F. Burano tra le stazioni di Pontedazzo e Cagli Ponte Cavour dai dati di portata misurata (mc/s)
Pontedazzo – stazione 350					
2021-08-03	0.061	0.140			
2021-08-04	0.057	0.160			
2021-08-19	0.052	0.130			
2021-09-14	0.039	0.110			
2021-10-08	8.025	9.870			
Cagli Ponte Cavour – stazione 353					
2021-07-16	0.433	0.590		-	
2021-08-03	0.357	0.480		-	0.296
2021-08-19	0.620	0.750		0.284	0.284
2021-09-14	0.459	0.650		0.148	0.272
2021-10-08	8.99	10.000		-	0.965
Cagli Civita – stazione 352					
2021-08-03	0.210	0.360			
2021-08-19	0.210	0.330			
2021-09-14	0.215	0.330			
2021-10-08	3.388	3.040			
Acqualagna – stazione 106					
2021-07-16	0.753	0.840	0.505		
2021-08-19	0.870	0.850	0.520		
2021-09-14	0.747	0.740	0.470		
2021-10-08	8.99	18.450	20.76		

Nel grafico di figura 5.1b sono messi a confronto i dati di portata presso gli idrometri sul Fiume Burano (Pontedazzo e Ponte Cavour) e sul Fiume Candigliano (Acqualagna) e la portata immessa nel fiume Burano dal pozzo Cagli 1.

Dal grafico si nota come l'immissione della portata emunta dal pozzo Cagli 1 nel Fiume Burano viene rilevato nelle stazioni idrometriche poste più a valle con un ritardo dipendente dalla distanza.

All'idrometro di Ponte Cavour, distante circa 5580 m dall'immissione del pozzo Cagli 1, la portata immessa si riscontra dopo un tempo variabile tra 1 e 2 ore. La portata immessa subisce particolari riduzioni. Considerando la distanza l'acqua ha raggiunto l'idrometro con una velocità di circa 0.8 m/s (considerando un tempo di 2 ore).

All'idrometro di Acqualagna, distante circa 19760 m dall'immissione del pozzo Cagli 1, si registra l'immissione di portata dal pozzo Cagli 1 ma l'andamento dell'idrogramma è più aperto, soprattutto con una variazione più graduale della riduzione di portata a seguito della riduzione dell'immissione da 400 l/s a circa 150 l/s; con l'aumentare della distanza il picco di immissione di 400 l/s subisce una parziale laminazione con una riduzione non superiore a circa 60 l/s. A questo idrometro la portata immessa si

riscontra dopo un tempo di circa 7:30 – 9:30 ore; per il picco di 400 l/s è evidente il riscontro dopo circa dopo circa 7:30 ore. Considerando la distanza l'acqua ha raggiunto l'idrometro con una velocità di circa 0.7 m/s (considerando un tempo di 7:30 ore).

Nel corso dell'apertura del 2020 tale andamento era meno evidente poiché mascherato dalle precipitazioni avvenute durante il periodo di apertura che hanno determinato l'aumento delle portate in alveo sino a valori ben più significativi di quelli immessi dal pozzo Cagli 1.

Dai dati disponibili si vede, pertanto, che l'immissione dal pozzo Cagli 1 fornisce un evidente apporto alle portate in arrivo alla diga del Furlo con un ritardo inferiore al giorno.

Dal grafico si nota una parziale riduzione delle portate presso l'idrometro di Pontedazzo, all'ingresso della gola del F. Burano, in corrispondenza dell'apertura del pozzo Cagli 1. In realtà tra i due andamenti non c'è correlazione come si può meglio vedere dal grafico di Figura 5.1c, dove sono riportate l'andamento delle portate tra il giorno 6 agosto e l'inizio dell'11 agosto. Si nota, infatti, che la portata, ottenuta dalla scala di deflusso provvisoria applicata ai livelli idrometrici registrati, subisce un'oscillazione periodica, con minimi nel pomeriggio di ogni giorno; l'oscillazione è presente anche quando la portata immessa dal pozzo Cagli 1 è stata fissata a circa 150 l/s. L'oscillazione è presente, con andamento opposto e minore ampiezza, presso l'idrometro di Ponte Cavour, all'uscita della Gola.

Tali variazioni sono state notate anche durante la prova di emungimento del 2020 (vedasi fig. 7 della relazione "Pozzo Cagli 1. Verifica della funzionalità della testa pozzo e prova di emungimento. Rapporto preliminare", di ottobre 2020).

Probabilmente sono legate al fatto che il sensore idrometrico è influenzato dalla temperatura e non a oscillazioni effettive del livello idrometrico; per l'idrometro a Pontedazzo si nota una evidente correlazione in controfase tra l'andamento della temperatura alla stazione meteo di Cantiano e l'andamento del livello idrometrico (dal quale deriva la stima della portata), come si vede dal grafico Figura 5.1d.

6. VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DELL'EMUNGIMENTO DI LUNGA DURATA DEL 2021

Nel grafico di figura 6a è riportato l'andamento della pressione testa pozzo e delle portate emunte verso il fiume e verso l'acquedotto di Cagli dal 26 giugno al 31 dicembre 2021.

I dati di giugno antecedenti al giorno 26 non sono disponibili per un'anomalia al sistema di registrazione dei dati.

Dal grafico si vedono le repentine variazioni di pressione legate alla variazione di emungimento dal pozzo Cagli 1, sia in aumento che in diminuzione. Inoltre un trend regolare di riduzione della pressione a testa pozzo dal 26 giugno sino al giorno di apertura (6 agosto).

Dal giorno di chiusura (21 settembre) al 31 dicembre la risalita mostra un andamento più irregolare. La pressione il giorno 22 settembre aveva un valore di 19.9 bar ed ha raggiunto 22 bar il giorno 8 novembre; il giorno 31 dicembre la pressione era di 24.1 bar.

La portata prelevata per l'acquedotto di Cagli e Acqualagna subisce una riduzione più evidente quando la portata immessa nel fiume raggiunge i 300 l/s, per la riduzione di pressione a testa pozzo.

Nel seguito si analizzeranno i dati raccolti durante il periodo di apertura del pozzo e successivamente alla sua chiusura.

6.1. Andamento della pressione a seguito dell'apertura del pozzo con immissione nel fiume Burano

Nel grafico 6.1a sono riportati i dati di portata media giornaliera emunta dal pozzo Cagli 1 verso il fiume Burano e verso l'acquedotto, i dati di pressione media giornaliera a testa pozzo Cagli 1 e del pozzo Cagli acquedotto (vecchio pozzo dell'acquedotto di Cagli).

Come già verificato durante l'apertura del 2020 al variare della portata di emungimento la pressione presso il pozzo Cagli 1 si riduce rapidamente, per poi registrare un calo più modesto e graduale con il proseguire dell'emungimento a portata costante. Con la graduale riduzione della pressione anche la portata emunta verso il fiume Burano subisce una limitata riduzione.

Il 5 agosto la pressione media era di 22 bar e il 7 agosto, a seguito dell'apertura del pozzo avvenuta il 6 agosto a circa 150 l/s per immettere l'acqua nel fiume, la pressione era scesa a 18.8 bar, raggiungendo 18.5 bar il giorno 10 agosto.

Il 12 agosto, dopo l'aumento di prelievo disposto il giorno precedente, la portata media giornaliera era di 290 l/s e la pressione media giornaliera pari a 13.5 bar; con il proseguire dell'emungimento, mantenendo fissa la saracinesca del pozzo, il 2 settembre la portata era scesa a 278 l/s e la pressione a 12.4 bar. Ovvero si è avuta una riduzione di pressione di circa 0.052 bar/giorno.

Successivamente la portata è stata ridotta a circa 150 l/s e la pressione media il giorno 4 settembre era già risalita a 16.9 bar, per poi ridursi a 16.5 bar il giorno 20 settembre, con una portata media di circa 147 l/s. Con tale portata la riduzione di pressione mantenendo fissa la saracinesca è stata più ridotta, ovvero pari a circa 0.023-0.025 bar/giorno (tale riduzione, come vedremo nel paragrafo 7 è prossima a quella registrata tra il 27 giugno e il 5 agosto, quando era attivo solo il prelievo per l'acquedotto di Cagli-Acqualagna, pari ad una riduzione di circa 0.026 bar al giorno).

Durante il periodo di utilizzo del pozzo Cagli 1 è stata tenuta sotto controllo anche la pressione del pozzo Cagli acquedotto (denominato "Burano vecchio" da Marche Multiservizi), normalmente non utilizzato. Il pozzo Cagli acquedotto è stato realizzato dal Comune di Cagli nel 1975, prima della realizzazione del pozzo Cagli 1, ed ha una profondità di 90-100 m (secondo quanto riassunto in una nota della P.F. Demanio idrico, porti e lavori pubblici del 30/05/2008). È ubicato circa 270 m a NNE del pozzo Cagli 1 e anche in questo pozzo l'acqua è in pressione.

La pressione al pozzo Cagli acquedotto segue quella registrata al pozzo Cagli 1 ma con riduzioni meno accentuate.

La significativa riduzione dopo il 10 agosto non è dovuta agli effetti del prelievo di circa 300 l/s dal pozzo Cagli 1 per l'immissione nel f. Burano (già attiva da qualche giorno) ma dall'attivazione del pozzo Cagli acquedotto. Infatti, quando la pressione al pozzo Cagli 1 si riduce oltre un certo limite si riduce anche la portata prelevabile verso l'acquedotto di Cagli-Acqualagna (come si vede dal grafico 6.1a) e per integrare la

portata mancante viene attivato il prelievo dal pozzo Cagli acquedotto; ciò determina la repentina riduzione di pressione al pozzo Cagli acquedotto visibile nel grafico.

Dopo la riduzione di prelievo dal pozzo Cagli 1, da circa 300 a circa 150 l/s, e il ripristino del prelievo verso l'acquedotto di Cagli-Acqualagna per circa 30 l/s, il prelievo dal pozzo Cagli acquedotto viene interrotta qualche giorno dopo e il 9 settembre la pressione sale repentinamente a 19 bar.

Dopo la chiusura del prelievo dal pozzo Cagli 1 verso il fiume Burano l'andamento della pressione al pozzo Cagli acquedotto manifesta un gradino in aumento e successivamente l'andamento della pressione segue quella riscontrata al pozzo Cagli 1, con valori più ridotti di circa 0.5 bar.

Il 3 settembre è stata rilevata con elevata cadenza di campionamento (30 secondi) la velocità di risalita della pressione al pozzo Cagli 1 riducendo il prelievo immesso nel fiume da 300 l/s a 150 l/s. Dopo 30 secondi la pressione è subito risalita da 12.04 bar a 16.21 bar, dopo 5 minuti ha raggiunto 16.30 bar, dopo 15 minuti 16.40 bar e dopo 1 ora 16.47 bar; dopo 24 ore la pressione ha raggiunto 16.74 bar.

Analogo rilevamento è stato effettuato il 21 settembre quanto è stato interrotto il prelievo di circa 150 l/s. Dopo 30 secondi la pressione è subito risalita da 16.13 bar a 19.00 bar, dopo 5 minuti ha raggiunto 19.26 bar, dopo 15 minuti 19.34 bar e dopo 1 ora 19.38 bar; dopo 24 ore la pressione ha raggiunto 19.74 bar.

Nella tabella 4 sono riportate sinteticamente le pressioni all'apertura del pozzo, subito prima della chiusura e dopo la chiusura.

Oltre la metà della riduzione della pressione viene recuperata entro 5 minuti dalla chiusura e 2/3 della pressione entro 5 giorni. Il 90% della pressione è stato recuperato dopo 24 giorni dalla chiusura e il 100% dopo 48 giorni. Successivamente la pressione è aumentata oltre i 22 bar.

Pertanto, la maggior parte del recupero della pressione si ha piuttosto rapidamente a seguito della riduzione del prelievo o dell'interruzione dello stesso, a testimonianza di un acquifero molto permeabile e ben alimentato. Il recupero della pressione dopo la chiusura del prelievo verso il f. Burano è avvenuto in un tempo circa uguale alla durata dell'apertura. L'apertura è durata 46 giorni mentre il recupero della pressione è avvenuto in 48 giorni.

Tabella 4. Andamento della pressione dopo la chiusura dell'immissione nel fiume Burano dal pozzo Cagli 1

Giorno, ora	Giorni trascorsi dall'apertura	Giorni trascorsi dalla chiusura	Pressione (bar)	Differenza di pressione rispetto a quella precedente all'apertura (bar)	Note
6 agosto ore 12:00			21.99		Prima dell'apertura
21 settembre ore 12:00:00	46		16.13	-5.86	Prima della chiusura
21 settembre ore 12:00:30	46	0	19.00	-2.99	
21 settembre ore 12:05	46	0	19.26	-2.73	
21 settembre ore 12:15	46	0	19.34	-2.65	
21 settembre ore 13:00	46	0	19.38	-2.61	
21 settembre ore 24:00	46	0	19.74	-2.61	
22 settembre ore 12:00	47	1	19.74	-2.25	
26 settembre ore 12:00	51	5	20.00	-1.99	
01 ottobre ore 12:00	56	10	20.24	-1.75	
06 ottobre ore 12:00	61	15	20.24	-1.75	
14 ottobre ore 12:00	69	24	21.49	-0.50	
21 ottobre ore 12:00	76	30	21.49	-0.50	
31 ottobre ore 12:00	86	40	21.49	-0.50	
8 novembre ore 12:00	94	48	21.99	0.00	

6.2. Andamento temperatura e analisi chimiche effettuate sui campioni prelevati durante e dopo l'apertura del pozzo

Le temperature registrate a testa pozzo hanno subito alcune variazioni con il prolungamento del prelievo.

Come rappresentato nel grafico di figura 6.2a le temperature hanno subito una risalita (da circa 9.9 °C a 10.1-10.2 °C) il 13-15 agosto, a seguito l'aumento del prelievo a circa 300 l/s. L'aumento di temperatura era stato riscontrato anche durante la prova di pompaggio effettuata a ottobre 2020 con le portate di prelievo più elevate (300 l/s-400 l/s). Dopo il 15 agosto, pur mantenendo fisso il prelievo, la temperatura è scesa piuttosto rapidamente raggiungendo 8.3 °C il 19-20 agosto; successivamente si è verificata una risalita ugualmente rapida sino ai 9.8 °C raggiunti il 22 agosto; nei giorni successivi la temperatura ha subito un aumento sino a circa 10.2 °C; con la riduzione del prelievo a 150 l/s la temperatura è nuovamente diminuita oscillando tra 9.7 e 9.9 °C. Con l'interruzione del prelievo dal pozzo Cagli 1 verso il fiume Burano, la temperatura si è stabilizzata a circa 9.7°C.

Come vedremo nel seguito alcune oscillazioni di temperatura appaiono più legate alle modalità di prelievo e al posizionamento del sensore piuttosto che a variazioni della temperatura dell'acqua in falda.

Nel grafico di figura 6.2b sono riportati i valori di pressione a testa pozzo e temperatura ogni 30' tra le 18:00 del 5 agosto e le 20:00 del 6 settembre, ovvero l'intervallo

temporale maggiormente interessato dalle oscillazioni di temperatura visibili nel grafico 6.2a.

Si nota innanzitutto come nel corso di ogni giorno si verifica un picco di aumento di temperatura che è in fase con le oscillazioni giornaliere di pressione a testa pozzo; questo picco si verifica le prime ore del mattino (generalmente tra le 3:00 e le 6:00). Le oscillazioni di pressione giornaliere sono dovute alla variazione del prelievo verso l'acquedotto di Cagli-Acqualagna, ovvero nelle ore nelle quali il prelievo si riduce, la pressione a testa pozzo subisce un lieve aumento (dell'ordine di 0.25 bar); il prelievo verso l'acquedotto dal pozzo Cagli 1, mediamente pari a 30 l/s, non è costante e può oscillare giornalmente tra circa 21 l/s e circa 38 l/s; in particolare il prelievo viene ridotto nelle ore notturne, quando vi è meno richiesta, e la riduzione di prelievo è riscontrabile nelle minori fluttuazioni di pressione a testa pozzo.

Il sensore di temperatura è posizionato su un tratto di tubazione che potrebbe risentire delle modalità di prelievo, secondo quanto riferito dai tecnici di Marche Multiservizi e, in alcune condizioni, l'acqua potrebbe ristagnare nel tratto di tubo in cui è presente il sensore e risentire della temperatura esterna. Le temperature esterne, secondo quanto riscontrabile nelle stazioni di Cantiano e di Cagli Ponte Cavour, pur riducendosi nelle ore notturne, sono comunque più alte di quelle a testa pozzo (si veda il grafico 6.2c).

Pertanto, i picchi di oscillazione periodica di temperatura che si notano nel grafico non sono dovuti a effettive variazioni di temperatura dell'acqua emunta.

La variazione di temperatura in riduzione tra il 15 e il 22 agosto invece non sembra spiegabile solo con il posizionamento del sensore. Dal grafico 6.2c la variazione di temperatura appare avvenire in coincidenza di una riduzione delle temperature minime notturne rispetto ai giorni precedenti; nei giorni intorno al 29 agosto però pur registrando una ulteriore riduzione delle temperature minime non si ha una variazione delle temperature a testa pozzo, pur essendo evidentemente inferiori a quelle registrate sino al 16 agosto.

La variazione di temperatura verificatasi tra il 15 e il 22 agosto potrebbe essere dovuta all'effettiva variazione di temperatura dell'acqua emunta dall'acquifero in pressione.

Una ipotesi è che la progressiva estensione del cono di depressione, a seguito del prelievo a 300 l/s, potrebbe aver interessato una porzione di acquifero normalmente non coinvolta con portate di prelievo inferiori, contraddistinta da acqua con caratteristiche parzialmente differenti, legate a circuiti lenti o che normalmente non sono mobilizzate. Il prosieguo del pompaggio ha determinato la miscelazione di tali acque con quelle caratterizzate da circuiti più veloci sino a far diluire e pressoché scomparire il segnale di temperatura registrato.

Durante il periodo monitorato sono state effettuate alcune analisi chimiche, i cui risultati sono consultabili nell'allegato B.

Le acque campionate a testa pozzo dai tecnici di Marche Multiservizi sono state analizzate nel laboratorio dello stesso gestore.

Sono stati analizzati i seguenti parametri:

- conducibilità, durezza, ph, residuo secco a 180 °C, torbidità;
- alcalinità;
- calcio, magnesio, sodio, potassio;
- cloruro, solfato; fluoruro;
- ammonio, nitrato, nitrito,
- ferro, alluminio, manganese;
- bario, boro, litio, stronzio.

Le caratteristiche chimiche delle acque emunte dal pozzo Cagli 1 sono tipiche degli acquiferi basali contenuti nel Calcarea Massiccio.

La facies chimica è sostanzialmente bicarbonato-calcica, ma prossima a solfato-calcica per i significativi valori di solfato:

$rCa > rMg > rNa > rK \approx rHCO_3 > rSO_4 > rCl$

La conducibilità (>500 $\mu S/cm$) è paragonabile a quella di altre sorgenti con portate rilevanti emergenti dall'acquifero basale (es: Gorgovivo) e a quella delle acque del pozzo Cagli acquedotto, campionato nell'ottobre 1991 dall'Aquater (549 $\mu S/cm$; punto p4). Nella pubblicazione di Capaccioni et al. (2001) i valori di conducibilità per le acque dei pozzi, Cagli 1, Cagli acquedotto e Burano (Agip) sono generalmente inferiori ma sempre significativi (420-510 $\mu S/cm$).

Le acque, almeno in parte, sono caratterizzate da una circolazione profonda come mostrato dell'elevato contenuto di solfati (>100 mg/l), maggiore di quello di altre importanti sorgenti emergenti dall'acquifero del Calcarea Massiccio (es: Gorgovivo, Aso,..).

Il valore di solfati è simile a quello delle acque del pozzo Cagli acquedotto (168 mg/l), campionato nell'ottobre 1991 dall'Aquater (punto p4). Nella pubblicazione di Capaccioni et al. (2001) i valori di solfati per tre pozzi variano tra 127 e 213 mg/l.

Nel seguito sono commentate le variazioni nelle analisi chimiche. Nei grafici i campioni del 6 agosto sono quelli legati al campionamento effettuato con una portata di 400 l/s, poco prima della riduzione a 150 l/s.

I valori di conducibilità e residuo fisso mostrano una lieve tendenza ad aumentare nel corso del periodo analizzato (figura 6.2d, conducibilità) e si nota soprattutto un evidente aumento nel campione del 23 agosto. In questo campione di acqua i valori di alcalinità sono inferiori rispetto a quelli degli altri campioni, sostanzialmente stabili (figura 6.2e). Il campione del 23 agosto è quello immediatamente successivo alla diminuzione di temperatura verificatasi tra il 15 e il 22 agosto e ciò potrebbe avvalorare l'ipotesi dell'emungimento di acque caratterizzate da circuiti più lenti e normalmente non mobilizzate.

I valori di Ph (figura 6.2f) sono di poco inferiori ad 8 e poco variabili, con una tendenza all'aumento sino al campione del 3 settembre per poi ritornare nel campione del 13 ottobre a valori simili a quelli del campione del 6 agosto (inizio prelievo).

Le concentrazioni di sodio (figura 6.2g) mostrano una tendenza alla riduzione dall'inizio dell'emungimento (21 settembre), per poi mostrare un aumento il 13 ottobre.

Le concentrazioni di solfato tendono invece ad aumentare nel corso dell'emungimento e si riducono a seguito dell'interruzione dello stesso (figura 6.2h). Anche lo ione stronzio mostra un andamento analogo (figura 6.2i).

Gli altri parametri mostrano un andamento che è meno definito nel tempo rispetto a quelli sopra indicati.

Il giorno 6 sono stati effettuati 2 campionamenti. Il primo durante il prelievo fissato a 100 l/s, il secondo a 400 l/s. I valori di conducibilità e pH sono molto simili. La conducibilità è circa costante (503 $\mu S/cm$ al 100 l/s, contro 507 $\mu S/cm$ a 400 l/s) mentre il pH subisce una debole riduzione (da 7.75 a 100 l/s a 7.68 a 400 l/s).

Nelle figure 6.2l e 6.2m sono riportati i diagrammi di Piper e di Schoeller-Berkaloff per i campioni prelevati dal pozzo Cagli1 nel 2021 (il codice di ogni prova è: giorno-mese_portata emunta verso il Fiume Burano – arrotondata a 10 l/s) e le analisi chimiche relative al pozzo p4 (pozzo vecchio dell'acquedotto) e alle sorgenti di Pieia (S075) e di San Nicolò (S086) riportate nello studio Aquater del 1991.

I valori di HCO_3 sono stati stimati dai valori di CaCO_3 considerando un $\text{pH} < 8$.

