

## STUDIO IDROGEOLOGICO DELL'AREA CARSIKA FACENTE CAPO ALLA RISORGENTE DEL RIO GAMBELLARO

ELGA SFRISI<sup>1</sup>, STEFANO ZAULI<sup>2</sup>, PAOLO FORTI<sup>3</sup>, PIERO LUCCI<sup>4</sup>

### Riassunto

Nell'area carsica dei Gessi di Monte del Casino e Tossignano, la più importante grotta è la Risorgente del Rio Gambellaro, scoperta nel 1960 dal CERIG di Bologna, mentre le campagne speleologiche successive hanno dimostrato l'esistenza di una serie di grotte idrogeologicamente connesse a questa risorgente. In occasione dello studio multidisciplinare sui Gessi di Monte del Casino e di Tossignano è stato possibile effettuare un monitoraggio in continuo degli apporti idrici che raggiungono la Risorgente del Rio Gambellaro, al fine di determinarne i bacini di alimentazione. Il progetto, supportato anche finanziariamente dalla Federazione Speleologica Regionale dell'Emilia-Romagna, è durato dal luglio 2019 al dicembre 2020. L'analisi dei dati meteorologici ed idrogeologici, raccolti durante il monitoraggio, ha permesso di delineare i bacini imbriferi dei due apporti ipogei presenti all'interno della grotta Risorgente del Rio Gambellaro ed individuarne anche le loro peculiari caratteristiche idrochimiche ed idrodinamiche, che sono risultate essere strettamente collegate a quelle delle relative zone di assorbimento. È importante poi notare come l'analisi in continuo dei parametri chimico-fisici dei corsi ipogei, per periodi superiori all'anno, può fornire molte altre indicazioni sulle caratteristiche del sistema carsico che si estende a monte: in questo caso particolarmente rilevante è risultato essere il ruolo giocato dal subalveo. Tutti questi dati poi concorrono a dare indicazioni anche di tipo squisitamente esplorativo, permettendo infatti di individuare porzioni di territorio che, pur essendo ancora prive di cavità conosciute, debbono per forza contenerne, dato che risultano essere una fonte di alimentazione fondamentale del sistema idrogeologico stesso.

**Parole chiave:** Idrologia carsica, Sistema carsico di Monte del Casino, Risorgente del Rio Gambellaro, clima, esplorazioni speleologiche, parametri fisico-chimici.

### Abstract

*In the gypsum karst area of Mt. del Casino and Tossignano (Messinian Gypsum outcrop of Vena del Gesso romagnola, Northern Italy), the most important cave is the Gambellaro stream spring cave, discovered in 1960 by CERIG of Bologna. Later some speleological campaigns put in evidence the existence of a series of caves hydrogeologically connected to this spring. The paper outlines and discusses the evidences of the continuous monitoring activity carried on in connection with the water supplies that reach Gambellaro stream spring cave, in order to determine the supply basins. The project was undertaken from July 2019 to December 2020, and was partially supported by the Emilia-Romagna Regional Speleological Federation. The analysis of the meteorological and hydrogeological data, collected during the monitoring, allowed to delineate the catchment basins of the two underground supplies present inside Gambellaro stream spring cave, and to identify their peculiar hydrochemical and hydrodynamic characteristics, which are closely linked to those of the relevant absorption zones. It is also important to note how the continuous analysis (over more than one year) of the chemical-physical parameters of the underground drainages, for periods longer than a year, can provide many other indications on the characteristics of the karst system that extends upstream: among them, it was particularly relevant the role played by the drainage below the underground riverbed. All these data supply also some explorative indications, allowing to identify portions of the territory which must necessarily contain some deep karst features, still unknown. In fact, they seem to be a fundamental feeding source for the Gambellaro stream karst spring.*

**Keywords:** Karst Hydrology, Mt. del Casino Karst System, Gambellaro Stream Spring Cave, Climate, Speleological Explorations, Physico-chemical Parameters.

<sup>1</sup> Sezione CAI Ravenna - 2000sempal@gmail.com

<sup>2</sup> Gruppo Speleologico Ambientalista CAI RA - chiro.tero@gmail.com

<sup>3</sup> Istituto Italiano di Speleologia, Via Zamboni 67, 40126 Bologna (BO) - paolo.forti@unibo.it

<sup>4</sup> Federazione Speleologica Regionale dell'Emilia-Romagna; Speleo GAM Mezzano (RA) - pierolucci@libero.it

## Introduzione

Nell'area carsica dei Gessi di Monte del Casino e Tossignano, che si estende dal Torrente Senio ad est al Fiume Santerno ad ovest, sono presenti numerose risorgenti di modesta entità, alcune perenni, altre stagionali (GARELLI *et alii*, in questo volume).

La più importante e la più interessante dal punto di vista speleologico è senza ombra di dubbio la Risorgente del Rio Gambellaro. Nella grotta omonima, scoperta nel 1960 dal CERIG di Bologna, confluiscono due apporti ipogei perenni, uno in sinistra e uno in destra idrografica. Entrambi sono caratterizzati da zone sifonanti ad oggi non percorribili se non per pochi metri.

Le scoperte speleologiche degli anni '80 e '90 del secolo scorso hanno documentato l'esistenza di un importante complesso carsico, di cui la grotta Risorgente del Rio Gambellaro (ER RA 123) è la cavità risorgente (GARELLI *et alii*, in questo volume).

Trattasi complessivamente di sette grotte, alcune delle quali in diretto collegamento tra loro: Abisso Lusa, Inghiottitoio a Ovest di Ca' Siepe e Pozzo a Ovest di Ca' Siepe; Inghiottitoio presso Ca' Poggio e Grotta Lanzoni. Ad esse se ne aggiungono due collegate solo dal punto di vista idrologico, Buco II di Ca' Budrio e la risorgente stessa.

Le prove colorimetriche hanno dimostrato che le acque raccolte da tale complesso carsico alimentano

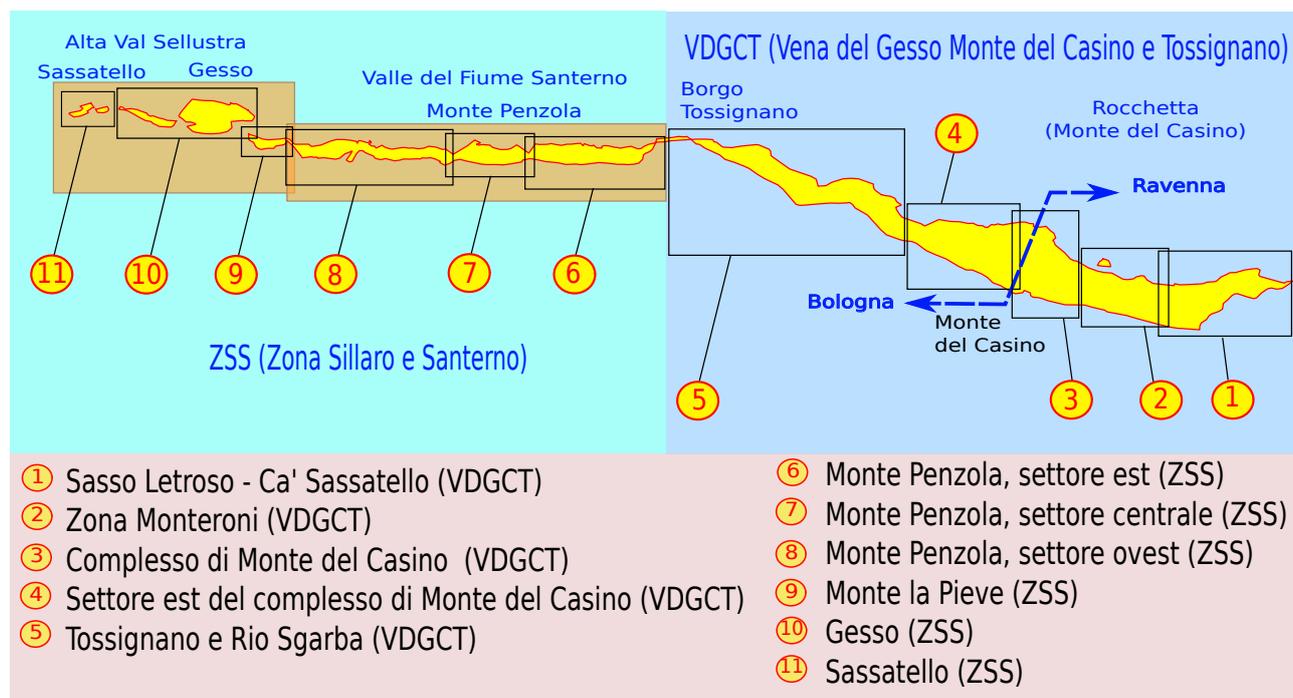
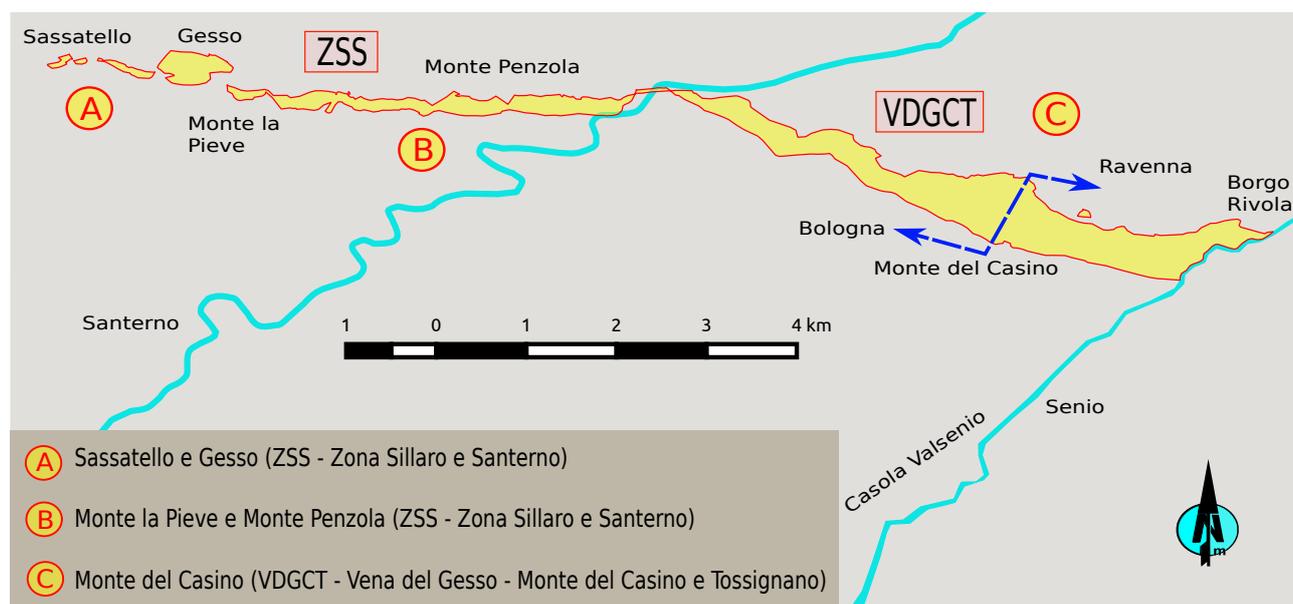


Fig. 1 – Carta di inquadramento generale delle zone speleologiche VDGCT (Vena del Gesso di Monte del Casino e Tossignano) e ZSS (Zona Sillaro e Santerno).



Fig. 2 – Affioramenti della Formazione Marnoso-arenacea romagnola (foto S. Zauli).

l'apporto a sifone in sinistra idrografica della grotta Risorgente del Rio Gambellaro; mentre ancora ignota è la provenienza delle acque che alimentano l'apporto in destra idrografica.

In occasione dello studio multidisciplinare sui Gessi di Monte del Casino e di Tossignano si sono creati i presupposti per effettuare un monitoraggio in continuo degli apporti idrici presenti nella grotta Risorgente del Rio Gambellaro, al fine di determinarne i bacini di alimentazione, le caratteristiche e formulare ipotesi che possano, in un domani lontano o prossimo, portare indicazioni propedeutiche alla scoperta di nuove cavità. Il progetto è stato supportato dalla Federazione Speleologica Regionale dell'Emilia-Romagna che ha finanziato l'acquisto della strumentazione necessaria alla raccolta dei dati di portata, temperatura e conducibilità. Il monitoraggio ha abbracciato una fascia temporale di 18 mesi (luglio 2019-dicembre 2020), durante i quali sono state eseguite quindici uscite di monitoraggio e recupero dati, precedute da sei uscite di valutazione ed installazione strumenti di misura.

#### *Inquadramento geografico, geologico e climatologico*

La Vena del Gesso romagnola si estende in direzione nord-ovest/sud-est, trasversalmente alle valli dei corsi d'acqua appenninici che la solcano delineando delle

“isole” (fig. 1). Una di queste è l'area carsica compresa tra il corso del Torrente Senio ad est ed il Fiume Santerno ad ovest: trattasi dei Gessi di Monte del Casino e Tossignano. Quest'area, di 3,57 km<sup>2</sup>, è seconda per dimensione solo a quella che si estende tra il Torrente Senio ed il Torrente Sintria, le cui cime sono Monte Tondo, Monte della Volpe e Monte Mauro (4,76 km<sup>2</sup>). Ha una lunghezza di poco più di 5 km ed una larghezza massima di circa 800 m; la cima più alta è Monte San Carlo, 477 m, ma la cima principalmente conosciuta è quella di Monte del Casino, 474 m. Più a ovest, oltre il Fiume Santerno, la Vena del Gesso romagnola, in territorio bolognese, tende ad assottigliarsi e frammentarsi sino a giungere al Torrente Sillaro. Le principali aree sono quelle di Monte Penzola, Monte La Pieve, Gesso e Sassatello.

L'“isola” di Monte del Casino e Tossignano è divisa tra il Comune di Borgo Tossignano (Provincia di Bologna) ed il Comune di Riolo Terme (Provincia di Ravenna). Il confine tra i due Comuni corre lungo l'evidente spaccatura che dalla sella di Ca' Budrio dirige verso Nord fino alla Risorgente del Rio Gambellaro. Dal punto di vista stratigrafico l'area può essere suddivisa in quattro unità litostratigrafiche ben definite. A sud della falesia evaporitica è visibile la Formazione Marnoso-arenacea (Tortoniano - Miocene medio-superiore - da 15 a 8 milioni di anni fa) (figg. 2-3), spesso oltre 3 km, che costituisce l'ossatura dell'Appennino



Fig. 3 – Falesia gessosa di Monte del Casino, con evidenza delle differenti Formazioni geologiche limitrofe (foto S. Zauli).

Tosco-romagnolo. Tale Formazione geologica è costituita da due membri intercalati tra di loro: la marna, roccia costituita da argilla e calcare; l'arenaria, un tipo di sabbia compatta e cementata.

Con la spettacolare falesia della Riva di S. Biagio emerge la Formazione Gessoso-solfifera (Miocene - Messiniano inferiore - da 6 a 5.6 milioni di anni fa) (fig. 3), con uno spessore di circa 150 m ed una inclinazione da sud-ovest verso nord-est di circa 20-30°. La larghezza massima è di circa 800 m, riscontrabile nel tratto che va dalla sella di Ca' Budrio alla Risorgente del Rio Gambellaro.

L'affioramento gessoso non si presenta come un blocco unico, ma è costituito da diversi strati (banconi) intercalati tra di loro da interstrati argillosi. Questa particolare morfologia e le spaccature, faglie e diaclasi, dovute al processo di emersione della dorsale appenninica, hanno condizionato la formazione e la direzione delle grotte. Lungo le linee di frattura principali, quasi tutte con direzione sud ovest-nord est, vi sono evidenti canali ed allineamenti di doline, in alcuni casi di notevoli dimensioni.

Si può considerare l'affioramento suddiviso in diversi blocchi e per ognuno di essi è presente una risorgente,



Fig. 4 – Blocco della Formazione a Colombacci all'interno del Buco II presso il canalone della Calvana (ER RA 531) (foto S. Zauli).

talvolta perenne, talvolta stagionale poiché alimentata da un bacino di piccole dimensioni (GARELLI *et alii*, in questo volume)

Unica eccezione pare essere il settore ad ovest del complesso di Monte del Casino, nel quale non sono ad oggi identificate cavità e per il quale non si conosce alcuna risorgente (GARELLI *et alii*, in questo volume). L'affioramento gessoso è delineato a nord dalla Formazione a Colombacci (Miocene - Messiniano superiore - da 5,6 a 5,3 milioni di anni fa), ricca di fossili di conchiglie (fig. 4), rinvenibili sia all'esterno che all'interno di alcune cavità poste presso il canalone a nord della Ca' Calvana, in particolare presso il Buco II (ERRA 531). Non si escludono presenze di blocchi anche in altre cavità poste sul confine tra le due Formazioni, ma ad oggi non se ne ha riscontro.

Poco oltre, a sovrastare l'immersione dei gessi, la Formazione delle Argille Azzurre (Pliocene - da 5,3 a 1 milioni di anni fa) (figg. 3-5). Tale Formazione è caratterizzata da evidenti segni di erosione superficiale che danno origine ai calanchi.

Il clima della zona rientra nella fascia dei climi temperati, ma data la morfologia dell'affioramento gessoso sono presenti microclimi differenti sui due versanti, sud e nord.

Il primo è caratterizzato da un clima sub-mediterraneo, luminoso e arido, con vegetazione poco infestante; mentre il secondo è più fresco e umido, con vegetazione folta e rigogliosa. Tale clima caratterizza anche i canaloni e le doline, dove talvolta l'accesso risulta molto difficoltoso per via di un intricato sottobosco. Ciò permette un elevato grado di evapotraspirazione, si stima infatti che la percentuale delle acque piovane che raggiungono il sottosuolo sia solo il 20% delle precipitazioni totali. Durante il periodo abbracciato dal presente studio idrogeologico la piovosità è risultata particolarmente scarsa; analizzando gli ultimi 13 anni si nota un andamento ciclico altalenante con anni di marcata sofferenza pluviometrica (fig. 6). Potrebbe apparire strano, ma tali periodi permettono di cogliere elementi interessanti per lo studio degli apporti ipogei, poiché i periodi di magra consentono una lettura migliore delle caratteristiche dei sistemi e delle risposte alle piogge intense. A sistemi carichi, con portate elevate, alcune caratteristiche sarebbero meno evidenti e quindi non individuabili.

Per quanto riguarda la temperatura media, è evidente il processo di innalzamento: dai dati recuperati dai rapporti dell'ARPAE la temperatura media del trentennio 1961-1990, registrata dalle stazioni adiacenti



Fig. 5 – Formazione Argille Azzurre del Pliocene (foto S. Zauli).

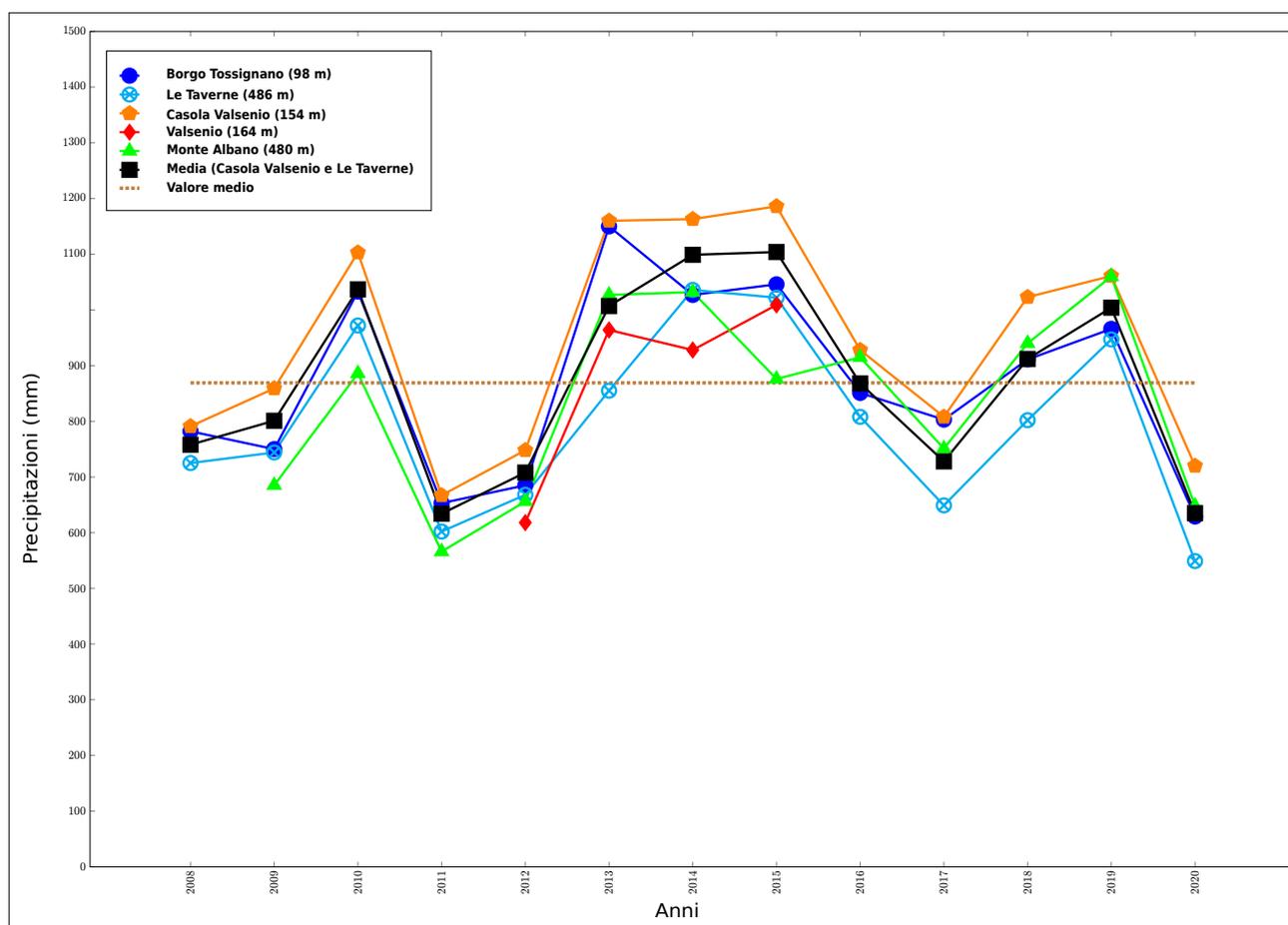


Fig. 6 – Grafico media annuale delle precipitazioni periodo 2008-2020. Dati archivio ARPAE relativi alle stazioni meteorologiche: Borgo Tossignano; Le Taverne; Casola Valsenio; Valsenio; Monte Albano. È inoltre stato calcolato e riportato graficamente il valore medio stimato.

l'area di studio, è nettamente inferiore a quella registrata nel periodo 1991-2015 e tale divario risulta ancor più evidente se comparato con quanto registrato nel 2019 (tab. 1).

#### *Breve storia delle osservazioni idrologiche riconducibili alla grotta Risorgente del Rio Gambellaro*

I primi studi idrologici svolti nell'area carsica di Monte del Casino si devono al CERIG (Centro Emiliano Ricerche Idro-Geologiche) di Bologna, che ha svolto in questa zona un'intensa attività nel biennio 1960-61 (GALLINGANI 1965).

