

## STUDIO IDROGEOLOGICO DELL'AREA CARSIKA DEL RIO STELLA-RIO BASINO

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

### Riassunto

L'area carsica di Monte Mauro (Vena del Gesso romagnola), che ospita al suo interno il più importante traforo idrogeologico della Romagna, è stata anche una delle prime aree carsiche italiane ad essere stata studiata già oltre un secolo addietro. Ciononostante, almeno dal punto di vista idrogeologico, le conoscenze sul bacino di alimentazione del sistema Stella-Basino erano sino ad oggi approssimative e praticamente nulla si conosceva sull'idrodinamica dei vari sottobacini che lo alimentano. Scopo del presente studio, che ha coperto un lasso di tempo di 24 mesi, è stato quello di colmare almeno in parte questa lacuna. Sono infatti stati definiti con buona accuratezza i limiti idrogeologici dei vari sottobacini in cui è suddiviso il sistema Stella-Basino, e, in alcuni casi, si è anche potuto definire l'idrodinamica all'interno di ciascuno di essi. Tra questi di particolare interesse è risultato essere quello con recapito al sifone, che si distingue da tutti gli altri per i suoi tempi di corrivazione più lenti e le risposte agli impulsi di pioggia che non superano mai la soglia di 43 l/s. Questi comportamenti, assieme ai dati relativi al bilancio idrologico, hanno fatto ipotizzare l'esistenza di grande "serbatoio", a relativamente bassa trasmissività, alimentato dalle acque che scorrono lungo l'alveo sotterraneo del Rio Stella-Rio Basino. Naturalmente, questa ipotesi necessiterà in futuro di essere confermata da nuove e più mirate analisi.

**Parole chiave:** idrogeologia, idrodinamica, carsismo nei gessi, Vena del Gesso.

### Abstract

*The Gypsum area of Mt. Mauro (Messinian Gypsum outcrop of the Vena del Gesso romagnola, Northern Italy), hosting the largest hydrogeological tunnel in Romagna region (Stella-Basino karst system), was studied since the early 20<sup>th</sup> century. Nevertheless, from a hydrogeological point of view, few data were known concerning the basin of the karst system and the dynamics of its sub-basins. The paper, based on field work undertaken during 24 months, aims at filling this gap. The hydrogeological borders of the sub-basins of the Stella-Basino karst system were outlined; in some cases, it was possible to investigate in detail the hydrodynamics of them. The most interesting data regard the siphon of the system, whose behavior presents slower corrivation times and response to rainfalls which do not goes beyond the threshold of 43 l/s. These elements, together with those of the hydrological balance, are consistent with a large karst 'tank', characterized by low transmissivity, filled by the waters of the underground river. Such a preliminary theory needs further confirmations in the next future.*

**Keywords:** Hydrogeology, Hydrodynamics, Gypsum Karst, Vena del Gesso.

<sup>1</sup> Gruppo Speleologico Ambientalista CAI RA - 2000sempal@gmail.com

<sup>2</sup> Gruppo Speleologico Ambientalista CAI RA - zaulistefano@yahoo.com

<sup>3</sup> Speleo GAM Mezzano / Federazione Speleologica Regionale dell'Emilia-Romagna - pierolucci@libero.it

<sup>4</sup> Istituto Italiano di Speleologia, Via Zamboni 67, 40126 Bologna (BO) - paolo.forti@unibo.it

## Introduzione

L'affioramento gessoso dell'area carsica di Monte Mauro presenta un'idrologia complessa e ancora in parte sconosciuta. Il più importante sistema carsico fa capo al traforo del complesso Rio Stella-Rio Basino e all'Abisso Luciano Bentini, suo afferente in destra idrografica. Le prime notizie di studi a carattere idrogeologico risalgono al 1912, quando G.B. De Gasperi, naturalista e geografo friulano, effettua alcune ricerche nella valle cieca del Rio Stella e ipotizza un corso sotterraneo delle acque (DE GASPERI 1912).

Successivamente, il Gruppo Grotte "Pellegrino Strobel" di Parma durante gli anni Cinquanta del secolo scorso, individua l'ingresso della Grotta risorgente del Rio Basino e dà inizio a una prima campagna esplorativa. Un socio di questo gruppo, Marcello Frattini, effettua un primo studio a carattere idrologico, misurando con mulinello di OTT la portata del Rio Basino (che risulta avere una portata massima di 485 l/s); egli misura poi la temperatura dell'ambiente ipogeo e dell'acqua (FRATTINI 1956a; FRATTINI 1956b).

Tra il 1963 ed il 1964, membri dei gruppi spe-

leologici faentini effettuano misure di temperatura e di portata. Si tratta comunque di osservazioni sporadiche e non sistematiche (GRUPPO SPELEOLOGICO "CITTÀ DI FAENZA", GRUPPO SPELEOLOGICO "VAMPIRO" 1964).

Successivamente, gli studi idrogeologici effettuati nel corso degli anni '50 e degli anni '60 ed i più ampi ed approfonditi risalenti agli anni '80, dimostrano che il sistema sotterraneo, oltre a raccogliere le acque della valle cieca del Rio Stella, drenano anche quelle di parte dell'area compresa tra Monte Mauro e Monte della Volpe.

Lungo il corso epigeo del Rio Basino vengono individuate due risorgenti: una stagionale, in sinistra idrografica (Risorgente di Ca' Roccale), e una perenne, in destra idrografica, denominata Risorgente presso Ca' Poggiolo (successivamente messa a catasto come Grotta risorgente SEMPAL).

Le assidue ricerche speleologiche condotte tra gli anni Ottanta e gli anni Novanta, conducono alla scoperta di alcune cavità site nell'area di Monte Mauro e che costituiscono importanti nodi idrologici (Abisso Babilonia, Abisso Luciano Bentini, Grotta a sud est di Ca' Faggia, Abisso Ricciardi). Queste si vanno ad aggiun-

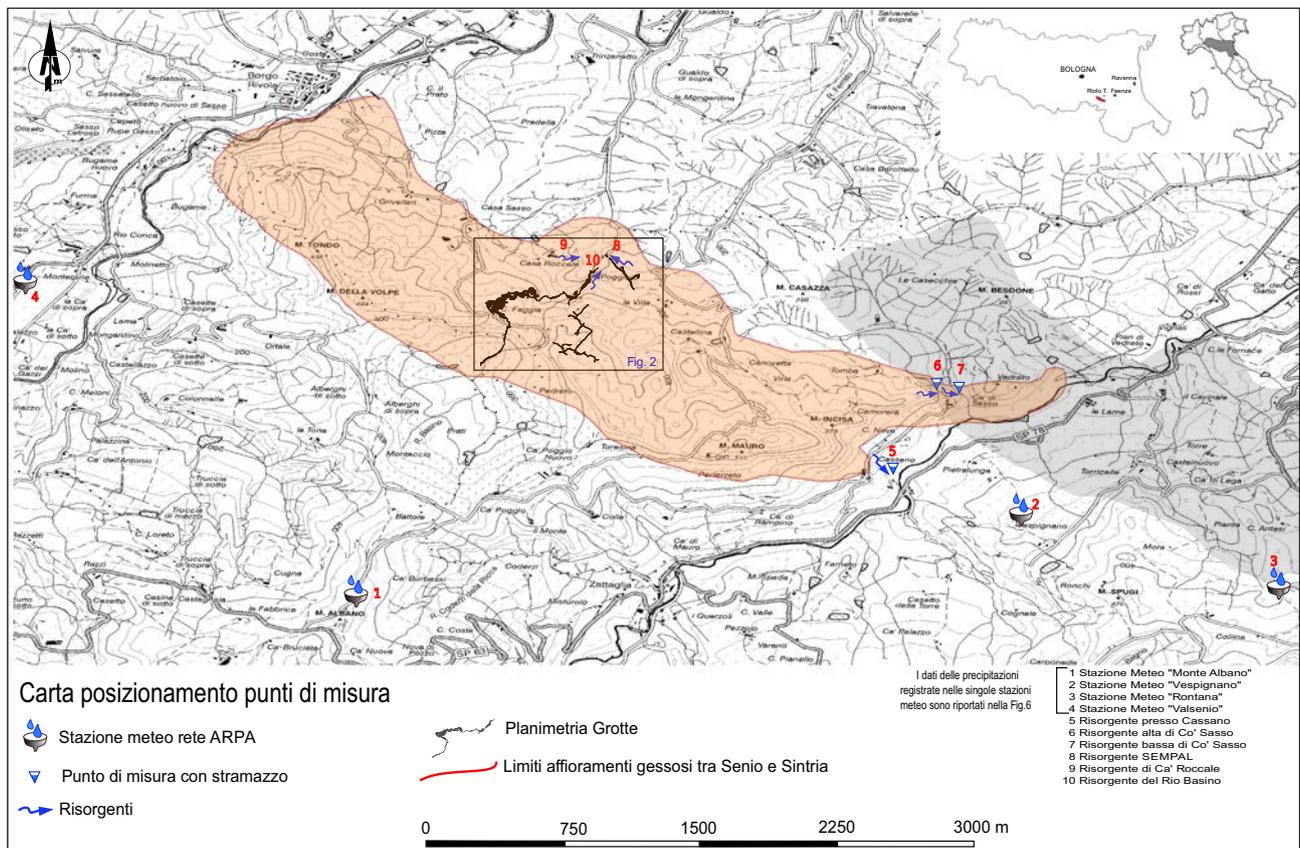


Fig. 1 – Ubicazione dei punti di misura e delle stazioni ARPAE utilizzate per il reperimento dei dati inerenti le precipitazioni. In giallo, la Formazione Gessoso-solfifera.

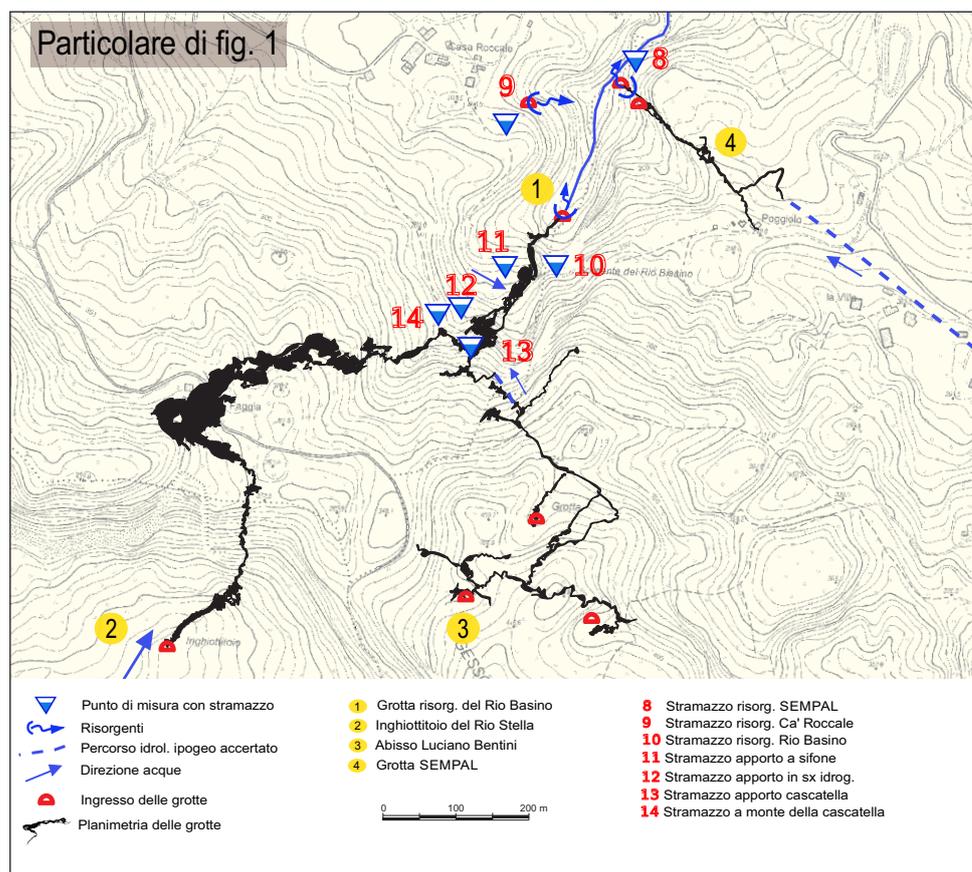


Fig. 2 – Particolare di fig. 1 riguardante l'area carsica del Rio Stella-Rio Basino con ubicazione dei punti di misura in cui sono stati installati gli stramazzi, lungo la forra del Rio Basino ed all'interno della cavità omonima.

gere alle già note Grotta sotto Ca' Castellina e Grotta della Colombaia. Vengono anche individuate alcune risorgenti nel settore sud-est di Monte Mauro (Risorgente di Cassano, Risorgente di Co' di Sasso, risorgente di Ca' Tomba). La colorazione, effettuata nel 1991 da parte del Gruppo Speleologico Faentino conferma il collegamento idrologico tra l'Abisso Luciano Bentini (allora noto come F10) e la Grotta risorgente del Rio Basino (AA.VV. 1993).

Successivamente, nel corso del 2000, il GSA Ravenna, esplora la Grotta risorgente SEMPAL, prosecuzione della Risorgente presso Ca' Poggiolo, le cui acque, confluiscono, in destra idrografica, nel tratto epigeo del Rio Basino (POGGIALINI 2000). Nel 2002, tramite colorazione, si accerta il collegamento idrologico tra quest'ultima cavità e la Grotta della Colombaia (POGGIALINI 2010).

Il presente studio costituisce una prima raccolta sistematica di dati inerenti le portate, le temperature e le conducibilità delle acque delle risorgenti, epigee ed ipogee, individuate nell'affioramento gessoso, delinea conseguentemente le caratteristiche dei diversi sistemi idrogeologici esistenti e ne ipotizza le aree di ricarica. Le ricerche abbracciano una fascia

temporale di 24 mesi (2016-2017). Con questo lavoro non si pretende di dare una risposta esaustiva al problema, ma si intende fornire un inquadramento più completo che possa essere utile per le ricerche e le esplorazioni future.

#### *L'area carsica: inquadramento geografico, geologico e climatologico*

L'area oggetto del presente studio comprende la zona prossima alla cima di Monte Mauro, la valle cieca del Rio Stella, la sella di Ca' Faggia e la porzione più orientale di Monte della Volpe (figg. 1-2). Qui i sistemi carsici conosciuti, in taluni casi interconnessi tra loro, sono tributari del Rio Basino nel suo percorso ipogeo o in quello epigeo.

Sono stati raccolti alcuni dati sommari, nell'area di Monte Incisa e Co' di Sasso (fig. 1), la zona più orientale della lente gessosa dove sono ubicate le Risorgenti di Cassano, Co' di Sasso e Ca' Tomba, tributarie del Torrente Sintria.

La successione sedimentaria che caratterizza l'area è suddivisa in quattro unità litostrati-



Fig. 3 – La valle cieca del Rio Stella (foto P. Lucci).

grafiche ben definite:

- Formazione Marnosa-arenacea;
- Formazione Gessosa-solfifera;
- Formazione a Colombacci;
- Formazione Argille Azzurre.

La dorsale gessosa di Monte Mauro e Monte della Volpe chiude a nord il vasto bacino imbrifero del Rio Stella: qui sono ben evidenti i 16 banchi, appartenenti sia ai cicli evaporitici maggiori che a quelli minori sommitali, che sovrastano la Formazione Marnosa-arenacea della valle cieca (fig. 3). Sul fondo di quest'ultima si apre l'Inghiottitoio del Rio Stella, le cui acque, penetrando l'affioramento carsico, percorrono un lungo tratto ipogeo fino a risorgere nel versante nord, con l'idronimo di Rio Basino; scorrono quindi in superficie, lungo la forra omonima per confluire infine sulla destra idrografica del Torrente Senio. Lungo il percorso le acque ricevono il contributo di tre apporti perenni (cascatella in destra idrografica e sifone in sinistra idrografica nel tratto ipogeo della Grotta risorgente del Rio Basino, risorgente SEMPAL in destra idrografica lungo la forra del Rio Basino) ed uno stagionale, in sinistra idrografica e sempre lungo la forra (Risorgente di Ca' Roccale).