Si nota come le caratteristiche delle acque del pozzo Cagli 1 sono più simili a quelle del vecchio pozzo dell'acquedotto di Cagli rispetto a quelle emergenti dalla sorgente di Pieia, a testimonianza di un flusso più profondo, con valori più alti di solfati e magnesio.

Le acque emergenti dalla sorgente San Nicolò si differenziano ulteriormente, con un maggior contenuto di sali.

Tra le acque del pozzo p4 analizzate da Aquater e le acque del pozzo Cagli 1 vi sono alcune differenze relative soprattutto nei valori di sodio e cloruri (per le acque del pozzo Cagli 1 le differenze nei bicarbonati risentono anche delle incertezze date dalla stima effettuata).

Le acque emunte dal pozzo Cagli 1 nelle varie date sono piuttosto omogenee con una maggiore differenza per le acque emunte il giorno 23 agosto, come si nota dal diagramma di Piper, dove il triangolo che rappresenta tale campione che si distacca leggermente dagli altri.

In definitiva i risultati delle analisi confermano che le acque emunte dal pozzo Cagli 1 sono caratterizzate da un deflusso profondo (e da una probabile miscelazione tra acque con deflusso profondo e lento e acque con deflusso più rapido). I valori di solfato e magnesio, più alti rispetto ad altre sorgenti emergenti dal Calcere Massiccio ma con deflusso più superficiale, sono dovute alla circolazione in profondità nel Calcere Massiccio e alla maggiore vicinanza alle Anidriti di Burano. Nel pozzo Burano 1 perforato dall'Agip nel 1955-1956, nelle vicinanze del Ponte Grosso lungo la Gola del Burano, da circa 300 m di profondità da bocca pozzo nei calcari si individuano tracce di sostanze bituminose e marne scure mentre la presenza di gesso si inizia ad individuare da circa 600 m di profondità (ipotizzando il passaggio tra Calcere Massiccio e Anidriti di Burano a circa 620-673 m di profondità); acque sulfuree con elevati valori di NaCl sono state rilevate sotto 860 m di profondità circa.

I valori di solfati e magnesio sono comunque inferiori a quelli della sorgente San Nicolò, emergente nella gola del Bosso, le cui acque derivano da una circolazione ancora più profonda e maggiormente prossima alle Anidriti di Burano.

Nel corso dell'emungimento dal pozzo Burano si è verificata una tendenza all'aumento parziale del contenuto dell'anione solfato e dello ione stronzio, nonché della conducibilità, che ha mostrato una parziale riduzione dopo l'interruzione del prelievo. Questo andamento appare indicare un aumento del coinvolgimento di acque con deflusso più lento e profondo rispetto a quelle emunte con portate inferiori.

Il fatto che il campione prelevato il 23 agosto presenti dei valori di alcuni parametri (es: conducibilità, alcalinità) che si discostano maggiormente rispetto agli altri campioni e che sia stato prelevato subito dopo la variazione anomala di temperatura delle acque emunte avuta tra il 15 e il 22 agosto potrebbe confermare il coinvolgimento di una porzione di acquifero con acque con caratteristiche parzialmente differenti.

Per il futuro si ritiene che sia adeguato valutare la possibilità di installare a testa pozzo anche una sonda di conducibilità con misure in continuo.

6.3. Andamento delle portate fluviali durante l'apertura del pozzo Cagli 1

Nel grafico di figura 6.3a sono riportati i dati di portata media giornaliera nel Fiume Burano all'idrometro di Pontedazzo (ingresso della gola del Burano) e a quello di Ponte Cavour (uscita dalla gola del Burano) tra il 15 luglio e il 31 ottobre; è riportata, con linea tratteggiata verde, l'apporto delle sorgenti lineari emergenti nella Gola del Burano, stimate come differenza tra le portate a Cagli Ponte Cavour e Pontedazzo.

Inoltre, si trova rappresentata anche la portata all'idrometro di Cagli Civita, all'uscita della Gola del Bosso e la portata immessa dal pozzo Cagli 1 nel Fiume Burano.

Le portate sono quelle ottenute dalle scale di livello provvisorie applicate ai livelli idrometrici, pertanto i dati possono avere alcuni margini di incertezza.

Nel grafico di 6.3b sono riportate anche le precipitazioni giornaliere mediate tra le stazioni pluviometriche di Monte Petrano, Pianello di Cagli, Cantiano, Monte Acuto e Scheggia (della rete MIR del Centro Funzionale regionale), interne o prossime al bacino idrografico del F. Burano.

Dal grafico si vede che dal 15 luglio al 5 agosto le portate all'uscita delle gole tendono a diminuire data l'assenza di precipitazione ed è evidente anche la riduzione dell'apporto dalla gola del Burano. Con l'apertura del pozzo Cagli 1 e l'immissione di acqua nel fiume Burano, prima con circa 150 l/s e poi con 300 l/s, le portate del Burano a Ponte Cavour mostrano un evidente rialzo, da circa 500 l/s a 650 l/s e poi a circa 830 l/s. Le portate a Pontedazzo invece continuano a ridursi sino al 15 settembre e lo stesso andamento si riscontra alle portate sul Fiume Bosso. I picchi relativi del 24 e del 28 agosto sono relativi ad aumenti temporanei causati da alcune precipitazioni (si veda il grafico di figura 6.3b).

Si nota anche la riduzione rapida di portata sul Fiume Burano a Cagli Ponte Cavour il 4 settembre, da circa 780 l/s a circa 610 l/s, a causa della riduzione della portata prelevata dal pozzo Cagli 1, e la riduzione di portata dal 21-22 settembre a causa dell'interruzione del prelievo dal pozzo Cagli 1 verso il Fiume Burano. I picchi relativi di portata del 19-20 settembre sul Bosso e Burano sono dovuti ad alcune precipitazioni avvenute in quei giorni.

Dopo la chiusura del pozzo Cagli 1 la portata scende a valori di circa 410-420 l/s. L'apporto dalla gola del Burano si riduce a circa 300 l/s, ovvero ai valori immediatamente precedenti all'apertura del pozzo Cagli 1. Dopo il 5 ottobre le portate aumentano repentinamente sul Fiume Burano e sul Fiume Bosso per le precipitazioni cospicue avvenute in quei giorni (si veda il grafico di figura 6.3b); con l'aumento delle precipitazioni la valutazione dell'apporto dalle sorgenti lineari emergenti lungo il Fiume Burano è meno evidente essendo mascherato dall'aumento delle portate causato dalle precipitazioni e dai conseguenti deflussi superficiali che interessano il bacino idrografico.

L'andamento sopra descritto è confermato anche dalle misure dirette di portata in alveo (tabella 3, paragrafo 5.1), riportate nel grafico di Figura 6.3c per confronto con quelle ottenute dalla scala di deflusso.

Le portate effettivamente misurate appaiono inferiori a quelle medie giornaliere ottenute dalle scale di deflusso provvisorie ma gli andamenti confermano quanto descritto sopra.

Le portate misurate presso gli idrometri di Pontedazzo (F. Burano, prima dell'ingresso nella gola) e Cagli Civita (F. Bosso, uscita dalla gola) sono circa costanti o mostrano una parziale riduzione legata all'assenza di precipitazioni significative. Le portate misurate presso l'idrometri di Cagli Ponte Cavour (fiume Burano, uscita dalla gola) sono invece influenzate dall'immissione dal pozzo Cagli 1. Prima dell'apertura del pozzo la differenza di portata nell'attraversamento della gola era di 300 l/s (apporto sorgenti lineari; il 3

agosto), con l'immissione dal pozzo Cagli 1 di circa 284 l/s la differenza era di 568 l/s (il 19 agosto) e con l'immissione dal pozzo di 148 l/s la differenza era di 420 l/s.

In sintesi dai dati disponibili il prelievo dal pozzo Cagli 1 nel corso del 2021 ha influenzato positivamente le portate in uscita dalla Gola del Burano e le portate immesse dal pozzo verso il fiume si riscontrano senza significative riduzioni all'idrometro di Ponte Cavour, all'uscita della Gola del Burano. L'apertura del pozzo non sembra aver influenzato l'apporto dalle sorgenti lineari lungo il Fiume Burano o la portata in uscita dalla gola del Bosso.

6.4. Confronti tra le portate emunte dal pozzo Cagli 1 e le portate delle sorgenti di Pieia e Trella-Cornacchia

È stato effettuato un confronto tra il prelievo dal pozzo Cagli 1 e le portate prelevate dalla sorgente di Pieia e di quelle prelevate delle sorgenti di Trella e Cornacchia.

La sorgente di Pieia drena acque emergenti dall'acquifero del Calcere Massiccio-Maiolica nella porzione superiore del Torrente Giordano, che affluisce nel Certano e nel Bosso, presso l'abitato di Pianello, in comune di Cagli. Secondo gli studi effettuati dall'Aquater e altri autori la sorgente è alimentata da una porzione di acquifero del Calcere Massiccio più superficiale, legato ad alcune condotte carsiche che alimentano anche la risorgente omonima, differenziato da quello profondo dal quale attinge il pozzo Burano. Il prelievo avviene a gravità da dreni in alveo posti presso due briglie presenti lungo l'alveo del Giordano e da alcuni pozzi, che vengono attivati quando il livello della falda si abbassa e il prelievo dalle briglie si riduce (sino ad azzerarsi). L'origine delle acque prelevate deriva principalmente dall'apporto della risorgenza carsica presente più a monte e da ravvenamenti diffusi nel tratto a monte delle opere di presa. Nel periodo estivo l'alimentazione delle opere di presa è esclusivamente data dalle acque a circuito sotterraneo, con una circolazione piuttosto veloce come evidente dai dati idrochimici della sorgente (Farina D., 2018).

Le sorgenti di Trella e Cornacchia emergono in corrispondenza Scaglia Rossa-Scaglia Variegata sul versante occidentale del Monte Nerone. Le sorgenti sono probabilmente alimentate anche dall'acquifero della Maiolica oltre che a quello della Scaglia Rossa. Il prelievo avviene attraverso delle gallerie (Farina D., 2009).

Le sorgenti fanno parte della rete di monitoraggio idropotabile della Regione Marche e mensilmente il gestore Marche Multiservizi trasmette i dati dei volumi prelevati giornalmente.

Nel grafico di figura 6.4a è messo in correlazione il volume di acqua prelevato giornalmente dalla sorgente di Pieia con la portata media giornaliera emunta dal pozzo Cagli 1 verso il fiume. Nel grafico sono rappresentati sia il volume complessivo prelevato che quello prelevato dalla Briglie 1 e 2, dove sono presenti dei dreni in alveo. Il volume prelevato nei mesi di minore disponibilità di acqua è rappresentativo dei volumi complessivi erogati dalla sorgente. Il volume prelevato dalle briglie è dipendente dell'altezza della falda.

Si vede come il volume giornaliero totale prelevato diminuisce gradualmente, con alcune oscillazioni, dal 26 giugno all'inizio di ottobre, quando si verifica un rapido incremento delle portate. Le portate complessivamente prelevate non mostrano una correlazione

con l'emungimento dal pozzo Cagli1; anzi la pendenza del grafico delle portate prelevate si riduce progressivamente. Il prelievo dal pozzo 1 è stato attivato il 7 luglio e interrotto a metà ottobre.

Il prelievo dai dreni presenti presso le briglie subisce una riduzione repentina tra il 6 e l'8 luglio e successivamente una riduzione che si accentua progressivamente. Un'ulteriore accentuazione della riduzione si ha dopo il 4 agosto, prima dell'apertura del pozzo Cagli 1, e il giorno 6 il prelievo si azzerava. Il prelievo dalle briglie si riattiva dopo il 6 ottobre con un repentino aumento delle portate. Anche in questo caso non si nota una correlazione con il prelievo dal pozzo Cagli 1.

Nel grafico di figura 6.4b le portate prelevate alla sorgente di Pieia sono rappresentate insieme alle precipitazioni giornaliere mediate tra le stazioni pluviometriche di Serravalle di Carda, Pianello e Monte Nerone, più prossime al bacino di alimentazione della sorgente. Nel grafico 6.4c le precipitazioni sono solo quelle della sola stazione di Monte Nerone.

Le precipitazioni avvenute ad agosto non hanno influenzato in maniera evidente le portate della sorgente anche perché in quota (stazione Monte Nerone; figura 6.4c) sono state più modeste; si nota solo una diminuzione della pendenza della curva di esaurimento.

L'influenza è netta con le piogge di inizio ottobre e in quota (stazione di Monte Nerone) sono state più elevate rispetto alle altre due stazioni poste a quota inferiore sul versante orientale (Pianello e Serravalle di Carda). L'influenza si nota anche con le piogge del 22 ottobre, che appare determinare una risalita delle portate.

Nella figura 6.4 d sono rappresentate la portata emunta dal pozzo Cagli 1, immessa nel Fiume Burano, e il volume complessivo prelevato dalle sorgenti Trella e Cornacchia.

La portata prelevata dalla sorgente è in graduale riduzione, senza subire alcuna modifica a seguito dell'emungimento dal pozzo Cagli 1. All'inizio di ottobre si ha una brusca risalita delle portate. Anche qui le precipitazioni di agosto non hanno influenzato le portate alla sorgente, mentre il rapido rialzo a inizio ottobre è stato determinato dalle significative precipitazioni di inizio ottobre (grafico 6.4e; precipitazioni giornaliere mediate tra le stazioni pluviometriche di Serravalle di Carda, Pianello e Monte Nerone); si nota anche l'influenza delle precipitazioni del 22 ottobre.

In definitiva l'emungimento dal pozzo Cagli 1 non ha influenzato le portate disponibili presso le sorgenti di Pieia e di Trella-Cornacchia. Le portate disponibili sono state influenzate dalle precipitazioni più cospicue alla fine del periodo siccitoso, mentre le precipitazioni di minore entità nei periodi più caldi non sono state sufficienti per innescare la risalita delle portate. Le precipitazioni in quota (stazione Monte Nerone) sembrano influenzare maggiormente le portate delle sorgenti.

7. CONFRONTO CON PRECEDENTI PROVE DI EMUNGIMENTO

Nel capitolo 3 sono state elencate le precedenti prove di emungimento per le quali sono state trovate alcune informazioni.

Di alcune prove sono state trovate e utilizzate per i grafici solo informazioni parziali. La durata dell'emungimento è stata variabile nelle varie prove, così come le portate di emungimento.

Nel grafico di figura 7a sono rappresentate le pressioni iniziali e quelle raggiunte alle differenti portate di prelievo.

Le prove rappresentate sono le seguenti:

DATA	Portate (l/s)	Durata gradini
Aprile 1992 - Aquater	50.3, 99.2, 214, 296, 398	24 ore
Maggio 1992- Aquater	66.1, 117, 190, 238, 269, 318, 372, 415	1 ora
Aprile 1997	200	1 ora
Maggio 1997	190	480 ore
Febbraio 1998	300	30 minuti
Luglio 1998	300	30 minuti
Agosto 1998	300	189 ore
Aprile 1999	100	30 minuti
Agosto 2003	100, 150, 300, 400	144-3 ore
Ottobre 2020	130, 240, 340, 420 (*)	72-48 ore
Agosto 2021	80, 140, 180, 230, 280, 330, 380, 420 (*)	1 ora

(*) È incluso il prelievo di 30 l/s per l'acquedotto di Cagli e Acqualagna

Nella legenda del grafico il numero dopo la data indica la durata della prova di emungimento in ore, per ogni gradino, secondo le informazioni disponibili.

Data la differente durata delle prove di emungimento il raffronto non è omogeneo ed è indicativo per un confronto qualitativo.

In generale si vede che durante le prove Aquater la pressione appare ridursi in maniera inferiore rispetto a quanto ottenuto con le prove successive.

Si veda in particolare il confronto tra la prova Aquater di aprile 1992 e quella dell'ottobre 2020, così come quella di maggio 1992 e quella di agosto 2021. Queste due coppie di prove sono state effettuate con durate confrontabili, con la differenza che durante le prove Aquater non era attivo il prelievo dal pozzo Cagli 1 per l'acquedotto di Cagli e Acqualagna.

La pressione iniziale era più elevata quando sono state fatte le prove Aquater nel 1992 rispetto alle pressioni iniziali registrate negli anni successivi (ugualmente ad aprile 1999). Ma le pressioni iniziali ad agosto 2021 sono le più elevate tra quelle effettuate dal 1997 in poi, quindi non si evidenzia un chiaro trend in diminuzione ma piuttosto una oscillazione nel corso del tempo e dello stesso anno (vedasi febbraio e luglio 1998).

Su questo aspetto si vedano anche le valutazioni riportate nel paragrafo 8. Infatti le stesse, anche in assenza di emungimento, sono variabili nel corso dell'anno.

Inoltre va tenuto conto che la strumentazione di misura è cambiata nel tempo e pertanto la precisione della misura della pressione a testa pozzo può essere differente tra le varie prove.

Nel grafico 7b è riportato l'abbassamento nel corso delle varie prove di emungimento. Per alcune prove si hanno a disposizione solo i dati di un gradino di portata.

L'abbassamento è stato minore durante le prove Aquater del 1992 rispetto a quello verificatosi con le prove effettuate negli anni successivi (tranne aprile 1997 e aprile 1999). Si veda in particolare il confronto tra la prova Aquater di aprile 1992 e quella dell'ottobre 2020, così come tra quella di maggio 1992 e quella di agosto 2021. Le prove effettuate nel 2020 e 2021, sia pure con durate differenti, mostrano un andamento simile mentre quelle Aquater hanno un andamento meno omogeneo, soprattutto quella di maggio 1992.

Dai dati disponibili, alcuni dei quali parziali, è difficile poter individuare un trend regolare in riduzione o trarne delle conclusioni definitive, salvo l'evidenza dei maggiori abbassamenti ottenuti con le prove del 2020-2021 rispetto a quelle effettuate da Aquater nel 1992.

Nelle figure 7c-d-e sono riportati i confronti tra le prove di emungimento effettuate ad aprile 1992 dall'Aquater e a ottobre 2020, simili nella durata dei gradini (24 ore Aquater e 48-72 ore nel 2020).

Nelle figure 7f-g-h sono riportati i confronti tra le prove di emungimento effettuate a maggio 1992 dall'Aquater e a agosto 2021, aventi durate simili nella durata dei gradini (1 ora).

Sul perché delle maggiori depressioni verificatesi nel 2021-2021 rispetto a quelle verificatesi nel 1992 non è facile trarre delle conclusioni definitive. Le differenze possono essere influenzate dalle differenti condizioni nelle quali sono state effettuate le prove (nel 2020-2021 era attivo l'emungimento verso l'acquedotto di Cagli e Acqualagna e le prove sono state effettuate in periodi dell'anno differenti aprile-maggio nel 1992 e agosto nel 2021, ottobre nel 2020) e/o a variazioni di trasmissività nell'intorno del pozzo.

Tali differenze saranno oggetto di ulteriori analisi sulle prove effettuate e potranno essere valutate con ulteriori prove di emungimento.

8. ANDAMENTO DELLA PRESSIO A TESTA POZZO CAGLI 1 NEL 2020 E 2021

Nel seguito sono effettuate alcune valutazioni sull'andamento della pressione alla testa del pozzo Cagli 1 nel lungo periodo, sulla base dei dati disponibili nel 2020 e 2021, anche in assenza del prelievo con immissione nel fiume Burano. Piccole oscillazioni possono essere dovute a variazioni di emungimento verso l'acquedotto di Cagli ma i trend più generali, in discesa e in salita, si ritiene che possano essere influenzati da altri fattori.

Nel grafico di figura 6a il tratto con la graduale riduzione della pressione prima dell'apertura del pozzo si ritiene sia dovuta alla fase di parziale svuotamento dell'acquifero a causa delle ridotte precipitazioni di maggio e giugno mentre il tratto in risalita dopo la chiusura del prelievo dal pozzo Cagli 1 verso il fiume Burano, si ritiene sia determinato oltre che dall'interruzione del prelievo anche dalla fase di ricarica dell'acquifero connesse alle piogge avvenute, con vari impulsi, da settembre.

Nel grafico di figura 8a sono rappresentate la pressione a testa pozzo Cagli 1 e le precipitazioni giornaliere registrate presso le stazioni meteo del Centro Funzionale situate a maggior quota (Monte Nerone, Monte Petrano e Monte Acuto), mediate tra le stazioni considerate. Sono state considerate le stazioni in quota poiché più vicine alle

zone di affioramento della formazione del Calcere Massiccio, della Corniola e della Maiolica che costituiscono le zone di alimentazione principali dell'acquifero profondo.

Tra il 27 giugno e il 5 agosto, quando era attivo solo il prelievo per l'acquedotto di Cagli-Acqualagna, si è registrata una riduzione di pressione di circa 0.026 bar al giorno. Con il prelievo fissato a circa 300 l/s la riduzione di pressione era più accentuata e pari a circa 0.052 bar/giorno.

Con la riduzione del prelievo a circa 150 l/s la riduzione di pressione è stata più ridotta, ovvero pari a circa 0.023-0.025 bar/giorno.

Dopo la chiusura del prelievo dal pozzo verso il Fiume Burano la pressione aumenta con una pendenza di circa 0.05 bar/giorno sino al 4 ottobre. Poi si è avuta una parziale e minore riduzione di pressione tra il 4 e il 7 ottobre (da 20.5 a 20.3 bar) che non è chiaro a cosa possa essere dovuta.

Successivamente la pressione subisce un maggiore incremento tra l'8 e il 14 ottobre, proprio quando sia ha un importante picco di precipitazione (107 mm il giorno 7, e valori minori nei giorni a cavallo di questa data).

Successivamente, tra il 13 ottobre e il 31 ottobre le piogge sono assenti o sporadiche e la pressione è quasi costante.

Dal 3-4 novembre si nota nuovamente un aumento di pressione accentuato, in corrispondenza delle piogge avvenute ad inizio novembre (e con un ulteriore impulso di precipitazioni il 15-16 novembre).

Successivamente si verificano piogge sparse con valori giornalieri non superiori ai 20 mm, anche a carattere nevoso a fine novembre, e la pressione continua ad aumentare con andamento abbastanza regolare ma con meno ripidità rispetto ai giorni precedenti. L'aumento di pressione in questo periodo è pari mediamente a 0.03 bar/giorno (dal 12 novembre al 16 dicembre).

La pressione tende a stabilizzarsi intorno ai 23.3 bar dal 17 dicembre sino al 23-24 dicembre, quando sono assenti precipitazioni.

Con le significative precipitazioni avvenute tra il 24 e il 26 dicembre si nota un nuovo rapido incremento della pressione dopo il 25 dicembre, raggiungendo 24.1 bar il 31 dicembre. In corrispondenza di tali precipitazioni si è verificato lo scioglimento della neve accumulata il 9-11 dicembre (secondo i dati registrati presso la stazione di Monte Nerone del Centro Funzionale della Protezione civile regionale, in corso di validazione).