All'epoca non erano conosciute risorgenti carsiche, se non dagli abitanti del luogo; pertanto nel loro primo sopralluogo, data la morfologia dell'affioramento, l'ubicazione degli inghiottitoi già conosciuti dal Gruppo Grotte "Pellegrino Strobel" di Parma e la direzione dell'immersione dei banconi, decisero di risalire da nord-est. Così facendo trovarono la Risorgente del Rio Gambellaro e la cavità adiacente che denominarono Grotta del Gambellaro (ER RA 123, nome attuale

a catasto "Risorgente del Rio Gambellaro"). La cavità venne esplorata e ben presto misero in atto il primo tentativo di superamento del sifone in sinistra idrografica (fig. 7) che ritenevano essere il nodo cruciale per la comprensione del sistema idrologico ipogeo dell'area. Il cunicolo allagato si presentò molto stretto ed i vari tentativi non diedero alcun esito positivo. Svolsero diverse esplorazioni anche nelle altre doline dove erano già conosciuti inghiottitoi quali Ca' Poggio, Ca' Budrio e Ca' Siepe, che allora si fermava a circa -37 m (fig. 8). I dati raccolti sull'idrologia sotterranea portarono il CERIG a formulare l'ipotesi che tali cavità assorbenti fossero parte di un unico complesso, le cui acque alimentavano il sifone in sinistra idrografica della Grotta del Gambellaro. La storia delle esplorazioni e le osservazioni sono state pubblicate negli "Atti del VI convegno di Speleologia dell'Emilia-Romagna" (1960-1961) del 1965 e in "La Mercanzia", pubblicazione mensile della Camera di Commercio di Bologna (1963).

Negli anni successivi altri gruppi tentarono di superare l'angusto sifone. Nel 1968 un membro del gruppo AKU AKU di Imola fece un tentativo solitario. Tale

Comune	Temperatura media nel comune (°C) 1961-1990	Temperatura media nel comune (°C) 1991-2015	Temperatura media nel comune (°C) 2016	Temperatura media nel comune (°C) 2017	Temperatura media nel comune (°C) 2018	Temperatura media nel comune (°C) 2019
Riolo Terme	12,7	13,6	*	15,0	14,4	14,6
Borgo Tossignano	12,4	13,4	*	14,6	14,1	14,2
Casola Valsenio	11,6	12,7	*	13,3	13,0	13,2
Media	12,2	13,2	*	14,3	13,8	14,0

Comune	Temperatura media nel comune (°C) 1961-1990	Temperatura media nel comune (°C) 1991-2015	Temperatura media nel comune (°C) 2016	Temperatura media nel comune (°C) 2017	Temperatura media nel comune (°C) 2018	Temperatura media nel comune (°C) 2019
Brisighella	12,0	13,1	*	14,1	13,6	13

Tab. 1 – Temperature medie nei Comuni in prossimità dell'areale (ARPAE 2017, 2018, 2019, 2020), dati che evidenziano il processo di innalzamento delle temperature. Alla stesura del presente studio non era ancora disponibile il rapporto annuale dell'ARPAE relativo al 2020.

impresa venne raccontata da Enio Lanzoni, speleologo imolese, nel 1974 per spiegare la presenza di due impronte umane trovate nel 1973 da speleologi del gruppo USB di Bologna. Gli speleo-sub bolognesi trovarono infatti le impronte in una stanzetta dopo 30 m di galleria freatica in prossimità di un'altra zona sifonante (PAVANELLO 1974; BENTINI *et alii* 1976).

Nel 1972, il giorno 18 marzo, il Gruppo Speleologico Faentino durante un periodo particolarmente piovoso, approfittò della presenza di un evidente rigagnolo d'acqua percorrente l'Inghiottitoio presso Ca' Poggio per effettuare una prova colorimetrica immettendo fluoresceina e sistemando fluorocettori presso il sifone della Grotta del Gambellaro. La prova dette esito negativo: venne quindi erroneamente smentito quanto ipotizzato dal CERIG, escludendo ogni possibilità di collegamento idrologico tra l'Inghiottitoio presso Ca' Poggio e la Risorgente del Rio Gambellaro. Per contro ipotizzarono che il sifone venisse alimentato dalle acque raccolte dal canale adiacente la grotta (BENTINI *et alii* 1976).

Successivamente il gruppo di Faenza effettuò misure di portata e temperatura: presso l'apporto a sifone in sinistra idrografica venne rilevata una temperatura di 11° C, mentre presso quello in destra idrografica una temperatura di 13° C (considerevole differenza riscontrata anche dagli studi attuali) (BENTINI *et alii* 1976).

Effettuò inoltre altre prove colorimetriche con fluoresceina nel febbraio e nel marzo 1975. Queste permisero di stabilire che gli apporti a cascatella in destra idrografica sono alimentati dal corso d'acqua che fuoriesce dal cunicolo sifonante di quota 179 m (BENTI-

NI *et alii* 1976). Tale risultato è stato confermato in occasione del presente monitoraggio poiché, all'atto di installazione dello stramazzo lungo il cunicolo, il corso d'acqua è stato momentaneamente sbarrato e le due cascatelle non hanno più ricevuto alcun apporto. Altra colorazione (stessa data) ha dimostrato che le acque del cunicolo sifonante di quota 179 m sono alimentate a loro volta dalle acque risorgenti da una polla che sgorga nei pressi del sentiero che conduce all'ingresso della grotta stessa. Tale polla era stata



Fig. 7 – Tentativo di Sergio Gnani, del gruppo CERIG di Bologna, di superare il sifone in sinistra idrografica presente nella Grotta Risorgente del Rio Gambellaro (foto CERIG) (GALLINGANI 1965).



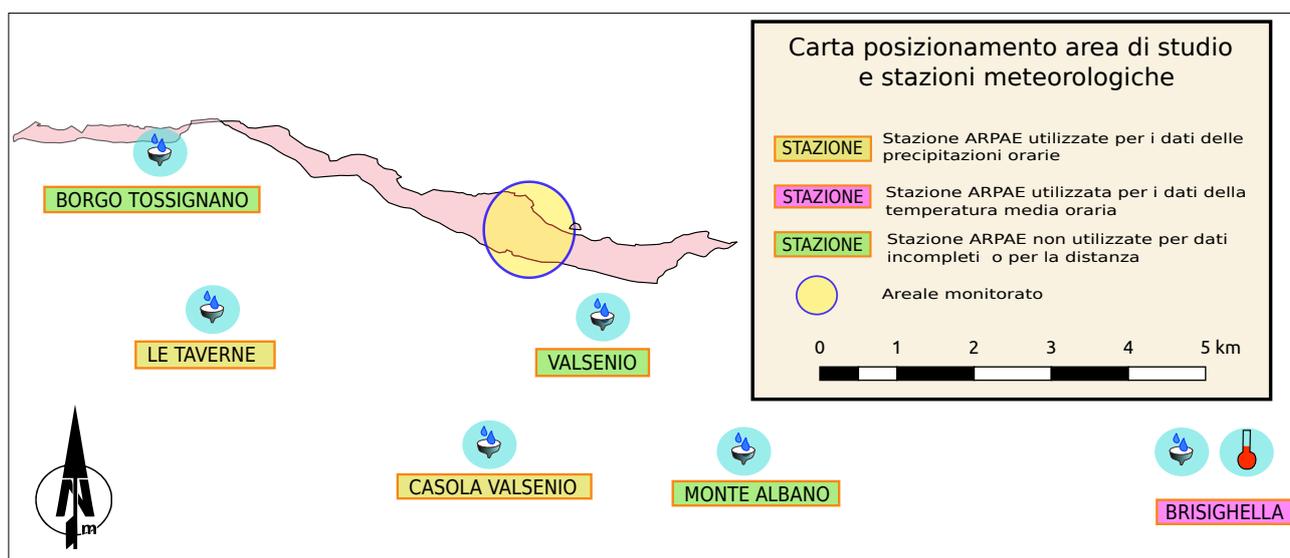


Fig. 9 – Carta con posizionamento dell’area di monitoraggio e delle stazioni ARPAE limitrofe.

cavità, non è stata fatta differenziazione tra i due apporti e non è stata rilevata la portata dei corsi d’acqua. Dai trend registrati, nell’arco degli 8 mesi di monitoraggio, si sono comunque constatate risposte rapide agli input infiltrativi, tipiche di sistemi a “dreno dominante” (VIGNA 2007) degli acquiferi gessosi.

Con il presente studio si intende incrementare i dati raccolti ed approfondire le considerazioni finora fatte al fine di determinare i bacini idrogeologici che stanno a monte della Risorgente del Rio Gambellaro e cercare di comprenderne le caratteristiche.

#### *Strumentazione, parametri analizzati e metodologia*

Per valutare la ricarica e scarica nei bacini idrologici a capo della Risorgente del Rio Gambellaro, al fine di individuarne le caratteristiche ed ipotizzarne le superfici, è stato necessario acquisire i dati inerenti le precipitazioni, da confrontare poi con le portate delle acque che confluiscono all’interno della grotta e con la portata complessiva del Rio esterno.

Per raccogliere i dati delle precipitazioni sono state utilizzate le registrazioni giornaliere ed orarie presenti nell’archivio del centro di calcolo “ARPAE-Servizio Idro-Meteorologico”.

Per il valore medio dell’altezza delle precipitazioni sono state individuate alcune stazioni poste in prossimità della zona di studio (fig. 9, tab. 2). Le più prossime, in grado di fornire dati in continuo, sono le stazioni di Casola Valsenio e di Le Taverne. Queste due stazioni sono ubicate a quote differenti tra loro, ma proprio per questo giudicate significative. Infatti la stazione di Valsenio, è posta a quota 154 m, equivalente più o meno alla quota delle risorgenti della no-

stra area di studio; mentre la stazione di Le Taverne è posta a quota 486 m, corrispondente alla quota più alta dei bacini di raccolta delle acque.

È stato quindi deciso di calcolare il valore medio dell’altezza delle precipitazioni eseguendo una semplice media matematica dei dati forniti da queste due stazioni, tralasciando le altre, per dati incompleti o per distanza eccessiva dall’area di studio.

Prima di optare per tale scelta sono stati anche analizzati i dati storici registrati dalle quattro stazioni più vicine che hanno fornito dati completi per il decennio 2008-2020 (fig. 6). Da tali dati scaturisce una precipitazione media di 870 mm annui, mentre se ci si limita ai dati delle sole stazioni di Casola Valsenio e Le Taverne, il valore medio sale a 890 mm (discordanza pari al 2,3%).

Va tenuto presente che tali misure non sono i reali valori di precipitazione che si avrebbero con una stazione di monitoraggio meteorologico posta all’interno dell’areaale di studio, ma sono comunque valori rappresentativi con un buon grado di precisione.

Con l’esperienza acquisita mediante lo studio idrogeologico dell’area carsica del Rio Stella–Rio Basino (SFRISI *et alii* 2019) si è divenuti ben consapevoli dell’importanza di alcuni parametri chimico-fisici, quali temperatura e conducibilità delle acque ipogee, al fine di determinare i tempi di corrivazione e la caratteristica degli acquiferi. Per quanto riguarda la temperatura, si è voluto quindi stimare anche la temperatura giornaliera media esterna dell’areaale di studio per poter cogliere eventuali segnali che potessero rivelarsi interessanti al fine dell’elaborazione finale dei dati.

Purtroppo in prossimità dell’area di studio, attualmente, nessuna stazione registra in continuo la tem-

Stazione	Borgo Tossignano	Le Taverne	Casola Valsenio	Valsenio	Monte Albano	Brisighella
RETE DI MISURA	SIMNBO	SIMNBO	SIMNBO	LOCALI	SIMNBO	AGRMET
COMUNE	Borgo Tossignano	Fontanelice	Casola Valsenio	Casola Valsenio	Casola Valsenio	Brisighella
PROVINCIA	Bologna	Bologna	Ravenna	Ravenna	Ravenna	Ravenna
BACINO	Santerno	Santerno	Senio	Senio	Senio	Lamone
LATITUDINE (N):	11,578993	11,58749	11,632342	11,651069	11,673947	11,755449
LONGITUDINE (E):	44,274665	44,249229	44,227137	44,247624	44,225756	44,219775
QUOTA S.L.M.	98 m	486 m	154 m	164 m	480 m	185 m

Tab. 2 – Stazioni meteorologiche limitrofe all'area di studio.

Stazione	Borgo Tossignano	Le Taverne	Casola Valsenio	Valsenio	Monte Albano	Brisighella
Precipitazioni orarie	DATI COMPLETI	DATI COMPLETI	DATI COMPLETI	-	DATI COMPLETI	DATI COMPLETI
Precipitazioni giornaliere	DATI COMPLETI	DATI COMPLETI	DATI COMPLETI	DATI NON COMPLETI	DATI COMPLETI	DATI COMPLETI
Temperatura media oraria	-	-	-	-	-	DATI COMPLETI
Temperatura media giornaliera	-	-	-	DATI NON COMPLETI	-	DATI COMPLETI

Tab. 3 – Disponibilità dei dati nelle varie stazioni meteorologiche durante il periodo di monitoraggio. Per la vicinanza all'area di studio e per la completezza dei dati sono state scelte, per il recupero dei dati inerenti le precipitazioni orarie, la stazione di Le Taverne e di Casola Valsenio; per la completezza dei dati inerenti la temperatura oraria è stata scelta la stazione di Brisighella.

peratura (tab. 3), pertanto al fine di determinare la temperatura media esterna si sono ricercati nell'archivio dell'ARPAE dati storici.

È stato trovato un unico periodo, relativamente recente, con dati continui registrati presso la stazione di Casola Valsenio (quota 164 m), vale a dire il biennio 2013-2014.

È stata calcolata la media annua per il 2013 (13,00 °C), per il 2014 (14,42 °C) e la media del periodo (13,70 °C).

Partendo dalla temperatura media del biennio, in assenza di altri dati significativi, in considerazione del valore medio del gradiente termico verticale in atmosfera standard (-6.5 °C/km) si è calcolata la temperatura media ipotizzabile a quota 270-280 m, vale a dire la quota media della nostra area di studio. Tale valore è risultato pari a circa 13 °C.

In realtà, il valore del gradiente termico verticale può

essere influenzato da molti fattori, tra cui la morfologia dell'area; inoltre, i valori riportati nell'Atlante climatico dell'Emilia-Romagna, dati sintetici e riepilogativi, evidenziano un trend di innalzamento della temperatura media (tab. 1), pertanto è importante essere consapevoli che i 13 °C stimati rappresentano un valore puramente indicativo, ma comunque confrontabile con quanto registrato in ambiente ipogeo. Nel confronto si deve inoltre tener presente che il gradiente termico ipogeo è differente da quello esterno, questo perché la temperatura delle grotte è influenzata oltre che dalla quota di ingresso e di sviluppo della cavità, dalla presenza o meno di più ingressi, posti a quote differenti, e dalla presenza o meno di corsi d'acqua.

L'acqua è caratterizzata da un elevato grado di inerzia termica che la porta ad avere un gradiente di -2,34 °C/km, ciò significa che un'acqua che entra in grotta tende

a scaldarsi più lentamente dell'aria e va a mediare sul gradiente termico ipogeo. Infatti, in cavità con grande presenza di acqua, il gradiente tende a stabilizzarsi sul gradiente di quest'ultima (BADINO 1995a; BADINO 1995b; BADINO 1995c; <https://laventa.it/archivio/climasotterraneo>). Per quanto riguarda i nostri sistemi carsici, possiamo ipotizzare un valore medio tra gradiente termico e gradiente dell'acqua, vale a dire circa  $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , questo perché i corsi d'acqua non sono molti e non hanno portate molto elevate se non in periodi di intense piogge. Quindi si stima che alla latitudine della Vena del Gesso romagnola, in un complesso carsico che si sviluppa tra quota 405 m e quota 165 m, ad una quota di 270/280 m, si avrà una temperatura interna dell'aria di circa  $12,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , leggermente inferiore a quella esterna di  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Sempre in un'ottica di confronto, si è deciso di acquisire anche la temperatura esterna oraria, fornita in continuo dalla stazione meteorologica di Brisighella (quota 185 m). La stazione è un po' distante dall'area di studio, perciò anche in questo caso non si è cercata la precisione del dato, ma si è voluto cogliere l'opportunità di disporre dell'andamento dell'escursione termica giornaliera e stagionale.

Per quanto concerne il monitoraggio degli apporti idrici ipogei, si è voluto registrare in continuo la

portata, la temperatura e la conducibilità dell'acqua (fig. 10)

La misura di portata di un corso d'acqua è eseguibile, in presenza di stramazzo (figg. 11-12), con metodo indiretto (ricavato dalla legge di Torricelli) ([https://it.wikipedia.org/wiki/Legge\\_di\\_Torricelli](https://it.wikipedia.org/wiki/Legge_di_Torricelli)), ossia mediante misura di livello determinato a sua volta da una misura indiretta della pressione esercitata dalla colonna del fluido (legge di Stevino) ([https://it.wikipedia.org/wiki/Legge\\_di\\_Stevino](https://it.wikipedia.org/wiki/Legge_di_Stevino)).

In commercio esistono sonde dette multiparametriche capaci con un unico strumento di eseguire misure di: pressione, conducibilità e temperatura.

Dopo alcune valutazioni riguardanti la bassa portata dei corsi d'acqua da monitorare, l'elevata conducibilità tipica delle acque carsiche gessose e le disponibilità finanziarie, si è optato per l'acquisto di due datalogger per ogni singolo corso d'acqua da monitorare.

Una tipologia di datalogger atta a registrare in continuo, con una cadenza di 30 minuti, mediante due sensori, la pressione dell'aria (sensore barometrico) e la pressione della colonna totale aria+acqua, fornendo poi in automatico la differenza di pressione e convertendo tale dato in altezza (in millimetri).

L'altra tipologia invece registra, sempre con cadenza di 30 minuti, la conducibilità elettrica. Entrambi regi-

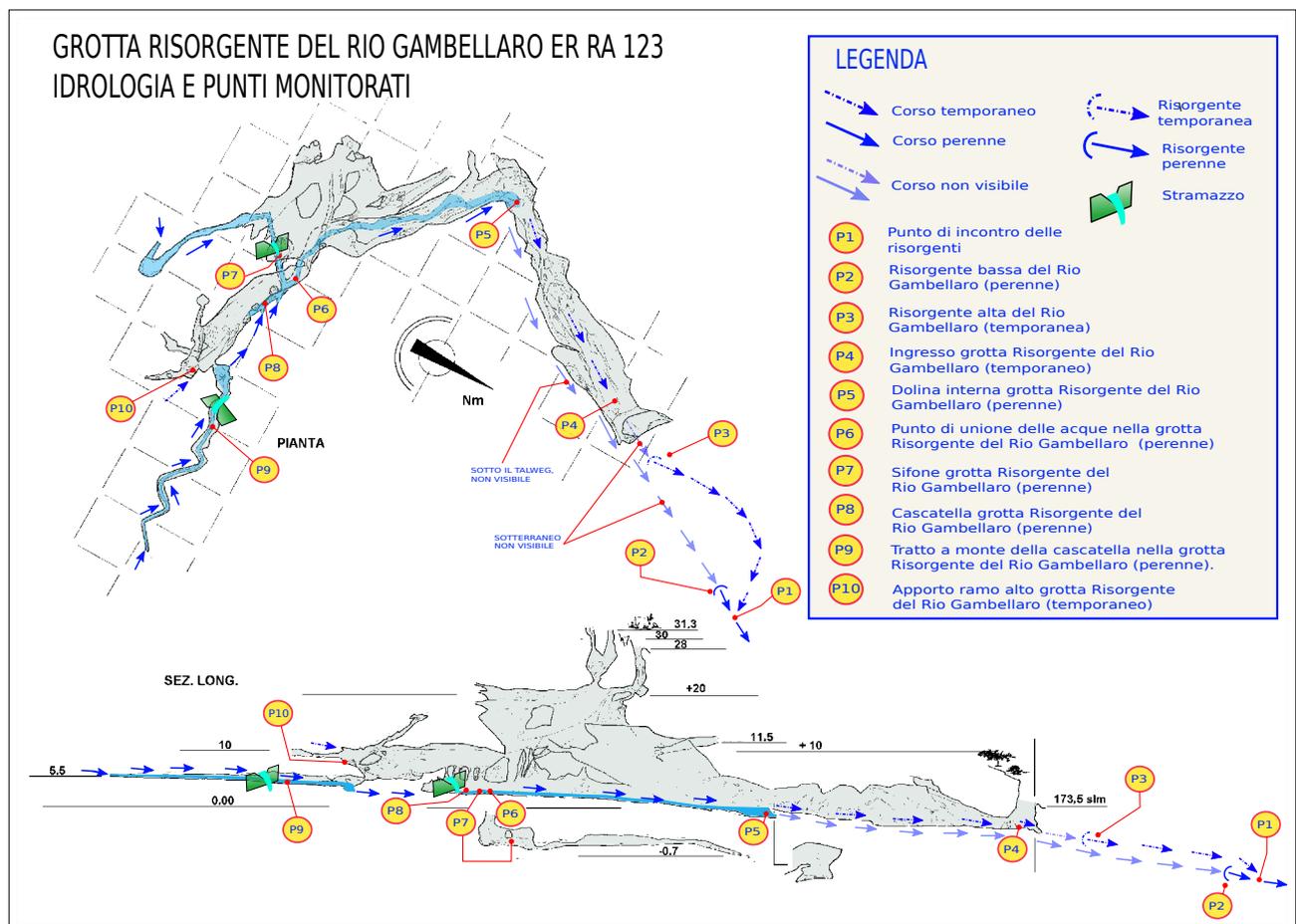


Fig. 10 – Idrologia e ubicazione dei punti di misura all'interno della grotta Risorgente del Rio Gambellaro (ER RA 123).



Fig. 11 – Stazione di misura presso l’apporto a sifone in destra idrografica: tale apporto nel testo verrà identificato con il termine “apporto a cascatella” per il caratteristico salto che le acque fanno prima di congiungersi con l’apporto di sinistra idrografica. In primo piano, in alto, è ben visibile il datalogger per la misura del livello dell’acqua contenente il sensore per la misura della pressione barometrica; in secondo piano si può notare il “tubo di calma” contenente la sonda di misura della pressione idrostatica utilizzata dal datalogger che misura il livello dell’acqua e la sonda per la misura della conducibilità elettrica. La temperatura è rilevata da entrambe le sonde contenute nel “tubo di calma” (foto S. Zauli).



Fig. 12 – Stazione di misura presso l’apporto a sifone in sinistra idrografica, nel testo identificato anche con il termine “apporto a sifone” (foto S. Zauli).

Datalogger: Bluetooth HOB0 temperatura e livello acqua mod. MX2001-04, versione con sensore integrato a elevata precisione. Completo di trasmettitore MX2001-TOP e sensore barometrico. Trasmissione dati wireless via Bluetooth® a un dispositivo iOS. App gratuita HOBOMobile per programmare, visualizzare e scaricare i dati.
Campo di misura: -20 °C ÷ +50 °C; 0 ÷ 4 mt; 0 ÷ 145 kPa
Precisione: ±0,44 °C; ± 0,075% fs; 0,3cm
Risoluzione: 0,1 °C; <0,014kPa; 0,14cm
Datalogger: HOB0 U24 Conductivity Logger (U24-001).
Campo di misura: 5 °C ÷ +35 °C; 0 ÷ 1000µS/cm (LOW RANGE) / 0 ÷ 10000µS/cm (FULL RANGE)
Precisione: ±0,1 °C; 5 µS/cm / 20 µS/cm
Risoluzione: 0,01 °C; 1 µS/cm
Alimentazione: batteria a litio da 3,6V

Tab. 4 – Caratteristiche tecniche datalogger installati presso entrambe le stazioni di monitoraggio.

strano anche la temperatura dell'acqua.