L'area che sovrasta il traforo del Rio Stella-Rio Basino è denominata sella di Ca' Faggia.

L'abbassamento del blocco centrale della falesia in corrispondenza dell'Inghiottitoio del Rio Stella è identificato come un piccolo *graben*, conseguenza dell'intersezione di faglie ad andamento appenninico, verticali o subverticali,

con faglie ad andamento antiappenninico, trasversali (con direzione NE-SO) (MARABINI, VAI 1985).

La morfologia esterna di Monte Mauro presenta numerose doline, di varie dimensioni (fig. 4), alcune imbutiformi, altre con fondo piatto. Queste ultime sono in parte la conseguenza dell'intervento dell'uomo che, in tempi passati, ha utilizzato tali depressioni quali aree coltivabili ocludendo di conseguenza tutti gli inghiottitoi. Oggi tali doline sono caratterizzate da una rigogliosa vegetazione, costituita da alberi ad alto fusto e da un fitto sottobosco.

Lo sviluppo delle doline è spesso controllato dalle lineazioni tettoniche: faglie e sistemi di fratture facilitano l'infiltrazione delle acque all'interno della roccia gessosa. È facile, per questo motivo, osservare doline allineate secondo una precisa direzione, appunto quella del disturbo tettonico che ne ha condizionato e ne condiziona la storia evolutiva. Nell'area di Monte Mauro si possono osservare significativi allineamenti di doline, in particolare secondo assi SSE-NNO (COSTA, FORTI 1994).

Diversa è la morfologia di Monte della Volpe, dove le doline sono rare, mentre più frequenti sono i canali che scendono verso la Formazione Argille Azzurre con direzione SO-NE.

Anche quest'area, prima di giungere all'affioramento argilloso, è caratterizzata da vegetazione ad alto fusto e folto sottobosco.

L'andamento da nord-ovest a sud-est, con morfologia di falesia, dell'affioramento gessoso favorisce un microclima particolare, con

differenziazioni climatiche sui due versanti. Il versante sud, più arido, è caratterizzato da un clima sub-mediterraneo con vegetazione meno infestante; il versante esposto a nord presenta una pendenza lieve, una maggiore esposizione ai venti, un clima più continentale, vale a dire più fresco e umido, con folta vegetazione abbondante.

Negli ultimi 25 anni, la rete di monitoraggio ARPAE ha registrato, in tutte le stagioni, significativi aumenti di temperatura rispetto al trentennio di riferimento 1961÷1990: la temperatura media è infatti salita da 11,7 °C a 12,8 °C.

Contestualmente si è riscontrata anche una modesta riduzione delle precipitazioni medie, nonché una variazione dei periodi piovosi e siccitosi. In sostanza, i periodi siccitosi, che tipicamente sono limitati alla stagione estiva, tendono a prolungarsi, mentre le precipitazioni

ni tendono a essere più brevi e intense.

L'estate 2017, in Italia, è risultata essere la seconda estate più calda dal 1800, dopo quella del 2003 (fonte CNR-ISAC). In Emilia-Romagna, nonostante i record assoluti di temperatura registrati nella prima settimana di agosto, si è collocata invece al terzo posto fra le più calde dal 1961, dopo quella degli anni 2003 e 2012, sia in termini di temperature medie che massime (MARLETTO 2017).

Tenendo conto dell'intero periodo ottobre 2016-agosto 2017, risultano in sofferenza pluviometrica tutte le zone dell'Emilia-Romagna, ad esclusione della pianura ravennate e ferrarese, dove l'anomalia è stata più lieve.

Nella tab. 1 sono sintetizzati i dati ARPAE, inerenti temperatura media e precipitazioni nelle aree territoriali prossime all'affioramento gessoso oggetto di studio.

I valori medi complessivamente registrati nei

Fig. 4 – A) La grande dolina presso Ca' Castellina; B) Dolina a fondo piatto sul versante N di Monte Mauro (foto P. Lucci).



Comune	Temp. (media)	Prec. (media)	Periodo
Riolo Terme	13,3 °C	804 mm	1961÷1990
Brisighella	13,2 °C	895 mm	1961÷1990
Casola Valsenio	13,1 °C	927 mm	1961÷1990
Riolo Terme	13,9 °C	786 mm	1991÷2015
Brisighella	13,9 °C	833 mm	1991÷2015
Casola Valsenio	14,0 °C	887 mm	1991÷2015

Tab. 1 – Dati termometrici e pluviometrici del servizio ARPAE, nei periodi: 1961÷1990 e 1991÷2015.

tre Comuni interessati, nel lasso temporale 1991-2015, risultano pertanto:

- Precipitazione media annuale: 840 mm;
- Temperatura media annuale: 13,9 °C.

Per scendere più nello specifico, sono successivamente stati presi, per 8 anni, cioè dal 2010 al 2017 (fig. 5), i dati giornalieri forniti dalle stazioni meteo ARPAE, i quali sono del tutto coerenti con i dati generali; risultano infatti:

- Precipitazioni media annuale 840 mm;
- Temperatura media annuale 13,8°C.

#### *Strumentazione e metodologia per la valutazione del bilancio idrologico dell'acquifero carsico*

Per valutare la ricarica nei bacini idrologici dell'area carsica di Monte Mauro, 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 in uscita dalle risorgenti.

Per disporre dei dati delle precipitazioni sono state utilizzate le registrazioni giornaliere

presenti nell'archivio del centro di calcolo "ARPAE-Servizio Idro-Meteorologico".

Per il valore medio dell'altezza delle precipitazioni è stato utilizzato il metodo dei poligoni di Thiessen (Topoietti) individuando in prossimità della zona di studio quattro stazioni meteo: Monte Albano, Vespignano, Valsenio e Rontana (figg. 1, 6-7; tab. 2).

Nel periodo analizzato purtroppo le stazioni non hanno fornito in modo costante i dati, quindi si è dovuto procedere a diverse combinazioni di calcolo pesato (poligoni di Thiessen), con la seguente priorità:

- 1) 62% precipitazione di Monte Albano + 38% precipitazione di Vespignano;
- 2) 84% precipitazione di Monte Albano + 16% precipitazione di Rontana;
- 3) 100% precipitazione di Monte Albano (in mancanza dati dalle stazioni di Vespignano e Rontana);
- 4) 35% precipitazioni Valsenio + 65% precipitazioni di Vespignano (in mancanza dati dalla stazione di Monte Albano).

Per misurare le portate sono stati realizzati degli stramazzi di "Thomson", caratterizzati dal profilo a "V" (90°) col vertice in basso e a parete sottile. Per la sua elevata sensibilità alle basse portate tale tipologia di stramazzo si presta benissimo alle misure di portate variabili tra 1 e 60 l/s (fig. 8).

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*".

Per quanto riguarda la misura di portata totale nel Rio Basino, dove il flusso di acqua, in periodi di forte piovosità, può arrivare oltre i 500

Stazione	Rontana	Vespignano	Casola Valsenio	Monte Albano
RETE DI MISURA	SPDSRA	locali	SIMNBO	SIMNBO
COMUNE	Brisighella	Brisighella	Casola Valsenio	Casola Valsenio
PROVINCIA	Ravenna	Ravenna	Ravenna	Ravenna
QUOTA S.L.M.	370 m	208 m	154 m	480 m
LATITUDINE (N)	44,226987	44,233048	44,227137	44,225756
LONGITUDINE (E)	11,737844	11,719608	11,632342	11,673947
BACINO	Senio	Senio	Senio	Senio

Tab. 2 – Stazioni meteo considerate per la raccolta dei dati inerenti le precipitazioni. SPDSRA: Rete Servizio Provinciale di Difesa del Suolo di Ravenna. SIMNBO: Servizio Idrografico ex Ministero dei Lavori Pubblici, Ufficio di Bologna.

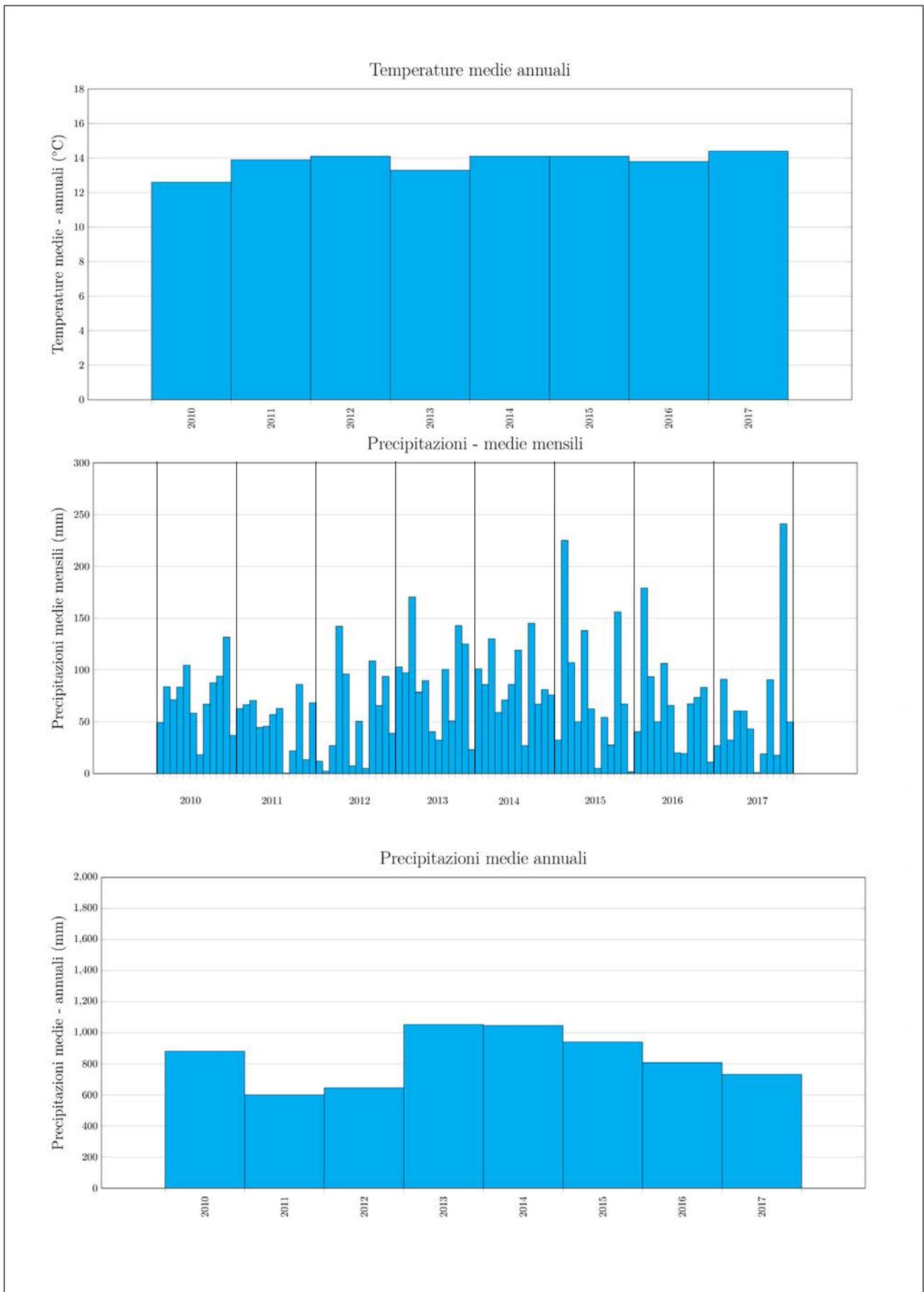


Fig. 5 – Istogrammi riportanti le medie annuali termometriche e le medie mensili ed annuali pluviometriche inerenti il periodo 2010-2017. I valori sono stati ricavati dai dati giornalieri forniti dal servizio ARPAE.

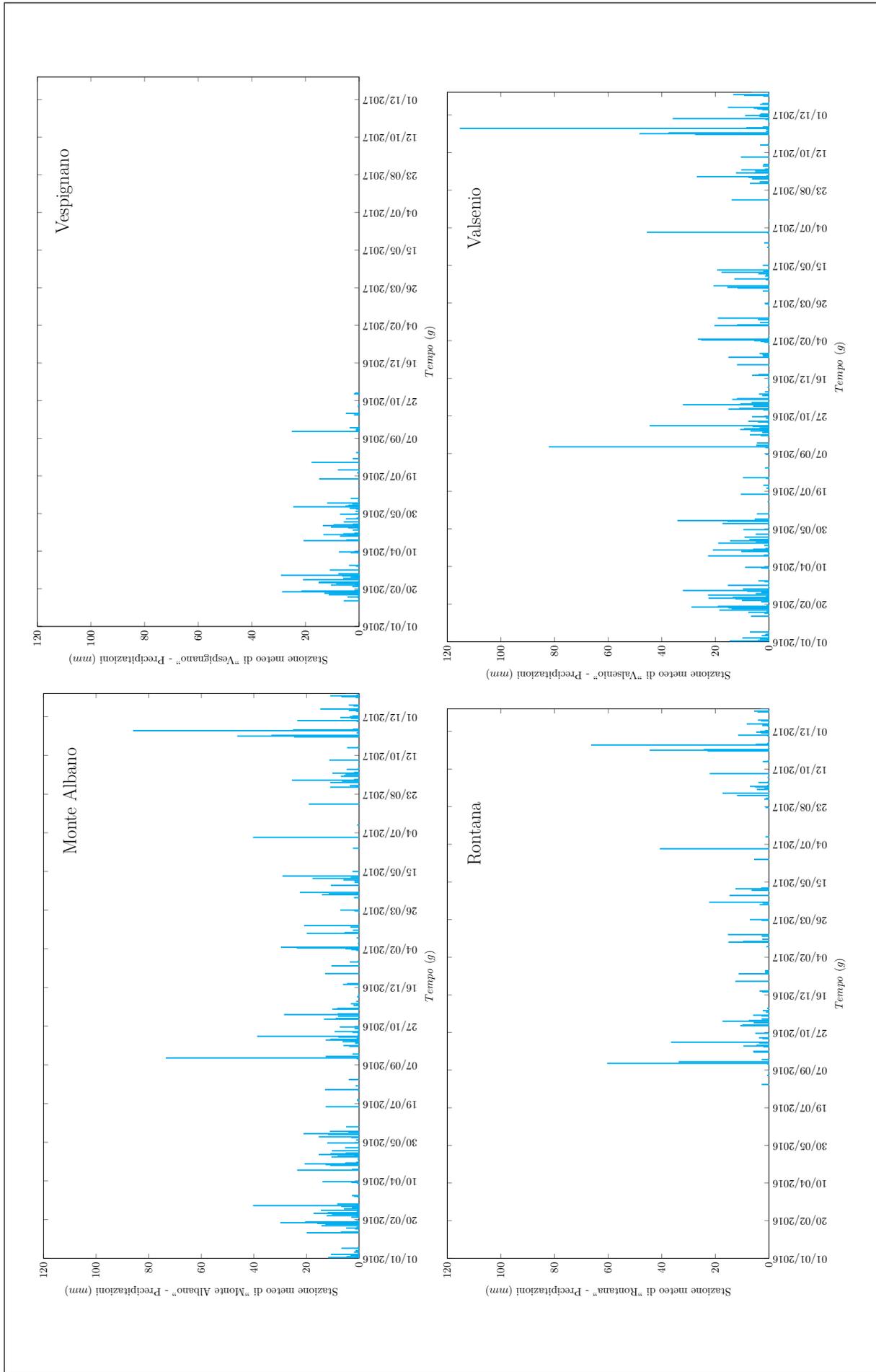


Fig. 6 – Precipitazioni registrate dalle stazioni meteo ubicate in prossimità dell'area carsica oggetto del presente studio. L'ubicazione esatta delle stazioni è indicata in tab. 2 ed in fig.1.