Successivamente la pressione ha subito nuovamente un parziale aumento sino a 24.25 bar, raggiunti il 21 gennaio, per poi subire una lieve riduzione sino ai 24 bar raggiunti il 10 febbraio, mantenendosi successivamente circa costante.

Nel grafico di figura 8b sono visualizzabili i dati di pressione media giornaliera a testa pozzo per il 2020, con i dati disponibili (dal 15 settembre al 4 dicembre) e le precipitazioni in quota. Inoltre, per confronto, sono riportati i valori di pressione media giornaliera registrati nel 2020 nei giorni corrispondenti.

Prima dell'apertura del pozzo avvenuta il 6 ottobre la pressione era in debole riduzione sino al 1 ottobre, con un lieve rialzo dal 2 al 5 ottobre. Le precipitazioni del 25 settembre sono quelle più significative verificatesi dopo il periodo estivo.

Con l'apertura, il giorno 6 ottobre, la pressione è rapidamente calata e successivamente, alla conclusione della prova di pompaggio, la pressione è risalita rapidamente (dal 17 ottobre) recuperando gran parte della riduzione accumulata già il 18 ottobre. Dopo circa 10 giorni, tra il 27 e il 29 ottobre è stata recuperata la pressione sino ai valori esistenti a inizio prova (21.8-21.9 bar).

Dal 2 al 7 novembre la pressione è rimasta circa costante, in un periodo con basse precipitazioni, mentre dal 17-18 novembre si registra un nuovo aumento per raggiungere il valore di 22.6 bar il 4 dicembre. Tale incremento appare manifestarsi a seguito delle significative precipitazioni del 16 novembre (circa 55 mm).

Per confronto viene riportato l'andamento della pressione nel 2021 negli stessi giorni. Si vede che i valori di pressioni in assenza di prelievi significativi sono circa paragonabili.

Da tali andamenti sembra che l'acquifero profondo risenta anche dell'apporto delle precipitazioni nei giorni immediatamente precedenti, in particolare degli apporti precipitativi di maggiore rilevanza; tale influenza potrebbe essere determinata da circuiti di alimentazione veloci connessi alla presenza di condotti carsici, che si sovrappongono ad una alimentazione più lenta legata alle zone a variabile grado di fratturazione dell'acquifero.

Tale aspetto comunque necessita di ulteriori verifiche e valutazioni, che potranno essere effettuate continuando a mantenere monitorata la pressione a testa pozzo.

9. SINTESI

Nel presente rapporto sono state riassunte le risultanze dell'attività di controllo e monitoraggio conseguenti all'apertura del pozzo Cagli 1 nel 2021 a causa della situazione di severità idrica.

L'acquifero interessato dal pozzo Cagli 1 appare avere una buona permeabilità con l'apporto di circuiti di alimentazione relativamente più rapidi, favoriti dalle porzioni maggiormente carsificate e da circuiti di alimentazione più lenti legati alle porzioni con fratturazione più minuta. La pressione a testa pozzo, monitorata continuamente anche durante i periodi di non apertura (salvo il prelievo per l'acquedotto di Cagli e Acqualagna, pari a circa 30 l/s) mostra delle variazioni che sembrano influenzate dalle precipitazioni nei giorni precedenti; tale andamento mostrerebbe anche la presenza di circuiti di alimentazione molto veloci. Tale andamento potrà essere meglio verificato continuando nel tempo il monitoraggio dei dati a testa pozzo.

La riduzione di pressione conseguente all'apertura del pozzo per portate significative viene recuperata, dopo la chiusura, in un periodo di tempo circa pari alla durata di apertura. Successivamente si ha anche un aumento dei valori di pressioni rispetto a quelli misurati all'inizio del pompaggio. La riduzione nel tempo, durante il pompaggio, è stata più accentuata con il prelievo di circa 300 l/s mentre con circa 150 l/s il trend di riduzione è più contenuto e simile a quello presente da fine giugno prima dell'apertura del pozzo.

Dai dati della prova di pompaggio effettuata prima di fissare il prelievo a 150 l/s non si nota un punto di flesso evidente e non è facile individuare la portata critica. Un parziale aumento di pendenza si ha tra i 280 e i 330 l/s. In ogni caso oltre tali portate la curva è piuttosto regolare, mostrando un lieve aumento di pendenza.

Ugualmente con la prova effettuata nel 2020 non era stato evidenziato un punto di flesso tale da poter individuare con facilità la portata critica; nei grafici era riscontrabile solo un lieve aumento di pendenza intorno a 200-250 l/s.

Le analisi chimiche confermano le valutazioni effettuate nello studio Aquater in merito alle caratteristiche delle acque emunte dal pozzo Cagli 1. Nel corso del pompaggio sono stati rilevati dei trend di variazione, sia pure limitati, di alcuni parametri chimici; tali trend sembrano evidenziare un maggior coinvolgimento di acque con deflusso profondo con il proseguire del pompaggio. Per valutare tale aspetto si ritiene utile l'installazione di un sensore di conducibilità a testa pozzo per una rilevazione in continuo di tale parametro.

Dai dati rilevati nel corso del 2021 il prelievo dal pozzo Cagli 1 ha aumentato le portate in uscita dalla Gola del Burano e le portate immesse dal pozzo verso il fiume si riscontrano senza significative riduzioni all'idrometro di Ponte Cavour, all'uscita della Gola del Burano. L'apertura del pozzo non sembra aver influenzato l'apporto dalle sorgenti lineari lungo il Fiume Burano o la portata in uscita dalla gola del Bosso. Le portate emunte dal pozzo Cagli 1 e immesse nel fiume Burano raggiungono senza rilevati riduzioni il fiume Candigliano dopo circa 7.5-9.5 ore, come riscontrato all'idrometro di Acqualagna.

La portata stimata da Enel all'invaso del Furlo è inferiore a quella derivante dalle misure di portata dirette effettuate dal Centro Funzionale all'idrometro di Acqualagna e a quelle stimabili dalla scala di deflusso provvisoria. Si ritiene sia opportuno effettuare un controllo sulla scala di deflusso dell'asta idrometrica sita a valle della diga del Furlo con alcune misure di portata, visto che la sezione non è fissa.

L'emungimento dal pozzo Cagli 1 non ha influenzato le portate disponibili presso le sorgenti di Pieia e di Trella-Cornacchia. Le portate disponibili sono state influenzate dalle precipitazioni più cospicue alla fine del periodo siccitoso, mentre le precipitazioni di minore entità nei periodi più caldi non sono state sufficienti per innescare la risalita delle portate. Tale risultanza è in linea con le valutazioni effettuate da Aquater nel 1992.

Il confronto tra le prove di emungimento effettuate nel 1992 da Aquater e quelle effettuate nel 2020-2021 mostra una maggiore riduzione delle pressioni a parità di portata prelevata durante le prove del 2020-2021. Anche con le prove effettuate tra il 1997 e il 2003, delle quali sono disponibili in genere informazioni parziali, la pressione appare ridursi maggiormente (tranne aprile 1997 e aprile 1999) rispetto alle prove del 1992, ma non si individua un trend regolare in riduzione. Tali differenze possono essere dovute a vari fattori e saranno oggetto di ulteriori analisi sulle prove effettuate e potranno essere valutate con ulteriori prove di emungimento.

Dai dati per ora disponibili si ritiene che un prelievo sino a circa 300 l/s possa essere giustificato in caso di necessità per periodi di tempo limitati/non troppo estesi, mentre un prelievo sino a 100-150 l/s possa essere attivato per periodi di tempo più lunghi/continui, mantenendo attivi i monitoraggi. Tale valutazione potrà essere meglio definita aggiornando il bilancio idrico effettuato dall'Aquater nel suo studio, sia sulla base delle stesse assunzioni ma con dati meteorologici e idrologici più recenti, che sulla base di differenti assunzioni basate su successivi studi-pubblicazioni in merito alle zone di alimentazione dell'acquifero emunto dal pozzo Cagli 1. Si ritiene opportuno effettuare una prova di emungimento anche ad aprile 2023.

Attualmente è in corso di completamento la raccolta delle relazioni e dei dati disponibili con lo studio Aquater del 1991-1992 e dei successivi monitoraggi seguiti dal Comune di Cagli. È stata effettuata la copia o scansione dei documenti ed è in corso l'ordinamento dei dati e la loro informatizzazione, nonché l'elaborazione degli stessi per sviluppare gli aggiornamenti sopra indicati.

Ulteriori approfondimenti possono derivare dall'aggiornamento delle analisi isotopiche effettuate a suo tempo dall'Aquater e dallo sviluppo di un modello matematico dell'acquifero.

La disponibilità di un sistema di monitoraggio in continuo permette, attraverso la correlazione dei dati disponibili, di poter tenere sotto controllo e valutare gli effetti dell'emungimento dal pozzo Cagli 1, migliorando le conoscenze dell'acquifero interessato. In questo modo l'apertura e il prelievo dal pozzo può essere effettuato con maggiore consapevolezza e tranquillità.

Questo risultato, dopo vario tempo dal termine degli studi effettuati dall'Aquater e dei successivi monitoraggi seguiti dal Comune di Cagli, si ritiene sia un importante risultato raggiunto grazie all'impegno dei funzionari regionali e dell'AATO 1. Le sollecitazioni dei Comuni di Cagli e Cantiano per migliorare le informazioni e conoscenze sugli effetti dei prelievi hanno favorito tale risultato. Ugualmente importante è stata l'attività del Marche Multiservizi per la sistemazione della testa pozzo e nel rispondere prontamente alle attività di monitoraggio chieste nel corso dell'apertura del pozzo.

BIBLIOGRAFIA

Agip Mineraria, Servizio Geologico (1960). Profilo stratigrafico del pozzo n. 1 nel cantiere di Burano. <https://www.videpi.com/videpi/pozzi/dettaglio.asp?cod=982>.

Aquater (1991-1992). Progetto regionale di captazione idropotabile tramite perforazione di pozzo e monitoraggio delle risorse idriche preesistenti in località Burano. Varie relazioni.

Bison P. e altri (1995). Valutazione e protezione delle risorse idriche sotterranee nella dorsale carbonatica M. Catria-M. Nerone (Marche). IGEA – Ingegneria e geologia degli Acquiferi, n. 5 - 1995, 13-24.

Capaccioni B. e altri (2001) Hydrogeochemistry of groundwaters from carbonate formations with basal gypsiferous layers: an example from the Mt Catria-Mt Nerone ridge (Northern Apennines, Italy), *Journal of Hydrology*, 253 (2001), 14-26.

Caprari M. e Nanni T. (1999). Idrogeologia della dorsale carbonatica del M. Catria-M. Nerone (Appennino umbro-marchigiano settentrionale), *Boll. Soc. Geol. It.*, 118 (1999), 563-584.

Celico P. (1990). Prospezioni idrogeologiche. Volume I e Volume II. Liguori Editore.

Comune di Cagli (1997-2003). Note e verbali sulle prove di emungimento del pozzo Cagli 1.

Comune di Cagli (1999). Progetto Burano. Servizio di monitoraggio delle risorse idriche nella dorsale carbonatica Catria-Nerone. Relazione conclusiva. A cura di Magnoni G., Luchini F., Celli S., Pompili M. Inedito.

Farina D. (2009). Studio per la individuazione delle aree di salvaguardia delle derivazioni ed opere di presa. AATO 1. Inedito.

Farina D. (2018). Relazione Idrogeologica per il rinnovo della concessione di acqua ad uso potabile dal Torrente Giordano, nel Comune di Cagli. Marche Multiservizi S.p.A. Inedito.

Mastrolillo L. (2001) – Elementi strutturali e caratteristiche idrogeologiche della dorsale carbonatica Umbro-Marchigiana interna. *Mem. Soc. Geol. It.*, 3: 219-226

Portate in ingresso e uscita al sistema degli invasi - F. Candigliano e F. Metauro