Con il contributo della Federazione Speleologica Regionale dell'Emilia-Romagna si sono quindi acquistati 4 datalogger della HOB0: due datalogger "HOB0 MX2001-04" per la misura di livello e temperatura; due datalogger "HOB0 U24" per la misura di conducibilità e temperatura (tab. 4 e fig. 13).

I datalogger sono stati posizionati nei due punti individuati per il monitoraggio in continuo delle acque presso la grotta Risorgente del Rio Gambellaro: apporto sifonante in sinistra idrografica (che per praticità di seguito chiameremo "apporto a sifone") e apporto sifonante in destra idrografica (che per praticità in seguito chiameremo "apporto a cascatella").

Gli strumenti sono stati posizionati all'interno di strutture di plastica, auto-costruite in economia, aventi la funzione di "tubi di calma", il cui scopo è quello di ridurre la turbolenza del flusso (fig. 11).

Presso l'apporto a sifone in sinistra idrografica (di seguito "sifone") è stato anche installato un cancello per preservare gli strumenti da "curiosi" che avrebbero potuto avventurarsi all'interno della cavità, poiché di facile accesso e nota agli abitanti della zona (fig. 14).

A sbarramento, sui corsi d'acqua, sono stati installa-



Fig. 13 – Datalogger installati per singolo punto di misura. Per dettagli tecnici si rimanda alla tab. 4 (foto S. Zauli).



Fig. 14 – Cannello installato presso l'apporto in sinistra idrografica a protezione della stazione di misura (foto E. Sfrisi).

ti stramazzi di Thomson autocostruiti, a pareti sottili con profilo a V a 90°, idonei a portate inferiori ai 100 l/s (stima portata effettuata precedentemente con stramazzo portatile) (figg. 11-12, 15).

La misura di portata è indiretta mediante misura del livello, riferita dal vertice della V. La costruzione degli stramazzi ed il calcolo delle portate sono stati eseguiti in accordo alla normativa di riferimento (ISO-1438:2008 Hydrometry - Open channel flow measurement using thin-plate weirs) (fig. 16).

Il valore della portata viene ricavata tramite opportune formule, legate alla geometria dello sbarramento, con funzione non lineare (potenza 5/2 per lo stramazzo di Thomson) ed in funzione di un coefficiente di efflusso ricavabile dalla normativa di riferimento (ISO 1438: 2008, Hydrometry — Open channel flow measurement using thin-plate weirs).

La precisione della misura è legata al rapporto larghezza/altezza della bocca stramazzo.

La misura di livello è acquisita dal datalogger MX2001-04, che sfruttando la legge di Stevino, come detto in precedenza, esegue la registrazione della pressione differenziale tra quella esercitata sulla colonna del fluido (acqua e aria) e la pressione atmosferica (colonna d'aria).

La legge di Stevino (Simon Stevin) permette di calcolare la pressione esistente ad ogni profondità entro

una colonna di fluido conoscendone la densità.

Per semplificare i calcoli, vengono utilizzati come unità di misura della pressione i "mmH<sub>2</sub>O", in questo modo quando il fluido è acqua (1 kg/dm<sup>3</sup>) il valore di pressione corrisponde all'altezza della colonna di fluido (con fluidi a densità diversa per ricavare il livello bisogna dividere il valore di pressione misurata in "mmH<sub>2</sub>O" per la densità).

Gli strumenti sono stati posizionati nei laghetti formati a monte degli sbarramenti, ad una distanza da questi di almeno 5 volte l'altezza massima del livello idrico misurabile sulla V dello stramazzo.

Questo perché, in prossimità della bocca dello stramazzo, si verifica l'abbassamento della superficie libera del fluido che si traduce in una portata sottostimata.

Il sensore del datalogger che misura la pressione di aria+acqua è stato posizionato ad una altezza inferiore rispetto al vertice della V. La distanza tra esso e la punta della V è l'elevazione di zero della misura di livello, ossia è il valore che dovrà essere tolto dai dati registrati.

I dati di livello raccolti devono quindi essere elaborati per togliere l'elevazione di zero e devono essere convertiti in valore di portata tramite la formula dello stramazzo di Thomson (fig. 16).

Il datalogger MX2001-04 come detto registra anche la pressione atmosferica che oltre a essere indispensabile



Fig. 15 – Messa in posa dello stramazzo presso l’apporto a sifone in sinistra idrografica (foto S. Zauli).

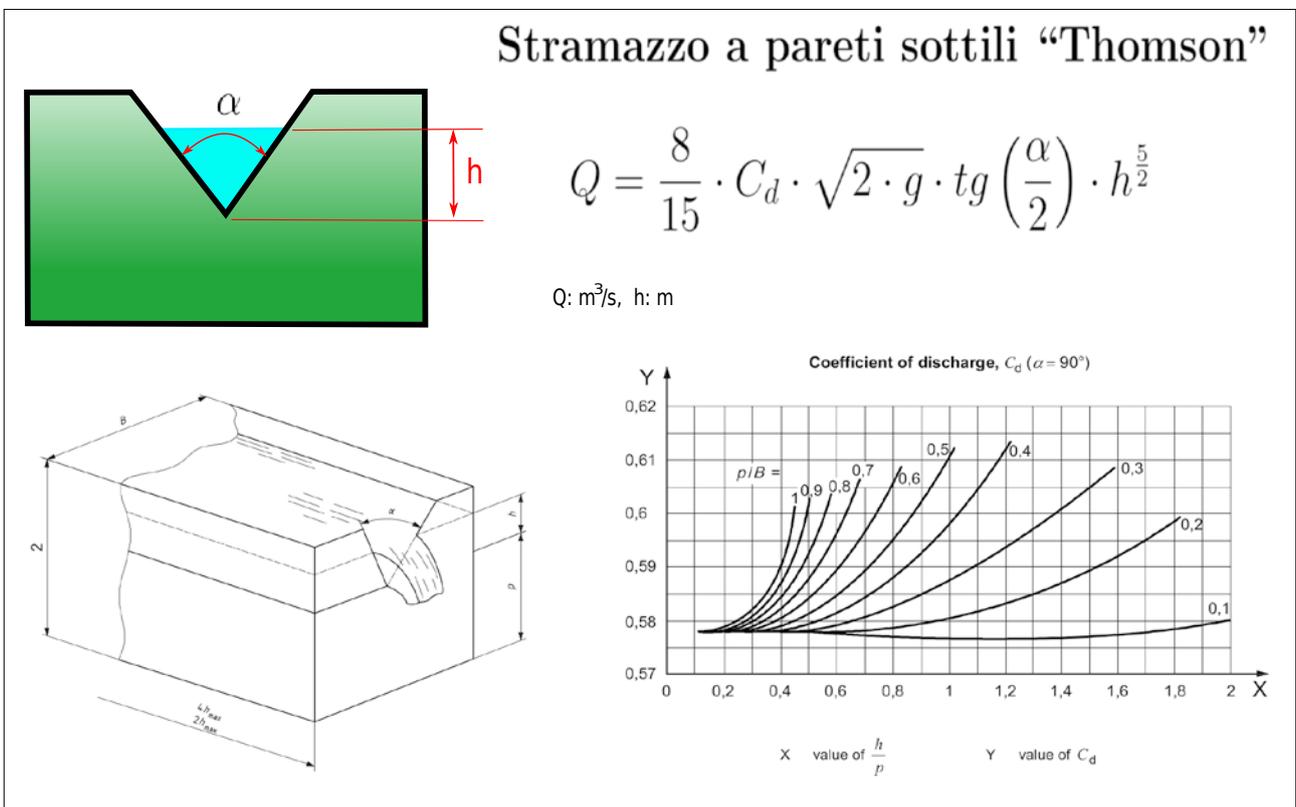


Fig. 16 – Stramazzo di Thomson e grafico per ricavare il valore del coefficiente di efflusso “Cd” da utilizzare nella formula per il calcolo della portata (Normativa ISO-1438, 2008).

per determinare il livello di portata, è anche un parametro utile poiché fornisce indicazioni sul corretto funzionamento dello strumento. Infatti nel periodo fine gennaio, inizio maggio 2020, tale parametro, rilevato dallo strumento posto presso la stazione della cascatella, si era stabilizzato non registrando più le variazioni di pressione atmosferica e pertanto le misure di portata ne divenivano sballate. Per tale motivo non sono state riportate nei grafici e sono state linearizzate con un trend discendente per il calcolo della portata media dell'apporto.

L'anomalia è stata causata dall'ostruzione del filtro per condensa, pertanto si è provveduto alla sostituzione del medesimo su entrambi i datalogger installati.

La conducibilità elettrica è un parametro fisico dell'acqua ed è in stretta relazione con i sali disciolti in essa; pertanto ad una maggior presenza di sali corrisponde un valore maggiore di conducibilità, misurato in  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ( $\mu\text{Siemens}/\text{cm}$ ) (tab. 5).

TIPO ACQUA	CONDUCIBILITÀ ELETTRICA
Acqua pura	0,055 $\mu\text{S}/\text{cm}$ @25 °C
Acqua distillata	0,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ @25 °C
Acqua potabile	500÷800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ @25 °C
Valore massimo per acqua potabile	2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ @25 °C
Acqua di mare	56 mS/cm @25 °C = 56000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ @25 °C

Tab. 5 – Conducibilità elettrica di varie tipologie di acque naturali (GELAIN 2017).

La conducibilità dipende fortemente dalla temperatura e cresce con l'aumentare di questa.

Per confrontare i valori di conducibilità è pertanto necessario correggere il valore misurato a quello corrispondente ad una temperatura prefissata di riferimento. In questo studio si utilizzerà il valore di 25 °C (normativa ISO-7888, EN-27888 - Water quality - Determination of electrical conductivity), tale operazione è detta normalizzazione e nella misura verrà riportata la scritta "@25 °C" ("riferito a 25 °C").

I dati sono stati estrapolati in base alla normativa ISO-7888 con formula di correzione lineare mediante un "coefficiente di temperatura (2 %/°C)".

In natura l'acqua non si trova mai allo stato puro, in essa sono presenti sali disciolti, materiali colloidali in sospensione e sostanze organiche. Pertanto, le caratteristiche chimiche delle acque sono fortemente influenzate dalle tipologie di terreni che attraversano e dagli esseri viventi (animali e piante) che vivono in quel determinato ambiente.

Negli acquiferi carbonatici la conducibilità elettrica

specifica presenta valori di poche centinaia di  $\mu\text{S}/\text{cm}$  @25 °C, mentre negli acquiferi gessosi si raggiungono valori prossimi ai 2500/2600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  @25 °C.

Vi sono casi in cui tale valore può essere superato poiché in una soluzione satura di solfato di calcio possono comunque essere disciolti sali di diversa natura, in tal caso si raggiungono valori superiori, come riscontrato nella Grotta Risorgente del Rio Basino, dove un piccolo apporto in sinistra idrografica presenta valori superiori ai 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  @25 °C (SFRISI *et alii* 2019). Per cercare di interpretare i valori della conducibilità elettrica registrati nei punti di monitoraggio sono state eseguite alcune misure su soluzioni sature composte manualmente (tab. 6)

SOLUZIONE SATURA	CONDUCIBILITÀ ELETTRICA SPECIFICA A 25 °C
Acqua demineralizzata + gesso secondario	2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ @25 °C
Acqua demineralizzata + gesso primario	2500-2550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ @25 °C
Acqua demineralizzata + gesso secondario + Formazione a Colombacci	2600-2700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ @25 °C

Tab. 6 – Conducibilità elettrica misurata di soluzioni acquose sature di gesso.

Conoscere, almeno a grandi linee, i valori di conducibilità elettrica da misurare è fondamentale anche per l'acquisto e per la gestione dello strumento. In molti conduttivimetri è disponibile un doppio campo di misura (Low Range/Full Range) in base ai valori della soluzione ionica da misurare, nel nostro caso è stato pertanto utilizzato il campo maggiore.

Per riuscire ad ottenere informazioni aggiuntive che permettessero di interpretare al meglio i dati raccolti e per verificare il corretto funzionamento degli strumenti installati, sono state eseguite anche misurazioni puntuali di temperatura e conducibilità mediante un conduttivimetro portatile (modello EC150 della EXTECH Instruments) e misurazioni di portata manuali direttamente sugli stramazzi, sullo stramazzo installato lungo il corso d'acqua esterno e su stramazzo portatile posizionato all'occorrenza in altri punti del corso idrico.

#### Raccolta dati

Periodicamente, ad intervalli non superiori ai due mesi, sono state eseguite uscite per prelevare i dati e verificare lo stato della strumentazione. Unica eccezione, il periodo di lockdown causato dall'emergenza

sanitaria COVID-19 che ha comportato un intervallo superiore ai tre mesi.

Per scaricare i dati dei datalogger di conducibilità e temperatura è stato utilizzato un PC portatile con sistema operativo Windows 10 nel quale è stato installato il software della HOBO e utilizzata l'apposita interfaccia USB – infrarossi (datalogger stagno con comunicazione ottica a infrarossi) (fig. 17).

I due datalogger per le misure di livello sono invece provvisti di interfaccia Bluetooth ed i dati vengono scaricati con un semplice cellulare smartphone con APP della HOBO (fig. 18). Ciò permette di scaricare i dati senza toccare gli strumenti, evitando così spostamenti che potrebbero variare l'elevazione di zero e falsare i dati raccolti.

Le misure di temperature sono registrate da entrambe le tipologie di datalogger installati, ma sono state utilizzate solo quelle rilevate nei datalogger dei livelli, poiché, da verifiche eseguite prima dell'installazione, la sonda di temperatura dei conduttivimetri è risultata meno precisa (errore del decimo di grado che comunque non pregiudica la misura di conducibilità).

I dati, per essere utilizzati e debitamente elaborati, devono venire scaricati e aperti con software della HOBO, poi esportati in file di foglio elettronico.

Per la comparazione temporale dei dati va tenuto presente il sistema di riferimento utilizzato, tutti i dati

forniti dall'ARPA fanno riferimento all'UTC ("Universal Time Code" tempo di coordinamento universale o tempo civile) che coincide con il tempo medio di Greenwich "GMT" (Greenwich Mean Time), pertanto le misure dei datalogger sono riferite a quest'ultimo sistema (GMT+0). Ciò è importante per una stima dei tempi di corruzione.

Per la realizzazione dei grafici sono stati utilizzati software open source: Latex per la realizzazione dei grafici; Inkscape e Gimp per successivi accorgimenti grafici.

Durante il monitoraggio, si sono verificate alcune problematiche sulla strumentazione installata. Nel datalogger posto presso la stazione della cascatella, causa condensa, si è tappato il filtro del sensore barometrico. Il problema è stato risolto costruendo un filtro eterno con superficie maggiore e posizionato in modo tale da essere auto drenante (fig. 19).

Alla stazione presso il sifone, il datalogger per la misura della conducibilità, essendo impostato per la registrazione su due scale (Low Range e Full Range) ha interrotto le misurazioni causa riempimento della memoria. È stato pertanto resettato ed impostato per la misura sul campo maggiore (Full Range). Altra problematica, sempre su di un conduttivimetro (presso la stazione della cascatella), si è avuta a fine periodo di monitoraggio. Si è infatti formata una patina argillosa



Fig. 17 – Scarico dati conducibilità da datalogger tramite interfaccia ottica collegata a PC portatile sul quale è stato installato software della Hobo (foto E. Sfrisi).



Fig. 18 – Prelievo dati di livello mediante tecnologia Bluetooth, ciò permette di non spostare la sonda di misura del livello dell'acqua riducendo così il rischio di errore (foto E. Sfrisi).

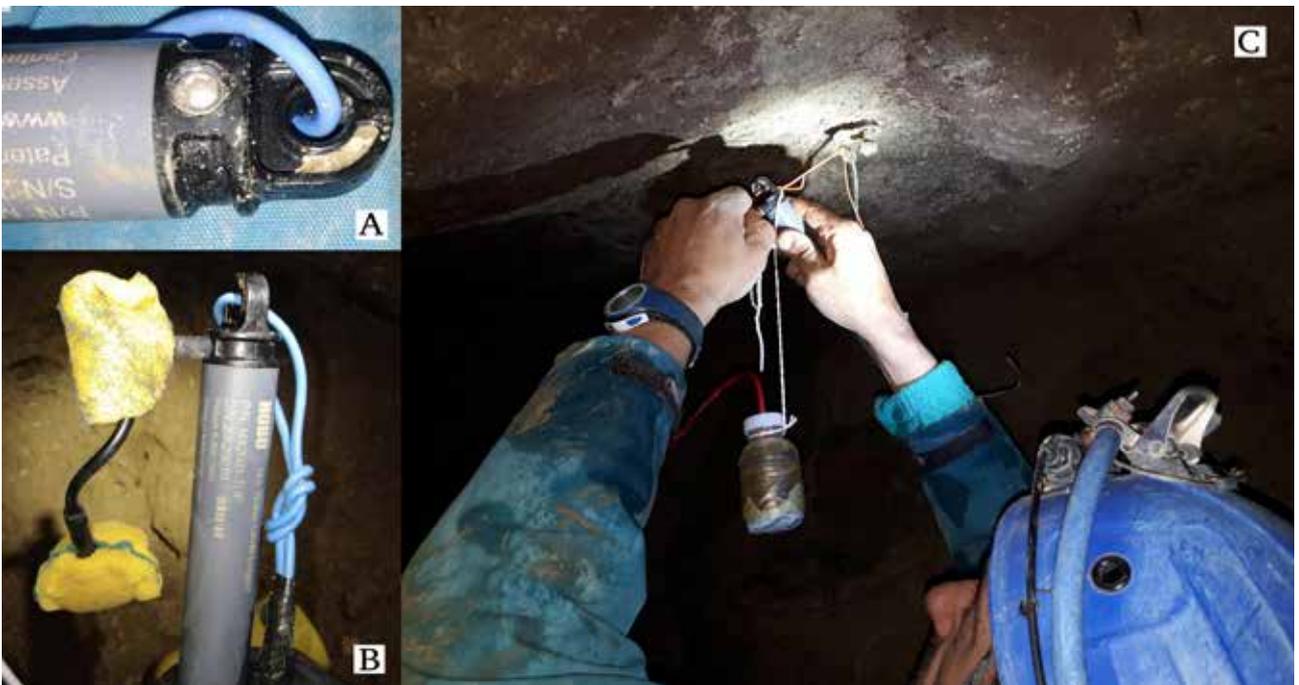


Fig. 19 – Soluzione trovata per ripristinare il regolare funzionamento del sensore per la misura della pressione barometrica, sul cui filtro si era depositato uno strato di condensa che lo ha isolato impedendogli di recepire le variazioni di pressione. Il malfunzionamento ha interessato il periodo febbraio-maggio 2020 (fig. 21).

A) Filtro impaccato dalla condensa; B) primo filtro costruito con una spugna gialla; C) filtro definitivo ricavato utilizzando una bottiglietta di plastica con fondo tagliato e richiuso mediante un pezzo di mascherina chirurgica (foto E. Sfrisi).

sullo strumento che ha falsato la misura in difetto, i dati registrati in tale periodo non sono stati riportati nei grafici.

#### *Idrodinamica degli apporti idrici della grotta Risorgente del Rio Gambellaro*

I dati raccolti durante il periodo di osservazione, che va dal 15/07/2019 al 31/12/2020 (figg. 20-22), hanno permesso di delineare caratteristiche comuni e particolarità dei due apporti idrici presenti nella grotta Risorgente del Rio Gambellaro e conseguentemente hanno permesso di delinearne i bacini di alimentazione (per il calcolo dei bacini si sono presi come riferimento i primi 12 mesi).

Per meglio identificare gli apporti e per semplificare l'esposizione, pur trattandosi in entrambi i casi di apporti sifonanti, si decide, nella presente analisi, di denominare l'apporto in sinistra idrografica "sifone" e denominare l'apporto in destra idrografica "cascatella" per il caratteristico saltino fatto dalle acque poco prima della giunzione delle stesse.

#### Apporto a sifone in sinistra idrografica

Durante il monitoraggio la portata massima registrata è stata di 33 l/s, registrata a metà novembre 2019, mentre il perdurante periodo di siccità ha comportato una portata minima di soli 0,02 l/s. Considerando il sistema carsico conosciuto presente a monte che per certo alimenta tale apporto, tale valore minimo è parso subito anomalo e spiegabile solamente ipotizzando un subalveo che a monte della zona sifonante raccolga

gran parte delle acque ipogee del sistema carsico di Monte del Casino. Lo stesso subalveo che all'interno della Risorgente del Rio Gambellaro raccoglie le acque totali in prossimità del punto del rilievo denominato "dolina interna" (figg. 10-23).

I valori di portata rispondono velocemente agli input delle precipitazioni quando i sistemi sono carichi. In specifico con portata superiore ai 0,5 l/s, a piogge intense, anche se di poche ore, sono seguiti evidenti picchi (figg. 20-24 idrogramma a e b); mentre in periodi di magra le risposte sono evidenti, con curva di carica rapidissima, ma sono di minor entità e si hanno solo dopo precipitazioni perduranti (figg. 22-25 idrogramma a).

Ciò a conferma della presenza di un subalveo che cattura parte delle acque, ma che altresì è caratterizzato da una portata limitata oltre la quale le acque defluiscono totalmente nell'alveo attivando, in periodi di intense precipitazioni, anche il tratto terminale della Risorgente del Rio Gambellaro e la relativa risorgente alta (fig. 26).

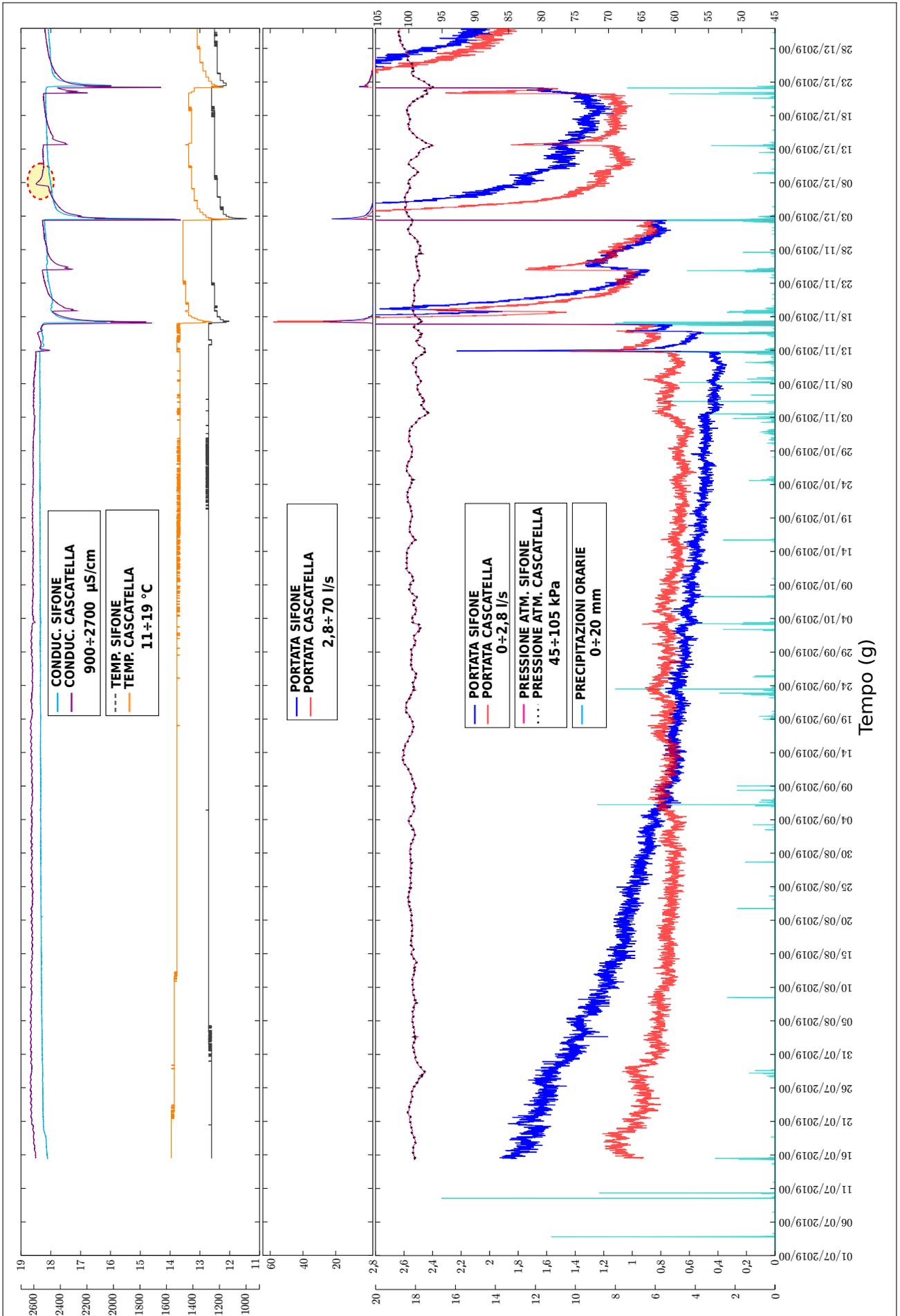
La temperatura massima registrata è stata di 13 °C, estate 2020, la temperatura media, generalmente molto costante, è di 12,7 °C, si segnalano solo alcuni cali in occasione di piogge invernali che hanno portato la temperatura a 11,44 °C.