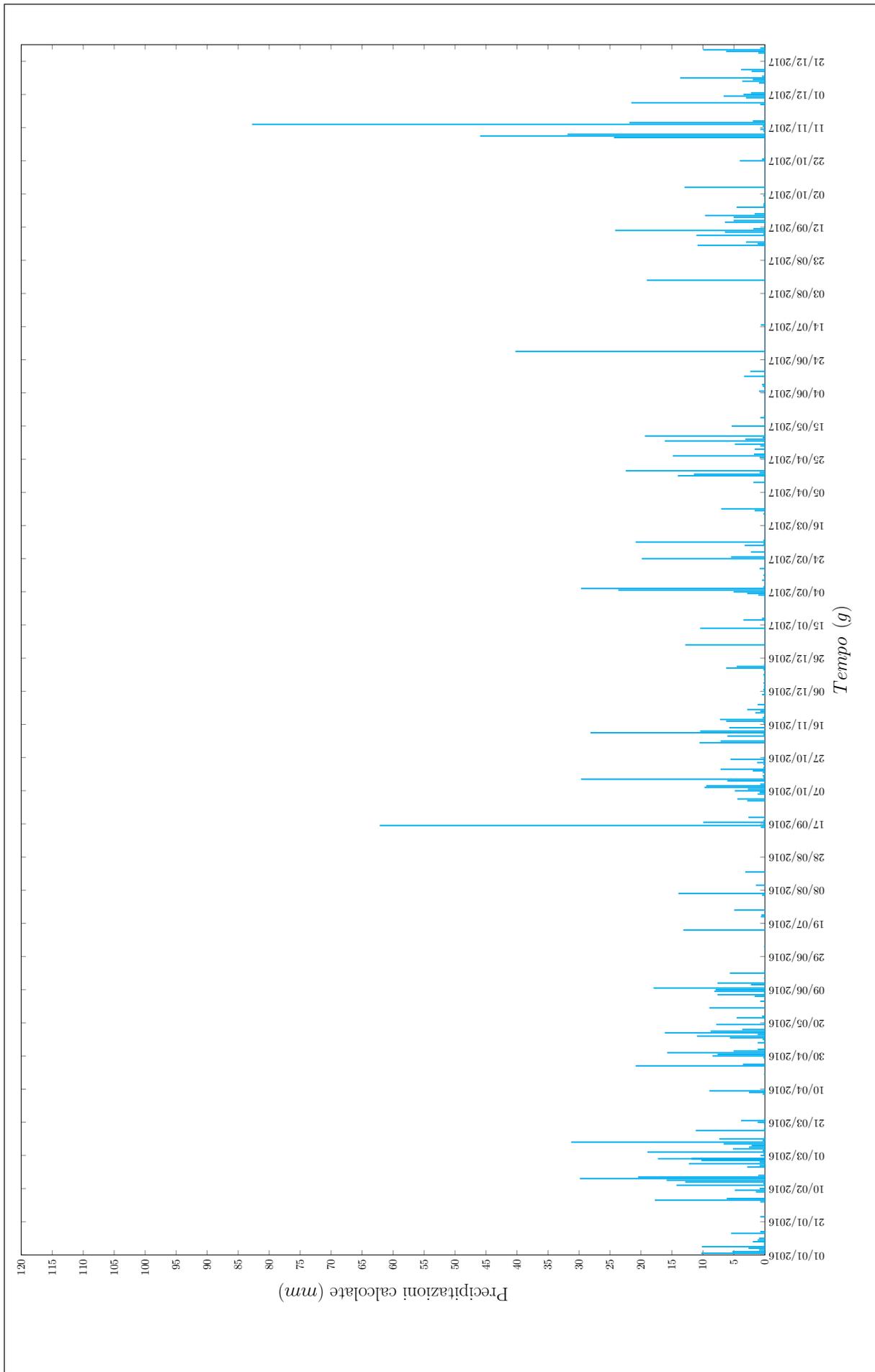


Fig. 7 – Stima dell'altezza delle precipitazioni effettuata mediante calcolo pesato (poligoni di Thiessen) dei dati reperiti dalle quattro stazioni meteo di Rontana, Vespignano, Casola Valsenio e Monte Albano (tab. 2, figg. 1-6).

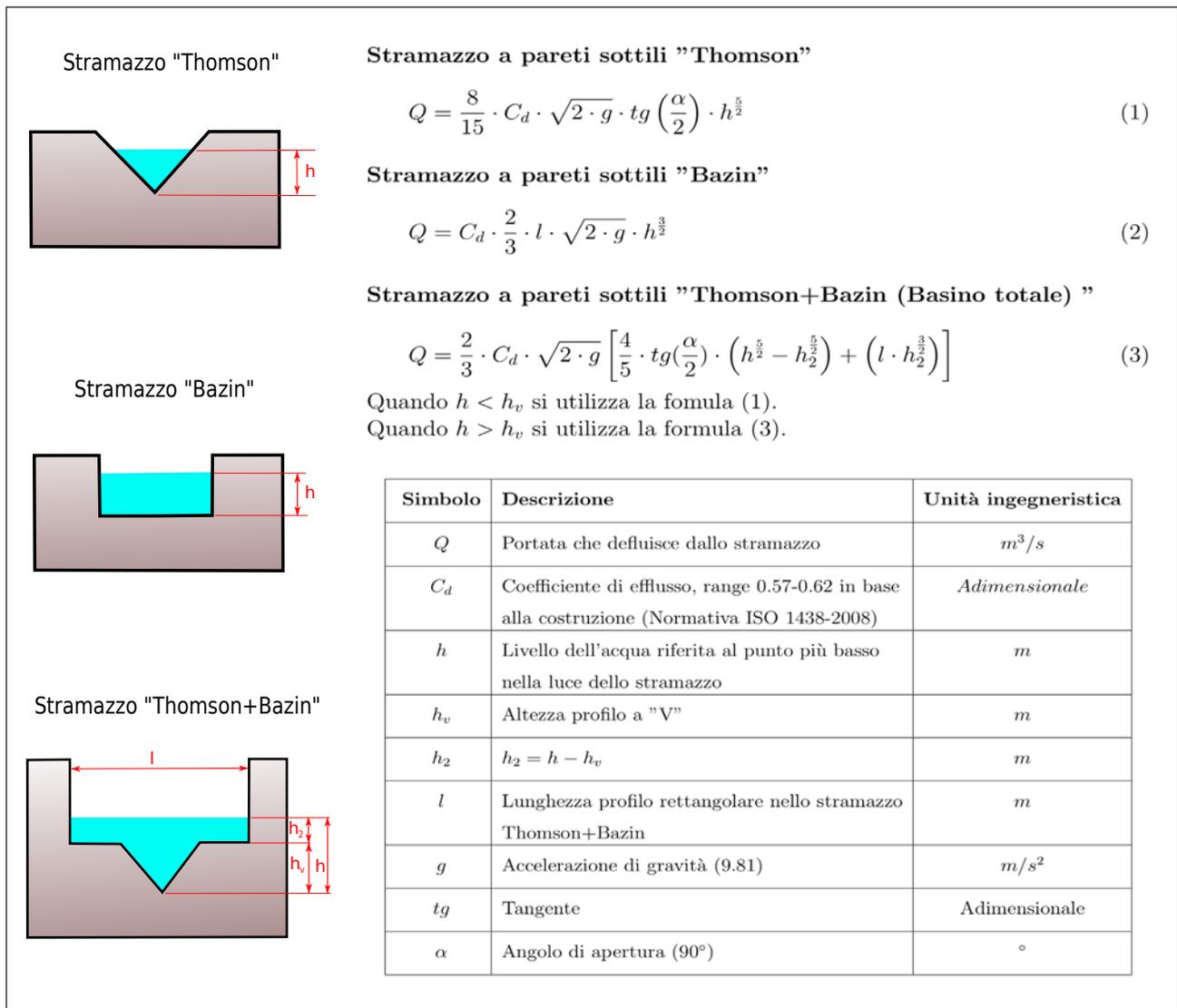




Fig. 9 – A) Stramazzo modello “Thomson + Bazin” installato presso il punto di misura S1 (fig.12) (foto S. Zauli); B) particolare del flusso sul profilo a V (foto E. Sfrisi).



Fig. 10 – A) Stramazzo portatile utilizzato presso la Risorgente di Cassano (foto E. Sfrisi); B) lo stramazzo in opera (foto E. Sfrisi).



Fig. 11 – A-B-C) Idrometro per registrazione portata massima installato presso il punto di misura S2 (vedi fig. 12) (foto S. Zauli).

Stazione	Ubicazione stramazzo
S1	portata risorgente Rio Basino
S2	apporto sifone in sx idrografica Rio Basino
S3	apporto sx idrografica Rio Basino
S4	apporto cascatella in dx idrografica Rio Basino
S5	Rio Basino a monte della cascatella
S6	risorgente SEMPAL
S7	risorgente Ca' Roccale
S8	risorgente Cassano
S9	risorgente Co' di Sasso alta
S10	risorgente Co' di Sasso bassa
S11	ramo Martina, Abisso Bentini

Tab. 3 – Stramazzi installati.

In tal modo è stato possibile acquisire, nel periodo tra due letture dirette, anche il valore dell'eventuale portata massima. I dati purtroppo sono meno precisi delle letture puntuali e non è possibile stabilire il momento esatto di registrazione; ma hanno comunque fornito indicazioni fondamentali per il calcolo delle portate, dei volumi di acqua transitata e di conseguenza per il calcolo delle dimensioni dei bacini idrologici.

Per riuscire ad ottenere sempre più informazioni che permettessero di interpretare al meglio i dati raccolti, si è iniziato, a partire da gennaio 2017, anche il monitoraggio delle conducibilità e delle temperature delle acque, utilizzando, per entrambe le misure, un conduttivimetro portatile (modello EC150 della EXTECH Instruments).

All'interno della Grotta risorgente del Rio Basino, oltre ai punti di misura con stramazzo, sono stati individuati altri punti nei quali sono stati raccolti i dati inerenti temperatura (acqua e aria) e conducibilità. Inoltre sono stati visivamente controllati particolari punti in cui le acque, in periodi di magra, scompaiono preferendo percorsi più profondi. In fig. 12 sono riportati tutti i punti di monitoraggio effettuati presso la Grotta risorgente del Rio Basino.

### *Raccolta dati sperimentali*

Dato che non si disponeva di acquisitori automatici per ottenere i dati in continuo (portata, temperatura, conducibilità), si è dovuto pianificare una metodologia di raccolta degli stessi da effettuare con sistematiche uscite in campo. Di base si è optato per una tempistica che prevedesse un sopralluogo ogni 15 giorni, con acquisizione misure di portata, conducibilità e temperatura, presso tutti i punti di interesse (figg. 1-2, 12).

Tale intervallo è stato diluito durante i periodi particolarmente siccitosi ove tutti i sistemi erano in regimi minimi. Per contro si sono inserite ulteriori uscite durante periodi giudicati particolarmente interessanti per la presenza di precipitazioni. Tenendo giornalmente monitorate le previsioni meteo e le precipitazioni registrate dalle stazioni ARPAE, si è cercato di effettuare a stretto giro la raccolta dei dati; ripetendo le misure anche a distanza di uno o due giorni.

In totale, durante il periodo intercorso dal 1 gennaio 2016 al 31 dicembre 2017, sono state effettuate 49 uscite, ognuna delle quali ha comportato una tempistica media in campo di 6 ore.

Per tutti i punti con stramazzo, indicati nelle varie figure con la lettera S come prefisso, sono state registrate le tre tipologie di misura sopraindicate; nei punti indicati con il prefisso P sono stati registrati solamente i dati inerenti conducibilità e temperatura (figg. 13-17).

La portata è una misura indiretta di livello che è stata effettuata sugli stramazzi misurando la larghezza della V nel punto in cui il flusso dell'acqua tocca lateralmente le pareti dello strumento. Essendo la V costruita con un angolo di 90°, tale larghezza è ovviamente il doppio dell'altezza misurata dal vertice della V al pelo dell'acqua a monte dello sbarramento; per il calcolo delle portate si rimanda alle formule riportate in fig. 8.

Per acquisire i dati di massima portata, sono stati installati idrometri di massimo livello nei punti S1, S2, S4 ed S6 (tab. 3). In questo modo, effettuando il sopralluogo in ritardo rispetto alla piena, si è potuto comunque acquisire il dato misurando la distanza tra il dislocatore ed il cursore. Sommando tale misura alla misura puntuale effettuata sullo stramazzo, applicando la relativa formula (fig. 8) si ottiene il valore della portata massima.

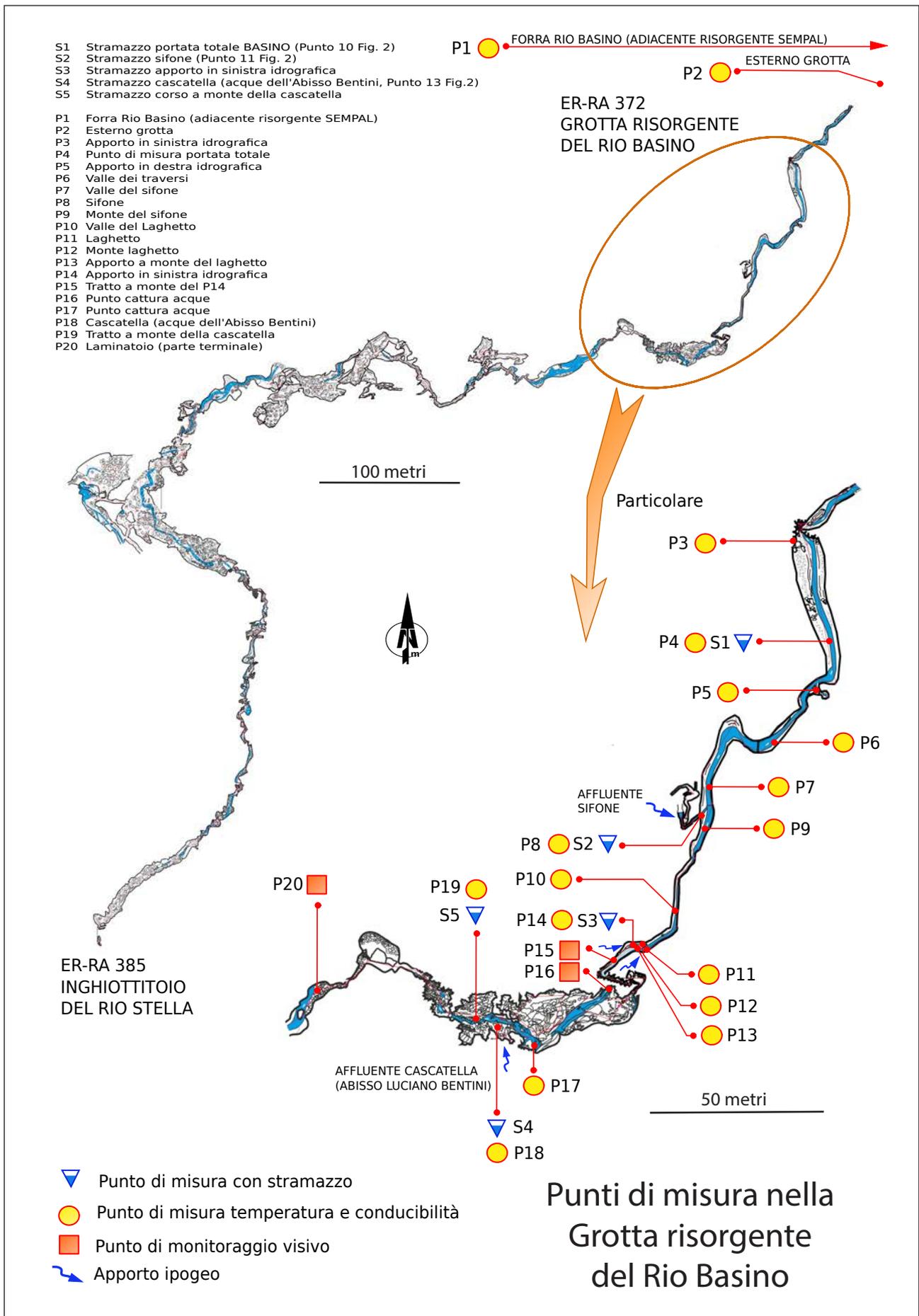


Fig. 12 – Ubicazione dei punti di misura all'interno della Grotta risorgente del Rio Basino.