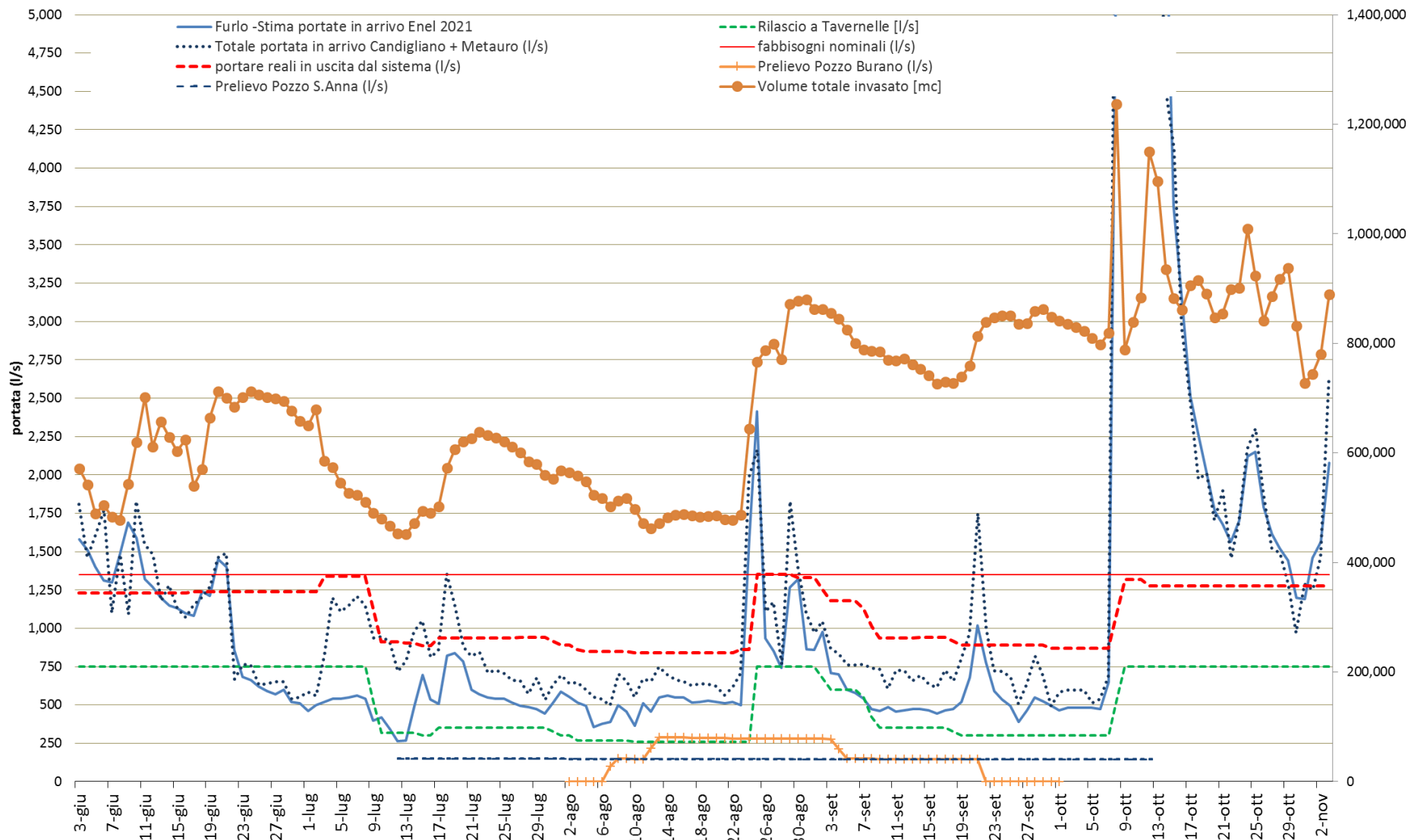


Figura 4a

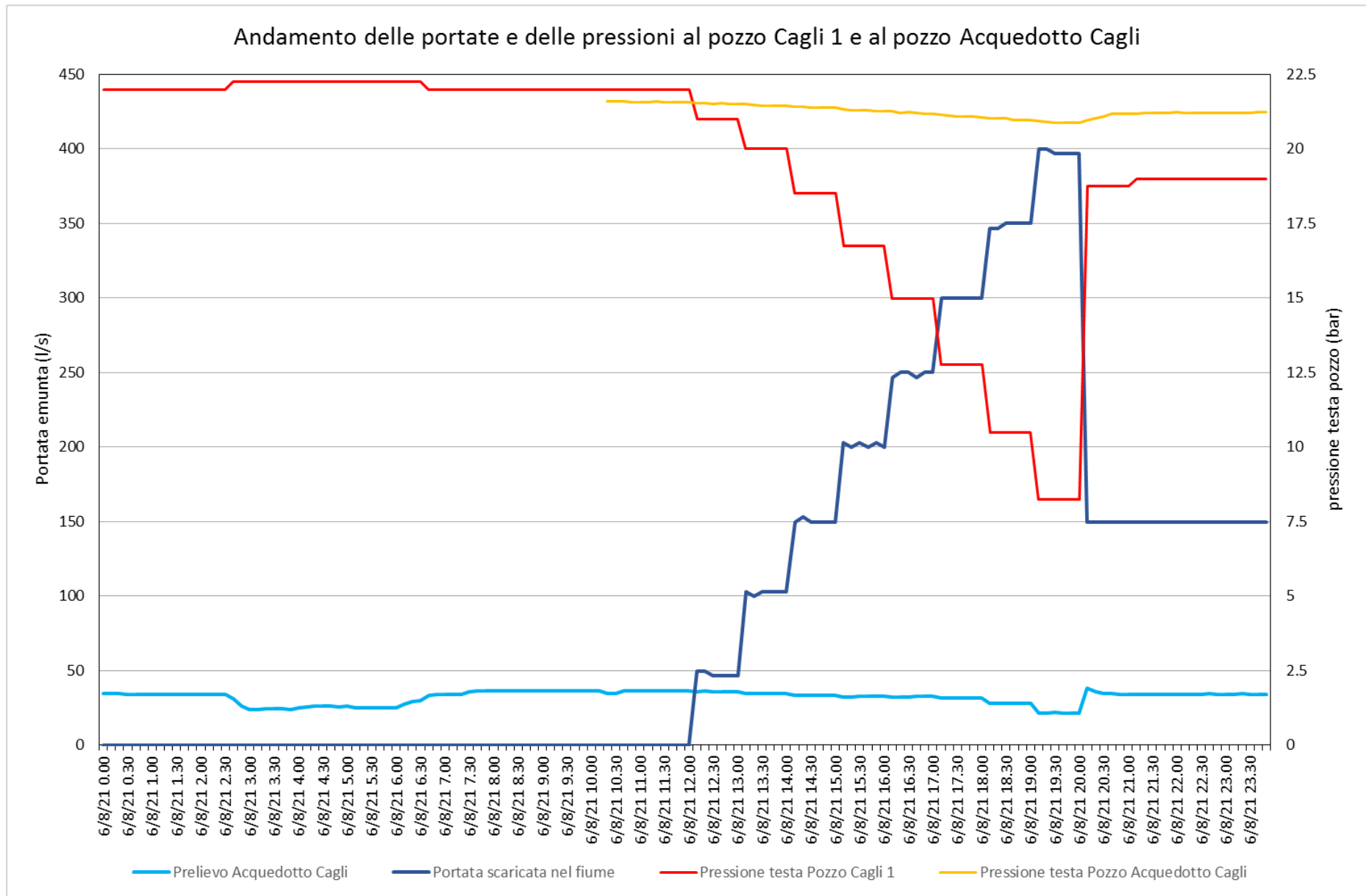


Figura 5a

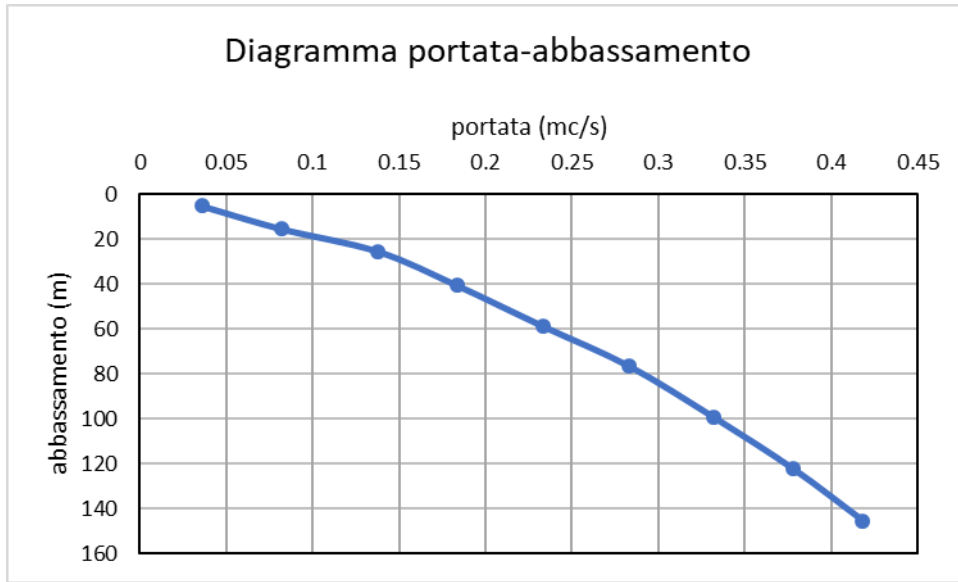


Figura 5b

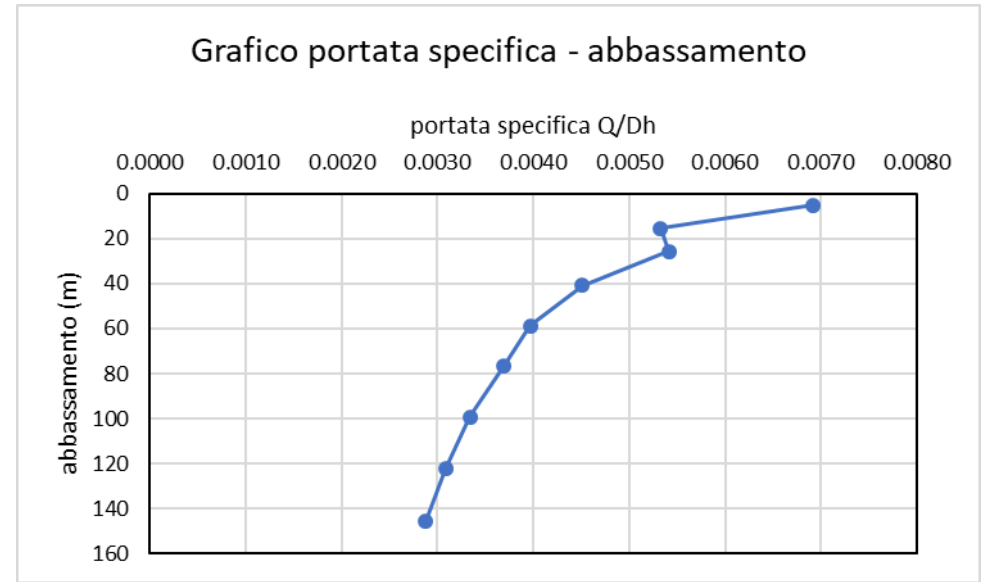


Figura 5c

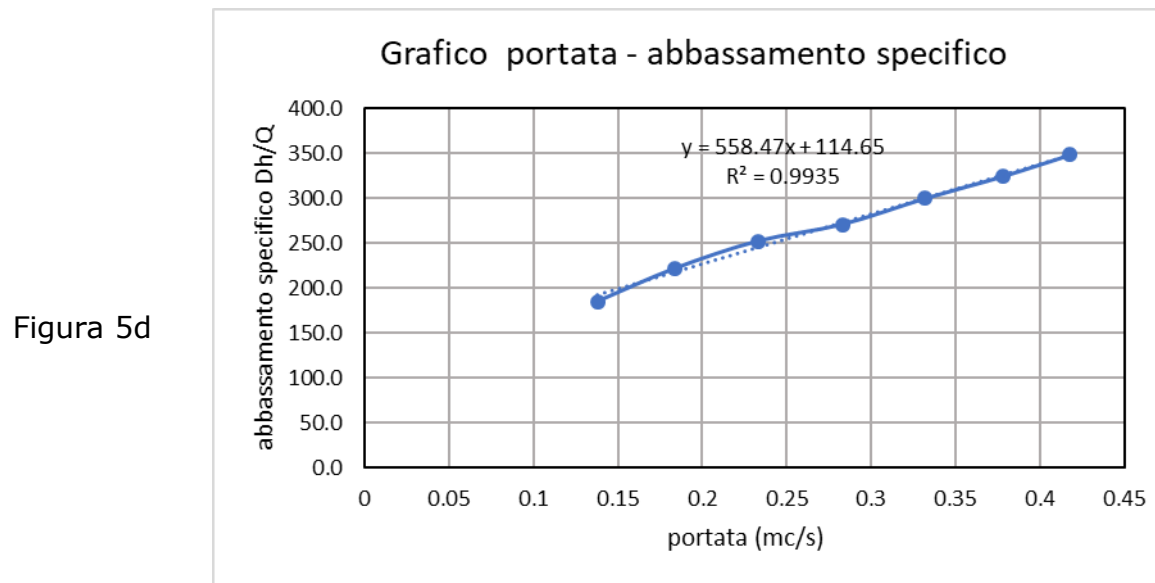


Figura 5d

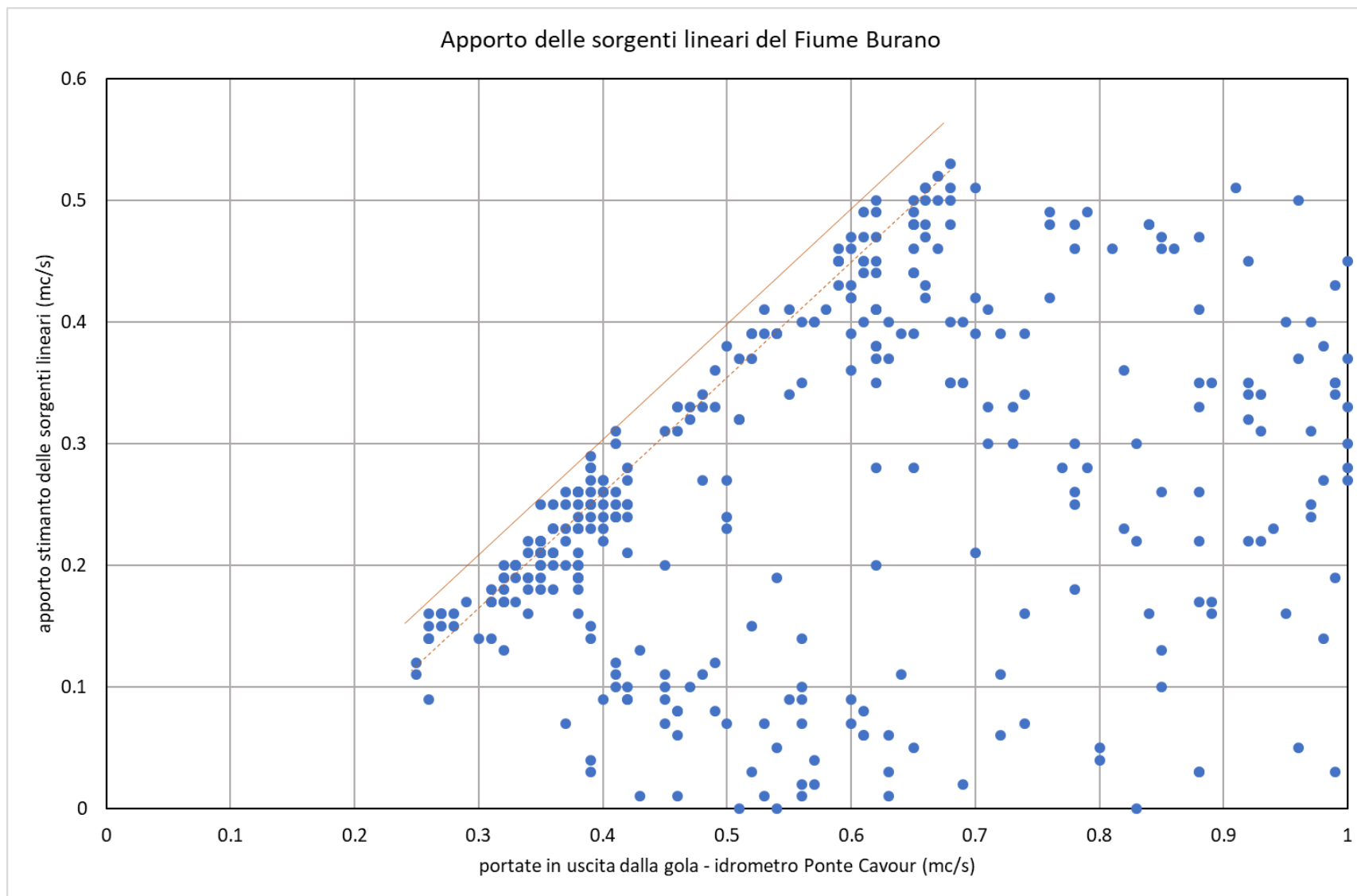


Figura 5.1a

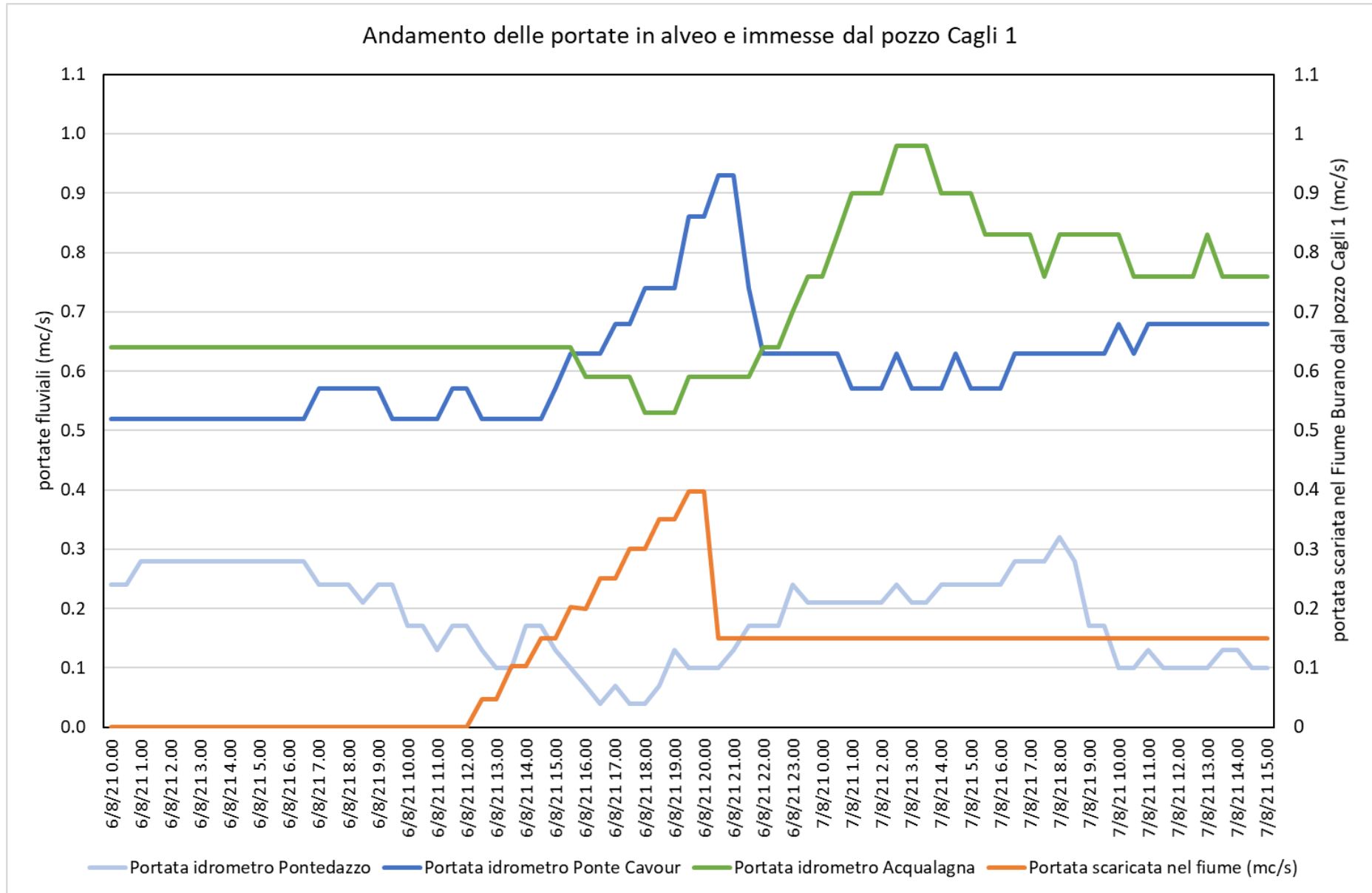


Figura 5.1b

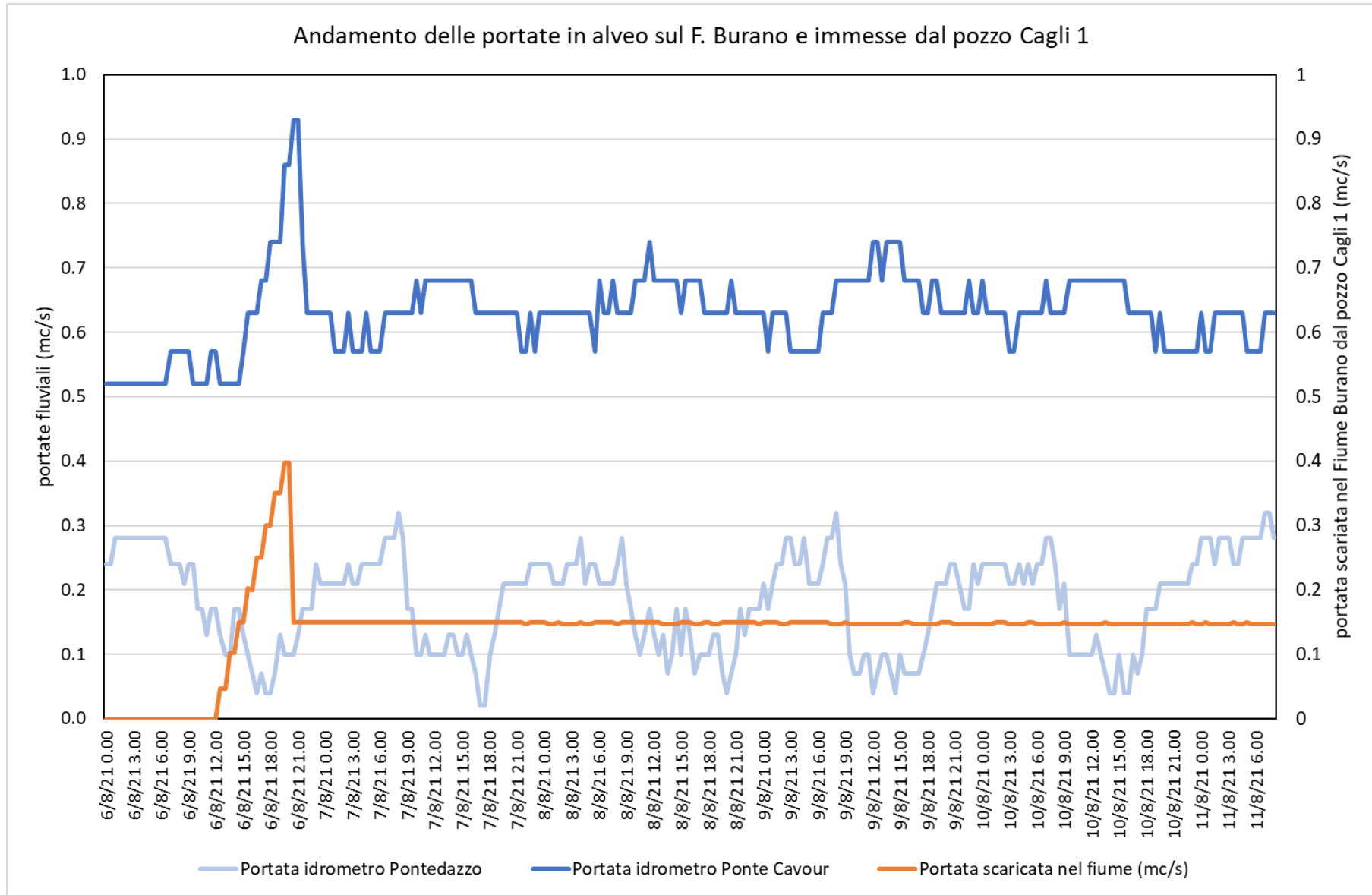


Figura 5.1c

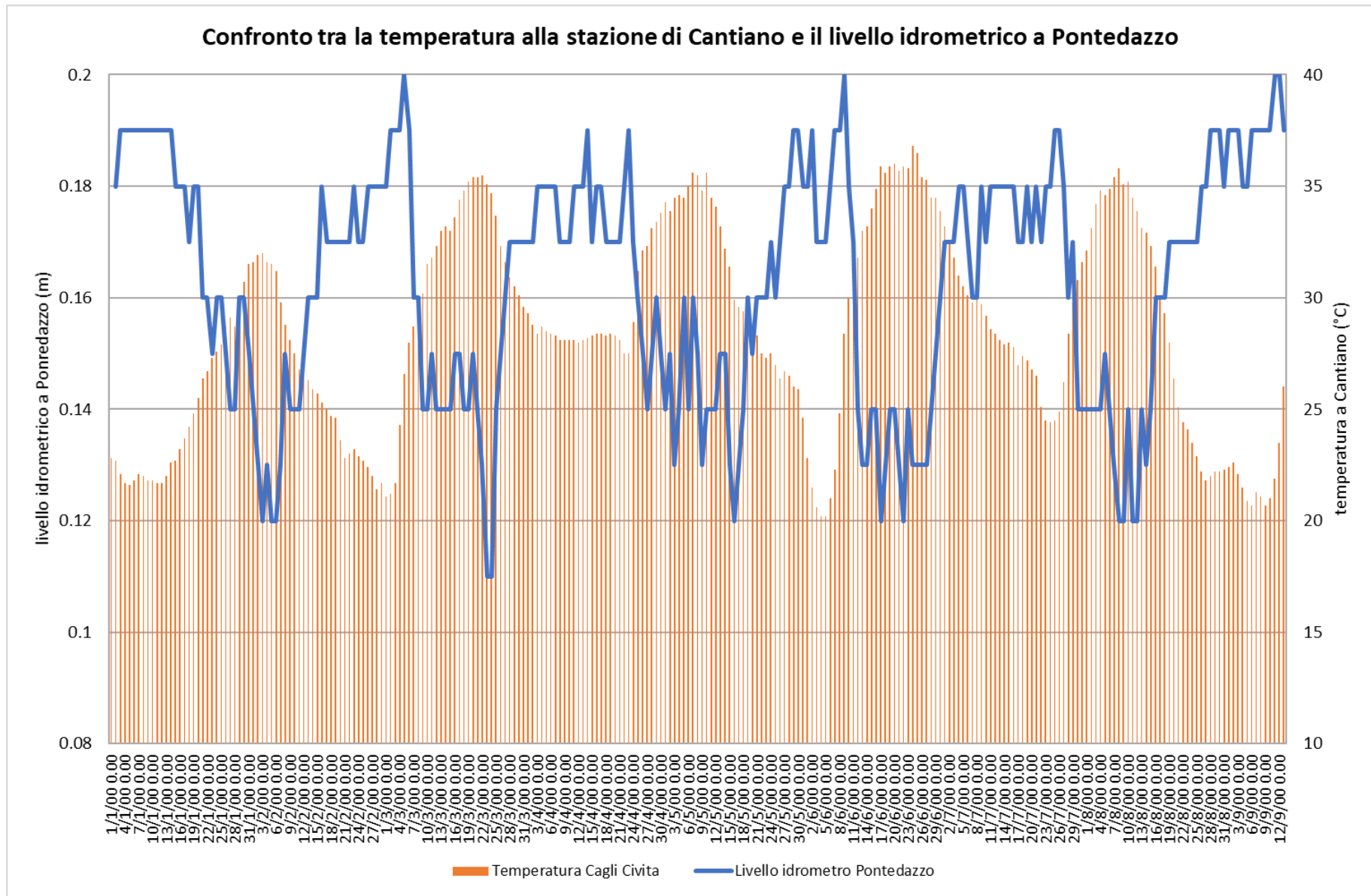


Figura 5.1d

Andamento pressione media giornaliera a testa pozzo e portate prelevate

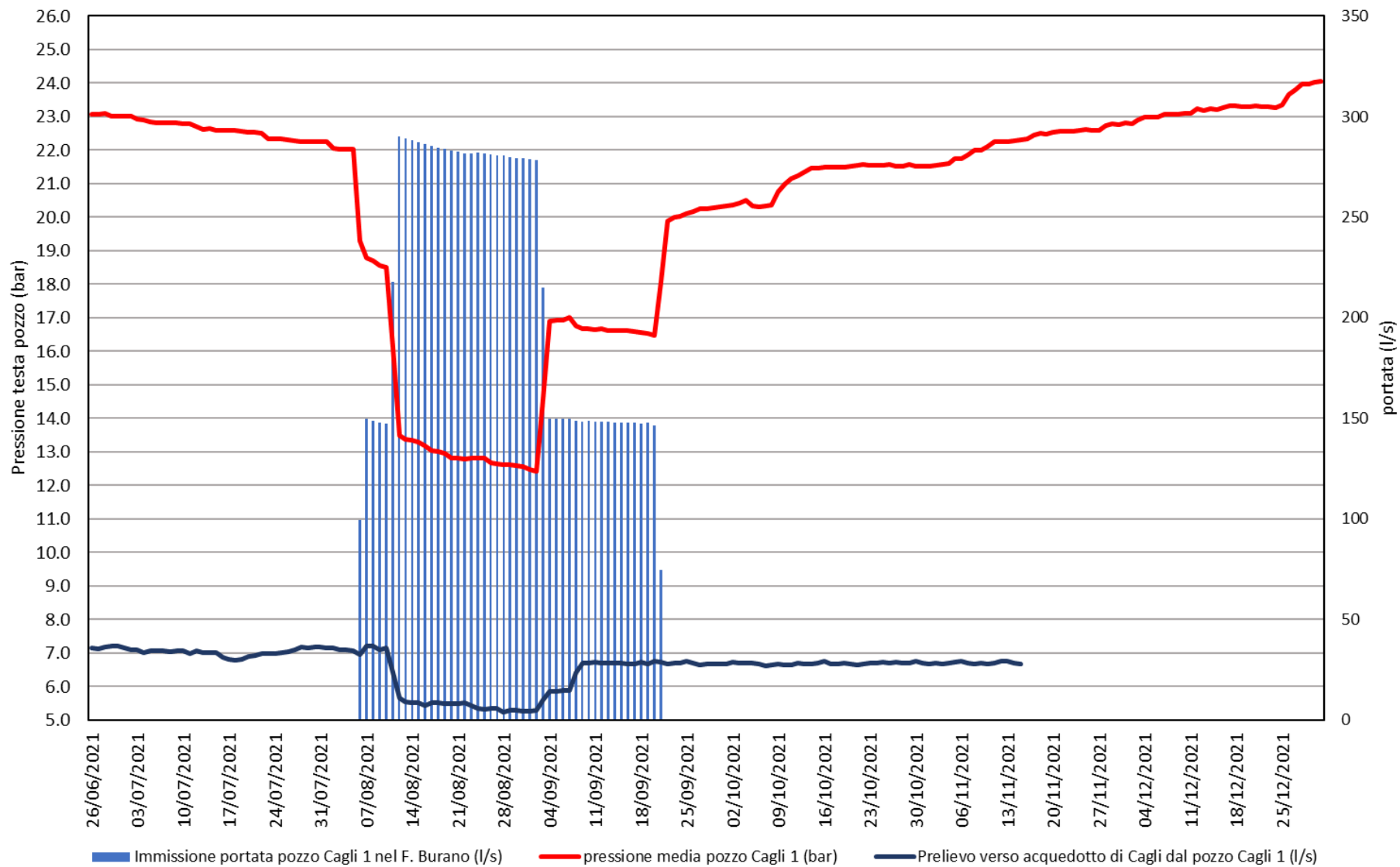