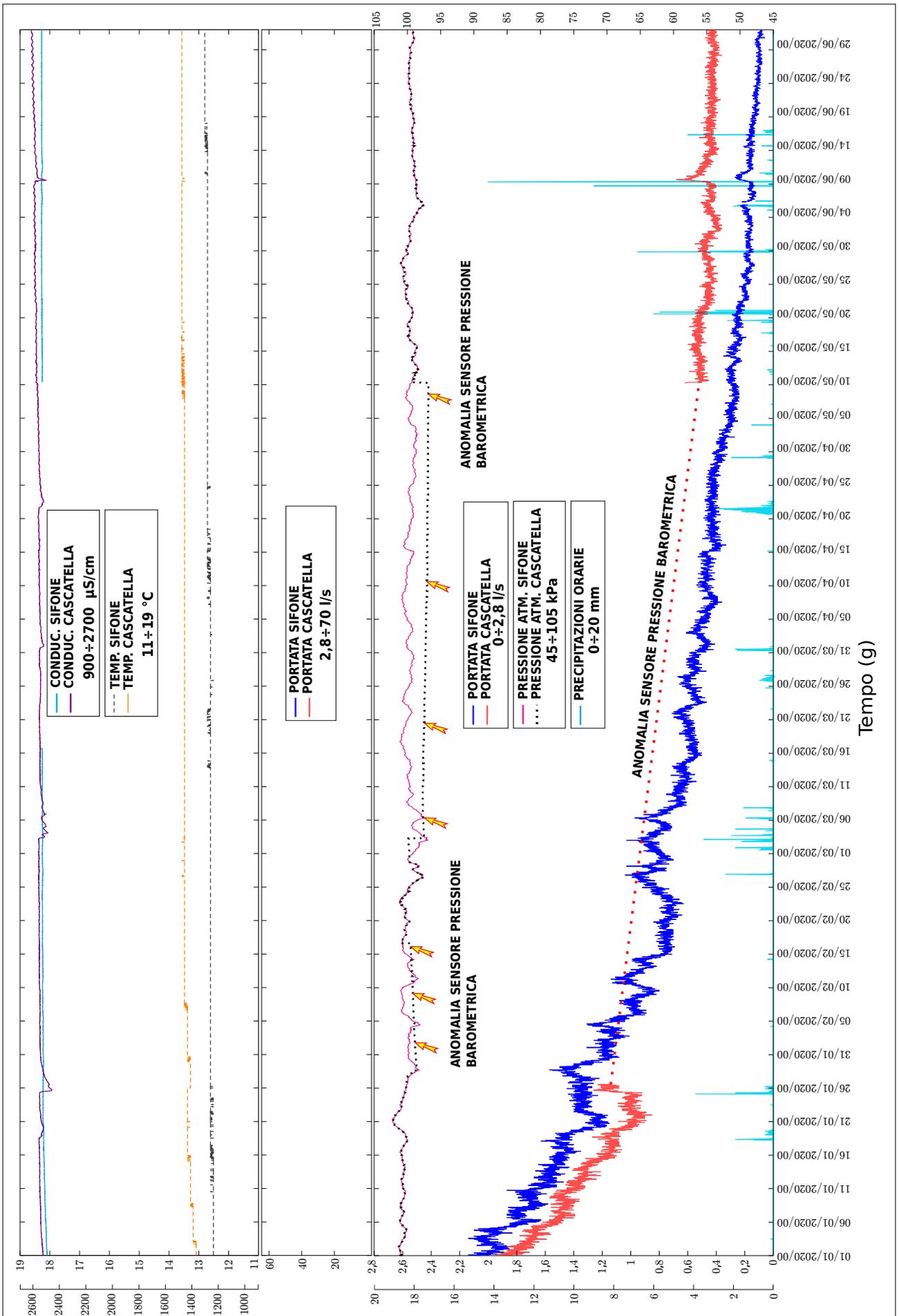
Il calo di temperatura in presenza di piogge invernali è repentino e concomitante ai picchi di portata (figg. 20-24 idrogramma a e b-27). Anomalo però sembra essere il comportamento di questo parametro nel periodo si fine novembre 2020 (figg. 22-25 idrogramma a) quando scende sotto il valore medio alcuni giorni prima del verificarsi delle fredde piogge di inizio dicembre.

Fig. 20 (a p. 232) – Idrogramma relativo al primo semestre di monitoraggio. A metà novembre 2019 si sono rilevati i livelli di portata massima registrati sia presso l'apporto a sifone che presso l'apporto a cascata. In questo periodo i sistemi erano abbastanza carichi e la risposta alle precipitazioni è molto repentina in entrambi gli apporti. Si noti come, dopo ripetute precipitazioni, la curva di esaurimento dell'apporto a sifone sia più dolce. Si noti inoltre come in prossimità del valore di portata di 1 l/s la curva di esaurimento dell'apporto a cascata tenda a stabilizzarsi scendendo molto lentamente, mentre la curva dell'apporto a sifone mantenga un trend discendente più evidente. Tale comportamento dell'apporto a sifone è spiegabile con la presenza di un subalveo che cattura parte delle acque a monte della stazione di misura, in una zona ad oggi ignota. Quando tale subalveo è saturo le acque defluiscono nell'alveo e la curva di esaurimento è più lenta (periodo 5-22 dicembre 2019); quando il subalveo ripristina la sua capacità di raccogliere acqua, il livello di portata dell'apporto a sifone continua a diminuire gradualmente.

Evidenti sono anche le risposte alle precipitazioni dei valori della conducibilità elettrica e della temperatura. Entrambi i valori registrano bruschi cali. Il cerchietto giallo sta ad evidenziare un lieve picco positivo del valore di conducibilità elettrica dovuto al tracciamento mediante NaCl immesso nel rivolo d'acqua esterno che risorge dalla polla di quota 221 m.

Fig. 21 (a p. 233) – Idrogramma relativo al secondo semestre di monitoraggio. A causa del mal funzionamento del sensore che misura la pressione barometrica, la portata dell'apporto a cascata è stata linearizzata. Si può notare come in periodo di scarse precipitazioni la portata dell'apporto sifone continui a diminuire poiché le acque confluiscono nel subalveo.





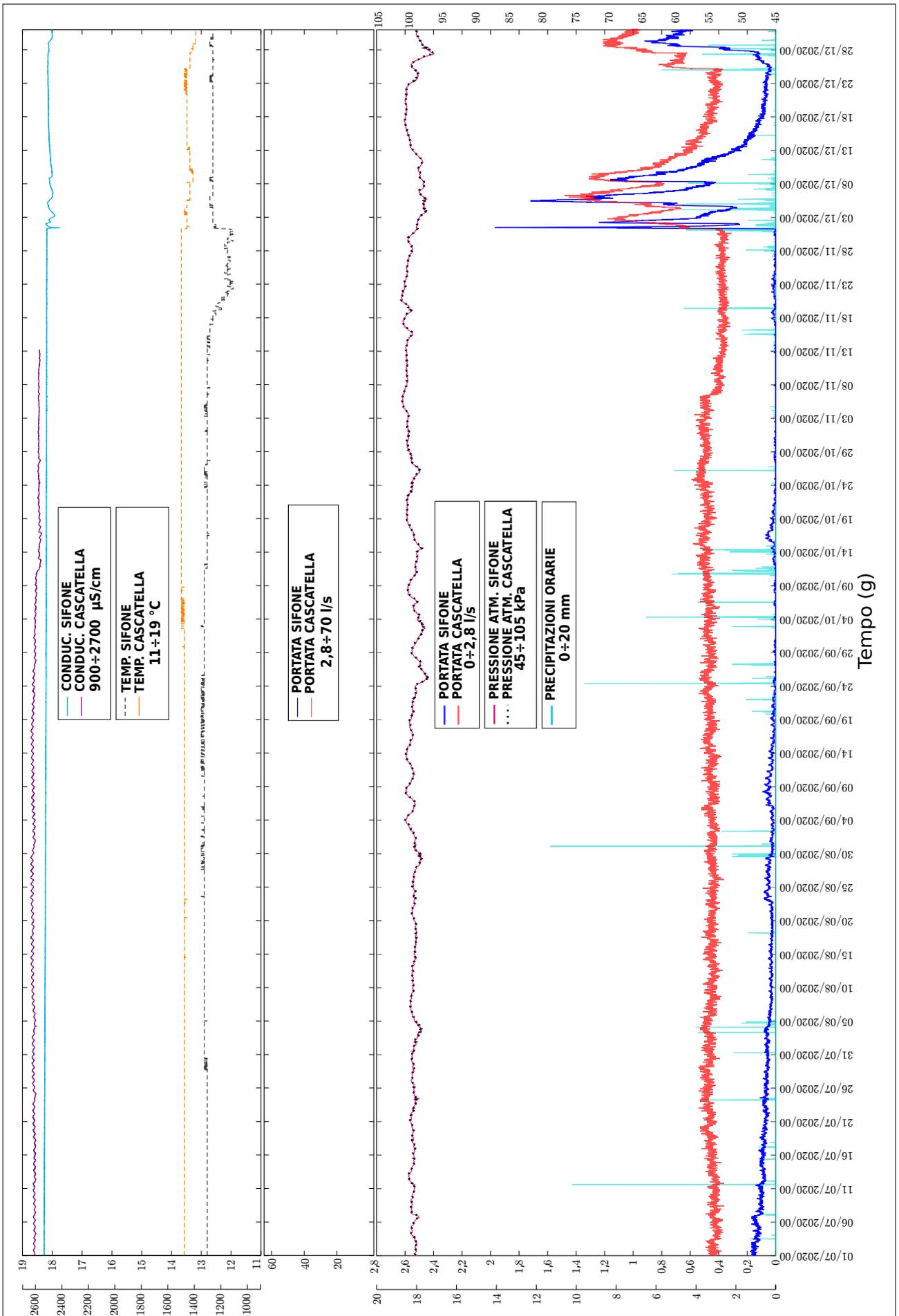




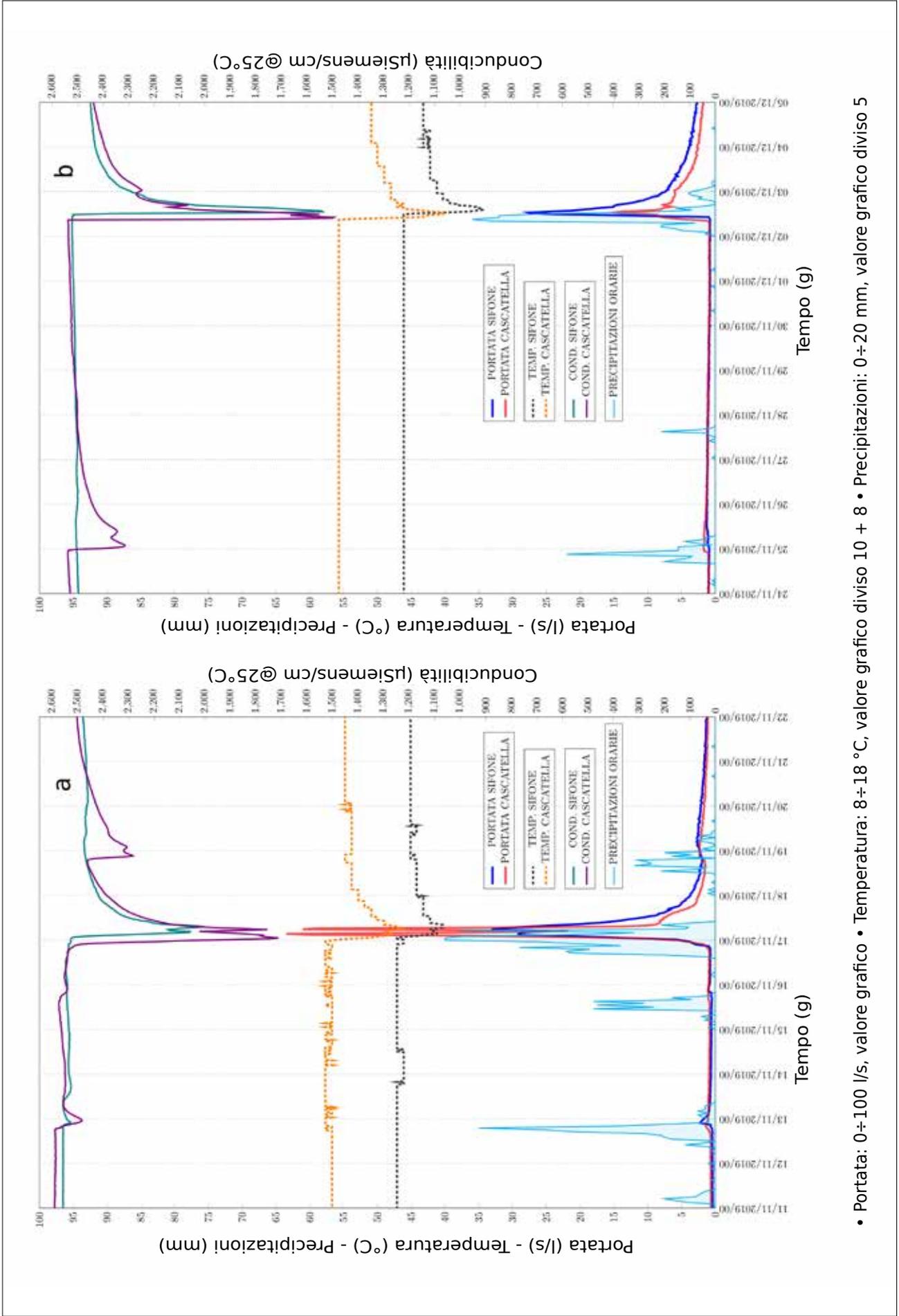
Fig. 23 – Punto all'interno della grotta Risorgente del Rio Gambellaro, denominato "dolina interna", dove, in periodo di magra, le acque confluiscono nel subalveo. Tale pertugio è situato in corrispondenza dell'interstrato che incrocia la faglia principale su cui è impostata la prima parte della cavità (foto E. Sfrisi).

A giustificare tale andamento è stata formulata la seguente ipotesi. A fine novembre 2020 i valori di portata presso il sifone erano minimi, la temperatura esterna alla grotta era scesa abbastanza repentinamente; pertanto in tale periodo l'aria fredda catturata dalla cavità è andata ad influenzare la temperatura dell'apporto a sifone abbassandola. Molto probabilmente ha influenzato solo tale apporto e non quello della cascatella poiché, essendo il livello dell'acqua molto basso, si deve essere aperto un vacuo che ha permesso il passaggio dell'aria fredda nel tubo cunicolo aumentando la velocità di passaggio e lo scambio termico.

Con le piogge di inizio dicembre, il livello è aumentato impedendo tale passaggio e l'acqua proveniente da monte ha mantenuto le sue caratteristiche termiche riportando il valore della temperatura, registrata dallo strumento, in prossimità dei valori medi.

Il valore di conducibilità elettrica massimo registrato è stato di  $2559 \mu\text{S}/\text{cm}$  @  $25^\circ\text{C}$ , mentre il valore minimo è stato di  $1538 \mu\text{S}/\text{cm}$  @  $25^\circ\text{C}$ , misurato dopo le intense piogge di inizio dicembre 2019. Tale parametro è molto stabile, eccezion fatta in occasione di piogge intense a sistemi carichi, ed è costantemente inferiore a quello registrato presso l'apporto a cascatella,

Fig. 22 (nella pagina accanto) – Idrogramma relativo al terzo semestre di monitoraggio. Il 2020 è stato un anno caratterizzato da una marcata sofferenza pluviometrica che ha portato i sistemi a livelli di portata minima. L'apporto a sifone è andato quasi in secca, poiché la poca acqua raccolta dalle cavità assorbenti è confluita quasi totalmente nel subalveo. Si noti l'anomalo comportamento della temperatura dell'acqua registrata presso l'apporto a sifone. La temperatura è infatti diminuita prima dell'arrivo delle piogge. Si ipotizza che tale comportamento sia riconducibile ad un brusco calo della temperatura esterna (fig. 31) e che l'aria fredda catturata dalla grotta abbia percorso il tubo-cunicolo dell'apporto a sifone dove presumibilmente, per la bassa portata, si era aperto un vacuo e ciò ha permesso un aumento dello scambio termico con conseguente abbassamento della temperatura dell'acqua. All'aumento della portata a seguito delle precipitazioni, il vacuo si deve essere chiuso e l'acqua proveniente da monte ha mantenuto le sue caratteristiche termiche riportando il dato registrato dallo strumento in prossimità dei valori medi.



• Portata: 0+100 l/s, valore grafico • Temperatura: 8+18 °C, valore grafico diviso 10 + 8 • Precipitazioni: 0+20 mm, valore grafico diviso 5

rispetto a questo ha anche un'escursione inferiore, ma una risalita un po' più repentina (figg. 24 idrogramma a e b-28 idrogramma b).

Da quanto osservato in campo è evidente come il ruolo del subalveo non possa essere trascurato anche se di difficilissima interpretazione per l'impossibilità di misurarne la reale portata.

Le misure puntuali effettuate presso lo stramazzo esterno, posto alla risorgente bassa del Rio Gambellaro, hanno evidenziato, in periodo di magra, un surplus rispetto alla somma delle due acque ipogee, variabile tra 0,4 e 0,6 l/s (fig. 29). Purtroppo l'ipotesi che le acque del sifone confluissero nel subalveo a monte è stata presa in considerazione solo nel corso del 2020, pertanto, a causa delle scarse piogge avutesi durante tale anno, non è stato possibile misurare puntualmente la portata totale con i sistemi carichi. Ma visto il comportamento della portata registrata allo stramazzo del sifone, si stima che la capacità massima del subalveo sia poco superiore ai 0,6 l/s, almeno per quanto riguarda la capacità di accogliere l'acqua del sistema carsico di Monte del Casino.

Come si potrà riscontrare più avanti, il subalveo, con ogni probabilità, è infatti alimentato anche da altre acque, temporanee, che provengono da cavità poste ad est della grotta Risorgente del Rio Gambellaro. Pertanto tali acque pur immettendosi nel subalveo a valle del sifone, vanno ad accelerare l'innalzamento della curva piezometrica con conseguente ridotta capacità del subalveo di accogliere l'acqua a monte.

Significativo per la stima del surplus del subalveo è stato osservare i dati registrati in data 12/12/2020 (fig. 22). In tale periodo i sistemi si possono considerare "in carica" per le precipitazioni avute tra il 2 ed il 9 dicembre, infatti la portata del sifone è salita da 0,02 a 0,44 l/s. Si è registrato un primo picco al sifone in data 2 dicembre, la curva di carica e di esaurimento sono state entrambe molto ripide, successivamente le risposte alle piogge sono state caratterizzate da risalite di portata ripide, ma da curve di esaurimento più dolci, ciò a segnalare un subalveo già saturo e quindi incapace di accogliere acqua.

In data 12 dicembre, le portate stavano quindi seguendo le loro curve di esaurimento ed in tale fase la misura puntuale allo stramazzo esterno della risorgente

bassa ha segnato un surplus di 0,5 l/s, quindi in linea con quanto registrato nei periodi di magra. Durante i mesi di monitoraggio, con la raccolta puntuale dei dati presso lo stramazzo esterno, si sono registrati dati di surplus superiori a 0,6 l/s solo in tre occasioni: 0,68 l/s in data 16/05/2020; 0,64 l/s in data 30/05/2020 e 0,70 l/s in data 15/08/2020. In queste date, analizzando il relativo grafico, si può notare che la portata del sifone era in lieve, ma costante diminuzione (figg. 21-22) e che ha recepito solo molto lievemente le precipitazioni avutesi in tale periodo, poiché evidentemente sono state catturate dal subalveo portando il surplus a 0,7 l/s (o forse poco più, ma non registrato).

Detto questo, per determinare il valore della portata media del corso ipogeo alimentato dal sistema carsico di Monte del Casino si è quindi calcolata la portata media registrata allo stramazzo per il periodo 19/07/2019 - 18/07/2020, vale a dire 0,91 l/s, a cui si è sommato il valore di 0,7 l/s identificato come surplus, arrivando così ad una stima di 1,61 l/s.

#### Apporto alla cascatella in destra idrografica

Durante il monitoraggio la portata massima registrata è stata di 63,5 l/s, a metà novembre 2019, mentre la portata minima è stata di 0,44 l/s, nettamente superiore a quella del sifone. Tale valore minimo è rimasto pressoché costante anche durante il lungo periodo siccitoso che ha caratterizzato il 2020; la risposta alle precipitazioni è sempre molto repentina (figg. 20-22-24 idrogramma a e b-28 idrogramma a e b).

La portata media ricavata nel lasso temporale 19/07/2019 - 18/07/2020 ed utilizzata per il calcolo dei bacini di alimentazione, è di 0,82 l/s.