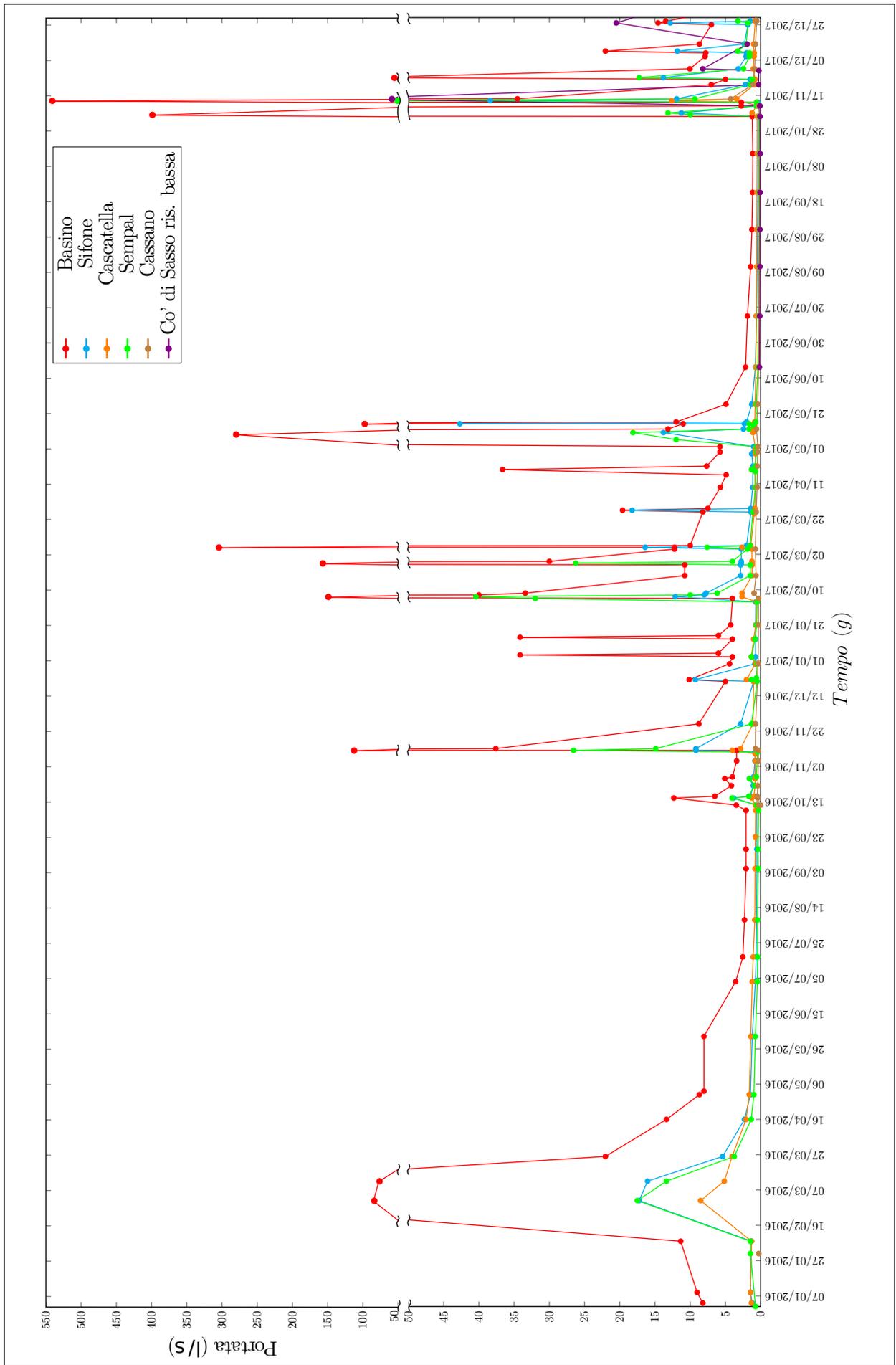


Fig. 13 – Dati complessivi inerenti le misure di portata effettuate sulle risorgenti ipogee ed epigee, biennio 2016-2017.

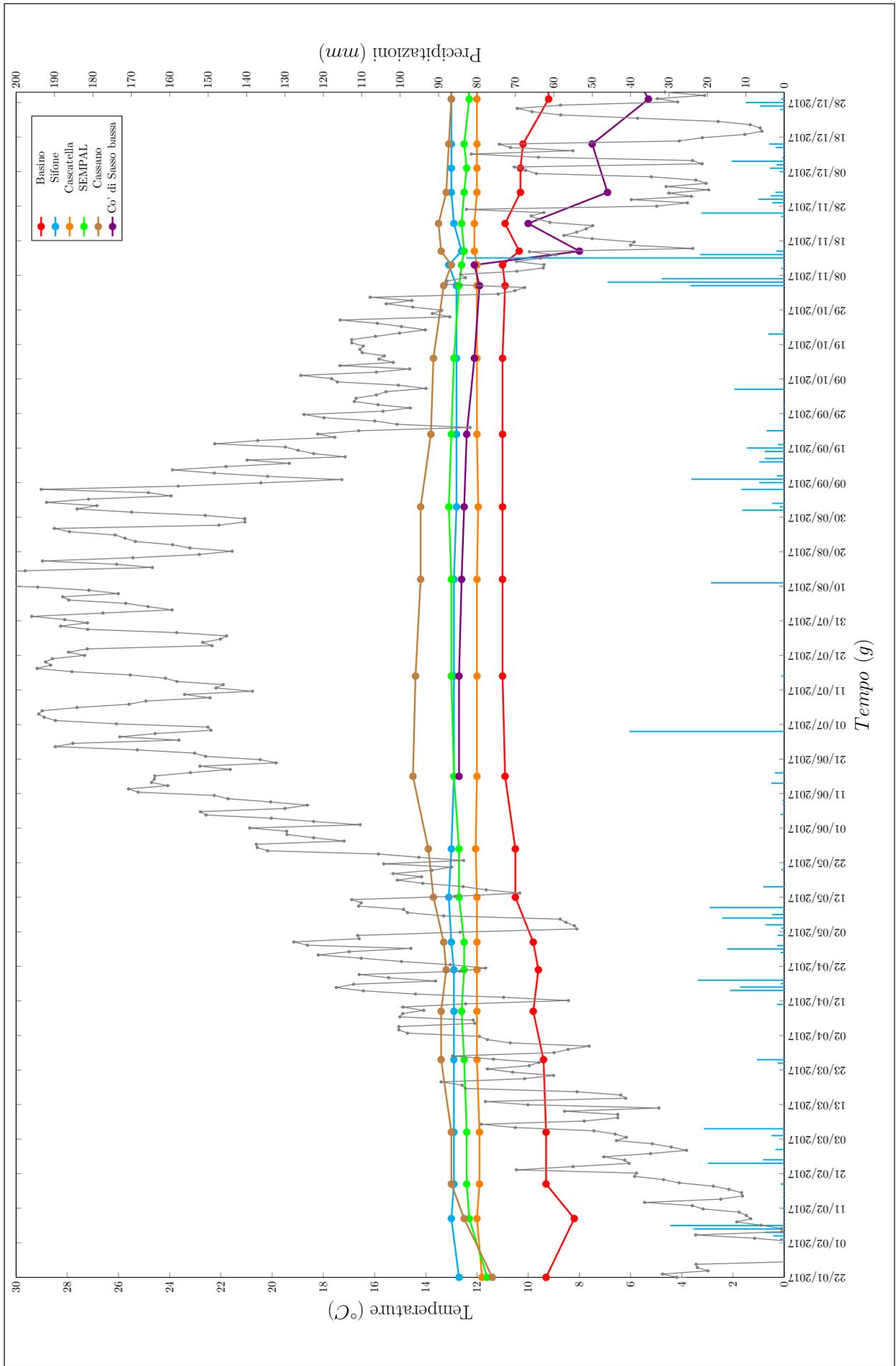


Fig. 14 – Temperature misurate presso tutte le risorgenti ipogee ed epigee.

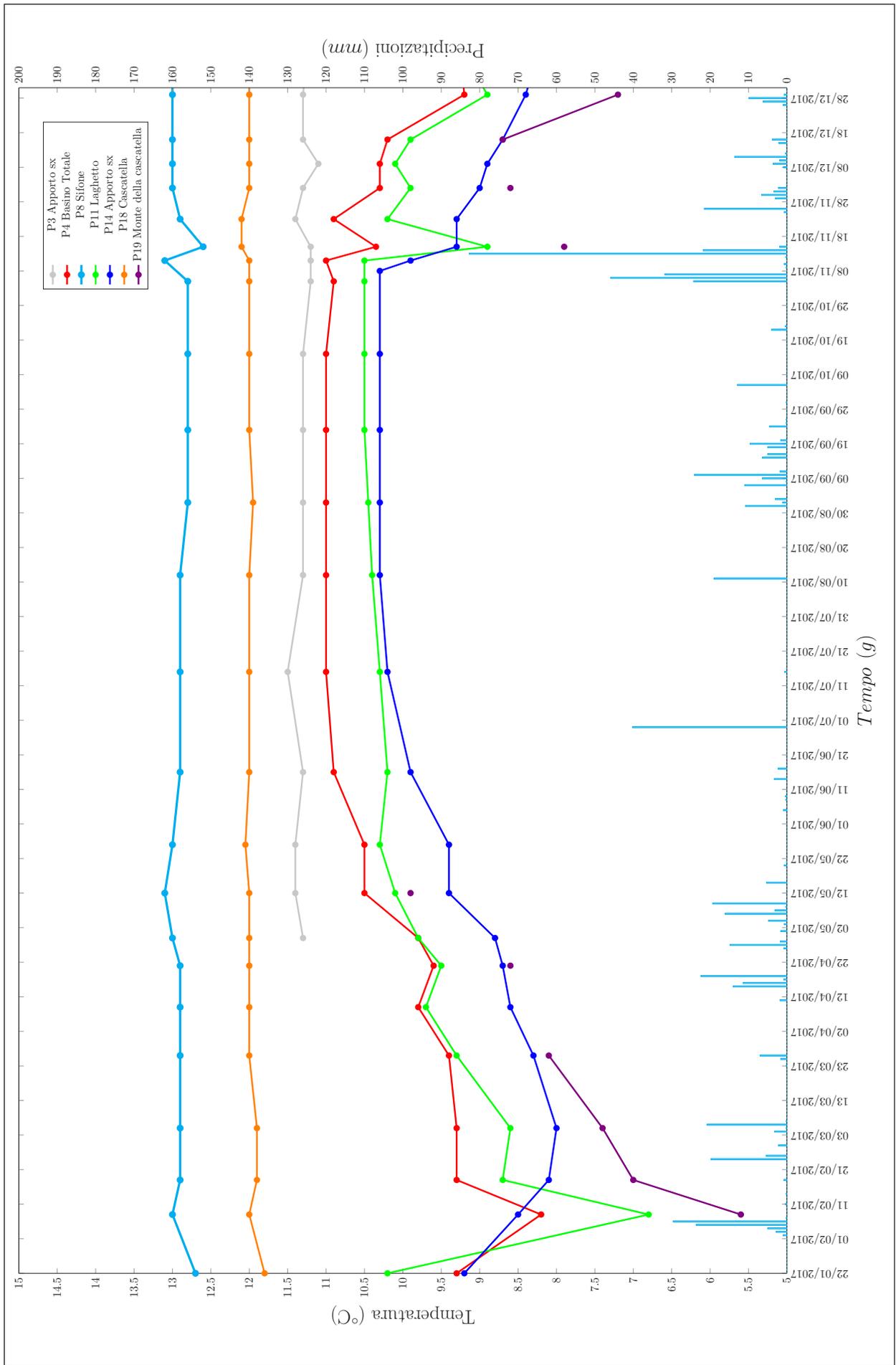


Fig. 15 – Temperature misurate presso i punti più significativi individuati all'interno della Grotta risorgente del Rio Basino.

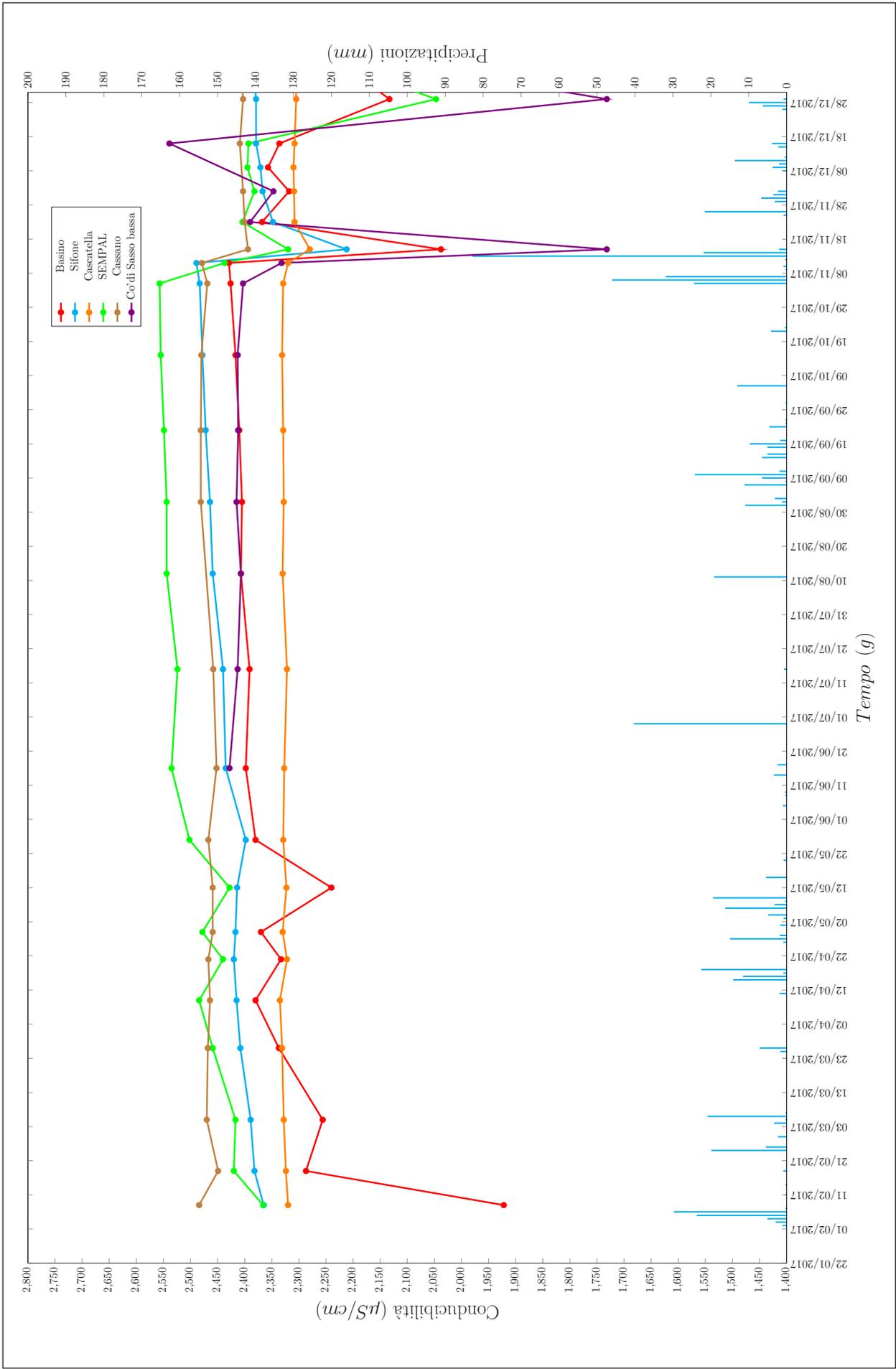


Fig. 16 – Valori di conducibilità misurati presso tutte le risorgenti ipogee ed epigee.