Figura 6a

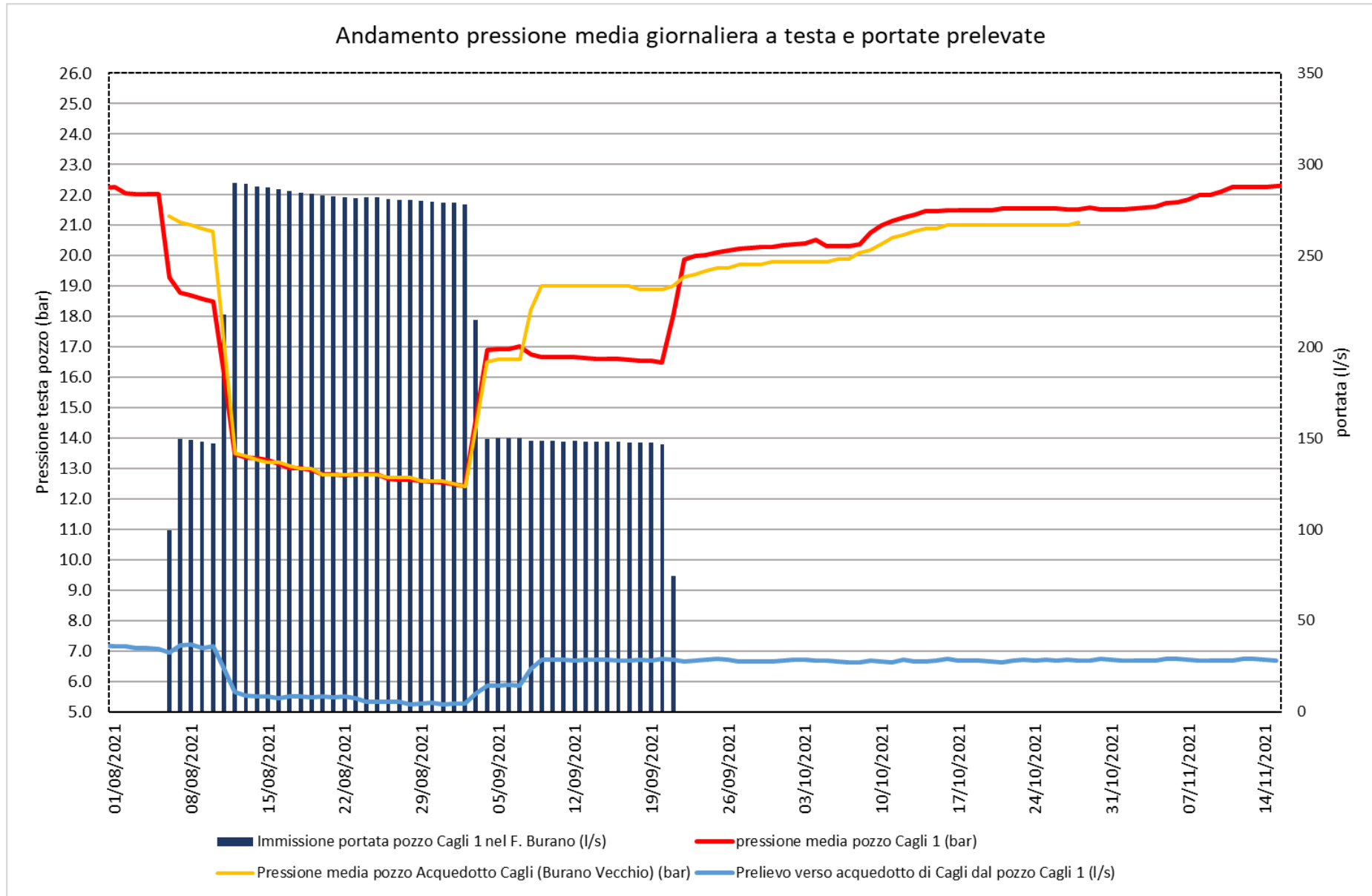


Figura 6.1a

Andamento pressione media giornaliera a testa pozzo e temperature a testa pozzo

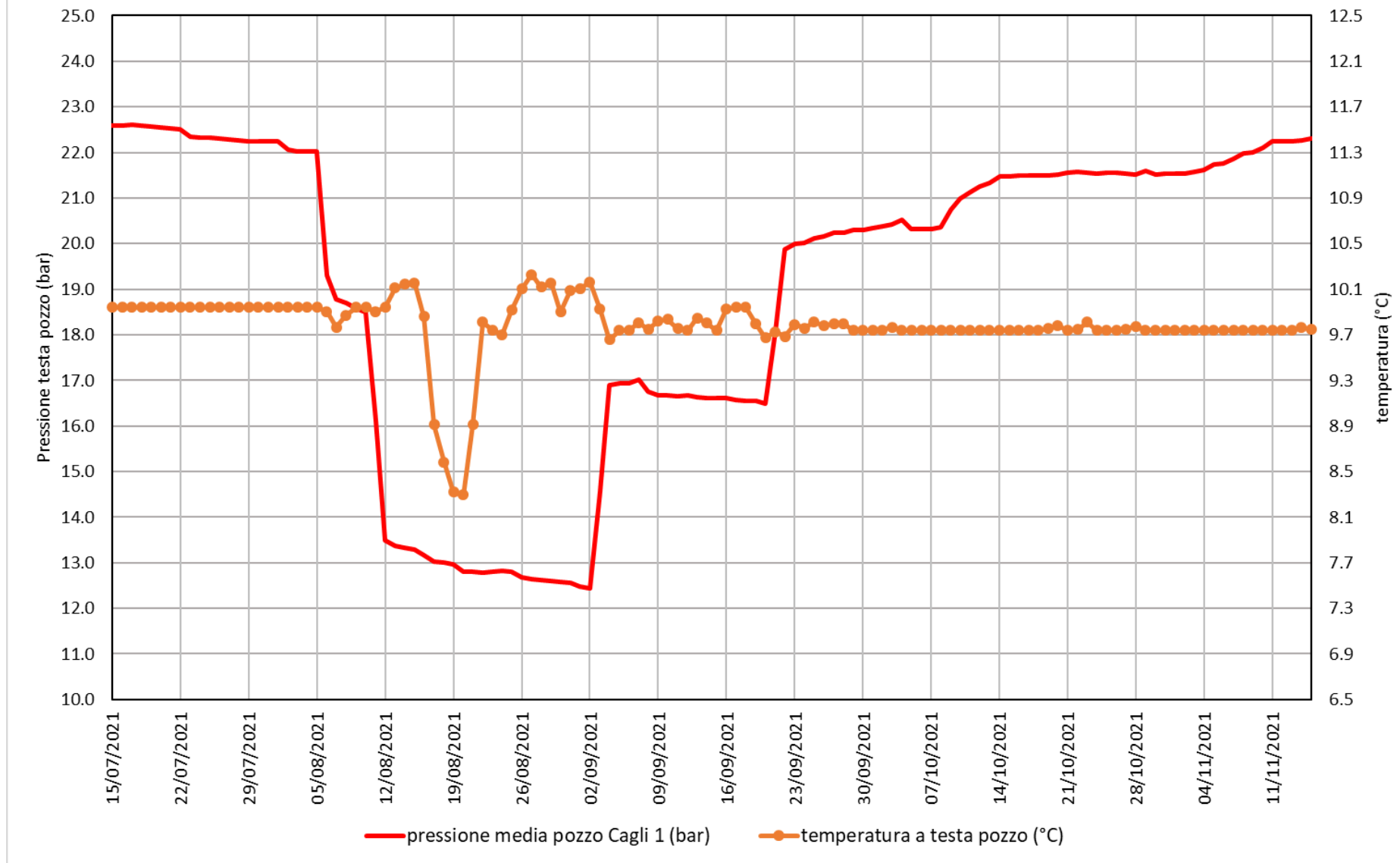


Figura 6.2a

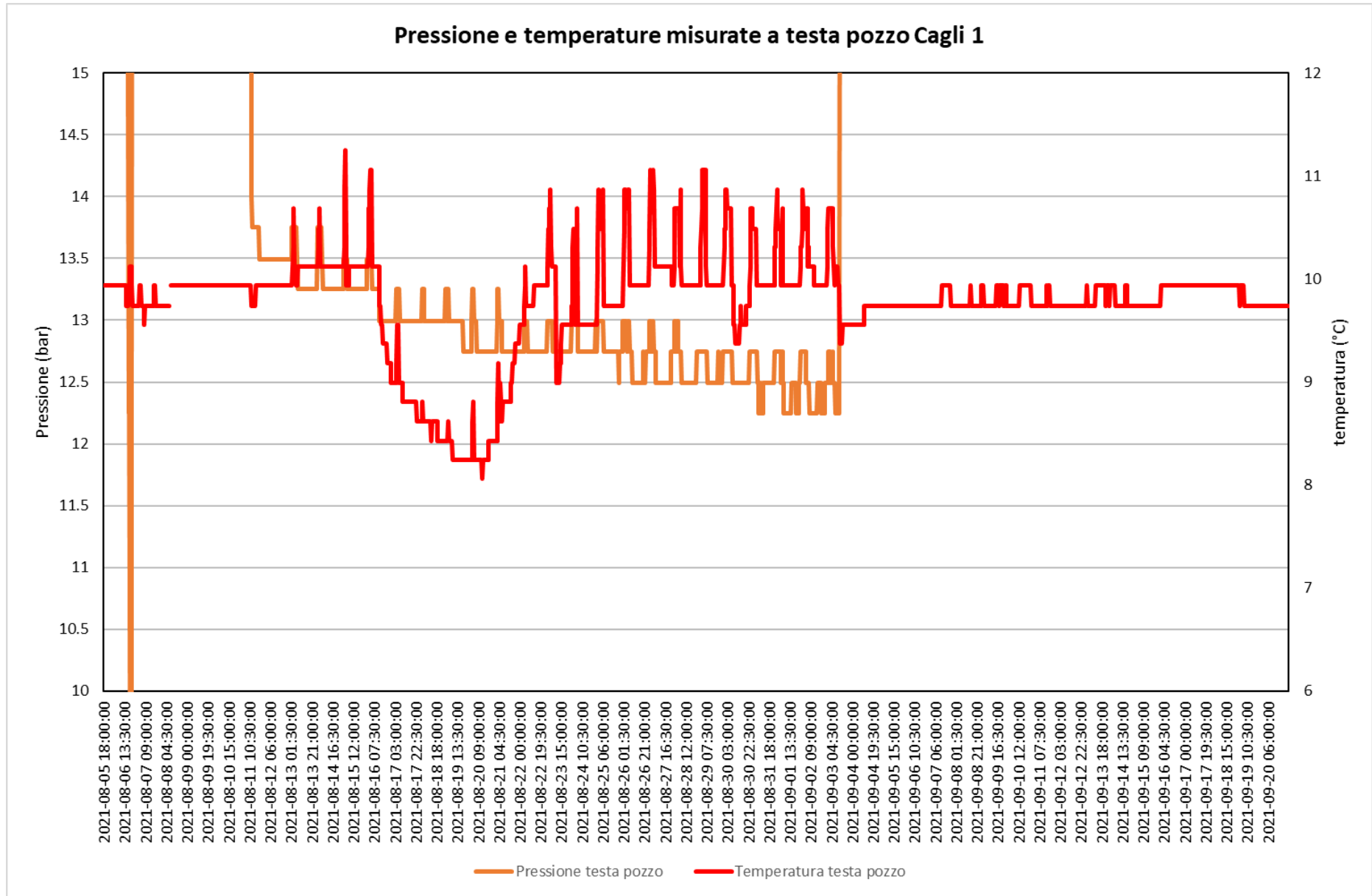


Figura 6.2b

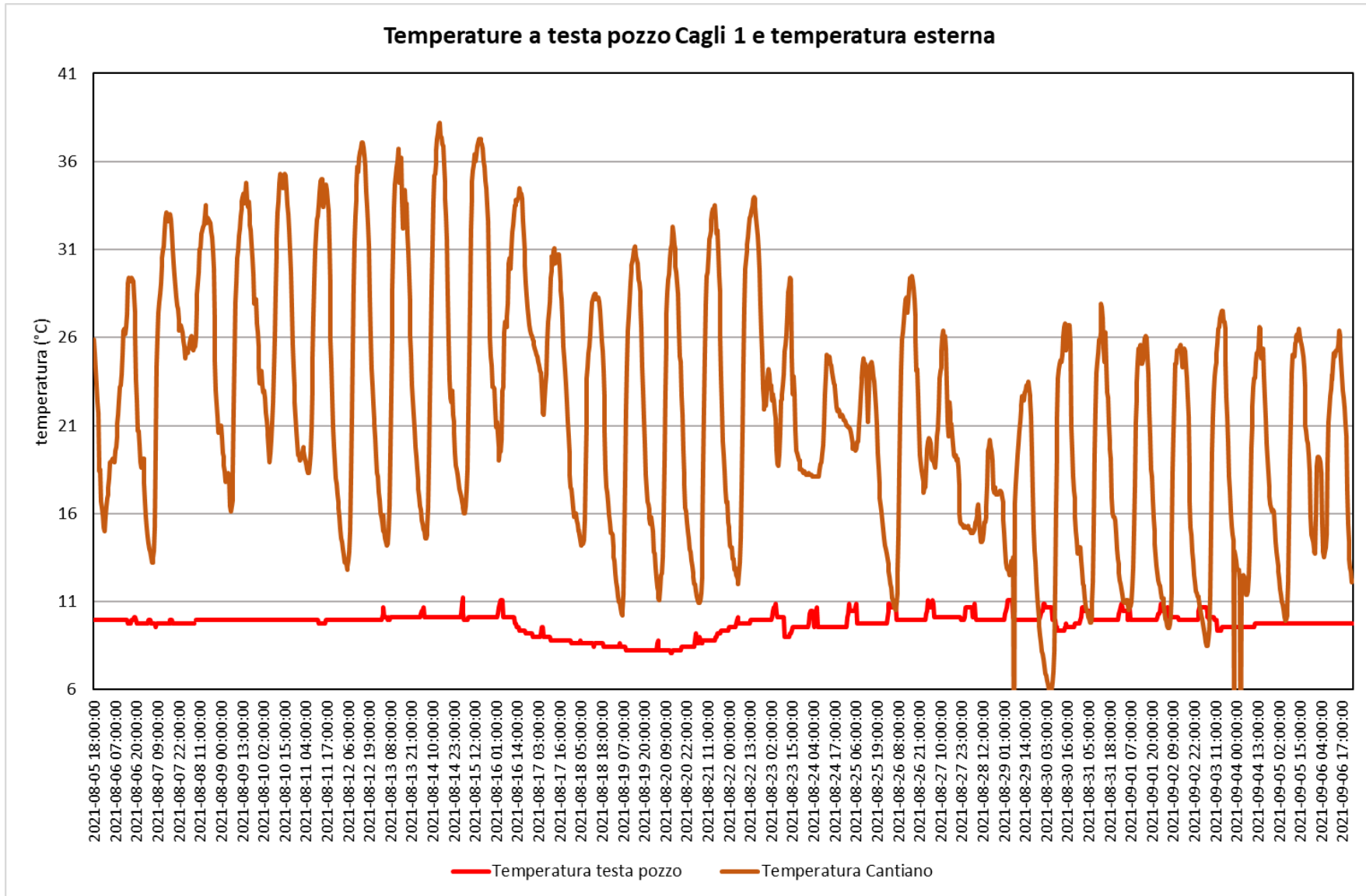


Figura 6.2c

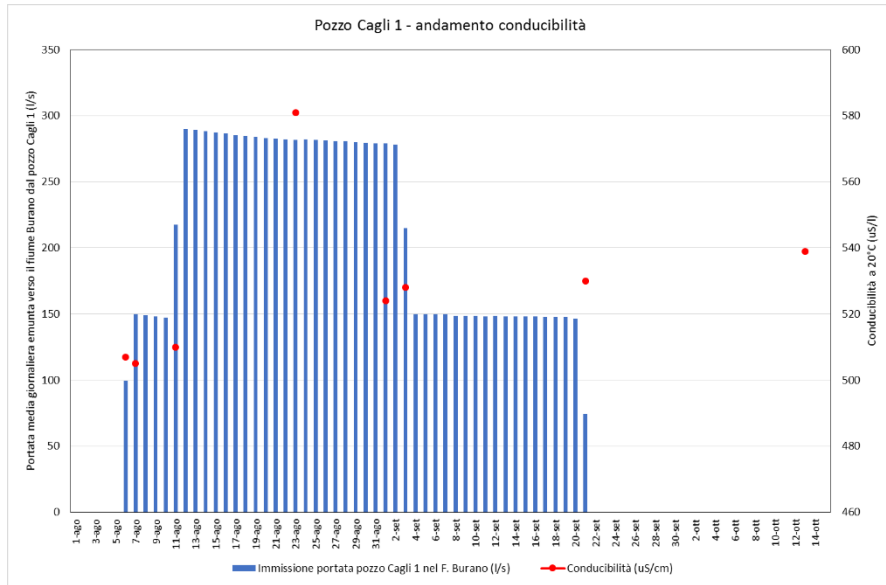


Figura 6.2 d

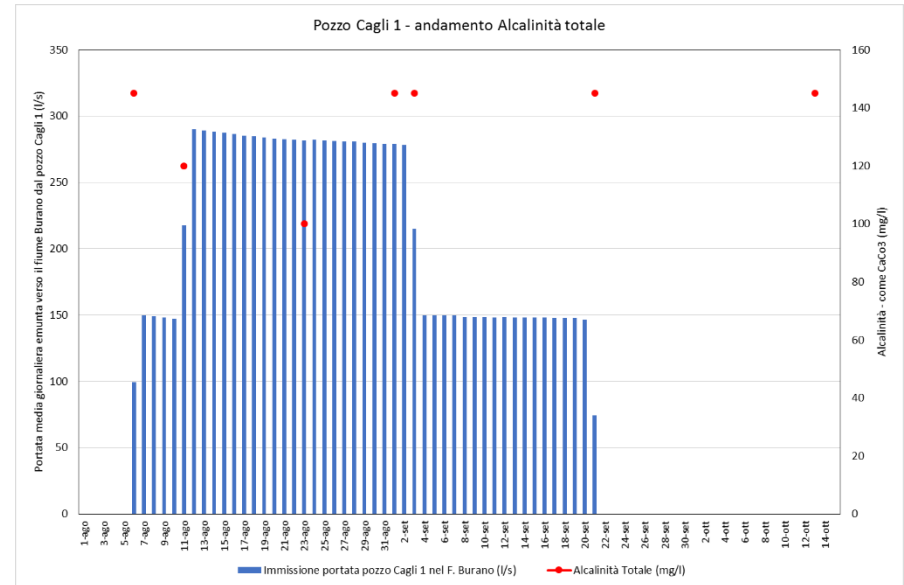


Figura 6.2e

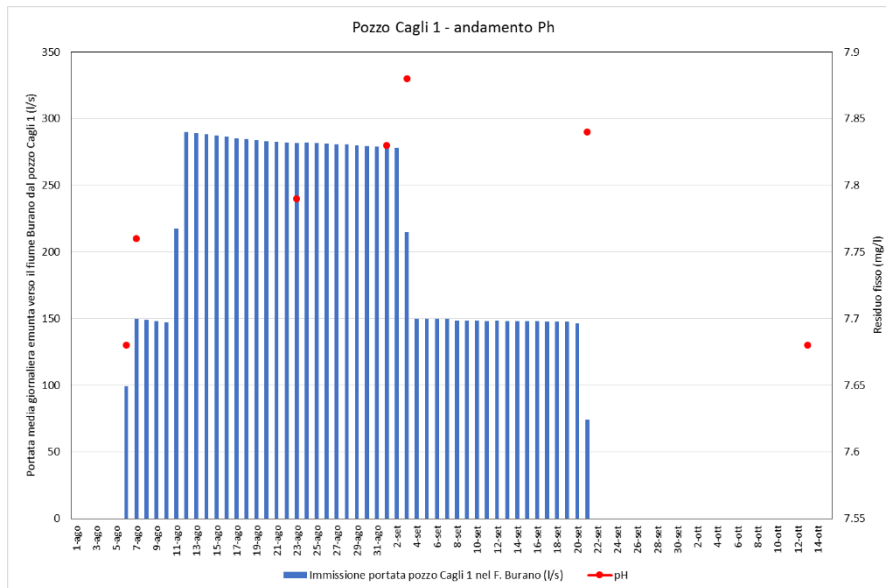


Figura 6.2f

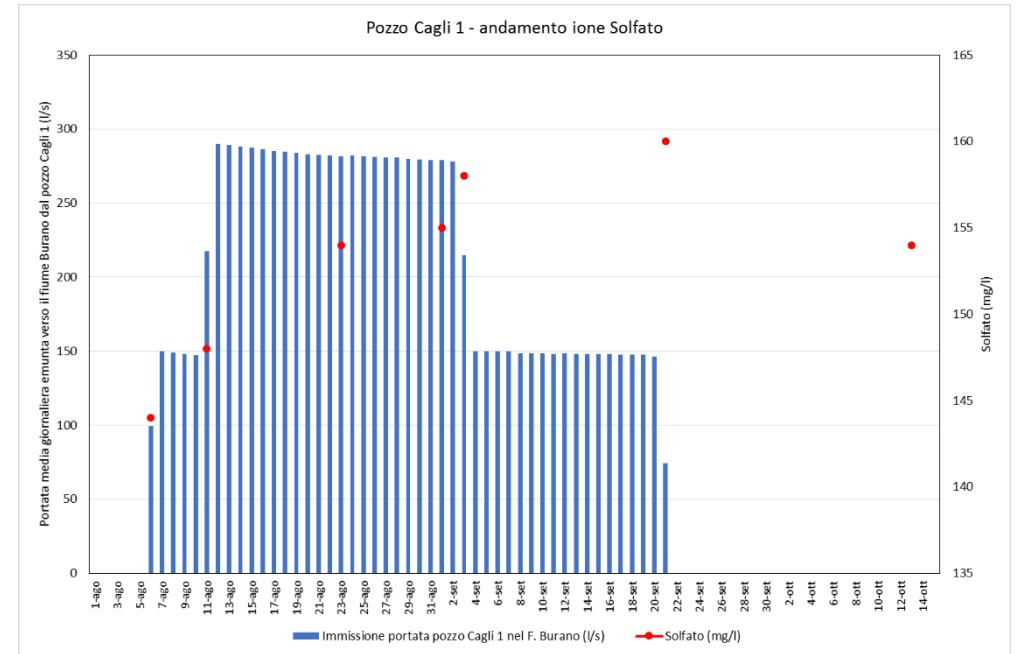
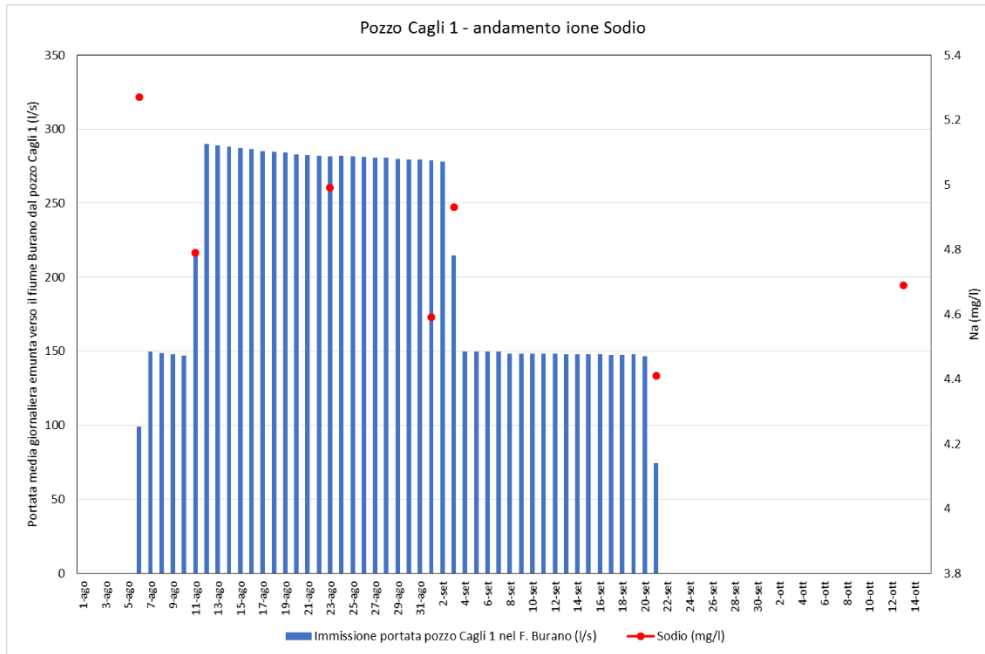