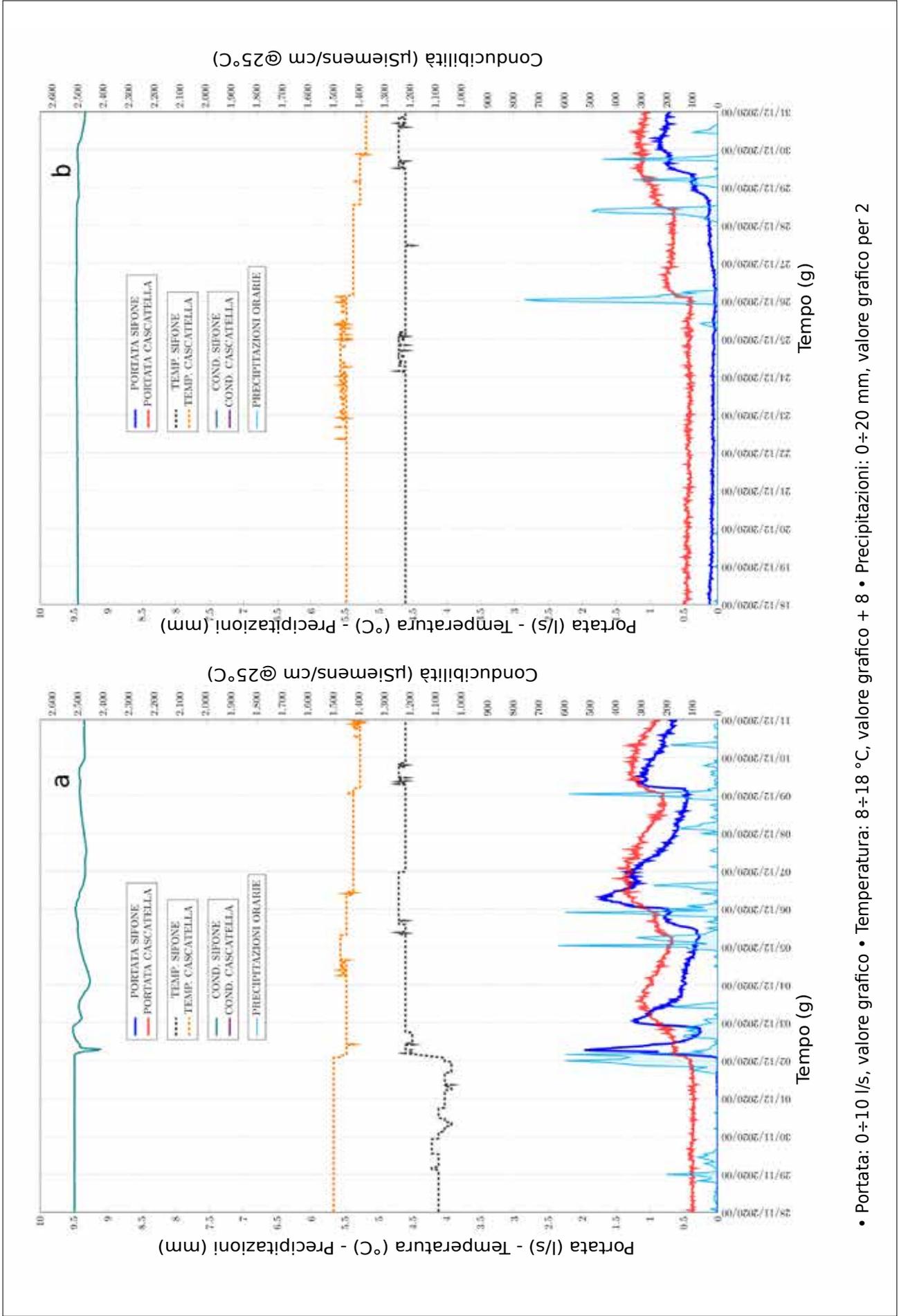
La temperatura massima registrata è stata di ben 13,96 °C, mentre la minima è stata di 12,03 °C, in concomitanza di intense piogge di inizio dicembre 2019. Il valore medio è risultato essere 13,56 °C, ben più elevato rispetto a quello delle acque del sifone (12,71 °C).

Considerati questi primi due valori, rimandando per ora l'analisi della conducibilità elettrica, ci si può già soffermare per effettuare alcuni confronti.

Per quanto riguarda le portate, interessante è confrontare, oltre ai picchi, anche le curve di esaurimento dei due apporti. A sistemi carichi entrambi gli apporti re-

Fig. 24 (nella pagina accanto) – a) Particolare relativo al periodo metà novembre 2019, quando sono state registrate le portate massime; b) particolare relativo ad inizio dicembre 2019, quando, dopo le piogge delle settimane precedenti, la portata dei due apporti è aumentata. Alle piogge del 2-3 dicembre l'apporto a sifone ha risposto con un picco maggiore rispetto a quello fatto registrare dalla cascatella, questo perché il subalveo era già saturo ed incapace di raccogliere nuova acqua che è confluita totalmente (o quasi) nell'alveo.

La diminuzione del valore della conducibilità elettrica in risposta alle precipitazioni è un po' più veloce presso l'apporto a cascatella, ciò è presumibilmente riconducibile ad una zona di trasferimento delle acque più ridotta rispetto a quella del sifone.



• Portata: 0÷10 l/s, valore grafico • Temperatura: 8÷18 °C, valore grafico + 8 • Precipitazioni: 0÷20 mm, valore grafico per 2



gistrano incrementi repentini di portata, simultanei e con valori massimi simili, ma la curva di esaurimento è più rapida alla cascatella (figg. 20-24 idrogramma a e b), sia in una prima fase dove risulta essere molto ripida sia nella fase di mantenimento fino al raggiungimento di una portata pari a circa 1 l/s. A tale valore abbiamo un'inversione, vale a dire la portata del sifone continua a diminuire con un trend rettilineo, mentre la portata della cascatella tende a stabilizzarsi e scende molto più lentamente (figg. 20-21)

A sistemi scarichi invece, alle prime sporadiche precipitazioni risponde solo la portata della cascatella (figg. 25, idrogramma b, 28 idrogramma a e b), dopo piogge più consistenti, invece si sono registrati picchi di poco maggiori al sifone caratterizzati però da curve di carico e scarico molto ripide, mentre quelle della cascatella sono risultate essere più dolci (fig. 25, idrogramma a).

Tale comportamento, ancora una volta supporta l'ipotesi del subalveo: nel momento in cui il subalveo esaurisce la sua capacità di ricevere acqua, la portata

dell'alveo aumenta velocemente; nel momento in cui si esaurisce il flusso dovuto alle intense piogge, il subalveo ripristina la sua capacità di accogliere acqua e pertanto la curva di esaurimento dell'alveo del sifone diviene più accentuata. Quindi, in magra, il subalveo ripristina la sua capacità molto velocemente, mentre a sistemi carichi il processo è più lento. In tali condizioni la curva di esaurimento del sifone, più dolce rispetto a quella della cascatella, evidenzia una zona di trasferimento più ampia rispetto a quello di quest'ultima. Per le temperature, riprendendo quanto anticipato nel paragrafo "Strumentazione, parametri analizzati e metodologia", considerando la quota massima (405 m circa) e minima (165 m circa) di sviluppo degli ipotetici sistemi carsici presenti nell'area di studio ed ipotizzando quindi una temperatura media interna dell'aria, a quota 270/280 m, di 12,8 °C, la differenza di temperatura dei due apporti idrici porta alla seguente ipotesi:

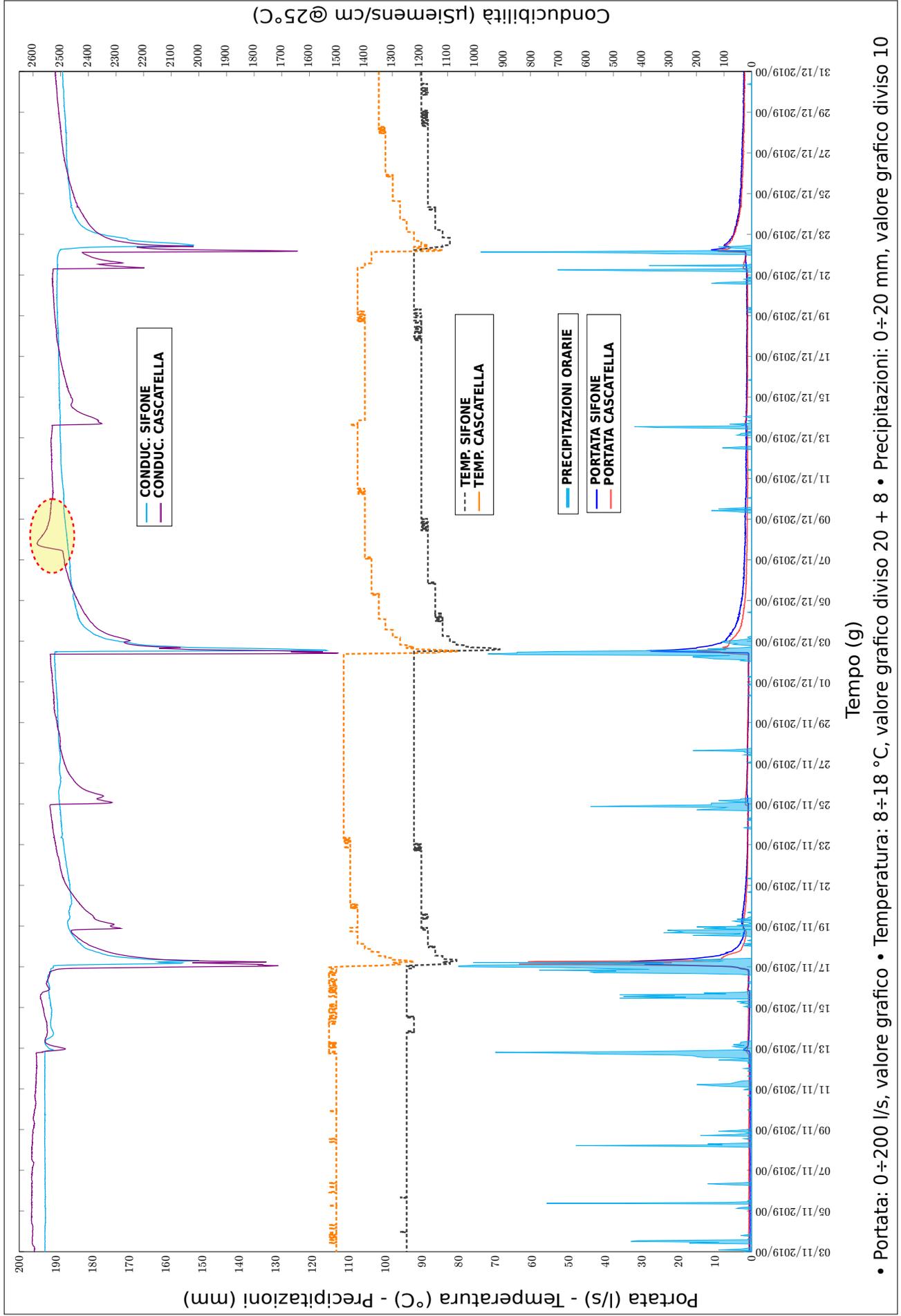
- le acque del sifone provengono da cavità più fredde che si sviluppano quindi a partire da quote superiori,

Fig. 25 (nella pagina accanto) – a) Particolare del periodo di inizio dicembre 2020 dove si nota come la curva di esaurimento dell'apporto a sifone sia più rapida di quello della cascatella, poiché in questa fase, con sistemi scarichi, il subalveo è in grado, dopo le precipitazioni, di ripristinare velocemente la sua capacità di cattura acque; b) particolare dove si può notare che a sistemi scarichi, a piogge sporadiche e di breve durata (26/12/2020) risponde solo l'apporto a cascatella, poiché per l'apporto a sifone il lieve incremento di portata dovuto alla precipitazione viene accolto quasi totalmente dal subalveo.

Fig. 26 (in questa pagina) – A) Ingresso grotta Risorgente del Rio Gambellaro con torrente attivo (luglio 2019); B) ingresso Grotta Risorgente del Rio Gambellaro con torrente in secca (foto S. Zauli).

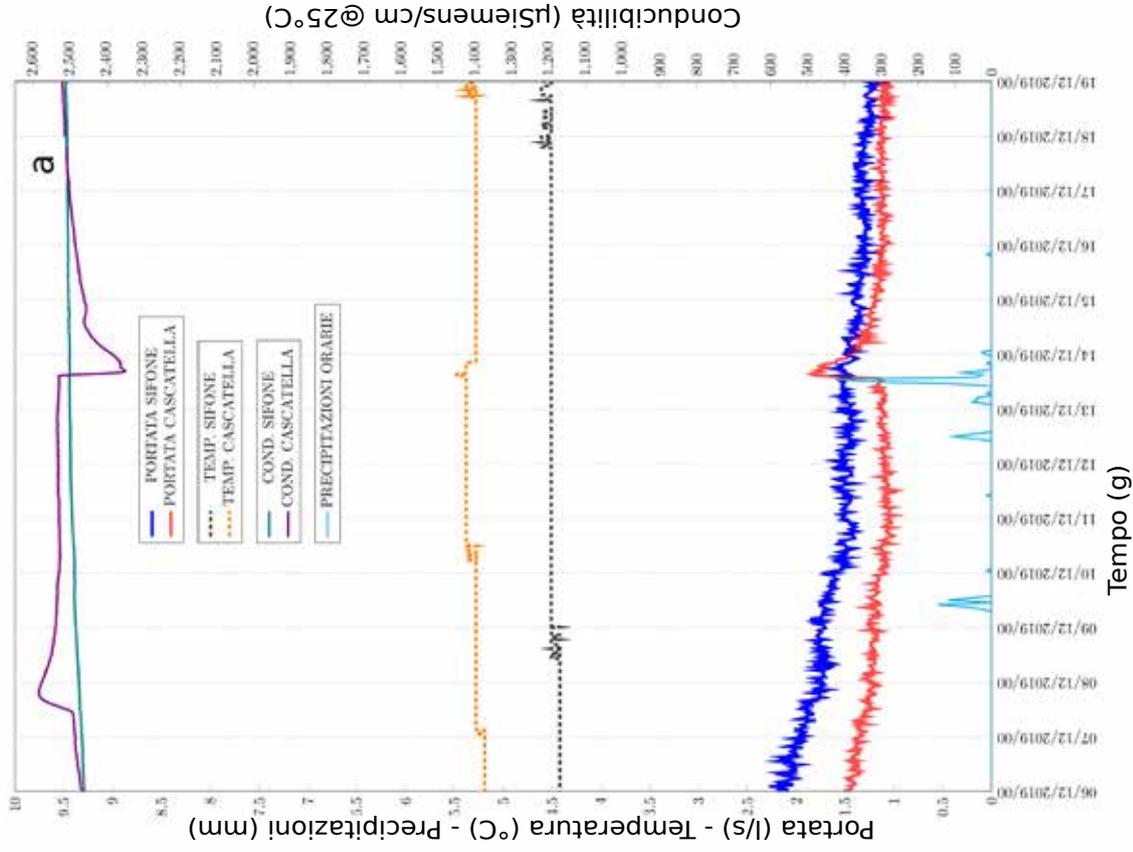
Fig. 27 (a p. 240) – Particolare periodo novembre e dicembre 2019 con evidenza del picco positivo della conducibilità elettrica registrato presso la stazione di misura dell'apporto a cascatella, conseguente al tracciamento eseguito con immissione di 10 kg di NaCl nel corso d'acqua esterno risorgente dalla polla di quota 221 m. Tempo di risposta allo strumento circa 3 ore.

Fig. 28 (a p. 241) – a) particolare che evidenzia che a precipitazione modesta e sporadica risponde solo l'apporto a cascatella (sia per quanto riguarda l'aumento di portata che il calo di conducibilità elettrica); b) particolare con evidenza dello scostamento di risposta dei due apporti, l'apporto a sifone risponde solo dopo ripetute precipitazioni; la risposta del parametro della conducibilità elettrica di quest'ultimo è in lieve ritardo rispetto al picco di portata, potrebbe trattarsi di un modesto effetto pistonaggio tipico degli ambienti sifonanti, ma il lieve ritardo fa comunque pensare a piccoli volumi d'acqua.

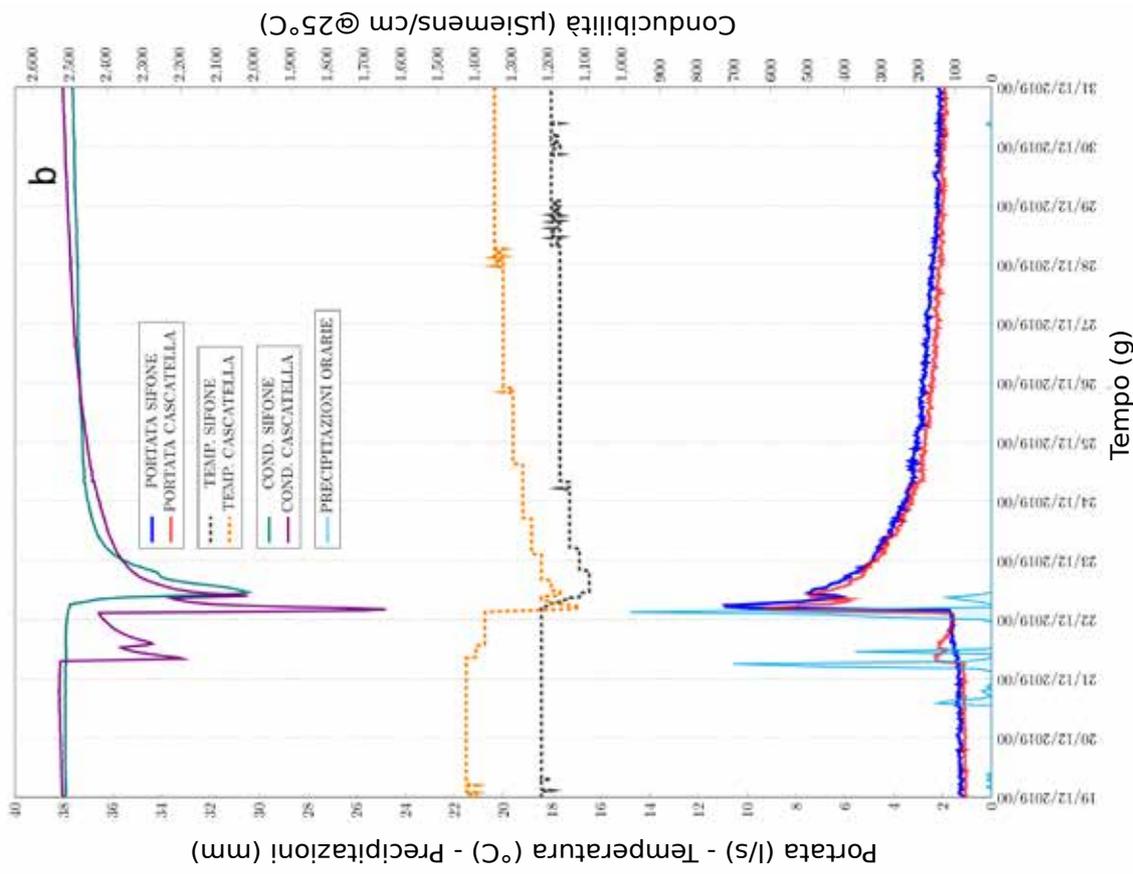


Tempo (g)

• Portata: 0÷200 l/s, valore grafico • Temperatura: 8+18 °C, valore grafico diviso 20 + 8 • Precipitazioni: 0÷20 mm, valore grafico diviso 10



• Portata: 0÷10 l/s, valore grafico 8÷18 °C, valore grafico + 8 • Precipitazioni: 0÷20 mm, valore grafico per 2



• Portata: 0÷40 l/s, valore grafico 8÷18 °C, valore grafico diviso 4 + 8 • Precipitazioni: 0÷20 mm, valore grafico diviso 2



Fig. 29 – Confronto in scala degli stramazzi, dove è evidente come la portata misurata alla risorgente bassa sia maggiore della somma delle portate rilevate presso i due apporti interni alla grotta. La funzione che lega la portata al livello è esponenziale, il raddoppio di quest'ultimo comporta un incremento della portata di 5,66 volte. Si noti inoltre come in data 30/08/2020 il sifone risultasse quasi in secca (foto S. Zauli, E. Sfrisi).

infatti l'Abisso Lusa e Ca' Siepe hanno i loro ingressi rispettivamente a 405 m ed a 365 m di altezza;

- le acque che alimentano la cascatella, essendo più calde, provengono invece molto presumibilmente da zone di assorbimento poste a quote inferiori, ma ad oggi non si conoscono cavità assorbenti che le alimentino.

Riprendendo l'analisi dei parametri, rimane per la cascatella da considerare la conducibilità elettrica. Con il monitoraggio in continuo si è potuto osservare un comportamento di tale parametro, su questo apporto, molto interessante.

Il valore massimo registrato è stato di 2631  $\mu\text{S}/\text{cm}$  @25 °C ed il valore minimo, dopo le piogge del 02/12/2019, 1495  $\mu\text{S}/\text{cm}$  @25 °C. Mediamente il dato è superiore a quello registrato al sifone e tende ad essere leggermente superiore anche al valore delle acque saturate di solfato di calcio; tale parametro ha avuto anche scostamenti tra massimo e minimo maggiori rispetto a quanto registrato al sifone.

Si può quindi ipotizzare un'acqua all'interno della quale sono disciolti, oltre al solfato di calcio, anche altri elettroliti che ne incrementano la conducibilità,

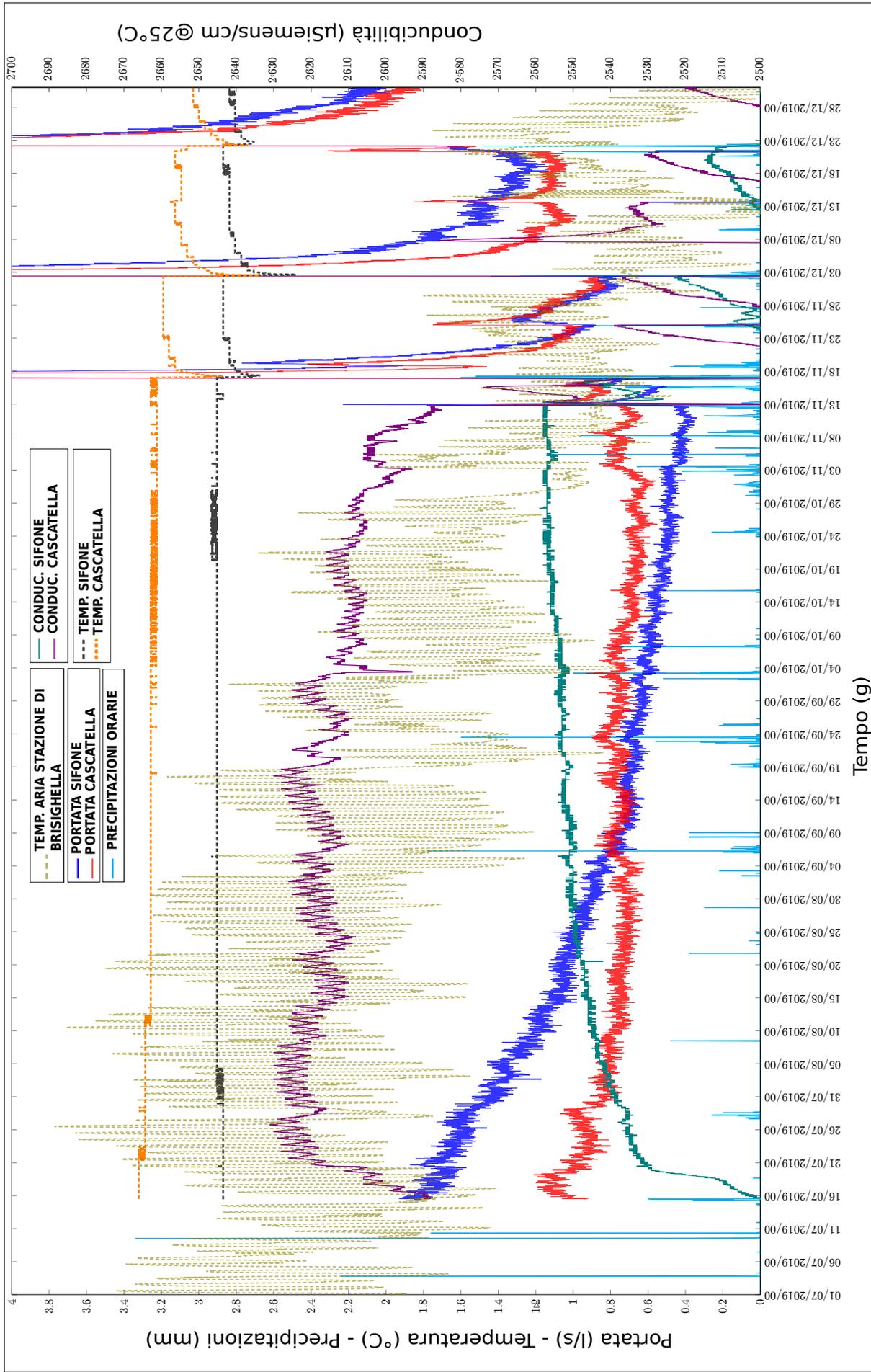
mentre l'elevato scostamento va a confermare l'ipotesi di un'acqua che proviene da una ridotta zona di trasferimento.