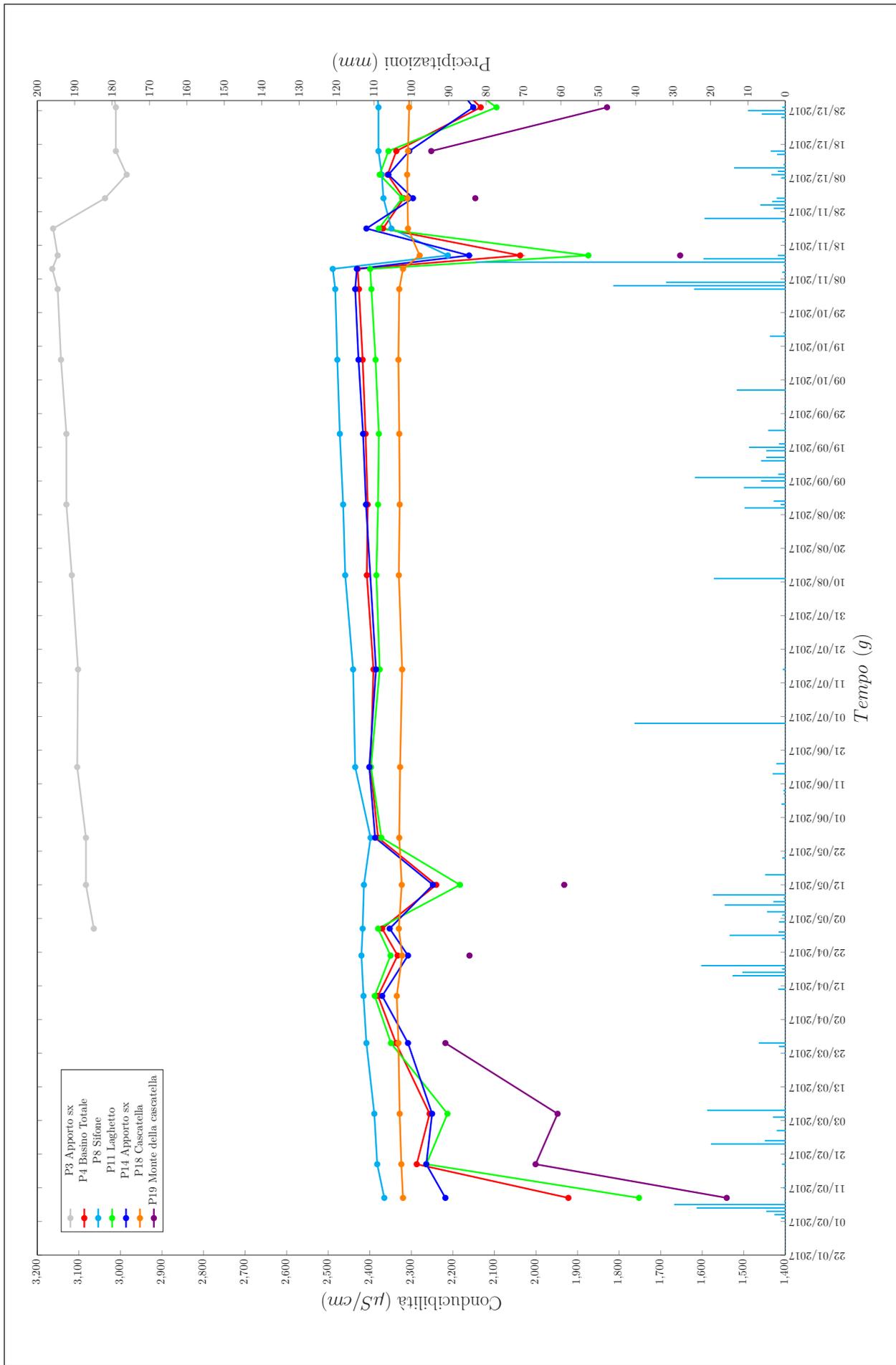


Fig. 17 – Valori di conducibilità misurati presso i punti più significativi individuati all'interno della Grotta risorgente del Rio Basino.

Tipologia di acqua	Conducibilità'
Acqua pura	0,055 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Acqua distillata	0,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Acqua potabile	500-800 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Valore massimo per acqua potabile	2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Acqua di mare	56 mS/cm = 56000 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Tab. 4 – Conducibilità di varie tipologie di acque naturali.

La conducibilità 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. 4).

Tale dato dipende fortemente dalla temperatura e cresce con l'aumentare di questa. L'aumento percentuale della conducibilità specifica per ogni grado centigrado è detto "coefficiente di temperatura". Normalmente viene utilizzato il valore del coefficiente di correzione di 2  $\%/^{\circ}\text{C}$ , in accordo allo standard di compensazione IEC 60476-3 relativo a soluzione di NaCl.

La conoscenza del coefficiente di temperatura è indispensabile in quanto, per confrontare tra loro acque diverse a temperature diverse, è necessario "normalizzare" le misure di conducibilità ad una determinata temperatura. La temperatura di riferimento "standard" oggi comunemente adottata in campo scientifico è 25  $^{\circ}\text{C}$ , valore per il quale sono calibrati molti strumenti in commercio.

Per le misurazioni è stato scelto di escludere la compensazione automatica, portando a 0 il valore standard impostato nello strumento (2  $\%/^{\circ}\text{C}$ ), questo per consentire la normalizzazione in manuale mediante successivo calcolo.

Da prove effettuate, variando la temperatura su alcuni campioni di acque, si è ricavato un valore del coefficiente di temperatura di 1,796  $\%/^{\circ}\text{C}$  per la normalizzazione a 25  $^{\circ}\text{C}$  e di 2,454  $\%/^{\circ}\text{C}$  per la normalizzazione a 10  $^{\circ}\text{C}$ .

Per misurare valori di conducibilità nell'ordine di 1500÷2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25  $^{\circ}\text{C}$ , la taratura dello strumento è stata effettuata utilizzando la soluzione tampone standard di 1413  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25  $^{\circ}\text{C}$ .

Le misure delle temperature rilevate sono quelle indicate dal conduttivimetro con risoluzione al decimo di grado centigrado.

## Idrodinamica del sistema Rio Stella-Rio Basino

I dati raccolti nel periodo di osservazione, pur non essendo in continuo, hanno permesso di evidenziare notevoli differenze nel comportamento idrodinamico nei vari settori in cui può essere suddiviso il sistema.

In particolare l'acquifero è stato suddiviso in 5 sottosistemi ed esattamente:

- ramo principale con recapito allo stramazzo presso il punto S5-P19 (fig. 12);
- Abisso Bentini, apporto a cascatella in destra idrografica, con recapito presso il punto S4-P18 (fig. 12);
- sifone in sinistra idrografica con recapito presso il punto S2-P8 (fig. 12);
- Basino Totale con recapito presso il punto S1-P4 (fig. 12);
- Grotta risorgente SEMPAL con recapito al punto 8 (fig. 2).

Va qui notato che le misure pluviometriche e di portata sugli stramazzi sono state sempre effettuate nel periodo intercorso tra l'1 gennaio 2016 e il 31 dicembre 2017, mentre gli idrometri sono stati posizionati tra ottobre 2016 e febbraio 2017 (figg. 18-21).

### Ramo principale fino allo stramazzo S5

Di questi 5 sottosistemi il primo non è stato analizzato dal punto di vista dell'idrodinamica generale, perché lo stramazzo è stato montato con un certo ritardo, ma soprattutto perché per molta parte dell'anno (periodi di morbida e/o secca) risulta privo di scorrimento idrico in gran parte del suo sviluppo.

Questo accade perché l'alimentazione in secca è nulla a livello dell'inghiottitoio dato che i tempi di corrivazione nella valle cieca sono davvero molto brevi. Anche in tempo di magra, però, a livello dello stramazzo spesso non giunge acqua: il motivo è da ricercare nel fatto che nei pressi del laminatoio vi è stato un approfondimento dell'alveo (fig. 12, punto P20) in grado di veicolare totalmente la portata di magra-morbida e pertanto, dato che lo scorrimento avviene al di sotto del livello dello stramazzo, questo rimane comunque in secca.

### Apporto cascatella (Abisso Bentini)

Durante il periodo di studio (fig. 18) si sono

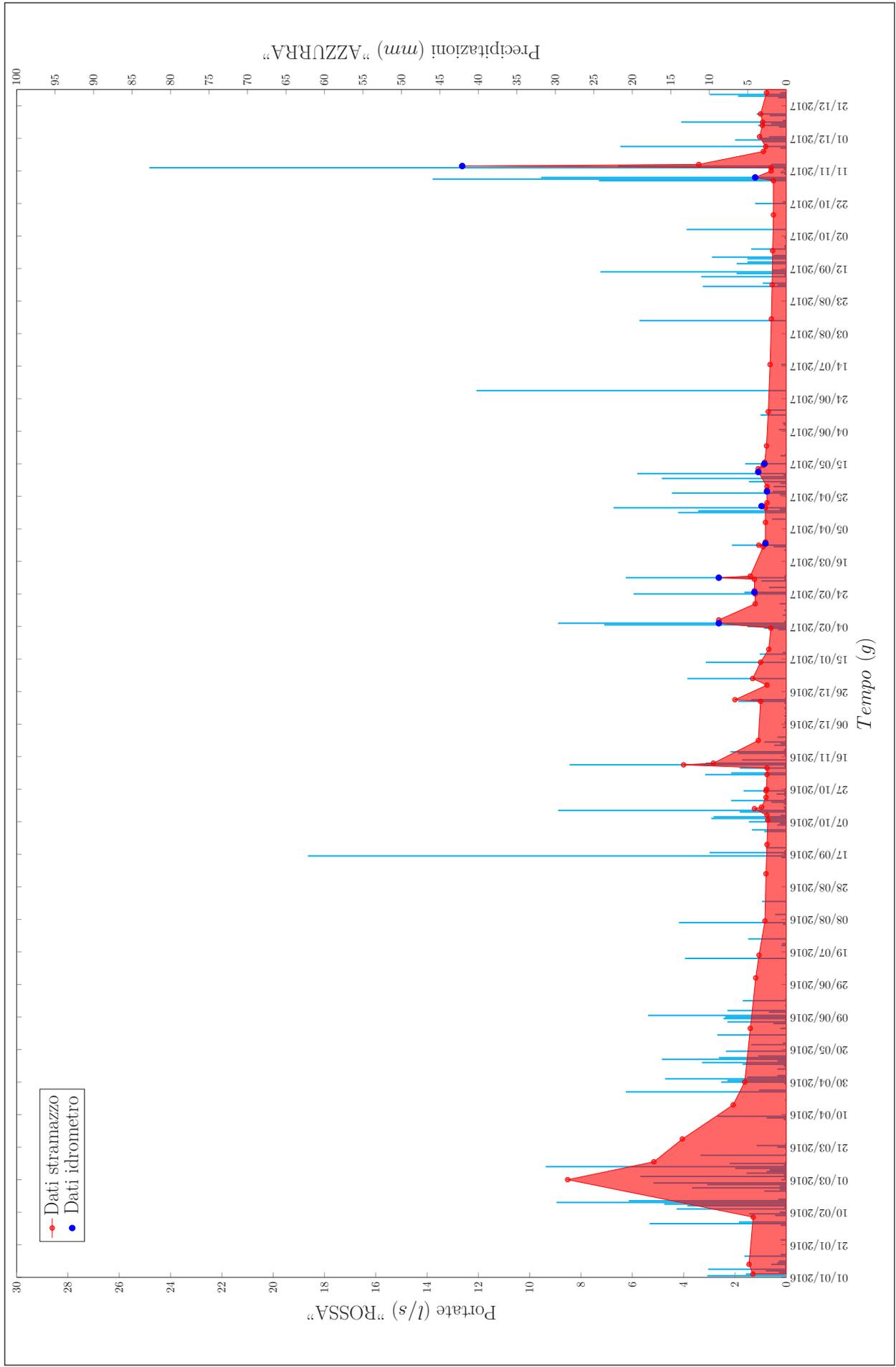


Fig. 18 – Idrogramma dell'apporto alla cascata proveniente dall'Abisso Bentini, biennio 2016-2017 (fig. 12, punto S4).

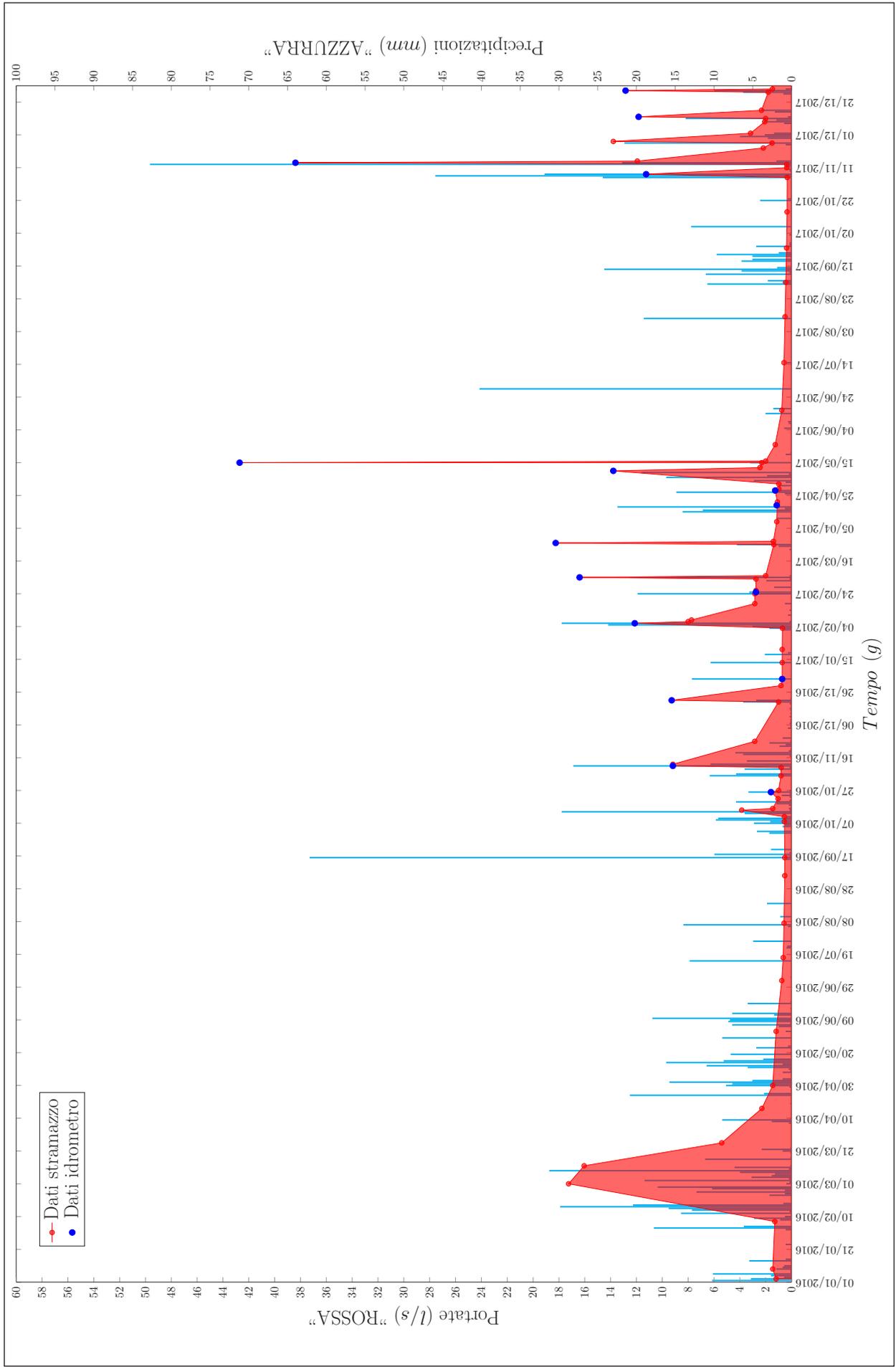


Fig. 19 – Idrogramma dell'apporto al sifone posto in sinistra idrografica, biennio 2016-2017 (fig. 12, punto S2).