Figura 6.2g

Figura 6.2h

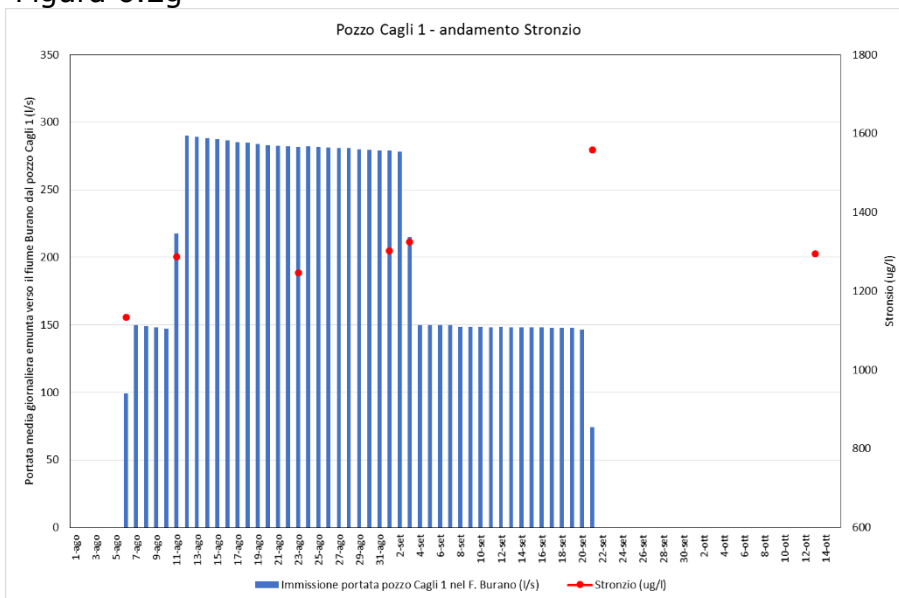
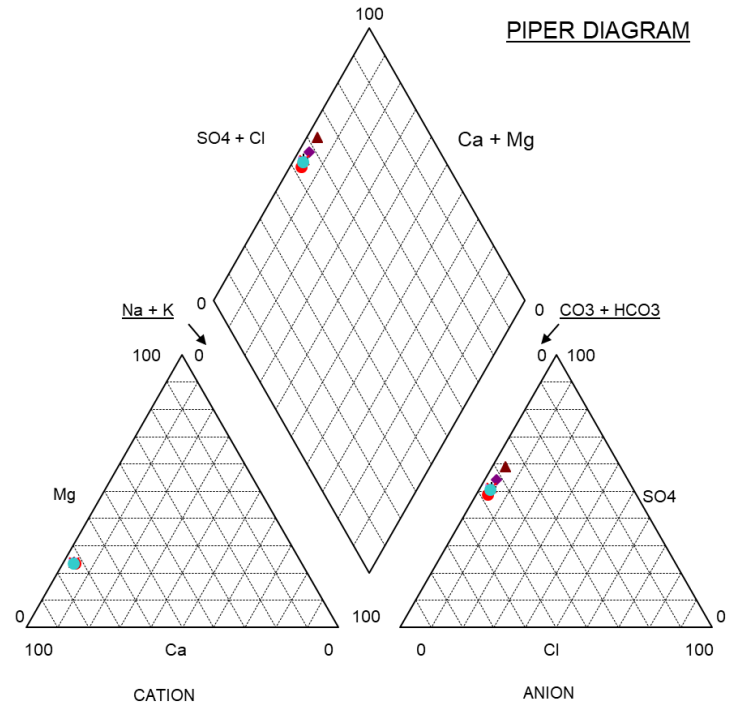


Figura 6.2i

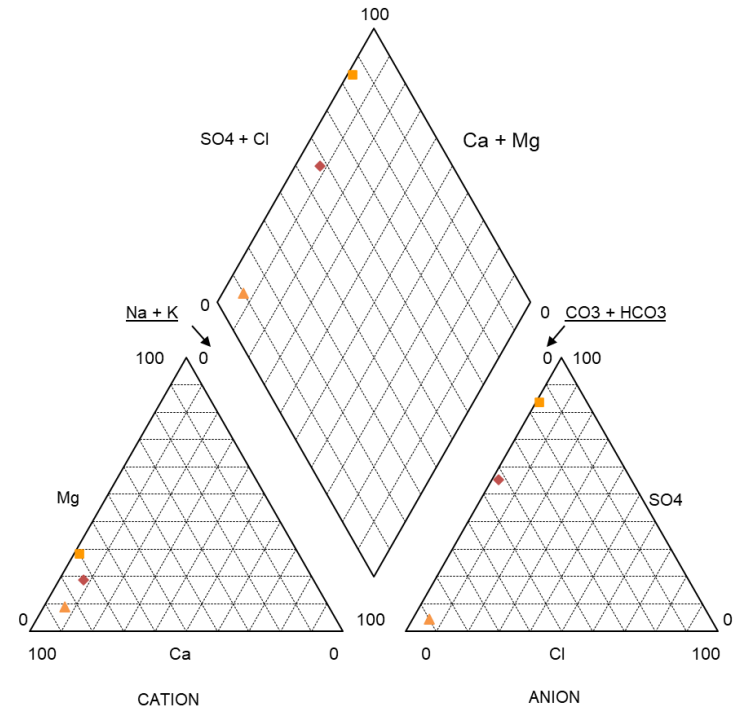
Analisi pozzo Cagli 1 (2021)



● 06-08_400 ◆ 11-08_150 ▲ 23-08_280 ■ 01-09_280 × 03-09_280 + 21-09_147 ● 13-10_0

Analisi Acquater 1991

PIPER DIAGRAM



◆ Pozzo 8 ▲ Pieja ■ San Nicolò

Figura 6.2I

SCHÖELLER-BERKALOFF DIAGRAM

Analisi pozzo Cagli 1 (2021) e analisi Aquater (1991) ()