Ma il dato più interessante riscontrato è il suo andamento ciclico giornaliero (figg. 20-22), particolarmente evidente nei periodi caldi, da aprile ad ottobre. La variazione giornaliera è di circa 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  @25 °C, ha una cadenza pressoché perfetta, interrotta solo dalle precipitazioni e quindi dagli incrementi di portata (fig. 20). Tale variazione si riduce sino a scomparire in inverno. Si esclude l'errore dello strumento perché, come detto, nel periodo più freddo dell'anno tale ciclicità scompare e perché non è mai stato rilevato sull'altro apporto idrico monitorato.

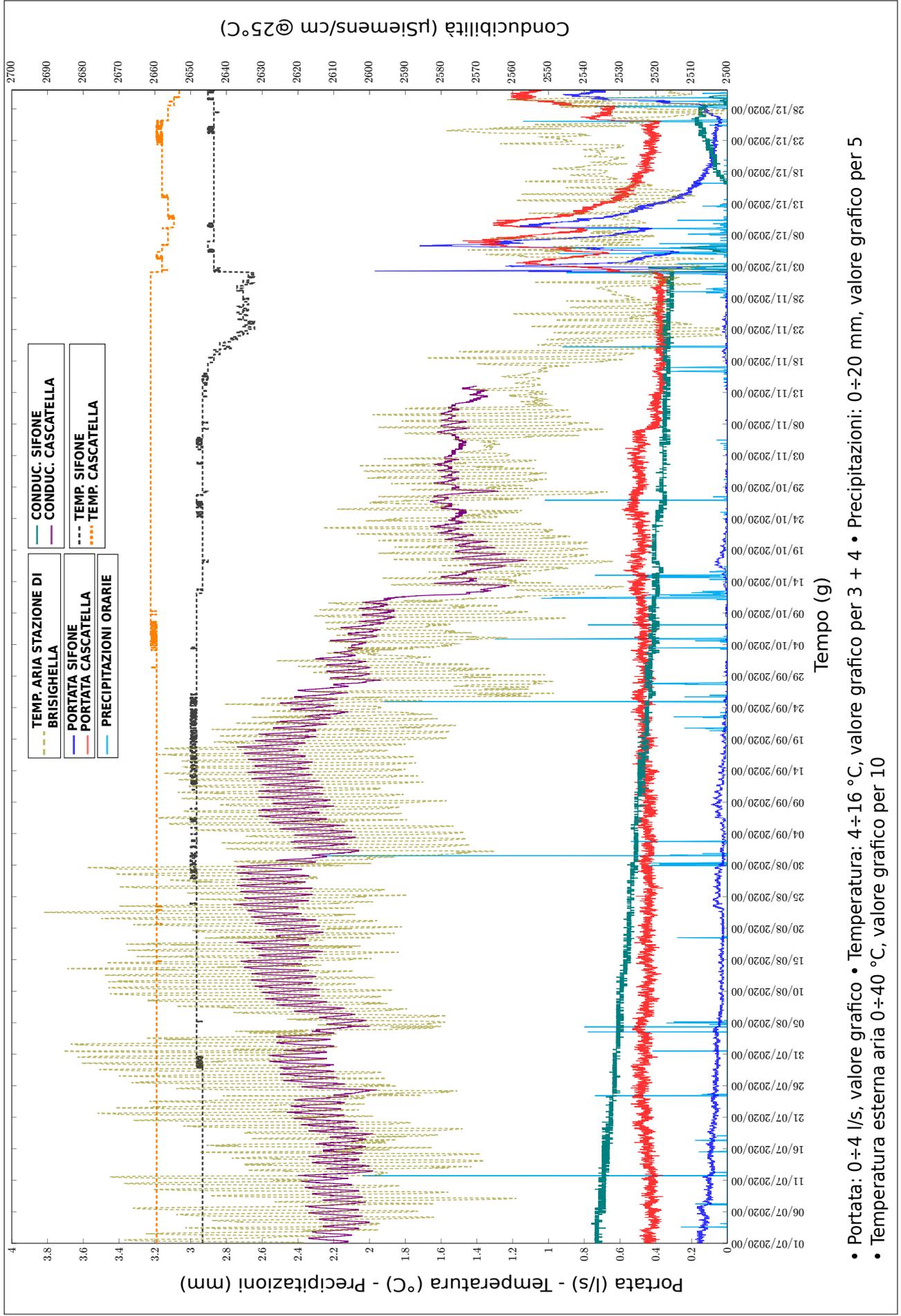
Per cercare una spiegazione plausibile a tale fenomeno si sono realizzati grafici dove la curva seghettata della conducibilità elettrica è stata sovrapposta a quella della temperatura esterna oraria fornita dalla stazione di Brisighella. Tale località è piuttosto distante dall'area di studio, ma non è rilevante la precisione al grado del valore, l'elemento importante è l'escursione termica giornaliera. Sovrapponendo i due tracciati si nota come il valore della conducibilità segua la tem-

Figg. 30-31 (alle pp. 243-244) – Idrogrammi con inserimento del parametro della temperatura oraria esterna registrata dalla stazione meteorologica di Brisighella. Sovrapponendo la curva della temperatura oraria esterna a quella della conducibilità elettrica dell'apporto a cascatella risulta evidente una correlazione tra i due parametri. Tale correlazione viene interrotta dalle precipitazioni e si affievolisce nei periodi freddi. I picchi positivi e negativi hanno uno scostamento di circa 3 ore.

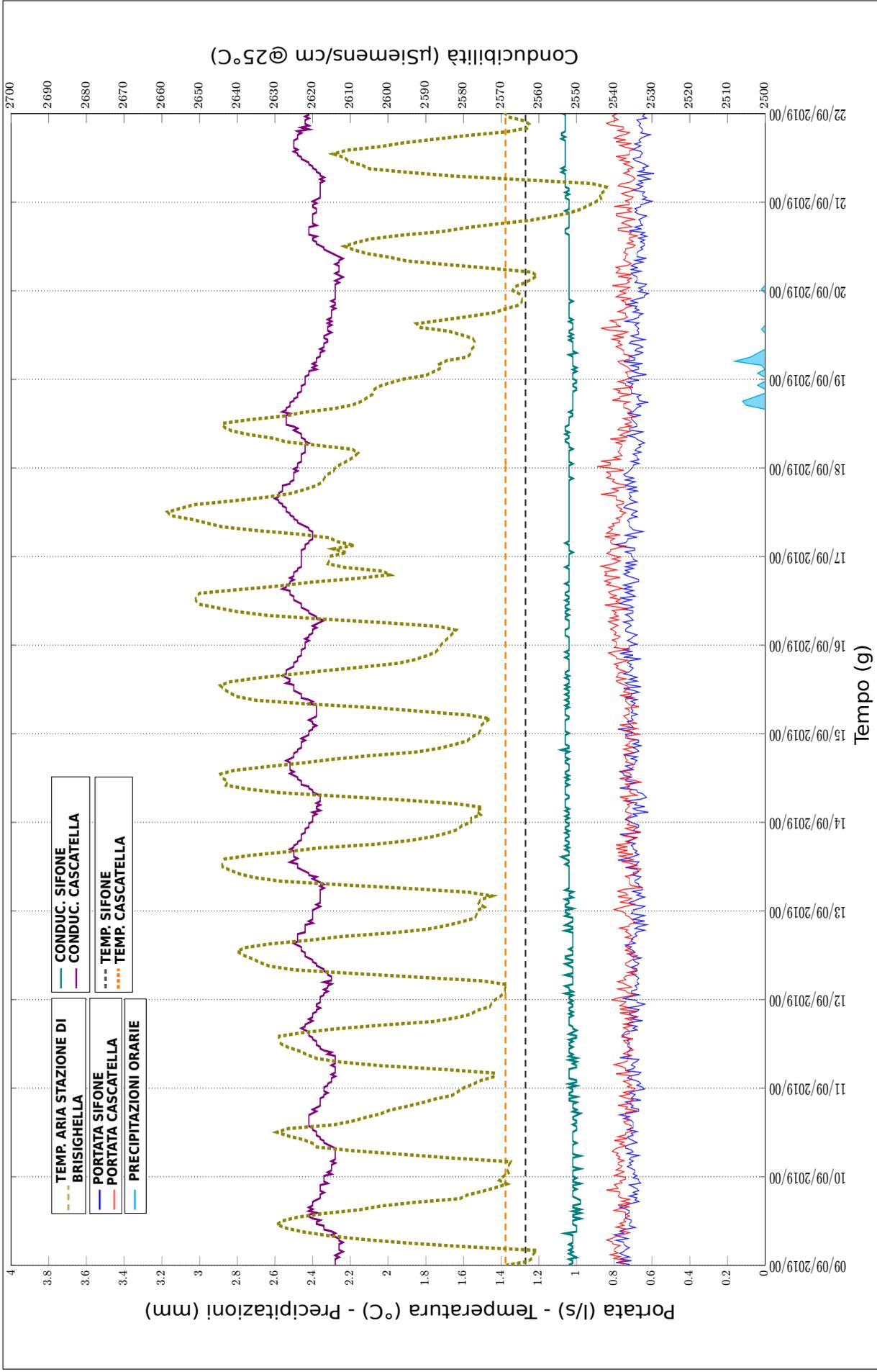
Figg. 32-33 (alle pp. 245-246) – Particolari periodi estivi anno 2019 e 2020, confronto parametro temperatura oraria esterna e parametro conducibilità elettrica dell'apporto a cascatella. È ben evidente la correlazione tra i due parametri e lo scostamento dei picchi positivi e negativi di circa 3 ore.



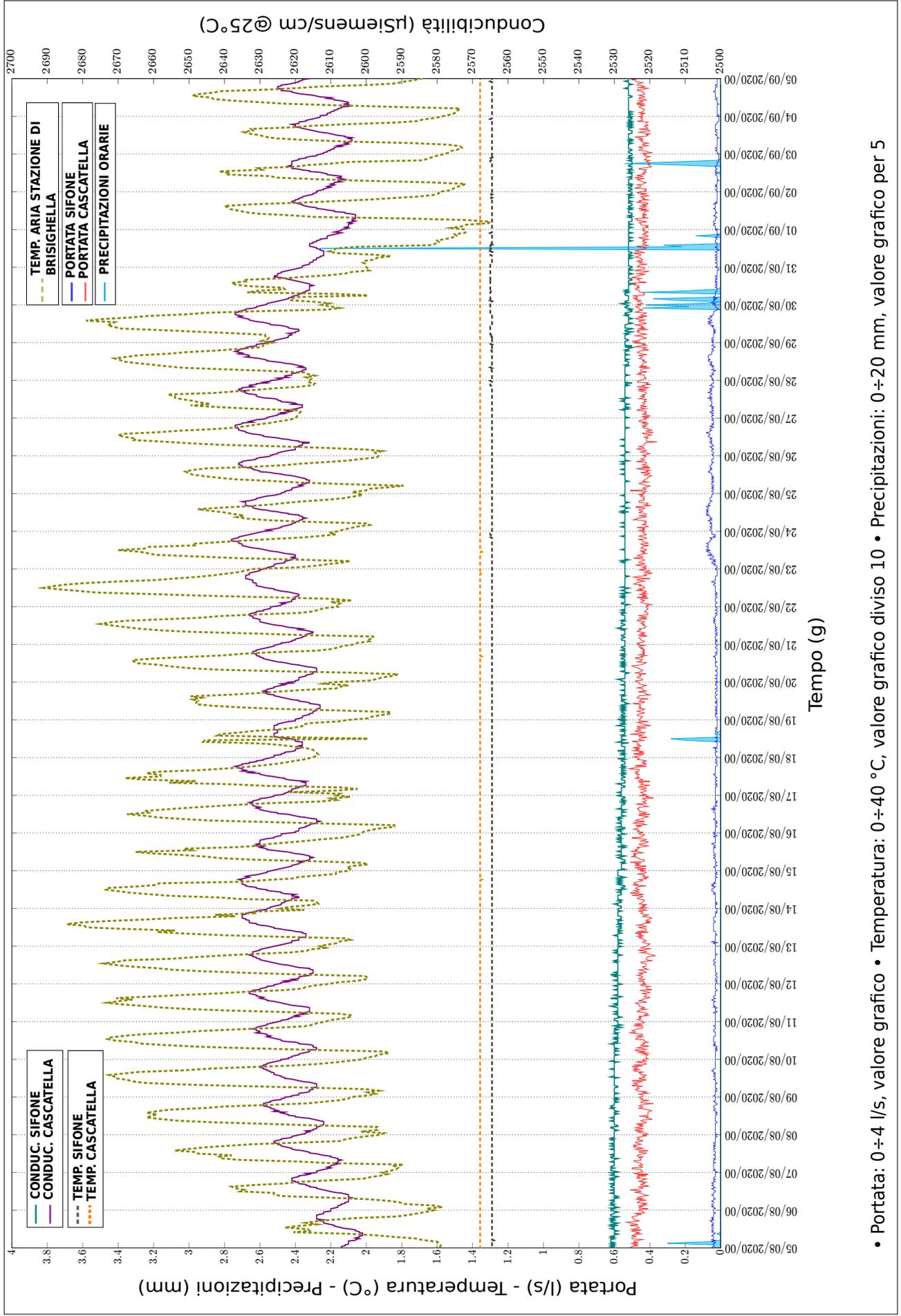
- Portata: 0÷4 l/s, valore grafico per 3 + 4 • Precipitazioni: 0÷20 mm, valore grafico per 5
- Temperatura: 4÷16 °C, valore grafico per 3 + 4 • Precipitazioni: 0÷20 mm, valore grafico per 5
- Temperatura esterna aria 0÷40 °C, valore grafico per 10



• Portata: 0 ÷ 4 l/s, valore grafico • Temperatura: 4 ÷ 16 °C, valore grafico per 3 + 4 • Precipitazioni: 0 ÷ 20 mm, valore grafico per 5  
 • Temperatura esterna aria 0 ÷ 40 °C, valore grafico per 10



• Portata: 0÷4 l/s, valore grafico • Temperatura: 0÷40 °C, valore grafico diviso 10 • Precipitazioni: 0÷20 mm, valore grafico per 5



• Portata: 0÷4 l/s, valore grafico • Temperatura: 0÷40 °C, valore grafico diviso 10 • Precipitazioni: 0÷20 mm, valore grafico per 5



Fig. 34 – Tentativo di misura di flusso d'aria in ingresso presso l'Inghiottitoio a ovest di Ca' Siepe (ER RA 365), mediante misura della velocità di passaggio del fumo prodotto da affumicatore di alveari in una determinata sezione della grotta (foto S. Zauli).

peratura con uno scostamento di poche ore (figg. 30-33). Vale a dire che si registra il picco giornaliero di conducibilità circa 3 ore dopo la temperatura massima giornaliera e stesso ritardo si ha per i valori minimi. È pertanto evidente una correlazione tra questi due parametri.

Le ipotesi considerate sono state tre: il ruolo della condensa; il ruolo delle piante (evapotraspirazione), il ruolo dei microrganismi quali batteri e funghi.

La prima ipotesi è legata al circolo dell'aria nel periodo estivo, quando gli ingressi alti catturano aria calda e umida che a contatto con le fredde pareti gessose rilascia goccioline di acqua. Queste gocce depositate sulle volte e le pareti sciolgono il gesso e scorrono lentamente contribuendo ad alimentare i corsi idrici. Ma quanto tempo impiegano in questo processo? Quanto contribuiscono ad alimentare i corsi idrici ipogei? Come influenzano il parametro della conducibilità? Già rispondere a queste tre domande comporta uno studio dedicato lungo e complesso. Si è comunque cercato di individuare indicativamente il contributo idrico della condensa misurando grossolanamente l'aria catturata dagli ingressi alti conosciuti (si ricorda che gli ingressi alti conosciuti sono peraltro riconducibili all'acqua del sifone e non a quella della cascata, ma si è deciso di tentare comunque una misura per capire in termini generali se l'aria calda in ingresso può avere un contributo rilevante).

Non disponendo di strumenti adeguati a misurare

il flusso dell'aria, si è tentata la misura utilizzando il fumo, misurandone la velocità di passaggio in una determinata sezione delle grotte (fig. 34). Si sono scelti punti stretti in prossimità di sei ingressi del complesso carsico di Ca' Siepe: Abisso Lusa, Buco II di Ca' Budrio, Inghiottitoio a ovest di Ca' Siepe, Pozzo a ovest di Ca' Siepe, ingresso presso la dolina della Calvana, Inghiottitoio presso Ca' Poggio. In data 13/09/2020, con una temperatura media esterna in prossimità degli ingressi di 25 °C, dei sei ingressi considerati, tre sono risultati in equilibrio, vale a dire non entrava e non usciva aria (Abisso Lusa, Buco II di Ca' Budrio, Inghiottitoio presso Ca' Poggio); uno, l'ingresso presso la dolina della Calvana, buttava moltissima aria verso l'esterno; i restanti due, entrambi riconducibili direttamente alla grotta di Ca' Siepe catturavano aria. Complessivamente il contributo idrico stimato è di circa 0,02 l/s, che è parso molto esiguo, pari a circa 3-4% della portata delle acque registrata a valle (stramazzone sifone + subalveo in periodo di magra = 0,5-0,6 l/s). Inoltre difficilmente legabile alla ciclicità giornaliera della conducibilità elettrica. Ciò non nega l'importante ruolo della condensa nella speleogenesi ed il contributo agli apporti ipogei, ma da quanto riscontrato sommariamente in campo, in questo areale, non pare dare un rilevante contributo ai corsi idrici e se contribuisce a variare la conducibilità elettrica è più ragionevole pensare che lo possa fare su tempi più lunghi, non giornalieri.

La seconda ipotesi formulata prende in considerazione il ruolo delle piante nel processo di evapotraspirazione. Come precedentemente riportato, per le risposte veloci della portata alle precipitazioni e per la temperatura media elevata (13,71 °C) dell'apporto idrico della cascatella, si è ipotizzata una ridotta zona di trasferimento di queste acque. Il bosco ed il sottobosco presente in questa zona potrebbero influire sulla conducibilità mediante il processo di traspirazione delle piante.

Le piante assorbono sia acqua che i sali in essa disciolti attraverso le radici, ma i processi chimici e fisici sono differenti: l'acqua viene assorbita tramite un processo di osmosi (nell'osmosi il flusso di solvente è diretto dalla soluzione meno concentrata a quella più concentrata); mentre i sali minerali tramite il trasporto attivo. Pertanto è possibile che in determinate circostanze le piante assorbendo in prevalenza acqua possano determinare un lieve incremento della concentrazione di sali nell'acquifero ipogeo. Il processo di traspirazione è giornaliero ed accentuato nelle ore diurne e più calde, ciò spiegherebbe la ciclicità delle variazioni della conducibilità con un tempo di risposta allo strumento di alcune ore; inoltre, tale processo in inverno si affievolisce, quindi sia per tale motivo, sia per la presenza di portate più elevate, l'influenza delle piante sul parametro della conducibilità diverrebbe non percepibile. Per avere tale ruolo, si deve ipotizzare la presenza di radici che giungano fino all'acqua ipogea, questo è stato riscontrato in una cavità scoperta durante il periodo di studio, la Grotta Risorgente 3P, che si trova in prossimità della Risorgente del Rio Gambellaro e che dirige verso l'areale da cui provengono le acque della cascatella.

All'interno di tale cavità, lungo una condotta ormai fossile, sono state ritrovati molti resti di *Rootsticles* (letteralmente stalattiti-radici) (fig. 35) oltre a picco-

le radici che si incuneano nel terreno e scendono in profondità.

La terza ipotesi prende in considerazione l'attività biologica svolta dai microrganismi, funghi e batteri, negli orizzonti pedologici O e A. La pedologia descrive il suolo individuando al suo interno sei orizzonti identificati da lettere: orizzonte composto da materia organica (O); orizzonte composto da humus e sostanze minerali, evolutosi a seguito di decomposizione di sostanza biologica ad opera di microrganismi (A); orizzonte caratterizzato dalla perdita di minerali trasportati verso il basso dall'azione dell'acqua (E); orizzonte caratterizzato da un accumulo di humus e minerali proveniente dagli orizzonti superiori (B); orizzonte quasi totalmente costituito da minerali che ha avuto poche alterazioni biologiche (C); orizzonte costituito dalla roccia madre (R) ([https://it.wikipedia.org/wiki/Orizzonte\\_pedologico](https://it.wikipedia.org/wiki/Orizzonte_pedologico)).

I primi due orizzonti, O ed A, costituiscono uno strato molto sottile, al loro interno è rilevante l'attività biologica di batteri e funghi che è influenzata da fattori esterni quali temperatura, ciclicità circadiana, umidità e acidità del terreno.

Tale attività, che è riconducibile alla umidificazione ed alla mineralizzazione del terreno, potrebbe influenzare ciclicamente la conducibilità delle acque ipogee. Si potrebbe pertanto ipotizzare un'influenza ciclica giornaliera che si accentuerebbe nelle stagioni più calde.

Rimane comunque un dubbio legato alla scarsità di acqua in superficie durante i periodi di siccità. In tali periodi il fenomeno ciclico della conducibilità è ben evidente, ma la parte superficiale del suolo appare arida e non vi è al momento modo di valutare quale contributo idrico il suolo sia capace di dare al corso d'acqua ipogeo in tali periodi.

Con le informazioni raccolte sperimentalmente si ritiene quindi più probabile la seconda ipotesi consi-

## Stima del contributo idrico da condensa

Per i calcoli si è considerata la temperatura media esterna registrata in prossimità degli ingressi nella giornata del 13/09/2020 (25 °C) e l'umidità relativa media di periodo dell'aria (60%).

Alla temperatura di 25 °C la massima quantità di vapore che può contenere un m<sup>3</sup> di aria è pari a 23,76 g/m<sup>3</sup>; con umidità relativa del 60% in un m<sup>3</sup> di aria sarà contenuta una quantità di acqua pari 23,76\*0,6=14,256 g/m<sup>3</sup>.

Considerando una temperatura media delle cavità di 12,8 °C, in tale situazione la massima quantità d'acqua (con umidità relativa 100%) corrisponde a circa 11,489 g/m<sup>3</sup>, pertanto per ogni metro cubo di aria entrante condensa per: 14,256 - 11,489 = 2,767 g/m<sup>3</sup> d'acqua.

Da stima delle velocità (Velocità - m/s), misura della sezione di passaggio (Sezione - m<sup>2</sup>) si ricava il contributo di portata della condensa (Flow - l/s):  $F = V \cdot S \cdot 2,767 / 1000$  (l/s).

La somma dei vari punti di misura ci ha fornito un valore di circa 0,02 l/s.