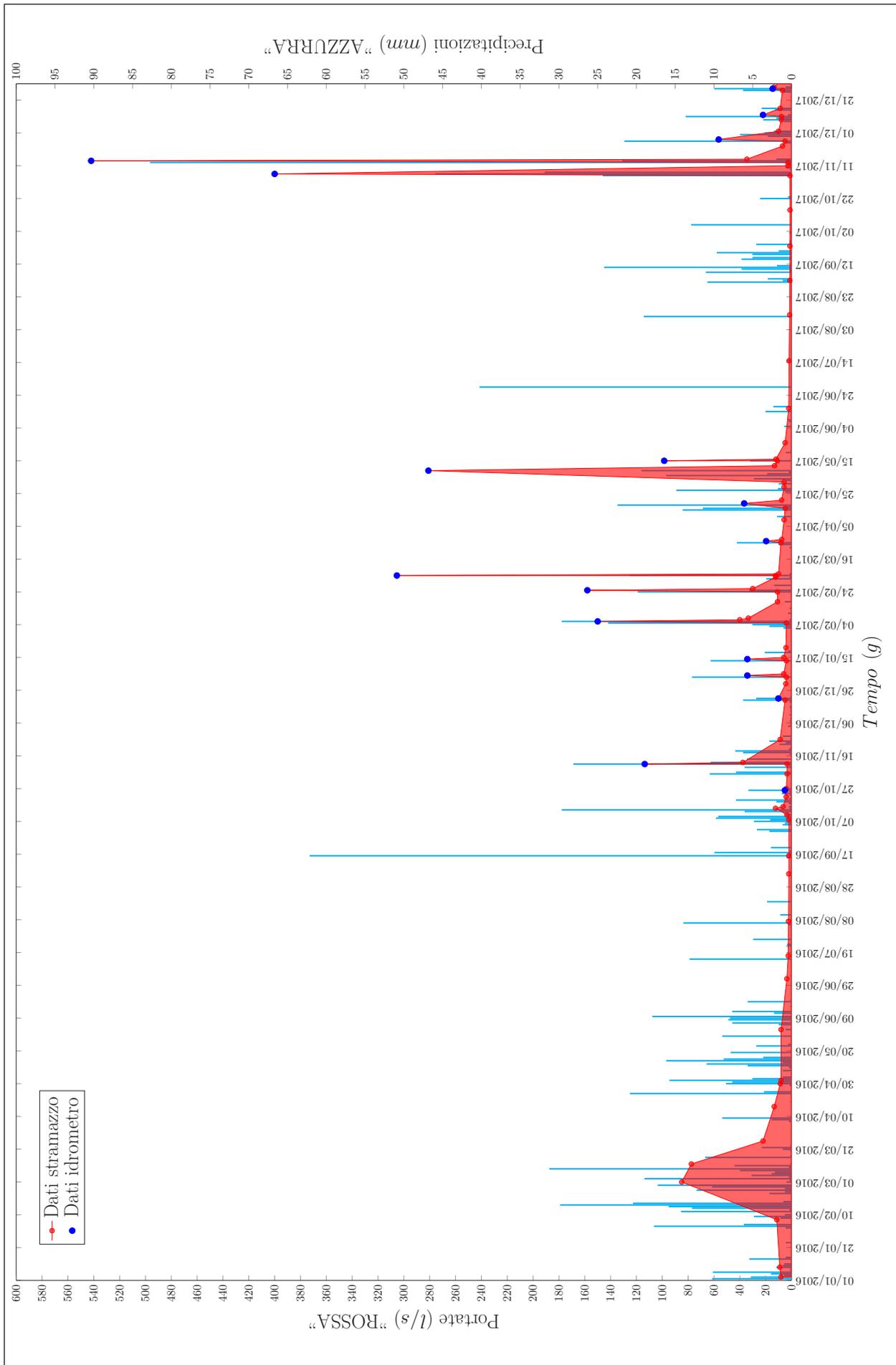


Fig. 20 – Idrogramma relativo a Basino Totale, biennio 2016-2017 (fig. 12, punto S1).

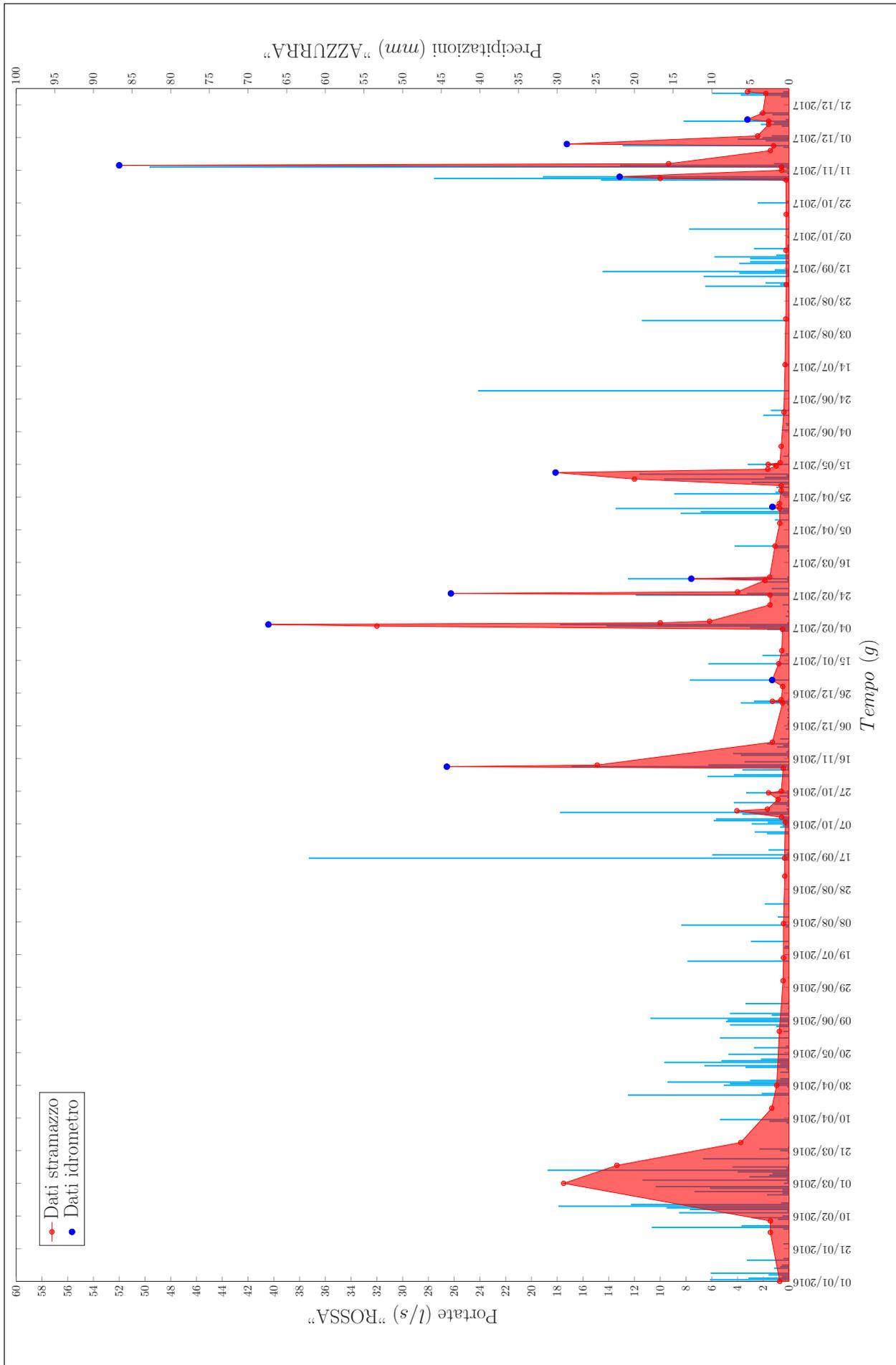


Fig. 21 – Idrogramma relativo alla Risorgente di SEMPAL, biennio 2016-2017 (fig. 2, punto 8).

manifestate solo due grandi piene (marzo 2016 e novembre 2017), mentre tra novembre 2016 e marzo 2017 si sono verificati alcuni piccoli impulsi di piena. Essendo stato installato l'idrometro solo ad inizio febbraio 2017, purtroppo non disponiamo dei dati inerenti eventuali picchi verificatisi con la piena di marzo 2016. Da un'analisi preliminare è assolutamente evidente che non vi è una relazione diretta tra intensità della pioggia e conseguente aumento di portata a livello dello stramazzo.

Per ottenere maggiori dettagli sul comportamento idrodinamico di questa sezione del sistema sono stati realizzati quattro idrogrammi relativi a periodi giudicati significativi (figg. 22-23).

I primi tre confermano che, in periodi di magra-morbida (sotto i 1÷2 litri/secondo), l'impulso di pioggia non si trasferisce immediatamente alle portate a livello dello stramazzo, ma viene evidentemente assorbito dai sistemi di fratture esistenti lungo il percorso fino al punto di misura.

Una situazione completamente differente si è avuta nei due periodi con grosse piene, di cui però il primo, essendo in quel tempo ancora non funzionante l'idrometro, non è utilizzabile per definire in maniera corretta il comportamento idrodinamico di questo sottosistema.

Fortunatamente nel novembre del 2017 i dati rilevati sono stati sufficienti per permettere una buona definizione del meccanismo di trasmissione delle acque in questo ramo della grotta.

Le prime tre piogge intense, che si sono succedute attorno al 6 novembre, non hanno infatti avuto praticamente effetto sulla portata che è cresciuta molto moderatamente e soprattutto è ritornata al valore quasi identico di prima delle piogge 4 giorni dopo.

Viceversa la forte pioggia del 13 novembre ha causato un innalzamento repentino circa 24 ore dopo l'evento (fig. 23, idrogramma b), e la curva di esaurimento è stata altrettanto rapida nonostante il 15 novembre si sia osservata un'altra precipitazione, anche se non molto intensa.

Questo comportamento allo stramazzo ci permette di affermare che i tempi di corrivazione sono di circa 24 ore. Inoltre è evidente che la curva di esaurimento è altrettanto rapida almeno nella sua fase iniziale (fig. 23, idrogramma b).

In pratica, in questo ramo del sistema, in con-

dizioni di piena lo scorrimento avviene come all'interno di un torrente esterno con velocità media di flusso di un metro al minuto.

Viceversa, durante i periodi di magra e/o morbida, le dispersioni laterali ed eventualmente anche in subalveo (comunque non ancora identificate puntualmente) sono tali da impedire un aumento anche piccolo della portata, nella maggioranza dei casi, anche se si susseguono più piogge consecutivamente (fig. 18, tra maggio e novembre 2017 e fig. 23, idrogramma a). Tale comportamento pare confermato anche dai dati inerenti la temperatura e la conducibilità (figg. 14-17).

Si è constatato che tali valori sono, in riferimento agli altri punti analizzati, i più costanti. La temperatura non ha risentito neppure delle abbondanti piogge di novembre 2017. La conducibilità, che sottolineiamo essere la più bassa tra tutti i punti campionati, solo in tale periodo di intense precipitazioni è diminuita con un tempo di risposta in linea con quella registrata presso gli altri apporti, ma con uno scostamento decisamente inferiore.

#### Sifone in sinistra idrografica

Su questa stazione l'idrometro è stato installato alcuni mesi prima rispetto al punto precedente, vale a dire a fine ottobre 2016 (fig. 19).

Dall'analisi dei dati si evince che la risposta alle precipitazioni in magra è molto simile a quella riscontrata presso l'apporto a cascatella. Infatti analizzando il periodo inerente l'estate 2017 (fig. 19), si nota che la portata è inferiore ad un l/s e le sporadiche, ma intense piogge non hanno mai influito sulla stessa.

Al contrario, quando ci si trova in morbida, con una portata prossima o superiore a 2 l/s, la risposta alle precipitazioni è più rapida.

Analizzando gli esplosi (figg. 24-25), questo comportamento è ben riscontrabile; in particolare l'idrogramma che interessa l'arco temporale 17/10/2017 - 01/12/2017 (fig. 25, idrogramma b) ben evidenzia la variazione del comportamento del regime idrico. Dopo una lunga estate siccitosa, le piogge di metà settembre hanno ricaricato in parte i sistemi, ma allo stramazzo non sono state registrati incrementi di portata. Successivamente le intense piogge verificatesi attorno al 6 novembre hanno fatto registrare un primo

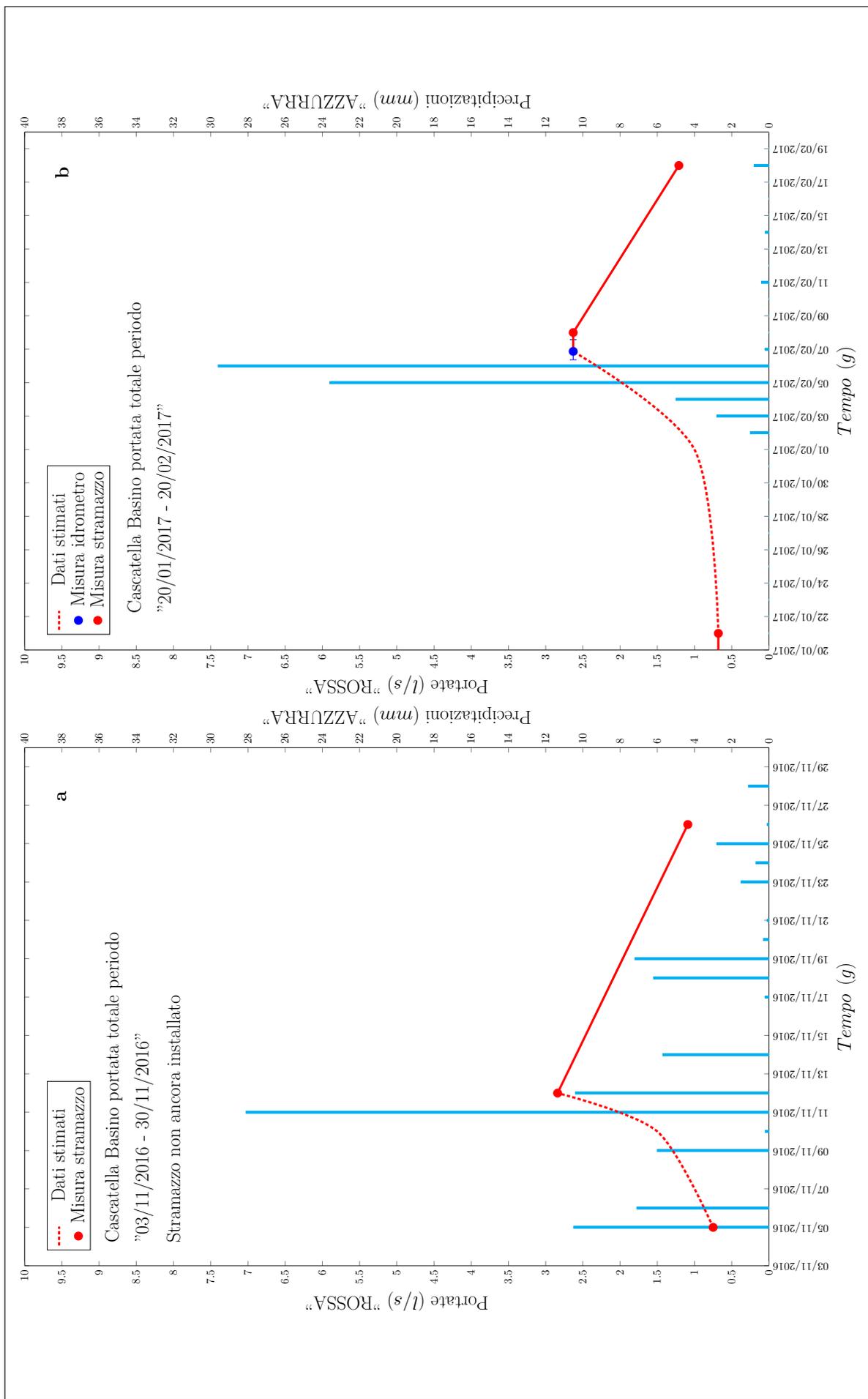


Fig. 22 – Particolare dell'idrogramma dell'apporto alla cascatella proveniente dall'Abisso Bentini. Nel grafico a) non è ancora stato installato l'idrometro, pertanto un eventuale picco di portata non è stato registrato; mentre nel grafico b) il picco registrato dall'idrometro è pari alla portata registrata sullo stramazzo due giorni dopo la precipitazione più rilevante. In entrambi i casi si nota come la curva di esaurimento sia piuttosto dolce.