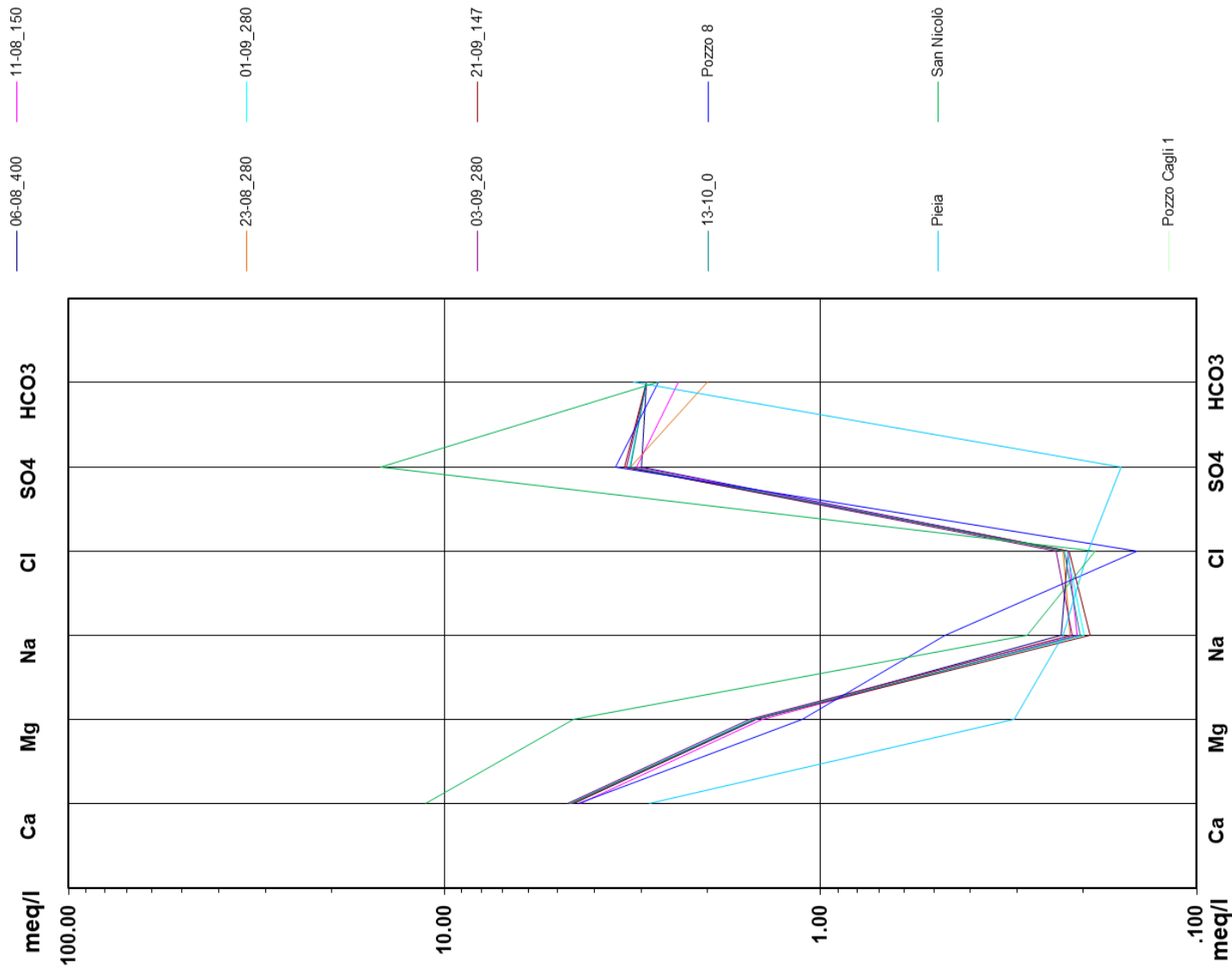


Figura 6.2m

Andamento delle portate fluviali e prelievo dal pozzo Cagli 1

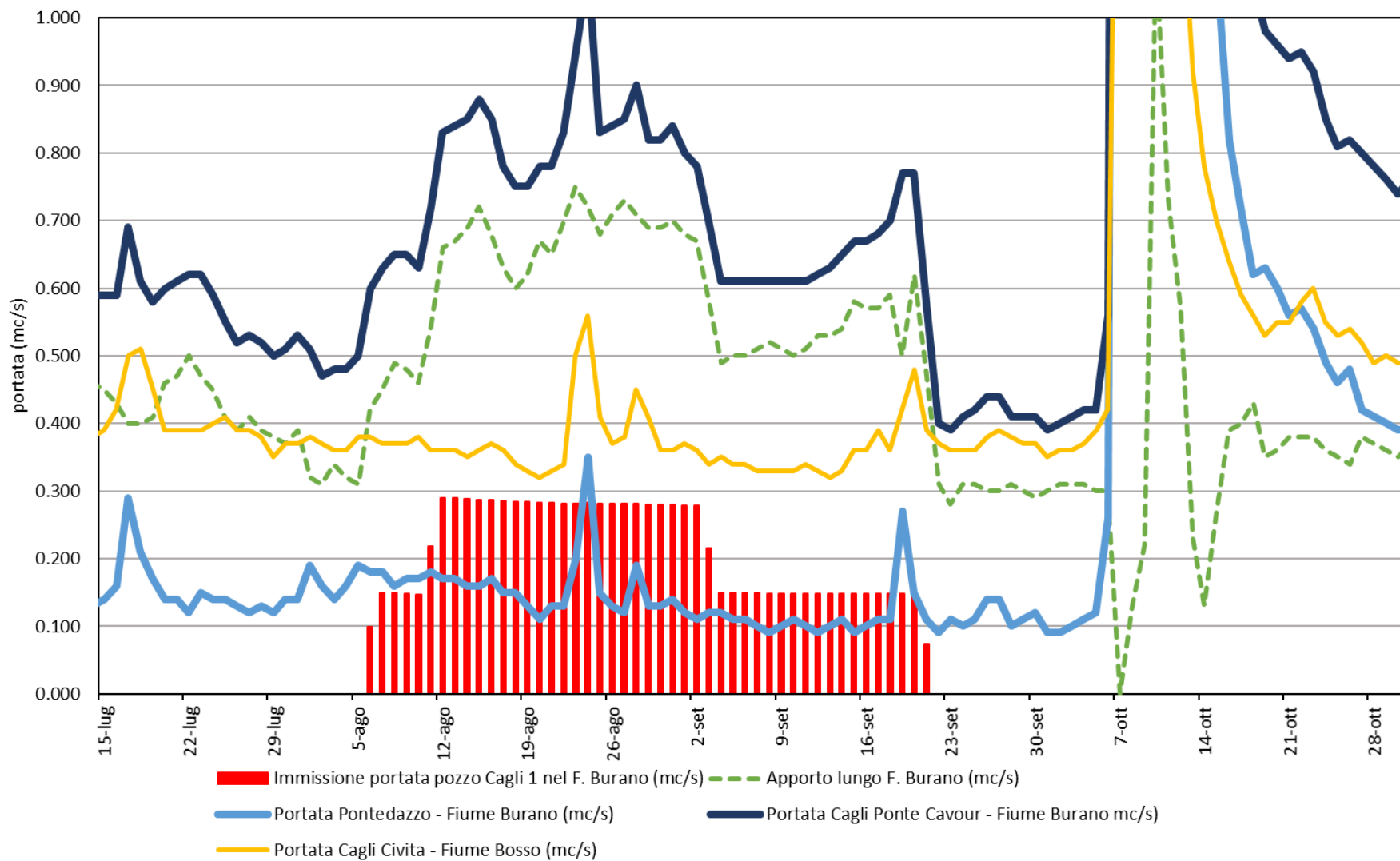


Figura 6.3a

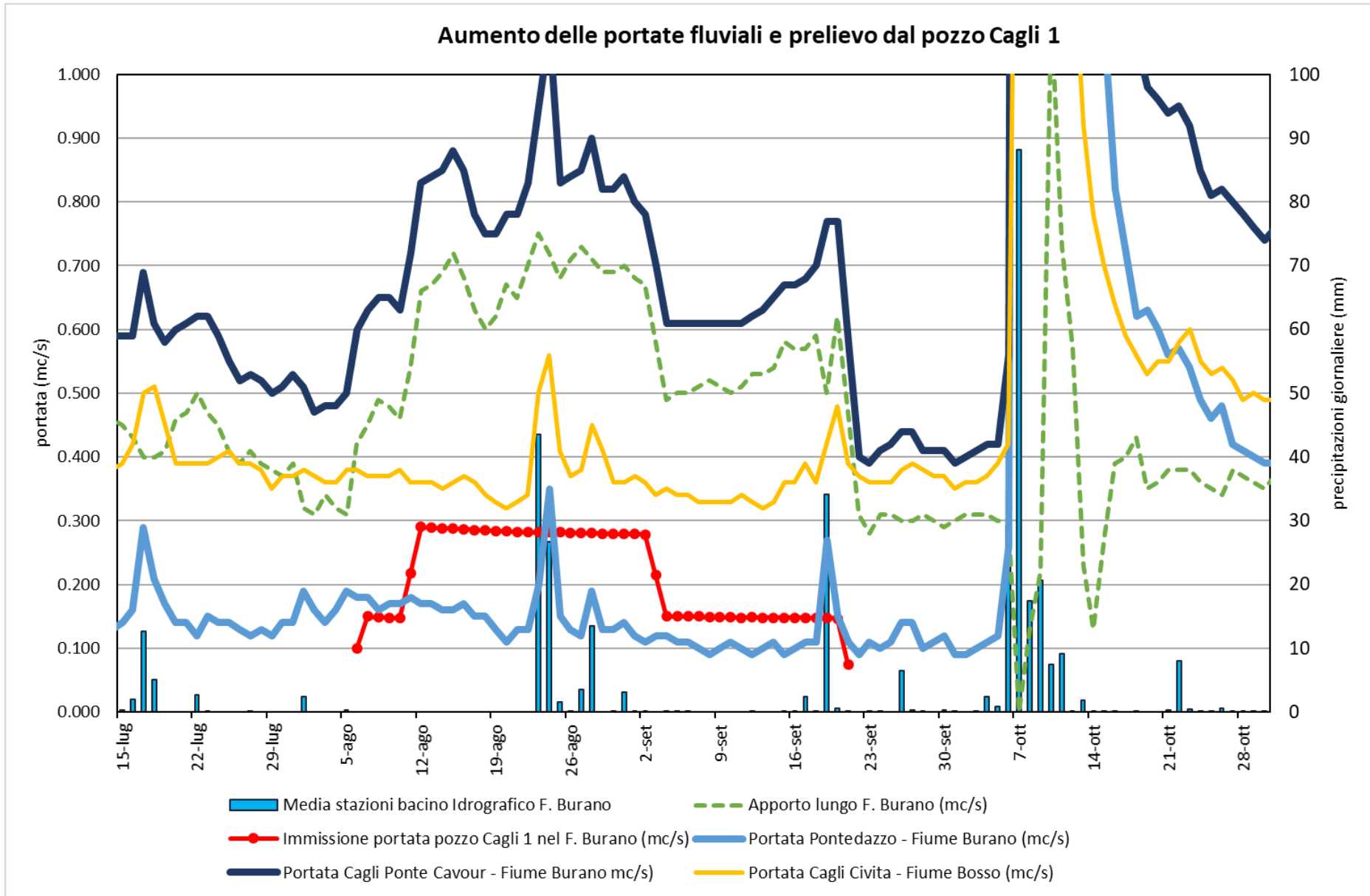


Figura 6.3b

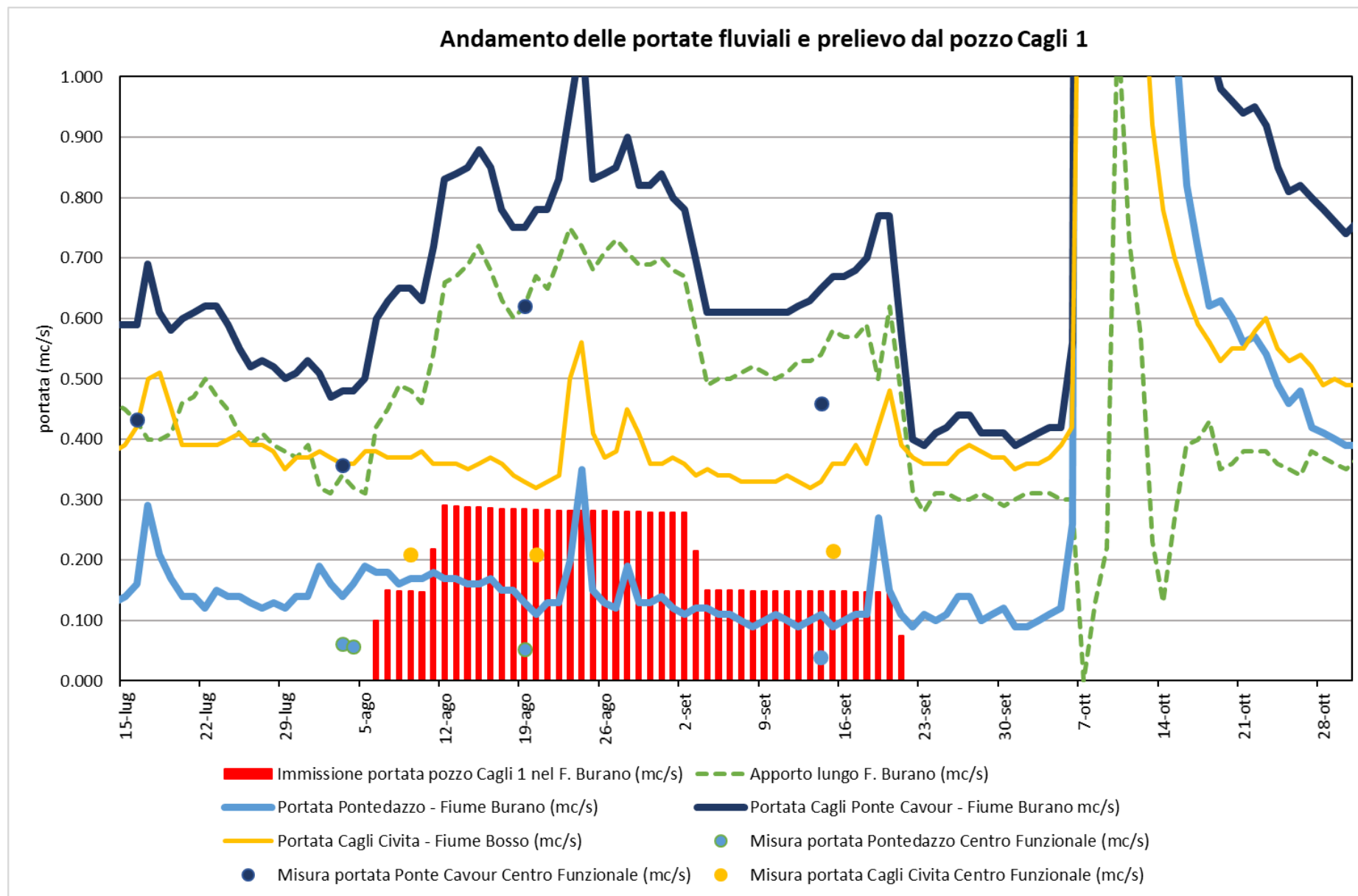


Figura 6.3c

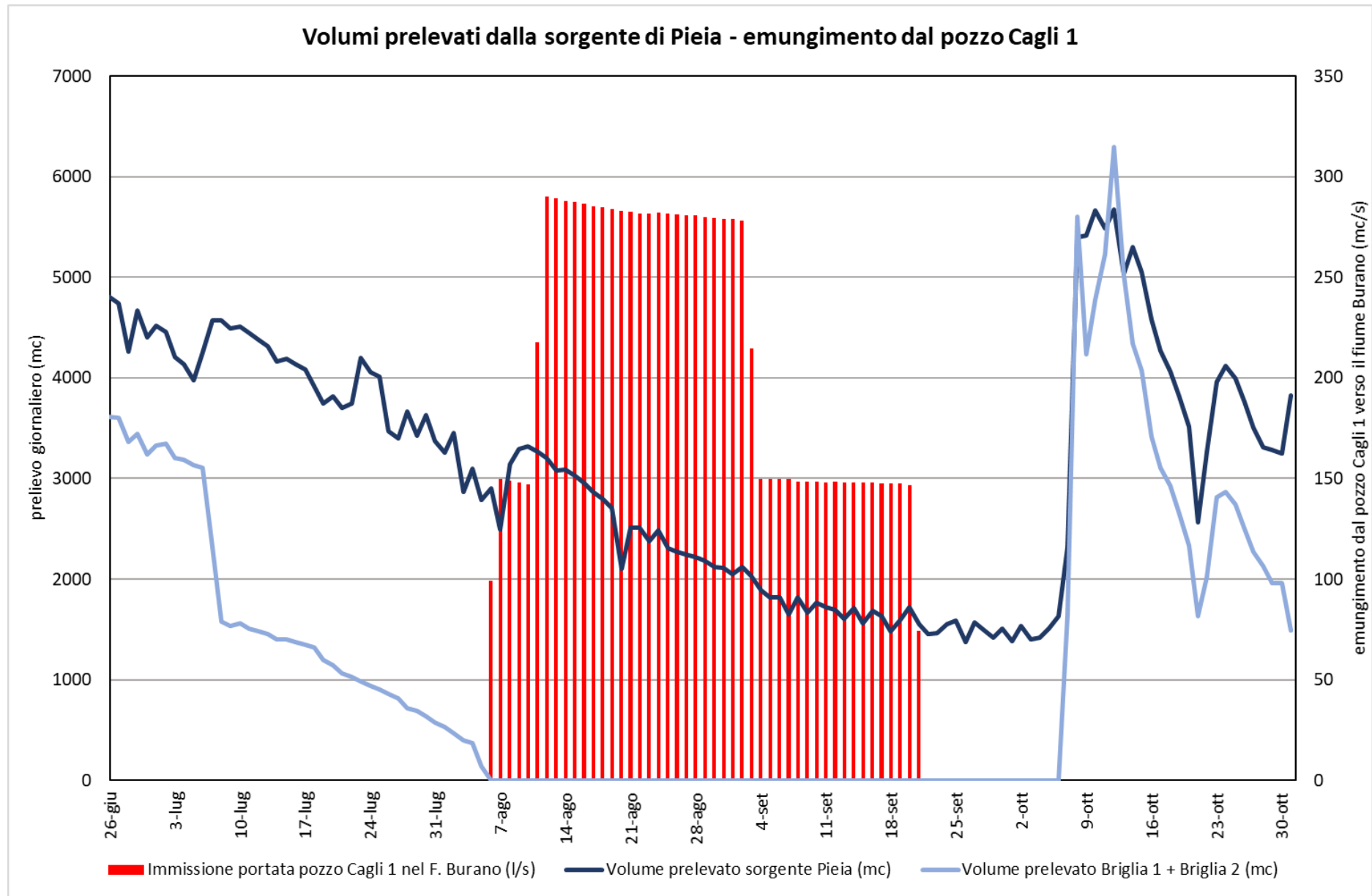


Figura 6.4a

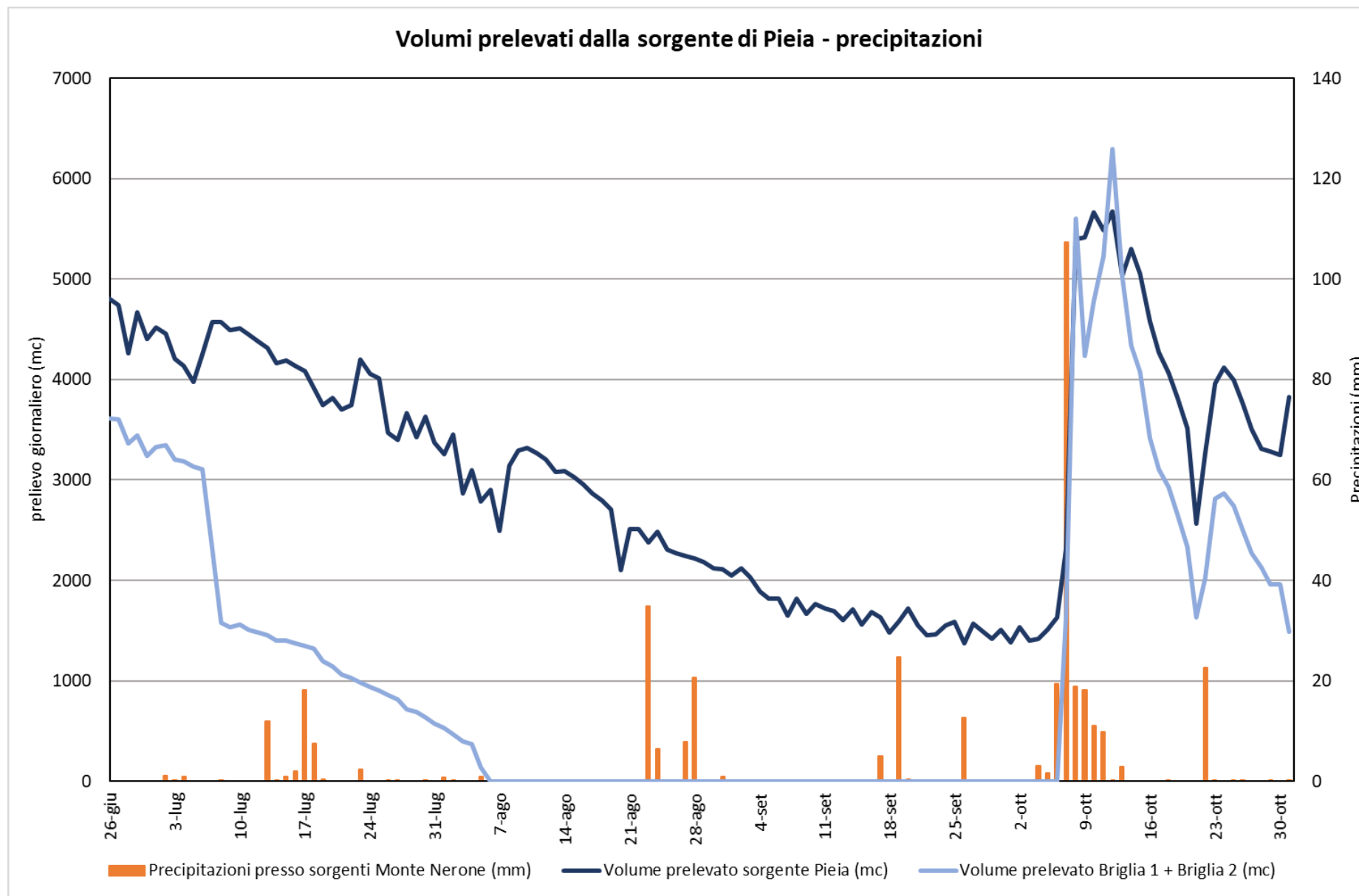


Figura 6.4b

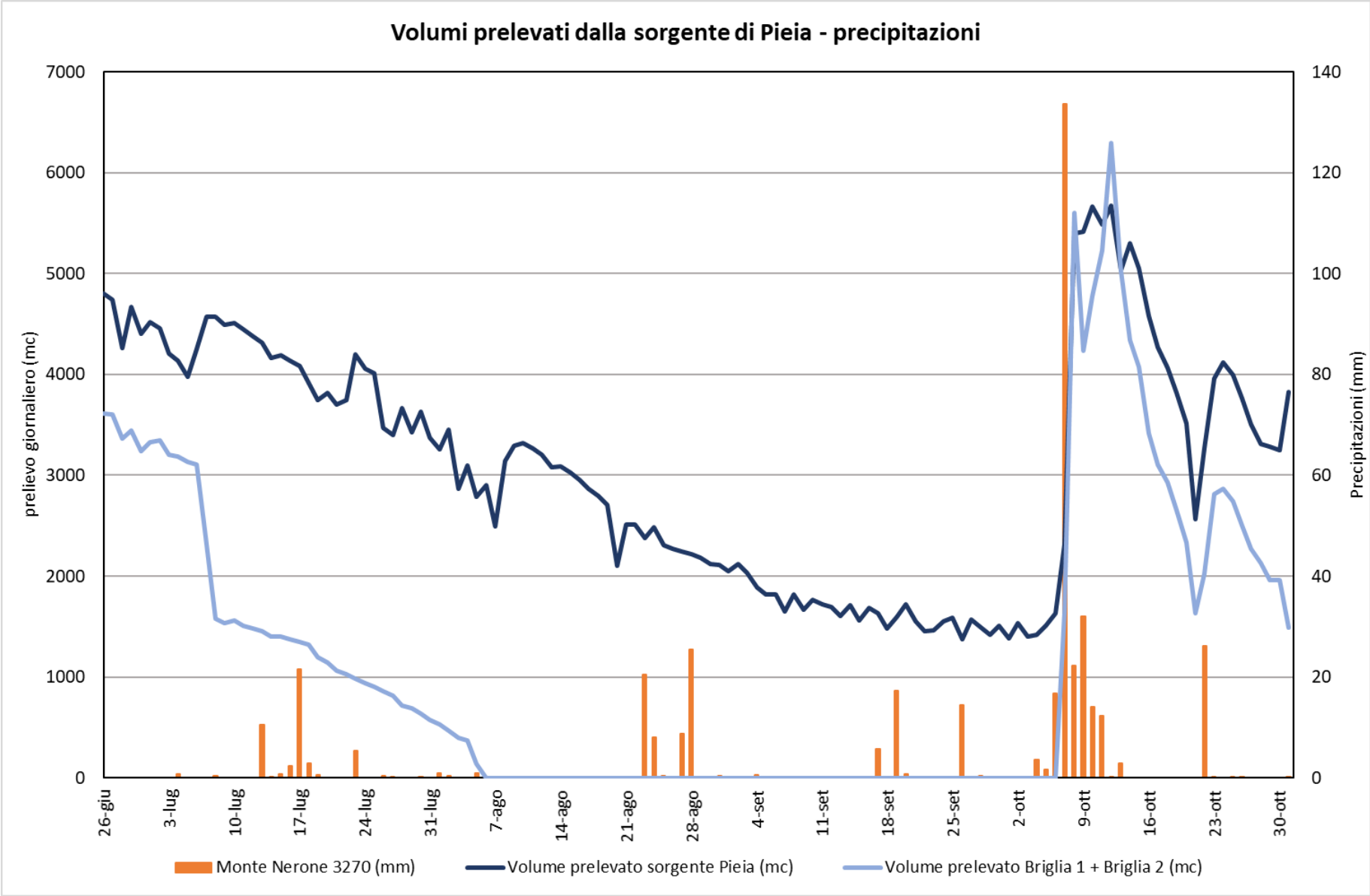


Figura 6.4c

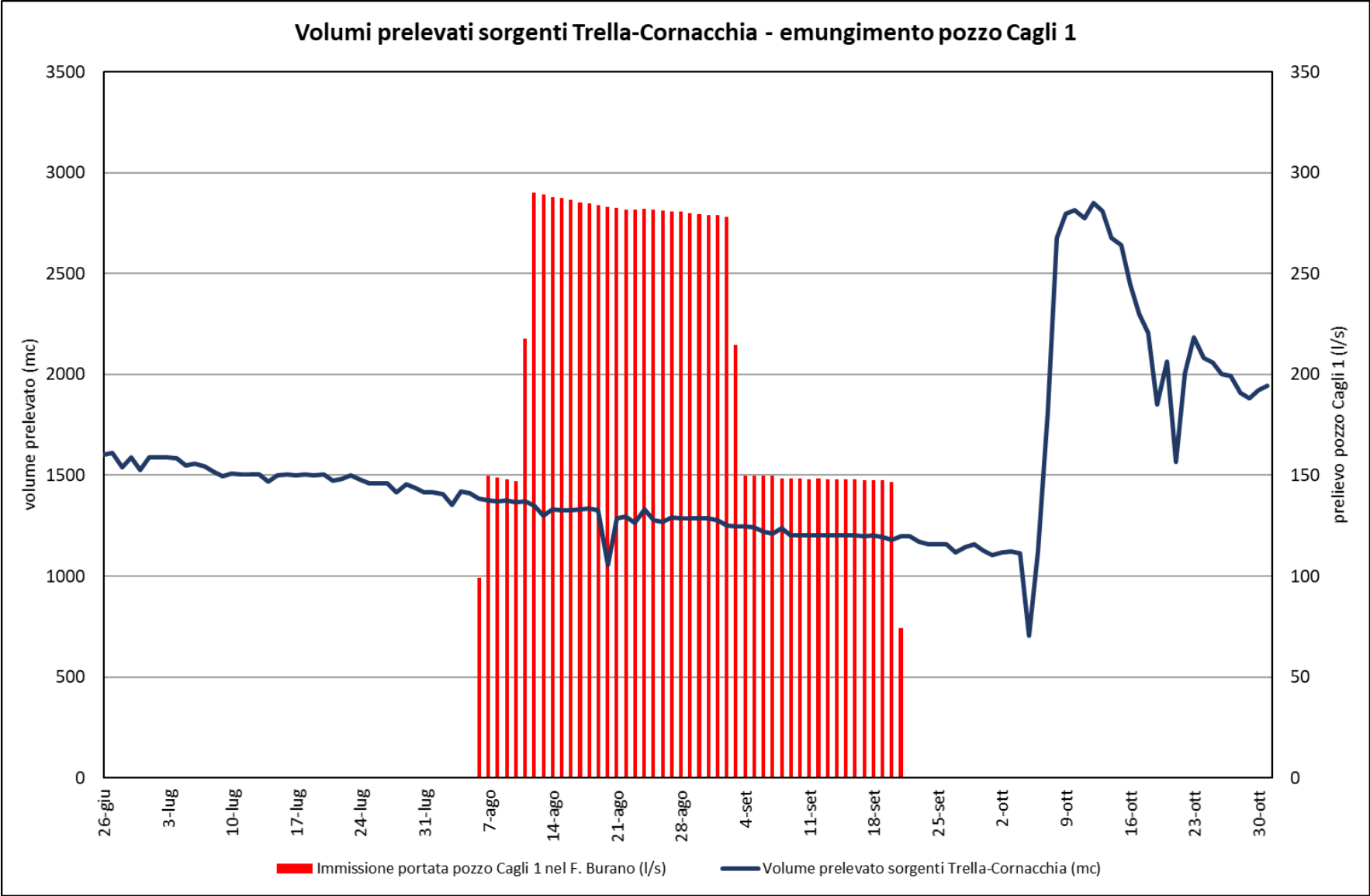


Figura 6.4d

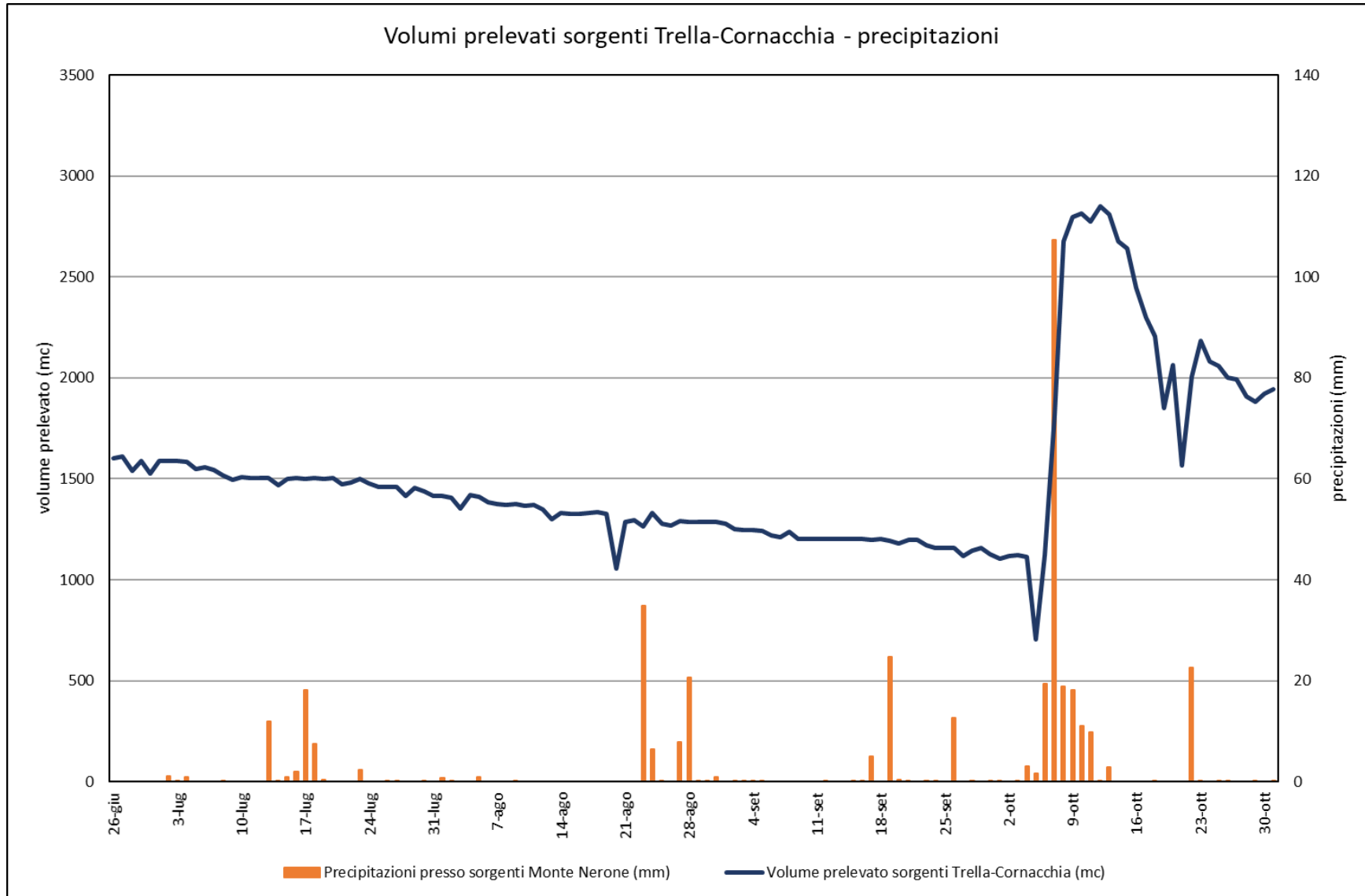


Figura 6.4e