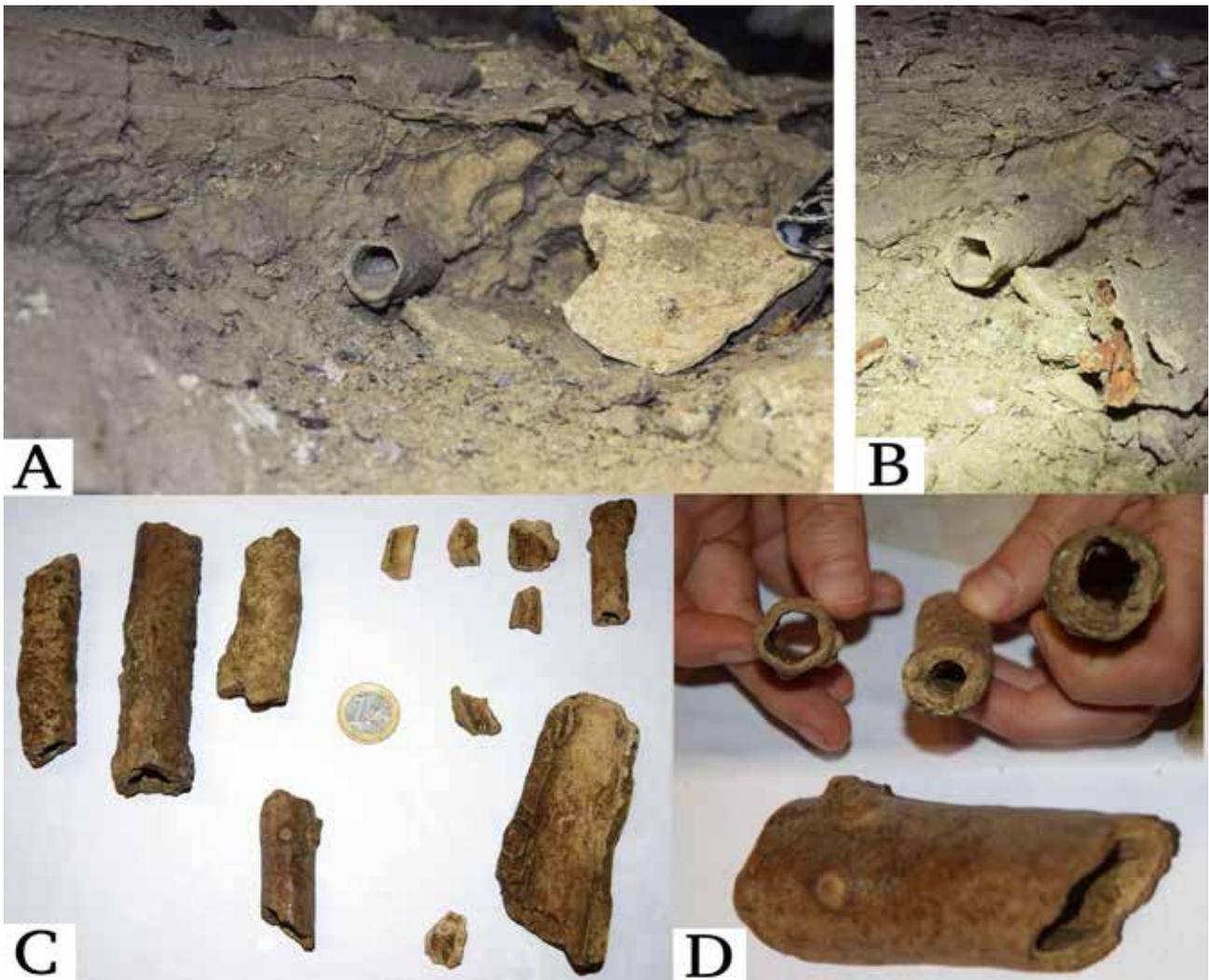


Fig. 35 – A e B) resti di *rootsticles* (letteralmente stalattiti-radici) all'interno del paleoletto della condotta fossile nella Grotta Risorgente 3P (ER RA 982); C e D) resti di *rootsticles* recuperati all'interno della Grotta Risorgente 3P (Foto S. Zauli).

derata che potrebbe comunque essere concomitante alla terza. Certo è che tale comportamento del parametro della conducibilità elettrica meriterebbe un approfondimento maggiore che per tempistiche e per la mancanza di strumentazione adeguata non è stato possibile affrontare.

*Individuazione dei bacini imbriferi che alimentano i corsi d'acqua ipogei della grotta Risorgente del Rio Gambellaro*

Basandosi sui dati sperimentali raccolti nel lasso temporale 19/07/2019–18/07/2020 e sulle conoscenze speleologiche e morfologiche dell'area di studio, si è cercato di calcolare ed individuare i bacini idrologici di assorbimento delle acque che alimentano gli apporti ipogei presenti all'interno della grotta Risorgente del Rio Gambellaro.

Per determinare tali bacini è necessario in primis stilare un bilancio idrologico, per fare ciò è necessario acquisire i dati relativi alle precipitazioni avvenute nei 12 mesi individuati; è necessario inoltre considerare che solo una parte dell'acqua meteorica precipitata in un determinato bacino idrografico si infila nel sottosuolo andando ad alimentare i corsi d'acqua ipogei, infatti la maggior parte ritorna all'aria mediante il processo di evapotraspirazione ed una parte segue un deflusso superficiale (ruscellamento).

Determinare esattamente quanta acqua non raggiunge l'acquifero ipogeo è piuttosto complesso, per farlo si è calcolata la percentuale di evapotraspirazione mediante la formula matematica di Turc (fig. 36) ([http://www.gslunense.it/index.php?option=com\\_content&view=article&id=48&Itemid=12&limitstart=2](http://www.gslunense.it/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=12&limitstart=2)), in base alla quale, data la precipitazione annua in mm e la temperatura media annuale è

possibile calcolare il quantitativo di acqua che evapora annualmente e di conseguenza determinare la percentuale di evapotraspirazione. Considerando un valore medio annuale di precipitazioni nell'areale di 870 mm ed una temperatura media annuale di 13 °C, l'acqua che evapora è 573 mm, vale a dire il 66% delle precipitazioni.

I 12 mesi analizzati sono però stati particolarmente siccitosi, si sono infatti registrati solo 660 mm di precipitazioni, ciò implica, sempre in base alla formula di Turc, una percentuale di evapotraspirazione maggiore (circa 76%). Se inoltre si considera che l'areale è caratterizzato da una folta vegetazione sia ad alto fusto che a cespuglio potrebbe risultare ragionevole approssimare tale valore a 80%.

Si è pertanto optato per tale percentuale di evapotraspirazione e in tale valore si è compreso anche l'eventuale ruscellamento che comunque, in un anno tanto siccitoso, è da ritenersi residuale.

Pertanto i valori utilizzati per determinare i bacini sono stati:

660 mm le precipitazioni registrate dal 19/07/2019 al 18/07/2020;

0,91 l/s la portata media al sifone;

0,7 l/s la portata media stimata del subalveo;

1,61 l/s la portata complessiva del sistema di Ca' Siepe (0,91 l/s + 0,7 l/s);

0,82 l/s la portata media alla cascatella;

2,43 l/s la portata media totale della Risorgente Rio del Gambellaro.

Applicando la seguente formula dove:

F sta per portata media (Flow) [l/s];

V sta per Volume [m<sup>3</sup>] di acqua in uscita registrata alle stazioni di monitoraggio nell'arco temporale considerato;

t sta per tempo [s] di monitoraggio (365 giorni);

S sta per Superficie [km<sup>2</sup>] del bacino imbrifero;

P sta per Precipitazioni [mm];

C sta per Coefficiente percentuale di infiltrazione (100-80)/100= 0,2 [Adimensionale];

$$F = V/t = [(S*1000000)*(C*P)]/[365*24*3600]= 0,00634*S*P$$

Si ricava che la superficie totale del bacino imbrifero a cui fa capo la Risorgente del Rio Gambellaro misura:  $S = F/(0,00634*P) = 2,43/(0,00634*660) = 0,581 \text{ km}^2$  (Bacino totale)

Tale bacino è suddiviso in due settori (fig. 37), il più esteso alimenta l'apporto in sinistra idrografica, apporto a sifone:

$$S = (1,61)/(0,00634*660) = 0,385 + \text{km}^2 \text{ (Bacino Sistema sifone e subalveo)}$$

il minore alimenta l'apporto in destra idrografica, apporto a cascatella:

$$S = (0,82)/(0,00634*660) = 0,196 \text{ km}^2 \text{ (Bacino apporto a cascatella)}$$

A est ed a ovest l'areale è delineato da due evidenti spaccature dell'affioramento gessoso.

La parte sud, quindi le zone più alte, alimentano il sistema carsico di Ca' Siepe e, come già riportato, l'apporto a sifone. La parte più bassa che a nord-est collima con la Formazione a Colombacci alimenta l'apporto a cascatella. Rimane una zona dubbia che abbraccia la dolina situata in prossimità della Ca' Calvana e che scende verso la risorgente seguendo una sorta di cresta che separa la discendente zona a prateria dalla dolina dove si apre l'Inghiottitoio a ovest di Ca' Poggio.

Nella parte alta di quest'area le acque potrebbero alimentare entrambi gli apporti, non si esclude infatti la presenza di un subalveo nel ramo della Calvana della grotta Inghiottitoio a ovest di Ca' Siepe che potrebbe alimentare la cascatella, mentre l'alveo, che si attiva in periodi piovosi, convoglia le acque verso la parte terminale della grotta stessa, per poi raggiungere la zona sifonante in sinistra idrografica della Risorgente del Rio Gambellaro.

Questa zona dubbia molto probabilmente racco-

$$ET = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Dove:

ET = evapotraspirazione annua

P = totale precipitazioni annue in mm

L =  $300 + 25 \cdot T + T^3$

T = temperatura media annuale dell'aria in gradi Celsius alla quota media dell'area di interesse.

Fig. 36 – Formula di Turc

([http://www.gslunense.it/index.php?option=com\\_content&view=article&id=48&Itemid=12&limitstart=2](http://www.gslunense.it/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=12&limitstart=2)).

# STIMA BACINI IDROGEOLOGICI



- Massimo bacino risorgente del Rio Gambellaro (Sifone+Cascatella = 0,7 Km<sup>2</sup>)
- Massimo bacino apporto a sifone in sx idrog.
- Massimo bacino apporto a cascata in dx idrog.
- Massimo bacino sistema cavità canale Ca' Calvana

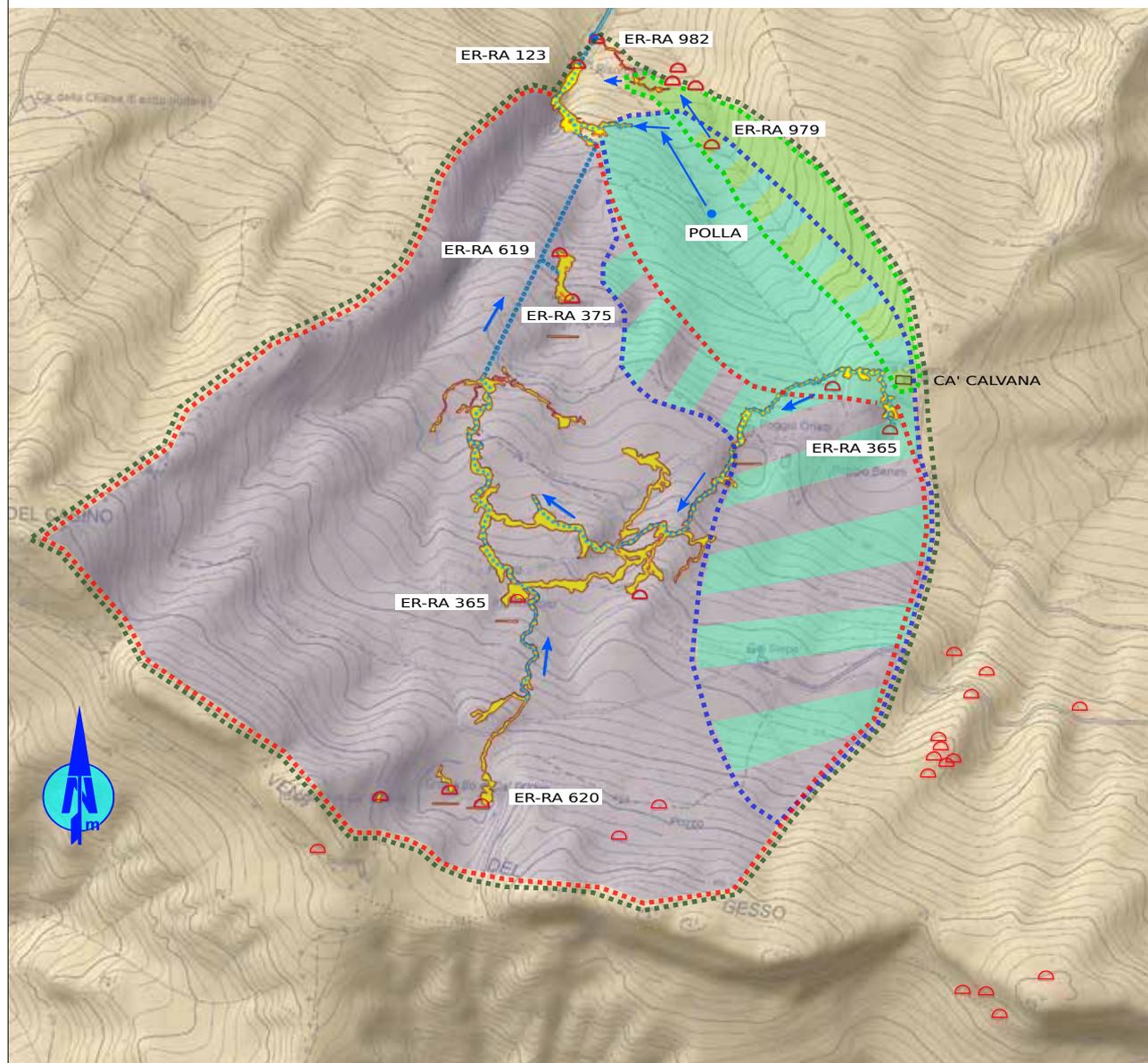


Fig. 37 – Delimitazione dei bacini imbriferi. Delineando i bacini in base alla morfologia dell'areale, la dimensione complessiva del bacino facente capo alla Risorgente del Rio Gambellaro risulta essere di circa 0,7 km<sup>2</sup>, vale a dire superiore di circa il 20% rispetto a quanto stimato con il monitoraggio delle portate. Delineare con precisione un bacino imbrifero è molto difficile, l'obiettivo è stimarne le dimensioni ed il posizionamento per valutare eventuali possibilità di sviluppi carsici e/o connessioni idrologiche tra grotte già conosciute.

All'interno del bacino complessivo sono stati identificati tre sottobacini imbriferi, uno dei quali individuato grazie alla scoperta delle grotte ER RA 979 ed ER RA 982 avvenuta durante il periodo di monitoraggio. Le zone a strisce intercalate rappresentano zone dubbie, poiché potrebbero contribuire all'uno o l'altro apporto oppure ad entrambi.

glie le acque che in periodi particolarmente piovosi attivano anche la polla di quota 221 m (fig. 38), le cui acque, dopo un breve ruscellamento si infiltrano nuovamente nel sottosuolo per alimentare la cascata. Quest'ultimo collegamento idrologico è stato verificato sia da colorazione mediante fluoresceina effettuata nel 1975 dal Gruppo Speleologico di Faenza, sia tracciamento effettuato, durante il presente monitoraggio, mediante NaCl in data 07/12/2019. Il lieve incremento di salinità è stato registrato dal datalogger che rileva la conducibilità (figg. 20, 27-28 idrogramma a) ed ha riportato un tempo di corrivazione di circa 3 ore.

Tra la fine del 2019 ed il 2020 è stato individuato anche un piccolo bacino idrologico posto alla base della zona a prateria e che confina con la Formazione a Colombacci (SFRISI, ZAULI 2020). In questa area è stata individuata una cavità assorbente, Buco I del Canalone della Calvana (ER RA 979), ed una risorgente, Grotta Risorgente 3P (ER RA 982). Tale sistema si attiva solo in periodi particolarmente piovosi, le acque che scompaiono in un angusto cunicolo del Buco I, tornano visibili in un rametto secondario della Grotta Risorgente 3P, per sparire nuovamente in direzione

della grotta Risorgente del Rio Gambellaro dove con ogni probabilità si immettono nel subalveo in prossimità della risorgente (fig. 39). Ma le acque raccolte dalla cavità ER RA 979, in periodi di intensa piovosità, potrebbero in parte dirigere anche verso la cascata fornendo una spiegazione alla veloce risposta di questo apporto alle piogge.

Purtroppo causa la siccità che ha caratterizzato il periodo di studio non si è riusciti ad effettuare le colorazioni programmate mediante fluoresceina, è stato effettuato un solo tracciamento mediante NaCl versato nella cavità assorbente che ha incrementato la conducibilità delle acque transanti per la Grotta Risorgente 3P con un tempo di corrivazione di 1-2 ore (misurazione effettuata con conduttivimetro portatile).

A est del bacino imbrifero totale delineato rimane un'interessante cavità, l'Abisso Camelot (ER RA 651) le cui acque non sembrano poter alimentare la risorgente del Rio Gambellaro per la considerevole distanza e per le evidenti faglie che separano le due aree. Tale cavità potrebbe essere riconducibile quindi alla risorgente di Ca' La Levrera oppure alla risorgente di Caronte.



Fig. 38 – A) Polla attiva; B) polla in secca. Durante i mesi di monitoraggio la polla è risultata attiva solamente nel corso del 2019, nei mesi di luglio, novembre e dicembre (foto S. Zauli).

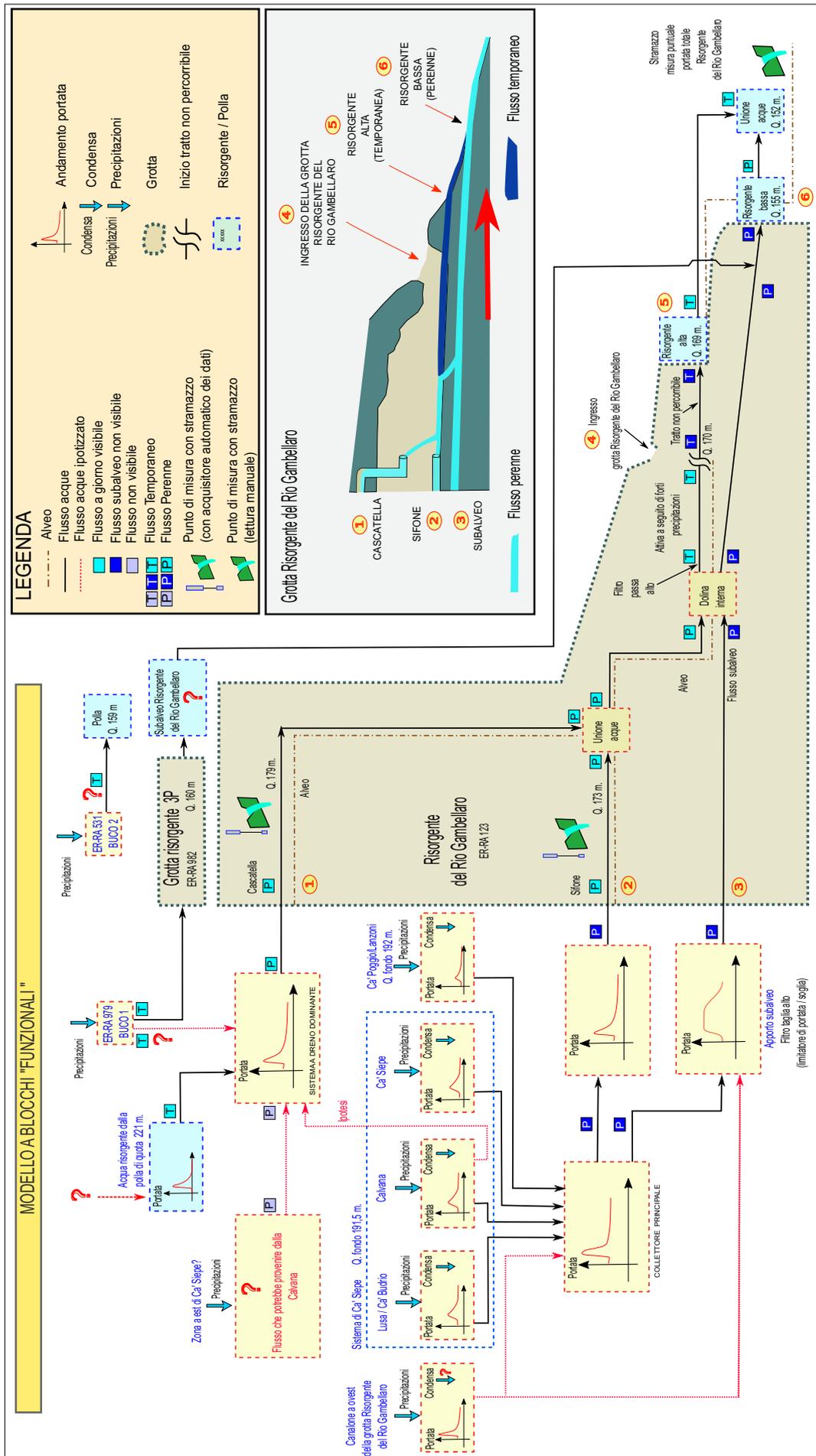


Fig. 39 – Modello a blocchi funzionali del bacino imbrifero facente capo alla Risorgente del Rio Gambellaro dove vengono indicati: le zone e le cavità di cattura delle acque (certe e dubbie); gli apporti idrici all'interno della Grotta Risorgente del Rio Gambellaro con l'ubicazione dei punti di misura; il subalveo con i punti di cattura a monte del sifone, presso la "dolina interna" ed a valle dove, con ogni probabilità, raccoglie le acque provenienti dal piccolo sistema carsico ubicato nel canalone a nord di Ca' Calvana e confinante con la Formazione a Colombacci. Viene inoltre indicato un micro-sistema carsico riconducibile alla cavità ER-RA 531 ed alla polla di quota 159 m (non è stato possibile effettuare tracciamento, ma visivamente la polla di quota 159 m è risultata attiva solo in presenza di acqua presso la grotta ER-RA 531).

## Conclusioni

I dati idrogeologici raccolti durante il monitoraggio hanno permesso di delineare i bacini imbriferi dei due apporti ipogei presenti all'interno della grotta Risorgente del Rio Gambellaro ed individuare le caratteristiche comuni e le differenze legate alle zone di assorbimento.

Generalmente i sistemi carsici nella Vena del Gesso sono caratterizzati da bacini idrogeologici di modeste dimensioni con una gerarchia a condotti prevalenti, sono quindi schematizzabili con il modello a drenaggio dominante (VIGNA 2001; VIGNA 2007; TEDESCHI *et alii* 2015) in base al quale le risposte in uscita agli input infiltrativi sono rapide.

Entrambi gli apporti infatti presentano una idrodinamica molto veloce con tempi di corrivazione di circa 3-6 ore alla cascatella e poco più al sifone, tali variazioni temporali sono legate allo stato di carica dei sistemi. Generalmente entrambi rispondono alle piogge intense con marcati picchi di portata a segnalare zone di cattura molto vicine, presumibilmente tali zone sono da individuare nel canalone ad est ed in quello ad ovest della Risorgente del Rio Gambellaro.