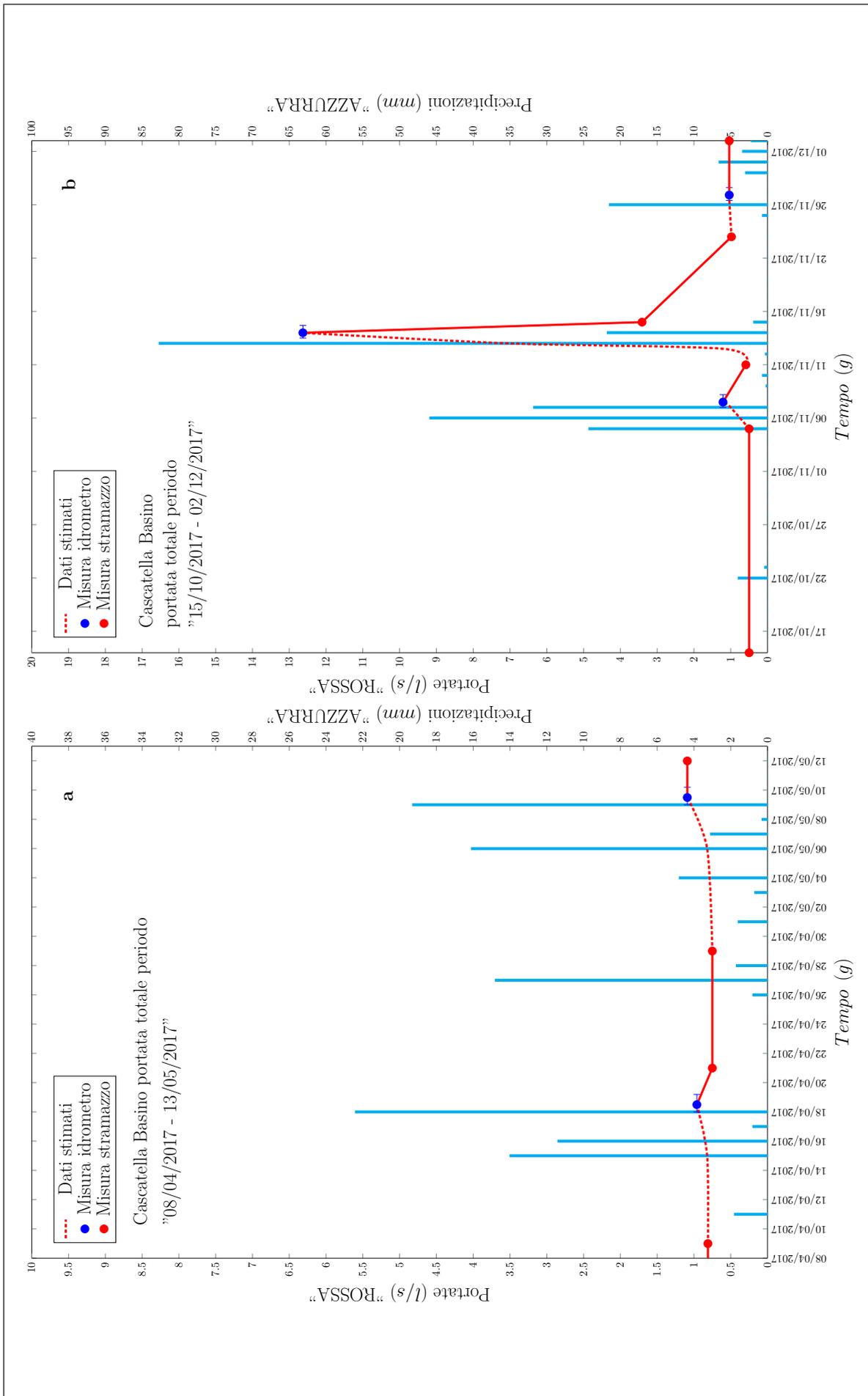


Fig. 23 – Particolare idrogramma apporto alla cascatella proveniente dall'Abisso Bentini. Nel grafico a) si nota come, in periodo di magra-morbida (portata inferiore a un l/s), l'impulso di pioggia non determini un incremento della portata a livello dello stramazzo. Nel grafico b) è evidente come, a sistemi carichi per le piogge verificatesi tra il 5 ed il 7 novembre, un'ulteriore precipitazione abbia causato un notevole incremento di portata allo stramazzo con un tempo di corrivazione stimato in circa 24 ore.

picco seguito da un rapido deflusso. Poi la successiva precipitazione del 13 novembre, molto abbondante, ha fatto sì che venisse triplicata la portata (39 l/s) con un tempo di risposta allo stramazzo piuttosto veloce, stimabile in circa 10 ore (forse anche meno). Si può notare inoltre come la curva di esaurimento sia inizialmente molto rapida, ma poi tenda a rallentare in prossimità dei 5 l/s.

Interessanti sono risultati i comportamenti della temperatura e della conducibilità in risposta alle precipitazioni e quindi in risposta all'incremento e decremento delle portate.

In periodi di magra e morbida, al verificarsi di precipitazioni, i valori tendono ad incrementare lievemente, per poi riassetarsi sui valori precedenti. Mentre quando i sistemi sono carichi, abbondanti precipitazioni, che fanno registrare considerevoli incrementi di portata, fanno altresì registrare, *in primis*, un incremento di temperatura e conducibilità, seguito poi da una diminuzione, quindi una risposta in ritardo rispetto agli altri sistemi analizzati.

Pertanto ci troviamo dinanzi ad un classico "effetto pistone", per cui l'acqua che genera il picco di portata non è quella meteorica proveniente dall'esterno, ma è un'acqua stoccata nell'acquifero carsico da più tempo. Tale fatto è confermato infatti dalla sua temperatura più elevata (la temperatura media è di 12,9° C, circa un grado in più rispetto a quella proveniente dall'Abisso Bentini), e dalla sua maggiore conducibilità.

Ciò comporta di conseguenza un tempo di corrivazione più lungo rispetto agli altri sottosistemi, che però è difficile da definire in maniera esatta. Comunque se si confrontano i grafici generali della temperatura e della conducibilità (figg. 14-17) con l'idrogramma, inerente sempre il periodo di novembre 2017 (figg. 19-25), si nota che al primo picco avutosi tra il 7 e l'8 novembre si ha un aumento sia della temperatura che della conducibilità. Quindi le precipitazioni delle 48 ore antecedenti hanno alimentato il grande serbatoio sotterraneo e, con un "effetto pistone", hanno determinato l'innalzamento della portata, ma non sono ancora evidentemente giunte al punto di misura. Il decremento dei valori della temperatura e della conducibilità è stato infatti registrato solo in data 15 novembre, ben 7 giorni dopo.

Per quanto concerne la conducibilità, tale

comportamento appare ancor più evidente nel punto di monitoraggio P3 (figg. 12-17), che è il recapito terminale del grande serbatoio presente nel subalveo (vedi box nelle pagine successive).

I pochi dati sino ad oggi disponibili non permettono comunque di determinare con ragionevole precisione i tempi di corrivazione, ma è possibile affermare che essi sono sicuramente compresi tra le 48 ore dell'arrivo della piena e le 360 ore necessarie per riequilibrare la temperatura e la conducibilità.

### Uscita risorgente Rio Basino

Le misure su tale sottosistema sono state effettuate utilizzando lo stramazzo, denominato nel paragrafo precedente Thomson + Bazin (figg. 8-9); l'idrometro è stato installato a ottobre 2016.

Questo quarto punto analizzato, più che un sottosistema, rappresenta il recapito finale e quindi il suo comportamento è dato dalla sommatoria dei tre sottosistemi precedentemente descritti.

Dall'idrogramma generale (fig. 20) è ben chiaro come in periodi di magra, anche in questo caso, non vi sia stata risposta alle precipitazioni. Le acque raccolte, anche quelle della valle cieca del Rio Stella, sono quindi andate a caricare i sistemi, ma non sono state sufficienti per portare un aumento del regime idrico allo stramazzo. Infatti, come indicato anche nel primo sottosistema analizzato, spesso il tratto a monte della cascatella è risultato totalmente secco anche dopo il verificarsi di piogge di media intensità. Questo non perché dalla valle cieca non ci fosse apporto idrico, ma perché nella zona dei laminatoi (fig. 12, punto P20), l'acqua viene veicolata nel subalveo.

Nei periodi di morbida e piena, invece, la risposta alle precipitazioni è molto repentina, così come la fase di esaurimento.

Negli idrogrammi, riportanti gli esplosi di specifici periodi (figg. 26-27), è ben evidente tale comportamento. In particolare in quello di fig. 27, grafico b, si può notare come le piogge del 6 novembre abbiano fatto registrare un picco importante, con una risposta più veloce rispetto a quella del sifone. Successivamente, in entrambi i casi, la portata è diminuita notevolmente portandosi sui livelli prossimi a quelli antecedenti la precipitazione, per poi

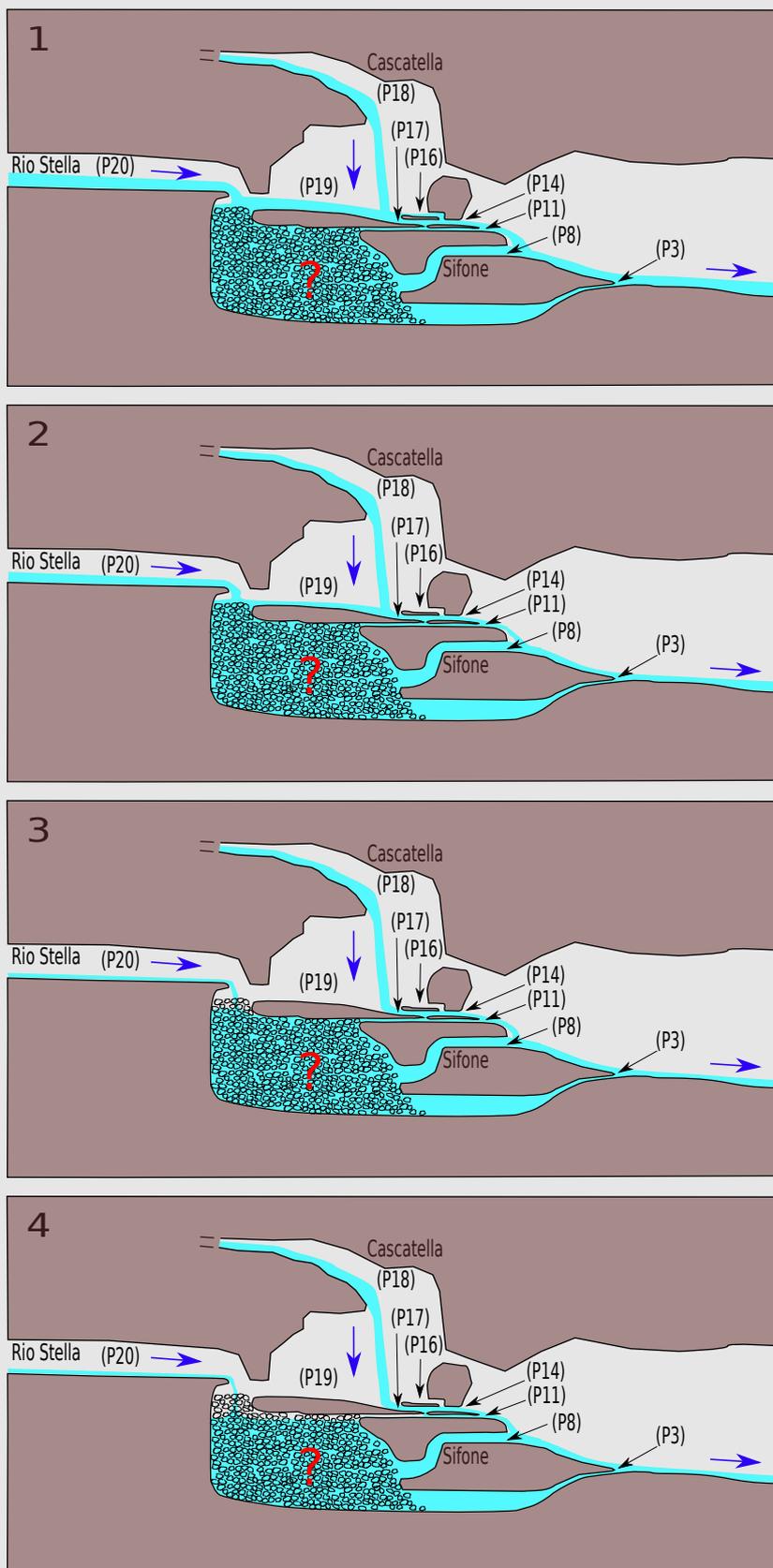
## Il sifone della Grotta risorgente del Rio Basino è un'ansa ipogea?

Definire la provenienza delle acque in sinistra idrografica all'interno della grotta Risorgente del Rio Basino è stato un problema che ha da sempre attirato l'interesse degli speleologi. Bisognava infatti capire se l'acqua che scaturisce dal sifone provenisse da una specie di "ansa ipogea", comunque da perdite dell'alveo del torrente sotterraneo, oppure fosse l'apporto originale di un vasto sistema carsico presente a Monte della Volpe, ma ancora totalmente sconosciuto.

Le osservazioni sperimentali effettuate durante il presente studio e le conseguenti valutazioni in termini di bilancio idrogeologico, hanno portato a propendere per l'ipotesi dell'ansa ipogea. Ciò non esclude la presenza di apporti da Monte della Volpe, ma ne limita la portata e pertanto le dimensioni dell'eventuale bacino di alimentazione (fig. 33).

A tale conclusione non si è giunti tenendo solamente conto dei volumi di acqua stimanti in entrata ed in uscita; infatti sarebbe bastato considerare l'evapotraspirazione maggiore nella valle cieca del Rio Stella per confutare tale ipotesi. È stato quindi calcolato il bacino idrologico di alimentazione del Rio Basino e del sifone anche considerando un errore del  $\pm 10\%$  sulla percentuale di evapotraspirazione precedentemente utilizzata (58%), quindi con 52% e con 64% rispettivamente.

Nel primo caso si avrebbe un volume di acqua in entrata dalla valle cieca del Rio Stella pari a  $870.854 \text{ m}^3$ . È evidente come un valore così basso di evapotraspi-

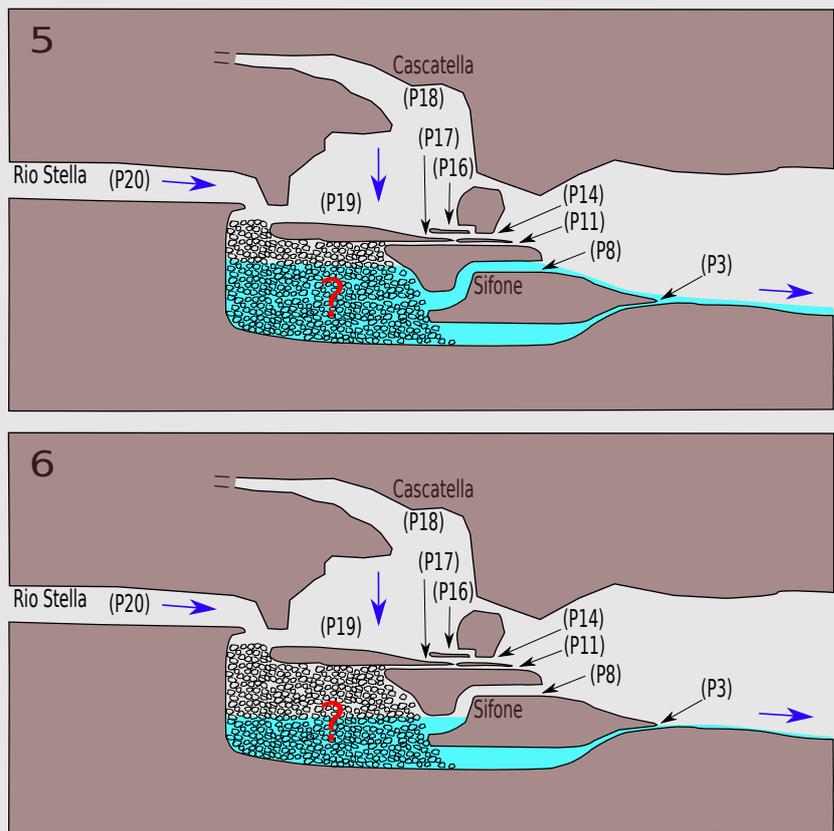


razione non sia corretto, poiché l'acqua entrata risulterebbe nettamente maggiore di quella in uscita.