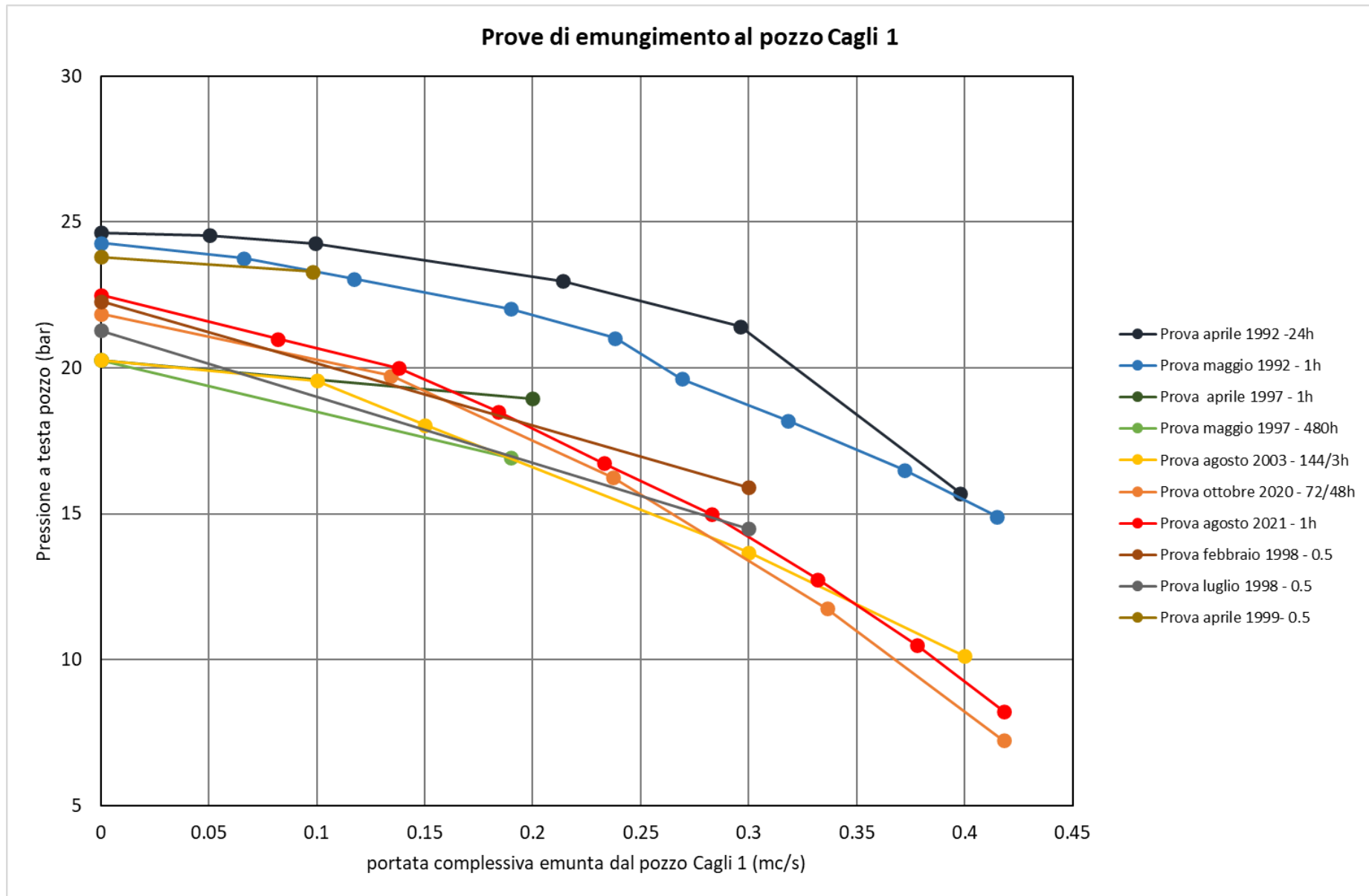


Figura 7a

Prove di emungimento al pozzo Cagli 1

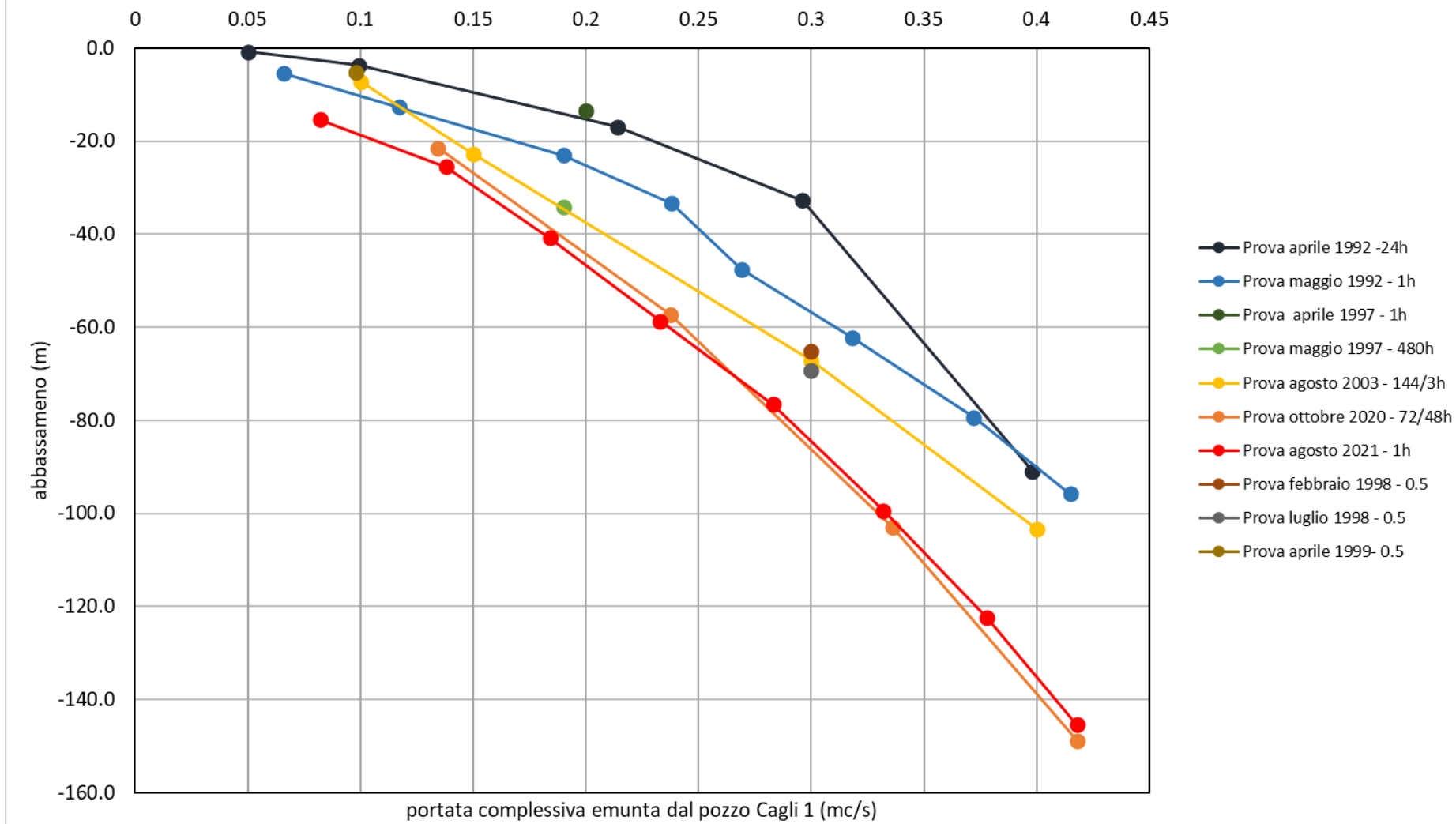


Figura 7b

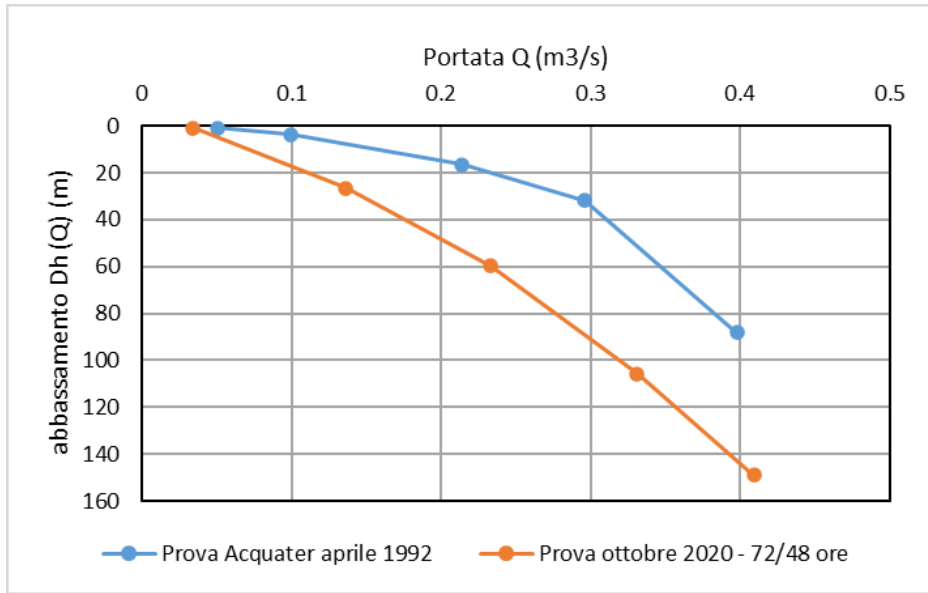


Figura 7c

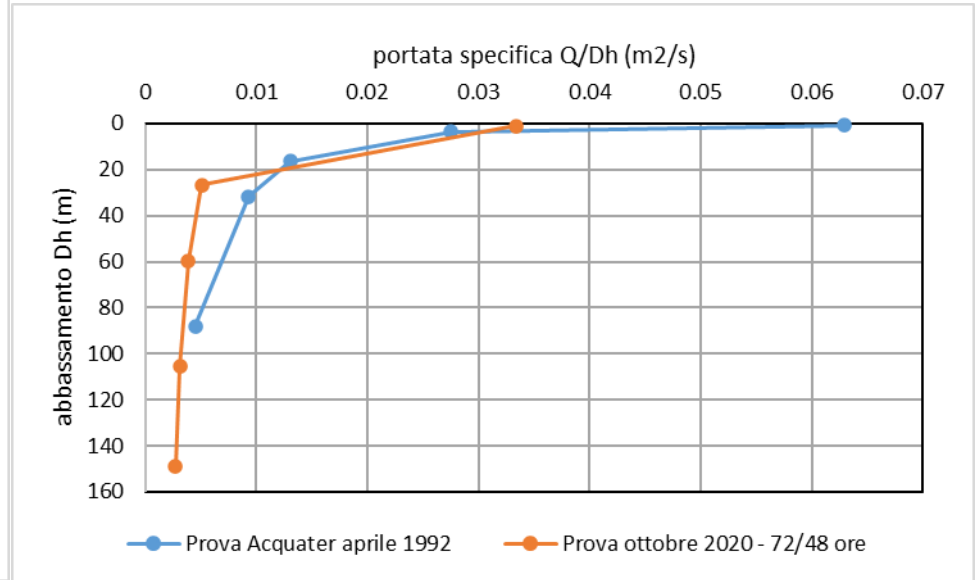


Figura 7d

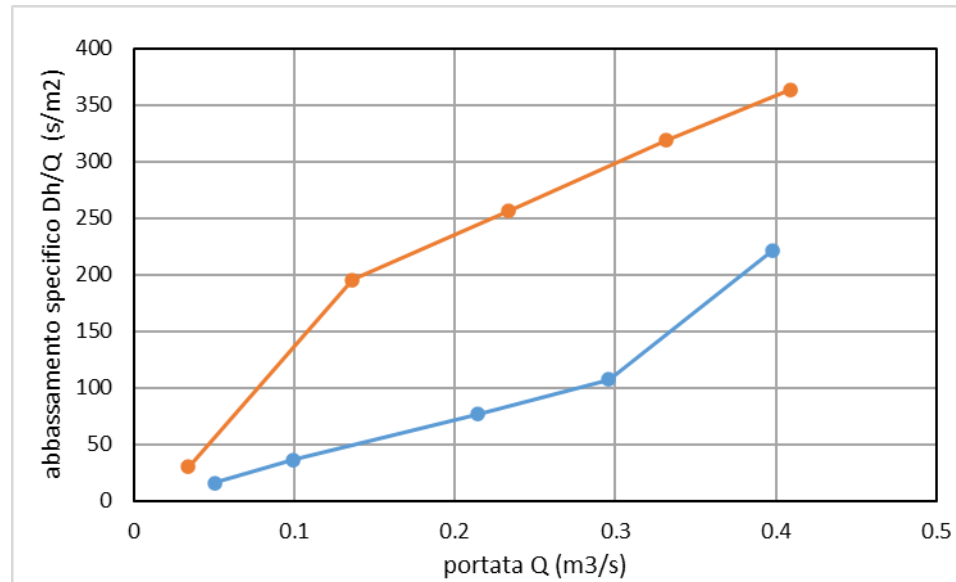


Figura 7e

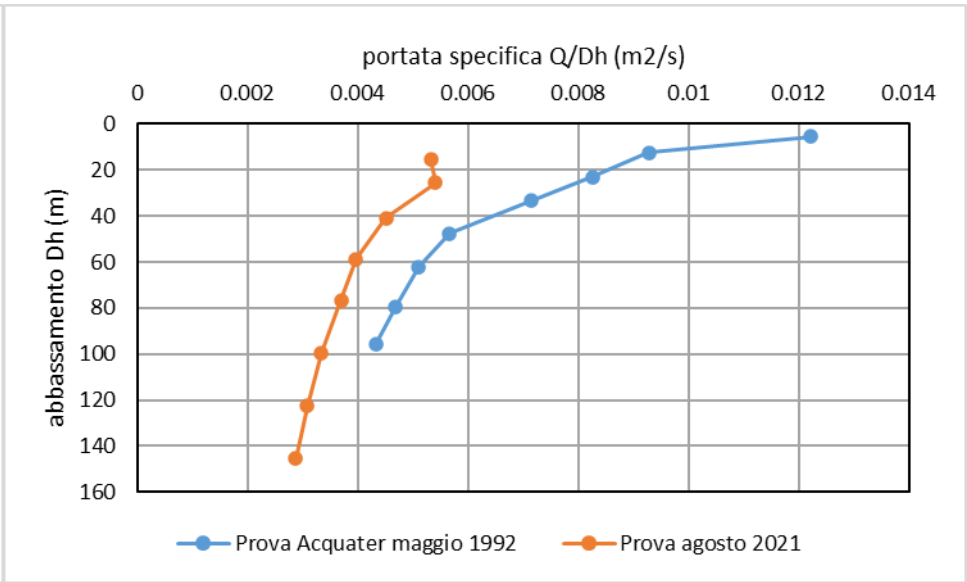
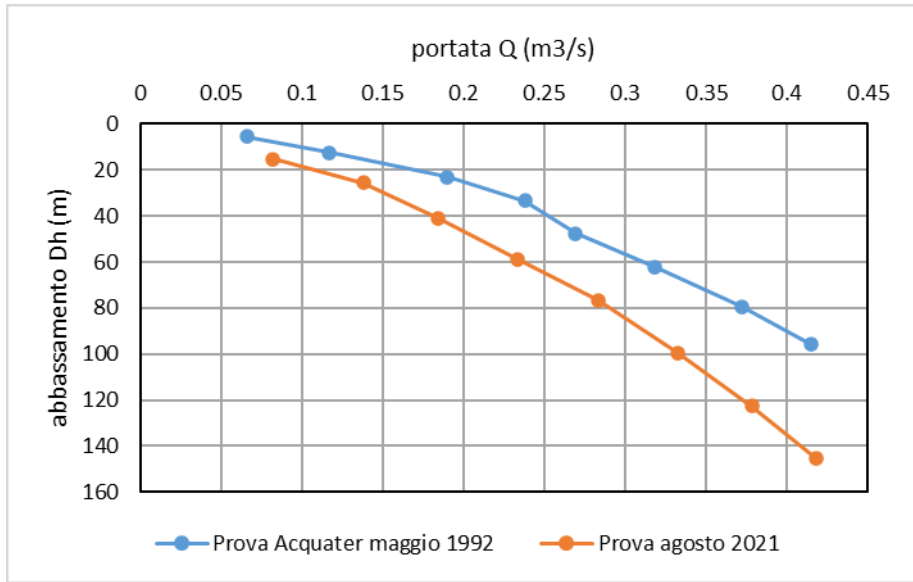


Figura 7f
7g

Figura

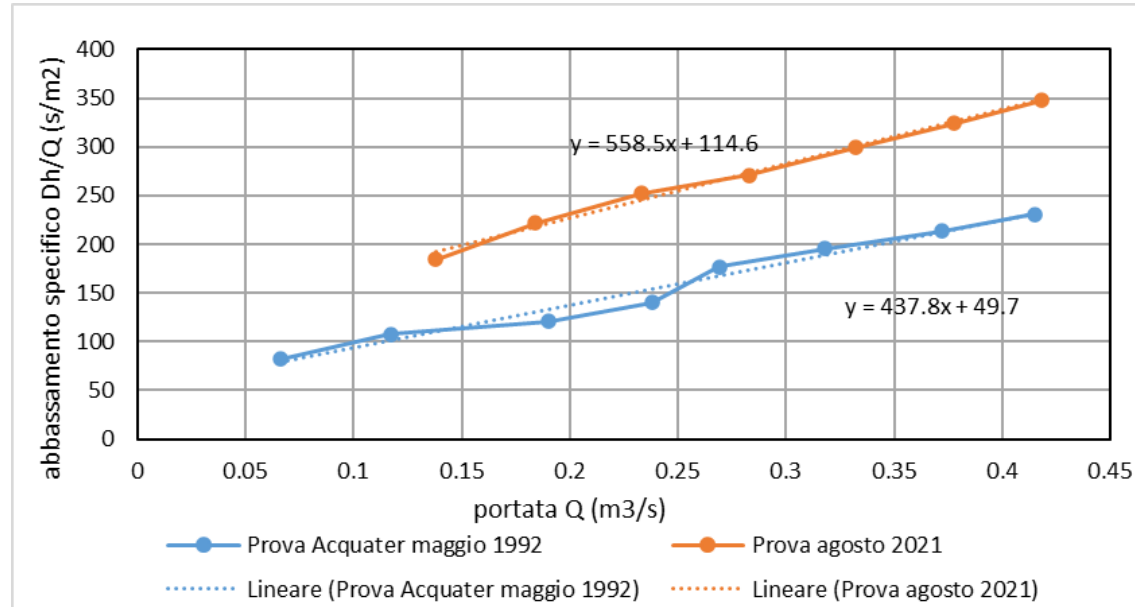


Figura 7h

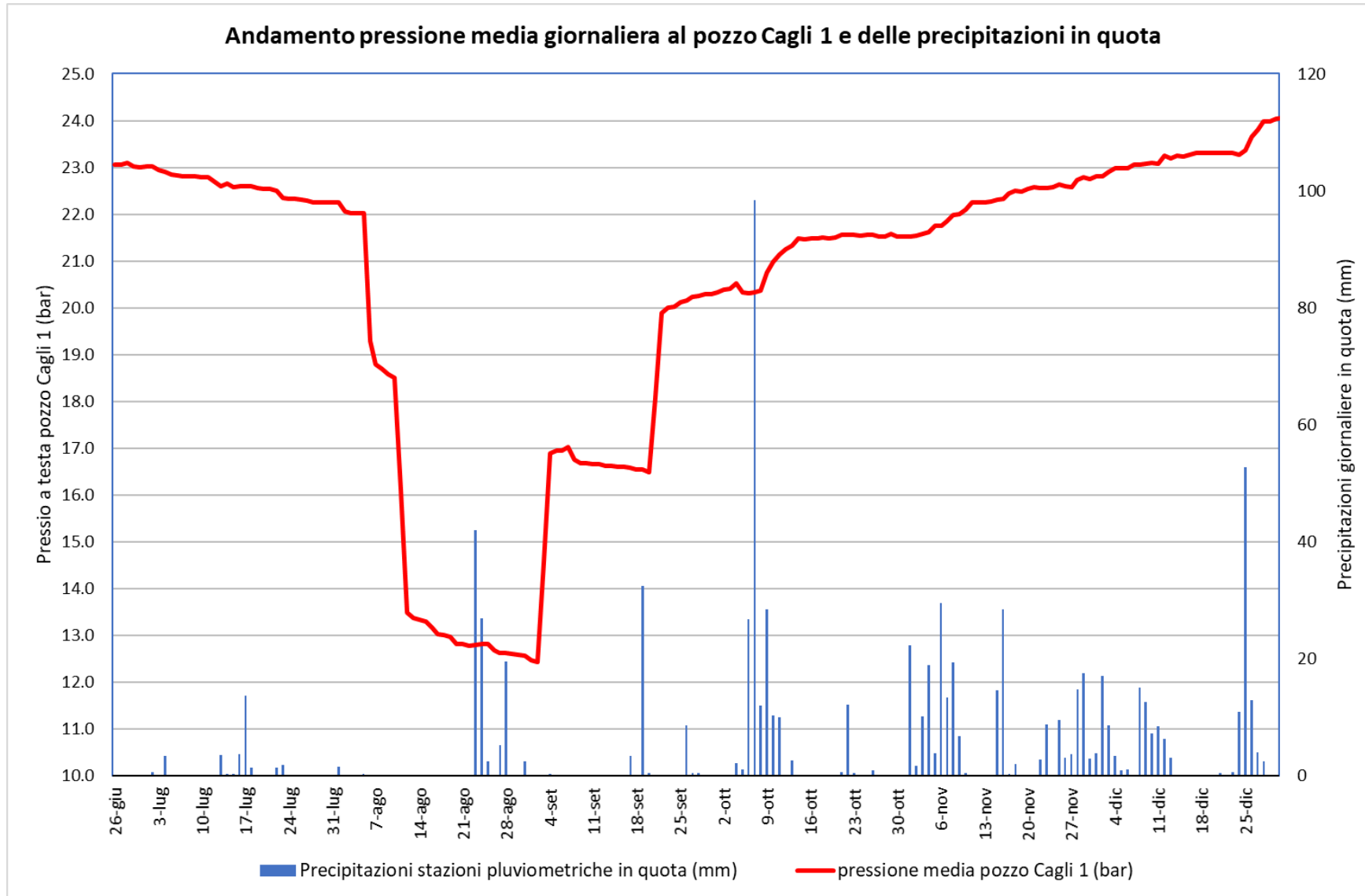


Figura 8a

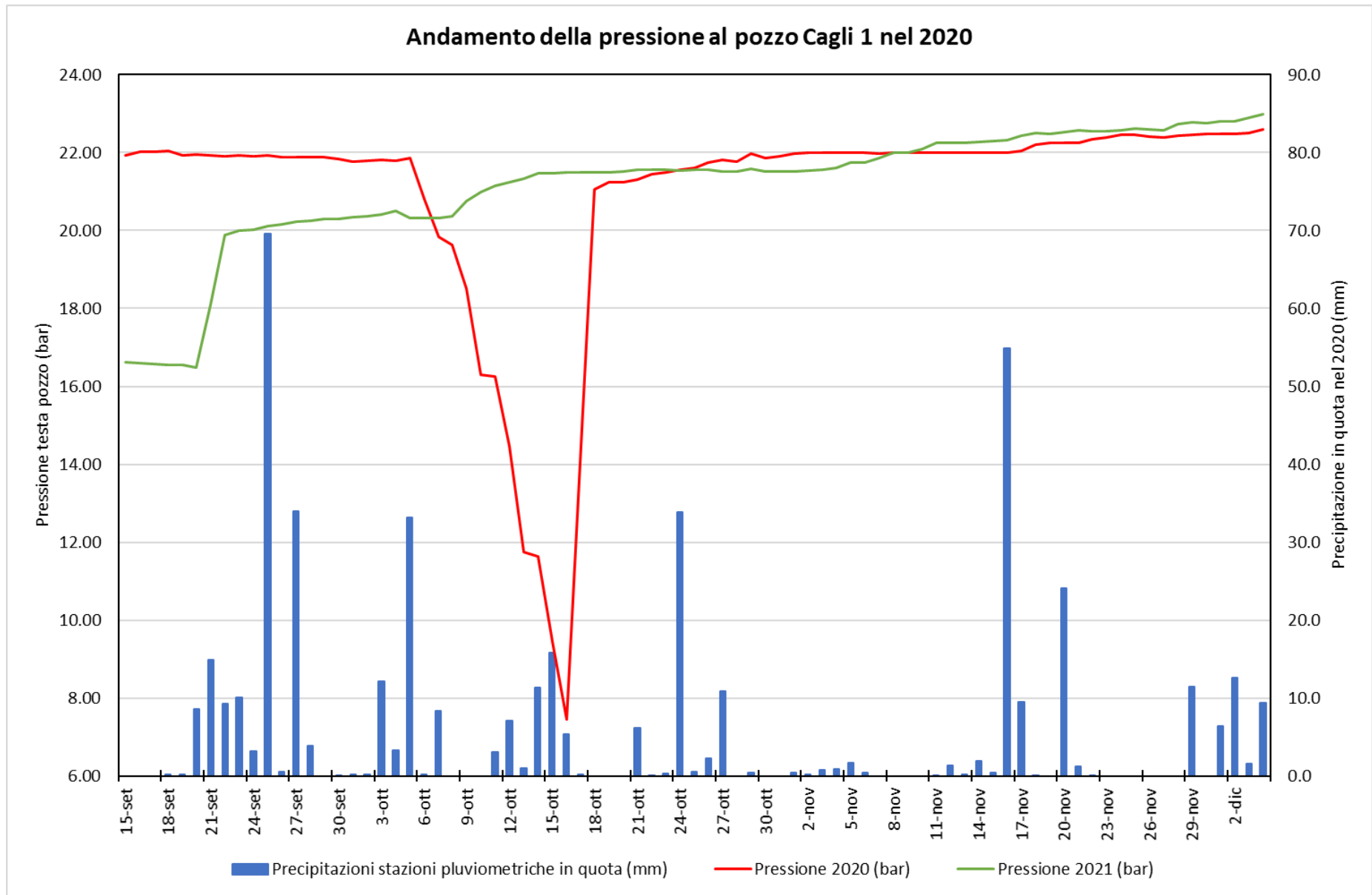


Figura 8b