L'incremento della portata è caratterizzato da una diminuzione della mineralizzazione (crollo dei valori di conducibilità elettrica) per l'arrivo di nuove acque povere di sali, quindi acque che percorrono un breve tratto ipogeo a contatto con i gessi, vi sono però delle differenze tra i due apporti.

L'escursione del parametro della conducibilità elettrica è più evidente alla cascatella a segnalare una zona di trasferimento ridotta e sicuramente molto inferiore rispetto a quella del sifone. Ciò è confermato anche dalle caratteristiche della temperatura, molto più alta alla cascatella e con un'escursione tra minimo e massimo maggiore. Questa sensibilità ed il valore medio di ben 13,56 °C fanno pensare ad un bacino imbrifero prevalentemente basso che solo marginalmente possa andare oltre i 250 m di quota. Mentre la temperatura misurata al sifone descrive un'acqua proveniente da zone di trasferimento più ampie con ingressi posti a quote maggiori (Abisso Lusa e Inghiottitoio a ovest di Ca' Siepe).

La cascatella mantiene anche in periodi di prolungata siccità, un discreto livello di base, mentre il sifone tende ad andare in secca ed anche se tale evento non si è verificato durante il periodo di monitoraggio, non si esclude sia possibile, questo perché una portata minima verrebbe drenata totalmente dal subalveo (fig. 40) che pare garantire comunque una portata di base maggiore di quella misurata alla cascatella, a descrivere quindi un bacino imbrifero più ampio (fig. 37). Non si sono notati durante il monitoraggio rilevan-

ti effetti di pistonaggio, qualche modesto effetto si è riscontrato solo sull'apporto a sifone, questo porta a supporre che le zone sifonanti non abbiano grandi volumi d'acqua. Tale ipotesi è anche confermata dal comportamento avuto dalla temperatura dell'acqua del sifone nel periodo di fine novembre 2020 (fig. 22). L'analisi in continuo dei corsi ipogei, per periodi superiori all'anno, può fornire molte indicazioni sulle caratteristiche del sistema carsico che si può sviluppare a monte. Negli studi fino ad oggi realizzati nella Vena del Gesso, oltre al presente si ricorda anche quello effettuato a Monte Mauro (SFRISI *et alii* 2019), si è notato come il ruolo giocato dal subalveo sia di primissimo ordine. Corsi d'acqua ipogei che possono apparire in secca in realtà sono semplicemente non visibili, ma pur presenti. Quindi cavità assorbenti che possono apparire marginali perché presentano corsi d'acqua solo in periodi di intense piogge, possono in realtà essere caratterizzati da subalvei con portata perenne anche discreta. Come precedentemente detto questa è una delle ipotesi che potrebbe verificarsi presso il ramo della Calvana del complesso carsico di Ca' Siepe.

Allo stesso modo risorgenti che possono apparire stagionali potrebbero raccogliere, nei periodi di magra, le acque nel subalveo fino a raggiungere corsi d'acqua esterni ed immettersi in essi senza essere notate.

L'analisi dei parametri chimico fisici può permettere di ipotizzare collegamenti idrici tra grotte differenti o tra tratti della stessa cavità. Analizzare conducibilità elettrica e temperatura anche con un conduttivimetro portatile può fornire prime indicazioni sulla circolazione idrica ipogea a cui far seguire eventuali tracciametri.

Tendenzialmente il valore massimo di conducibilità elettrica che viene registrato nei periodi di magra è prossimo ai 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  @25 °C, valori oltre il limite dei 2500/2600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  @25 °C (acqua satura di solfato di calcio) indicano un'acqua nella quale sono disciolti anche altri elettroliti oltre il gesso, quindi un'acqua che potrebbe essere entrata in contatto con altre Formazioni geologiche. Nel caso della cascatella si sono registrati costantemente valori di poco superiori, quindi potrebbe trattarsi di acque che entrano in contatto anche con la Formazione a Colombacci oppure con le Argille Azzurre del Pliocene. Tali Formazioni si trovano infatti molto vicine all'arrivo dell'apporto ipogeo e nelle cavità individuate presso il canalone della Calvana si sono ritrovate anche all'interno delle stesse. Inoltre, essendo tale apporto caratterizzato da una zona di trasferimento superficiale, è molto probabile che sia interessato anche dal processo biologico svolto da batteri e da altri microrganismi negli orizzonti pedologici O e A. Infatti a seguito della biodegradazione microbica della materia organica si formano miscele

# SCHEMA ASSETTI IDROLOGICI NELLA GROTTA RISORGENTE DEL RIO GAMBELLARO

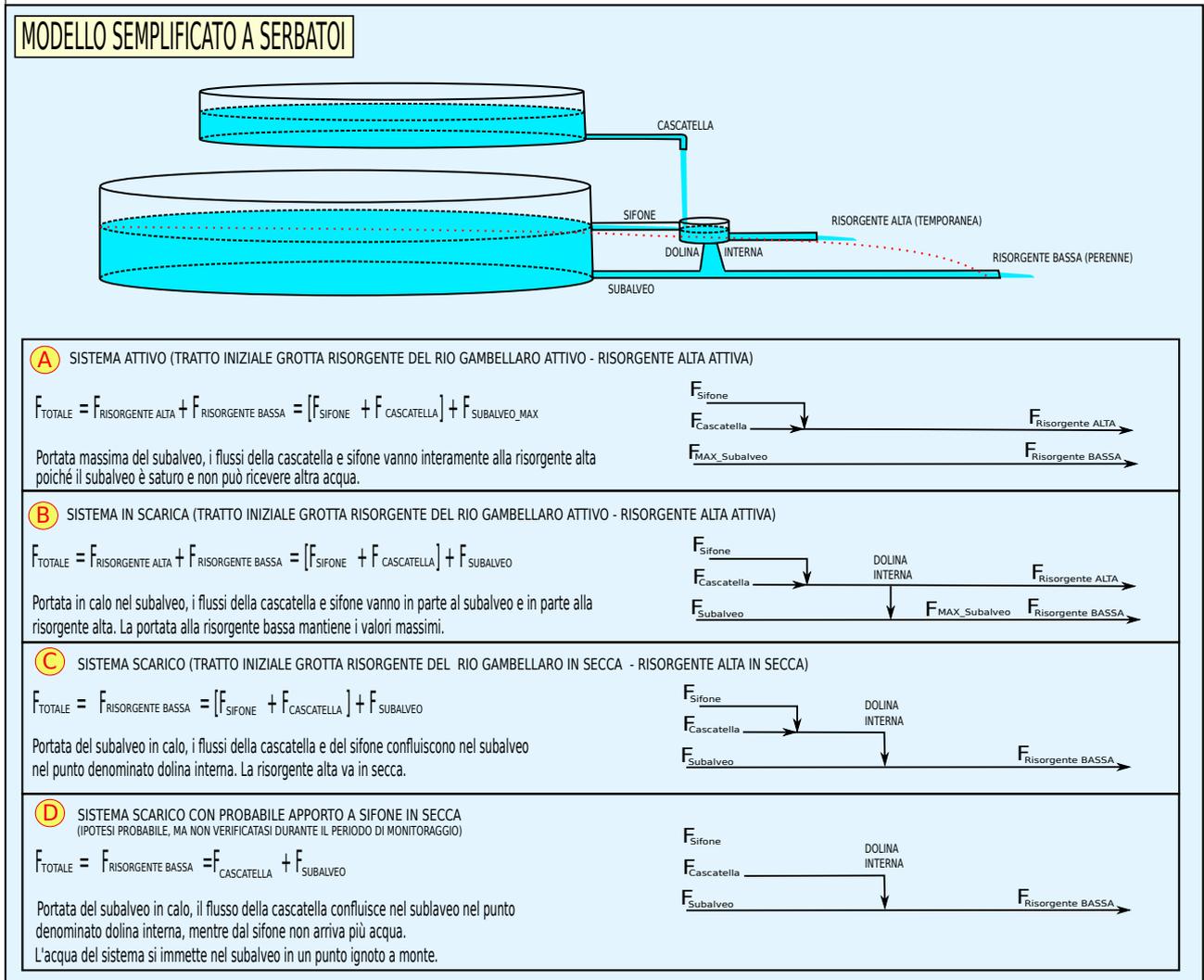
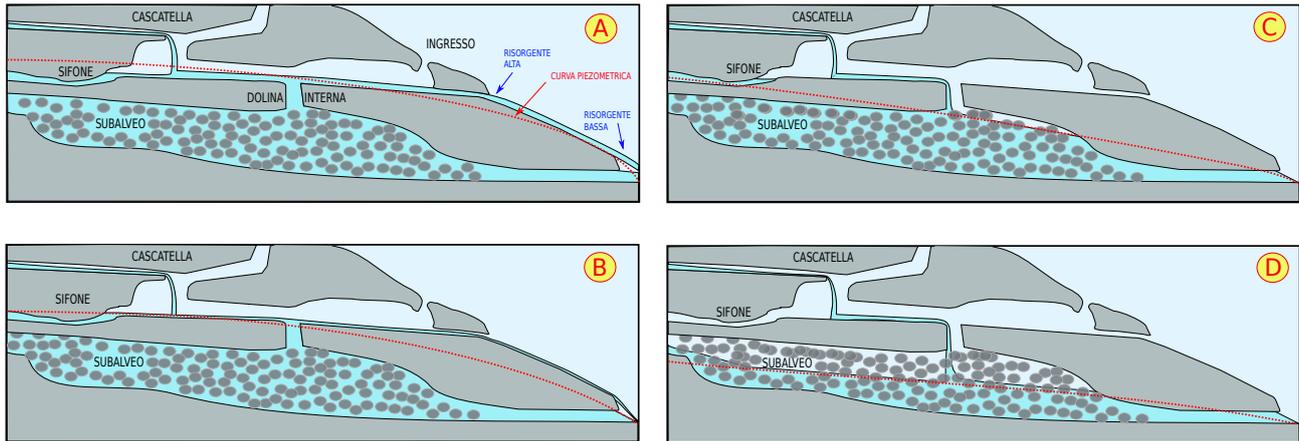


Fig. 40 – Schema assetti idrologici all'interno della grotta Risorgente del Rio Gambellaro e modello semplificato a serbatoi. Le ipotesi B e C si sono verificate durante il periodo di monitoraggio; l'ipotesi A molto probabilmente si è verificata nel periodo di massima portata (fine novembre 2019); l'ipotesi D non si è verificata, ma la si ritiene piuttosto probabile in virtù dei livelli minimi di portata raggiunti dell'apporto a sifone (0,02 l/s).

complesse di acidi (umici e fulvici) che possono influenzare il valore della conducibilità elettrica.

Infine, ma non per importanza, l'analisi del parametro della temperatura dell'acqua può risultare molto interessante. Correlandolo alla temperatura media esterna può fornire indicazioni sulle caratteristiche del percorso ipogeo delle acque e rende possibile ipotizzare la presenza di bacini imbriferi a quote differenti, quindi teorizzare la quota potenziale delle cavità che potrebbero trovarsi a monte della risorgente monitorata.

Tutti i parametri analizzati risultano pertanto essere, in modo differente, molto importanti per la ricerca di nuove cavità, l'individuazione di collegamenti tra cavità conosciute e per definire la circolazione sotterranea delle acque.

## Bibliografia

- AA. VV. 1989, *Le grotte*, in *La Vena del Gesso Romagna*, Rimini, pp. 13-20.
- ARPAE 2017, *Atlante climatico dell'Emilia-Romagna 1961-2015*.
- ARPAE 2018, *Rapporto idrometoclima Emilia-Romagna, rapporto annuale dati 2017*.
- ARPAE 2019, *Rapporto idrometoclima Emilia-Romagna, rapporto annuale dati 2018*.
- ARPAE 2020, *Rapporto idrometoclima Emilia-Romagna, rapporto annuale dati 2019*.
- G. BADINO 1995a, *La temperatura delle grotte. Fisica del clima sotterraneo*, "Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia" s. II, vol. VII, Istituto di Fisica Generale dell'Università di Torino, Torino, pp. 43-56.
- G. BADINO 1995b, *Cosa possiamo dedurre misurando la temperatura dell'aria in uscita dal monte? Fisica del clima sotterraneo*, "Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia" s. II, vol. VII, Istituto di Fisica Generale dell'Università di Torino, Torino, pp. 133-134.
- G. BADINO 1995c, *Perché l'aria di grotta è più calda dell'acqua? Fisica del clima sotterraneo*, "Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia" s. II, vol. VII, Istituto di Fisica Generale dell'Università di Torino, Torino, p. 134.
- C. BALBIANO D'ARAMENGO 2000, *Il clima delle grotte*, Bologna.
- L. BENTINI 1976, *L'Inghiottitoio presso Ca' Poggio - 375 E/RA (Borgo Rivola)*, "Ipogea 1974-1975", (Bollettino del Gruppo Speleologico Faentino), pp. 9-15.
- L. BENTINI 1993a, *Fenomeni carsici*, "Speleologia Emiliana" s. IV, XIX, 4, pp. 10-18.
- L. BENTINI 1993b, *I fenomeni carsici, i nuovi grandi complessi ipogei*, "Speleologia Emiliana" s. IV, XIX, 4, pp. 39-46.
- L. BENTINI 1994, *Storia delle esplorazioni speleologiche e idrologiche dai precursori ad oggi*, in U. BAGNARESI, F. RICCI LUCCHI, G.B. VAI (a cura di), *La Vena del Gesso*, Bologna, pp. 118-128.
- L. BENTINI 2003, *I principali sistemi carsici della Vena del Gesso romagnola e il loro condizionamento strutturale*, in *Atti del XIX Congresso Nazionale di Speleologia*, (Bologna, 27-31 agosto 2003), Bologna, pp. 51-68.
- L. BENTINI, R. BANDINI, V. RIGHI 1976, *La risorgente del Rio Gambellaro - 123 E/RA presso Borgo Rivola*, "Ipogea 1974-1975", (Bollettino del Gruppo Speleologico Faentino), pp. 17-21.
- B. COLLIGNON 1992a, *La portata delle sorgenti carsiche e dei fiumi sotterranei*, in B. COLLIGNON, *Il manuale di speleologia*, Bologna, pp. 142-154.
- B. COLLIGNON 1992b, *Gli acquiferi carsici*, in B. COLLIGNON, *Il manuale di speleologia*, Bologna, pp. 155-176.
- B. COLLIGNON 1992c, *L'atmosfera del sottosuolo*, in B. COLLIGNON, *Il manuale di speleologia*, Bologna, pp. 203-222.
- G.P. COSTA, R. EVILIO, I. FABBRI 1985, *Abisso "Antonio Lusa"*, "Ipogea 1981-1985", (Bollettino del Gruppo Speleologico Faentino), pp. 11-13.
- E. DAL MORO 2017, *Analisi idrostatica*, in *Grotta e sorgente dei Mulini di Alonte*, (Federazione Speleologica Veneta), Vicenza, pp. 123-124.
- V.N. DUBLYANSKY, Y.V. DUBLYANSKY 1998, *The problem of condensation in karst studies*, "Journal of Cave and Karst Studies" 60, 1, pp. 3-17.
- G.D. FONTANA 2013-2014, *Fondamenti di idraulica, stramazzi e idrometria*. Università di Padova, Anno Accademico 2013-2014 ([https://elearning.unipd.it/scuolaamv/pluginfile.php/18242/mod\\_resource/content/1/02\\_03%20stramazzi%20e%20idrometria.pdf](https://elearning.unipd.it/scuolaamv/pluginfile.php/18242/mod_resource/content/1/02_03%20stramazzi%20e%20idrometria.pdf)).
- P. FORTI 1991, *Il carsismo nei gessi con particolare riguardo a quelli dell'Emilia-Romagna*, "Speleologia Emiliana" s. IV, XVII, 2, pp. 11-36.
- M. FRATTINI, C. MUTTI, A. PASQUALI 1961, *375 E - Inghiottitoio presso Ca' Poggio*, (Gruppo Grotte "P.

- Strobel”), Ist. Geol. Univ. Parma, Annuario 1955-56, Parma, p. 17.
- G. GALLINGANI 1965, *1960-1961, Un anno di attività, ricerche e studi del C.E.R.I.G.*, in *Atti del VI Convegno Speleologico Emilia-Romagna*, (Formigine, 19 settembre 1965), Bologna, pp. 115-139.
- G. GALLINGANI, S. GNANI 1974, *Ricerche speleologiche in Romagna*, “SIAL” II, pp. 25-38.
- L. GARELLI 1991, *I segreti di Monte del Casino*, “Aria di Montagna” 8, 1, p. 3.
- L. GARELLI 1992, *Rio Gambellaro, ora so dove nasci*, “Speleologia Emiliana” s. IV, XVIII, 3, pp. 15-20.
- L. GARELLI 2003-2004, *L'acqua nella Vena è poca*, “Speleologia Emiliana” s. IV, XIX-XX, 14-15, pp. 11-14.
- L. GARELLI 2011, *Alterazione positiva: è possibile?* “Speleologia Emiliana” s. V, XXII, 2, pp. 65-68.
- L. GARELLI 2014, *Monte del Casino, nuove frontiere*, “Speleologia Emiliana” s. V, XXIV, 4, pp. 20-23.
- L. GELAIN 2017, *La conducibilità*, in *Grotta e sorgente dei Mulini di Alonte*, (Federazione Speleologica Veneta), Vicenza, pp. 114-115.
- P. GRIMANDI 2014, *Dal '50 al '74: dalla rinascita dei Gruppi Speleologici alla Commissione Catastale e alla FSRER*, “Speleologia Emiliana” s. V, XXXV, 5, pp. 31-51.
- E. LANZONI 1974, *Notizie sul sifone del Gambellaro*, “Speleologia Emiliana” s. II, VI, 2, Bologna, p. 4.
- M. LIVERANI 1992a, *Scoperto un nuovo abisso a Ca' Poggio*, “Aria di Montagna” 9, 1, p. 1.
- M. LIVERANI 1992b, *Una grotta da record*, “Aria di Montagna” 9, 4, p. 3.
- P. LUCCI 2011a, *Storia delle esplorazioni in Romagna*, in P. LUCCI, A. ROSSI (a cura di), *Speleologia e geositi carsici in Emilia-Romagna*, Bologna, pp. 221-231.
- P. LUCCI 2011b, *Sistema carsico di Monte del Casino*, in P. LUCCI, A. ROSSI (a cura di), *Speleologia e geositi carsici in Emilia-Romagna*, Bologna, pp. 359-361.
- G.E. MELEGARI 1984a, *Misure di velocità e portate*, in *Speleologia scientifica ed esplorativa*, Bologna, pp. 376-379.
- G.E. MELEGARI 1984b, *Coloranti traccianti*, in *Speleologia scientifica ed esplorativa*, Bologna, pp. 379-383.
- A. PAVANELLO 1974, *Avanzamenti alla Grotta del Rio Gambellaro*, “Speleologia Emiliana” s. II, VI, 1, Bologna, p. 3.
- RONDA SPELEOLOGICA IMOLESE 1991, *Attività della Ronda Speleologica Imolese del C.A.I. di Imola*, “Speleologia Emiliana” s. IV, XVII, 2, p. 40.
- RONDA SPELEOLOGICA IMOLESE 1992, *Attività della Ronda Speleologica Imolese del C.A.I. di Imola*, “Speleologia Emiliana” s. IV, XVIII, 3, p. 14.
- E. SFRISI, S. ZAULI 2020, *Come tessere di un puzzle, Grotta Risorgente 3P (Paola Pagnoni Poggialini)*, “Speleologia Emiliana” s. V, XLI, 11, pp. 132-139.
- E. SFRISI, S. ZAULI, P. LUCCI, P. FORTI 2019, *Studio idrogeologico dell'area carsica del Rio Stella-Rio Basino*, in M. COSTA, P. LUCCI, S. PIASTRA (a cura di), *I Gessi Monte Mauro, studio multidisciplinare di un'area carsica nella Vena del Gesso romagnola*, (Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, s. II, vol. XXIV), Faenza, pp. 243-287.
- L. TEDESCHI, I.M. D'ANGELI, B. VIGNA, C. DAL MONTE, J. DE WAELE 2015, *Comportamento idrogeologico di alcune risorgenti carsiche nei gessi dell'Emilia-Romagna*, in *Condividere i dati. Atti del XXII Congresso Nazionale di Speleologia*, (Pertosa-Auletta, 30 maggio-2 giugno 2015), (Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, s. II, vol. XXIX), s.l., pp. 399-404.
- B. VIGNA 2001, *Gli Acquiferi carsici*, Bologna.
- B. VIGNA 2007, *Schematizzazione e funzionamento degli acquiferi in rocce carbonatiche. L'acqua nelle aree carsiche in Italia*, “Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia”, s. II, vol. XIX, pp. 21-26.
- B. VIGNA 2014, *Acquisizione ed interpretazione dei dati di monitoraggio delle sorgenti*, “Geingegneria Ambientale e Mineraria” LI, 3, pp. 43-58.
- B. VIGNA 2016, *Modelli concettuali relativi agli acquiferi in rocce carbonatiche*, in *Atti del Convegno Nazionale “La ricerca carsologica in Italia”*, (22-23 giugno 2013), Laboratorio carsologico sotterraneo di Bossea Frabosa Soprana, pp. 177-188.
- A. ZAMBRINI, M. LIVERANI, L. GARELLI 2001, *Il complesso carsico di Ca' Siepe: quattro chilometri di gallerie sotto la Vena del Gesso*, “Pagine di vita e storia imolesi” 8, pp. 289-300.
- S.M. ZIMBONE 2008-2009, *Stramazzi in parete sottile - Stramazzo di Thomson. Corso di idraulica ed idrologia forestale*, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, Anno accademico 2008-2009, ([https://www.unirc.it/documentazione/materiale\\_didattico/598\\_2009\\_174\\_5555.pdf](https://www.unirc.it/documentazione/materiale_didattico/598_2009_174_5555.pdf)).

## Siti Internet

[https://it.wikipedia.org/wiki/Gradiente\\_termico](https://it.wikipedia.org/wiki/Gradiente_termico).

[https://it.wikipedia.org/wiki/Legge\\_di\\_Stevino](https://it.wikipedia.org/wiki/Legge_di_Stevino).

[https://it.wikipedia.org/wiki/Legge\\_di\\_Torricelli](https://it.wikipedia.org/wiki/Legge_di_Torricelli).

[https://it.wikipedia.org/wiki/Orizzonte\\_pedologico](https://it.wikipedia.org/wiki/Orizzonte_pedologico).

<https://it.wikipedia.org/wiki/Stramazzo>.

[http://www.gslunense.it/index.php?option=com\\_content&view=article&id=48&Itemid=12&limitstart=2](http://www.gslunense.it/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=12&limitstart=2).

<https://www.laventa.it/archivio/climasottterraneo>.

## Normative ISO

ISO 7888: 1985, Methods of sampling and test (physical and chemical) for water and waste water.

ISO 1438: 2008, Hydrometry — Open channel flow measurement using thin-plate weirs.

Ringraziamenti: un doveroso ringraziamento va alla Federazione Speleologica Regionale dell'Emilia-Romagna per aver finanziato l'acquisto dei datalogger installati presso i punti di misura ed agli amici della Ronda Speleologica Imolese per le informazioni fornite e per il prezioso supporto nella fase di installazione delle stazioni di monitoraggio e nella fase di recupero dei dati.

## CONTENUTI AGGIUNTIVI MULTIMEDIALI

Il DVD allegato contiene le tabelle e i relativi grafici di tutti i dati acquisiti durante lo studio idrogeologico dell'area carsica facente capo alla Risorgente del Rio Gambellaro.