Se inoltre, il valore in uscita fosse decurtato anche dell'apporto del sifone,  $159.097 \text{ m}^3$ , il disavanzo sarebbe di oltre il 25% ( $870.854 \text{ m}^3 > 638.954 \text{ m}^3$ ).

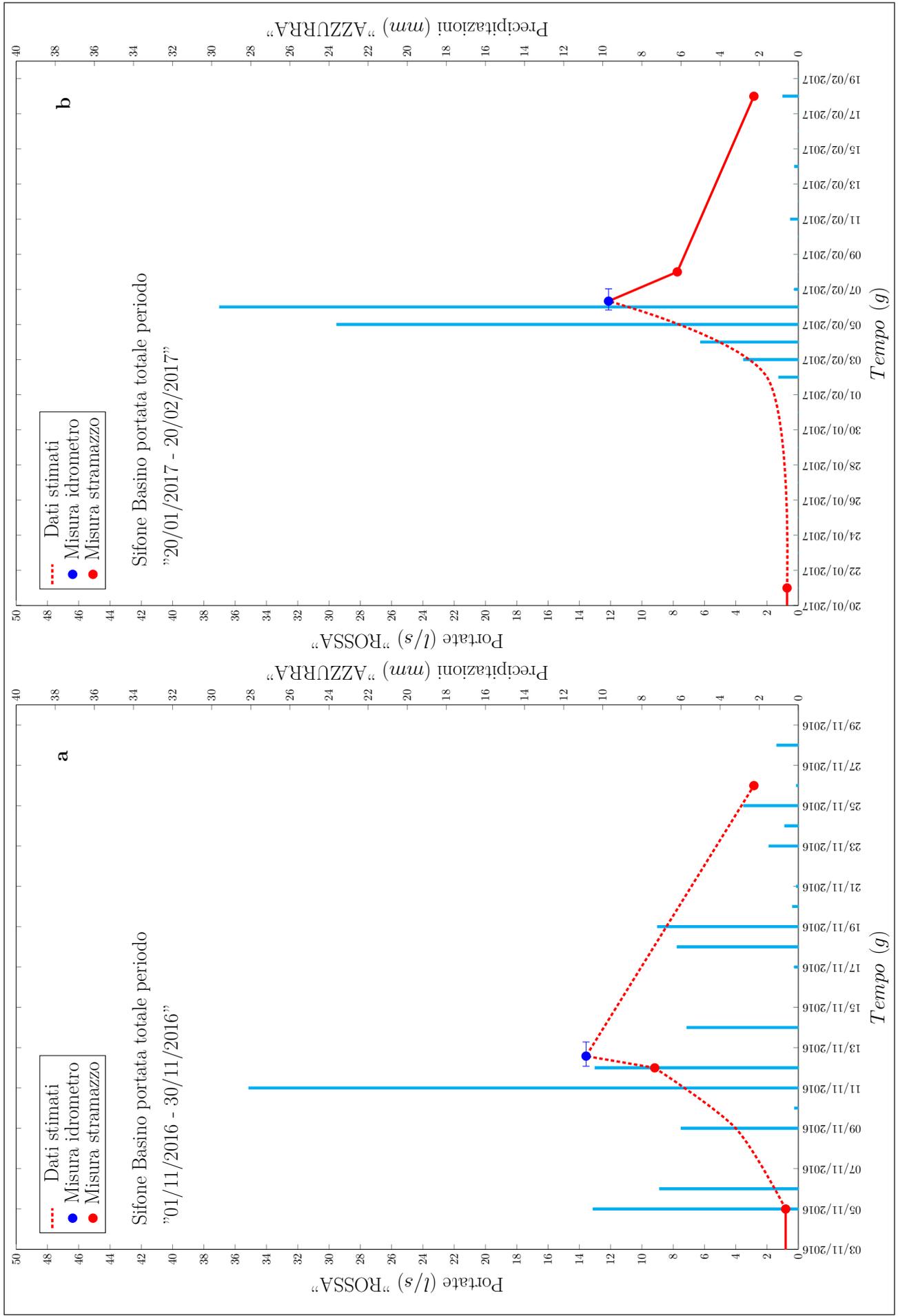
Nel caso i volumi venissero calcolati con evapotraspirazione maggiore (64%), si avrebbe un volume d'acqua in ingresso pari a  $653.141 \text{ m}^3$ . Un valore un po' più alto del volume di acqua stimata in uscita, ma molto vicino: lo scarto infatti sarebbe solamente di circa il 2%. In tal caso potremmo considerare il bilancio in pareggio, quindi l'apporto proveniente dal sifone sarebbe totalmente indipendente dall'apporto della valle cieca e proveniente da un grande bacino posto sotto il Monte della Volpe, approssimativamente stimabile in  $0,68 \text{ Km}^2$ . Ma l'analisi rapportata ad altri fattori (andamento delle temperature e variazioni della conducibilità), assieme al confronto con il comportamento dell'apporto proveniente dall'Abisso Bentini, porta a propendere per l'ipotesi di un grande "serbatoio" nel subalveo del fiume sotterraneo, del quale il sifone è l'esutore più cospicuo ed evidente.

Per quanto detto, si è giunti alla conclusione che approssimativamente il 70÷80% delle acque fuoriuscite dal sifone siano riconducibili alle acque provenienti dalla valle cieca, e successivamente parzialmente disperse nel subalveo del fiume sotterraneo.



(A sinistra e in questa pagina) Modello concettuale dell'alimentazione dei vari punti di controllo all'interno del sistema Rio Stella-Rio Basino, ottenuto sulla base dei dati di flusso misurati durante lo studio. Si precisa che nella restituzione grafica bidimensionale non è stato possibile rispettare l'ordine di miscelazione delle acque. Le ultime due situazioni, raffigurazioni 5 e 6, non si sono verificate durante il periodo di studio, non essendosi realizzate le condizioni per il loro instaurarsi. Ma la situazione rappresentata dalla raffigurazione 5 è stata riscontrata nell'autunno del 1990, anno di estrema siccità: l'unica acqua scorrente nel Rio Basino ipogeo era quella proveniente dal sifone, poiché completamente in secca erano sia il "corso principale" a monte di quest'ultimo, sia la cascatella (BENTINI 2003).

- 1) condizioni di piena con tutti gli arrivi attivi;
- 2) al diminuire del flusso totale il primo punto ad andare in secca è il P16; l'acqua proveniente dal Rio Stella e dalla cascatella si perde presso il punto P17 e torna ad alimentare l'alveo del torrente ipogeo più a valle;
- 3) la diminuzione delle portate in entrata dal Rio Stella, periodi di magra e morbida, porta in secca anche il punto P19, poiché, presso il punto P20, parte terminale dei laminatoi, l'acqua si immette nel subalveo;
- 4) in condizioni di maggiore siccità il serbatoio di subalveo cessa di alimentare i punti P11 e P14, che rimangono attivi solo per l'apporto dalla cascatella;
- 5) in periodo di eccezionale magra potrebbero essere resi inattivi anche gli arrivi P11 e P14;
- 6) infine, in periodi di prolungata estrema siccità, dovrebbe teoricamente esaurirsi anche il principale arrivo dal subalveo: il sifone in sinistra idrografica.



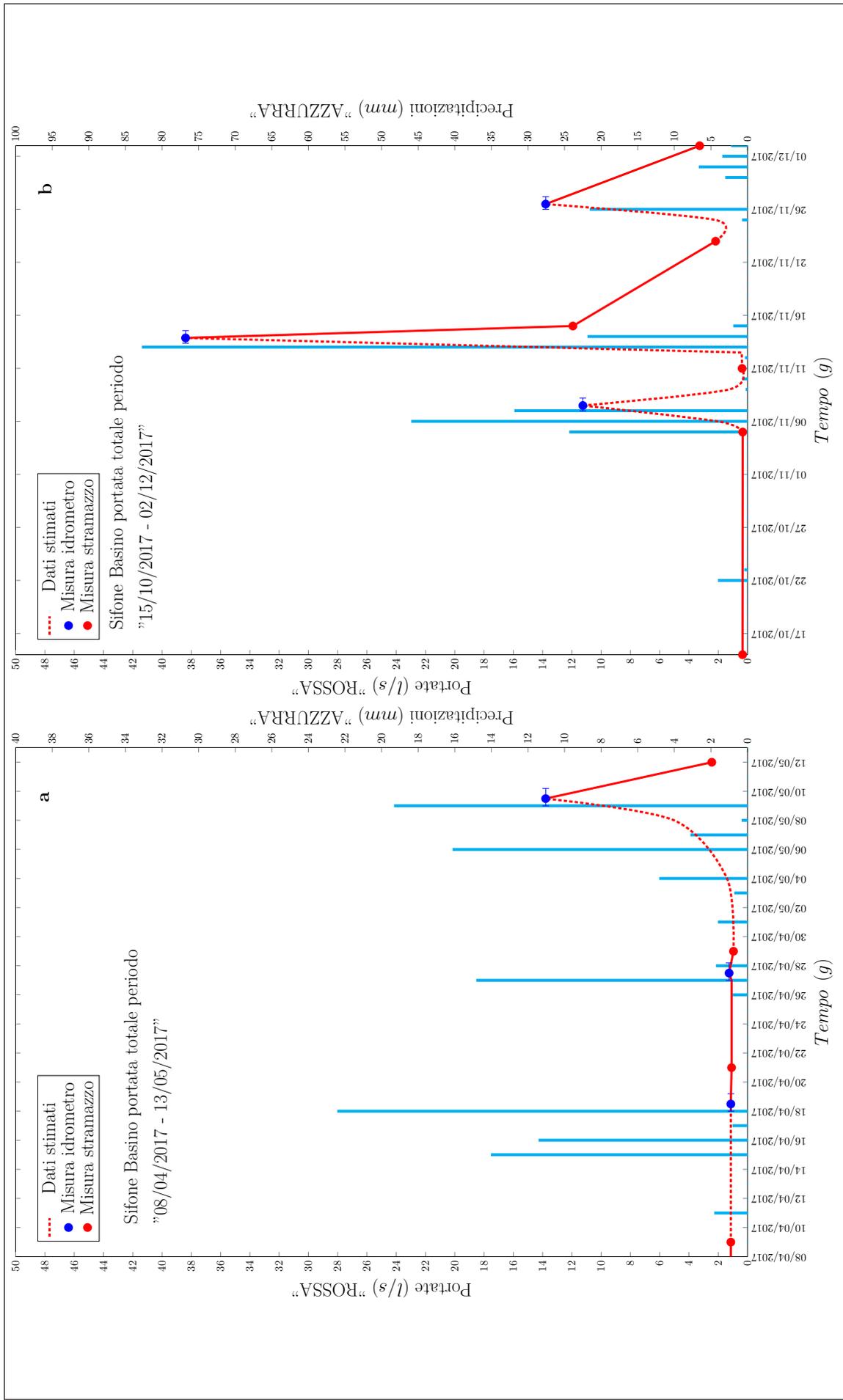
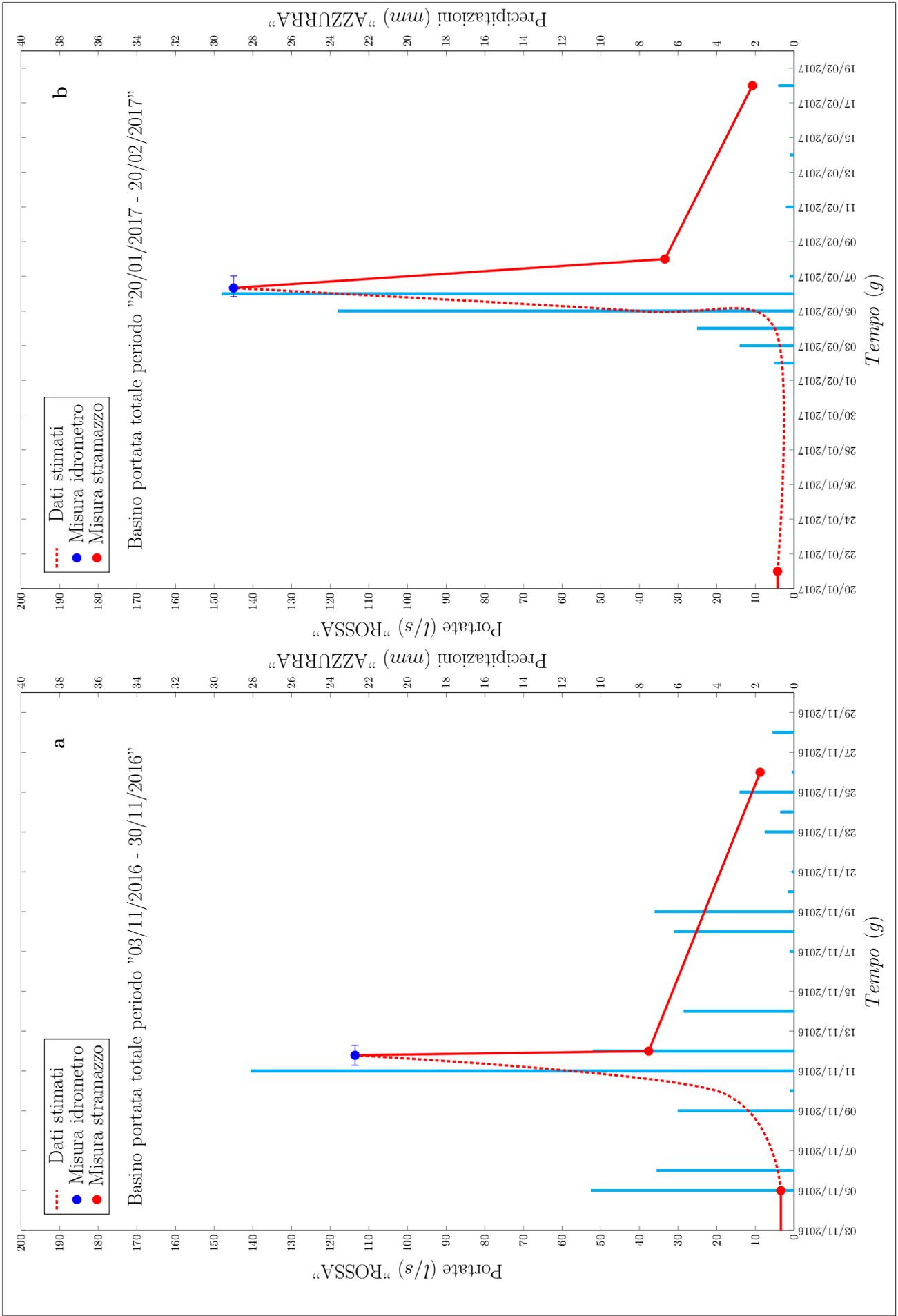


Fig. 24-25 – Particolare dell'idrogramma dell'apporto al sifone posto in sinistra idrografica. Nei periodi analizzati si nota come in tempi di magra-morbida le precipitazioni, in primis, ricaricano il sistema e solo dopo un'ulteriore pioggia si ha una risposta con l'aumento di portata allo stramazzo. La curva di esaurimento stimata è piuttosto dolce; tale comportamento si è riscontrato con portate sino a 10-12 l/s, mentre a picchi maggiori segue un deflusso molto rapido che tende a rallentare in prossimità del valore sopraindicato. Ciò è ben evidente in fig. 25.



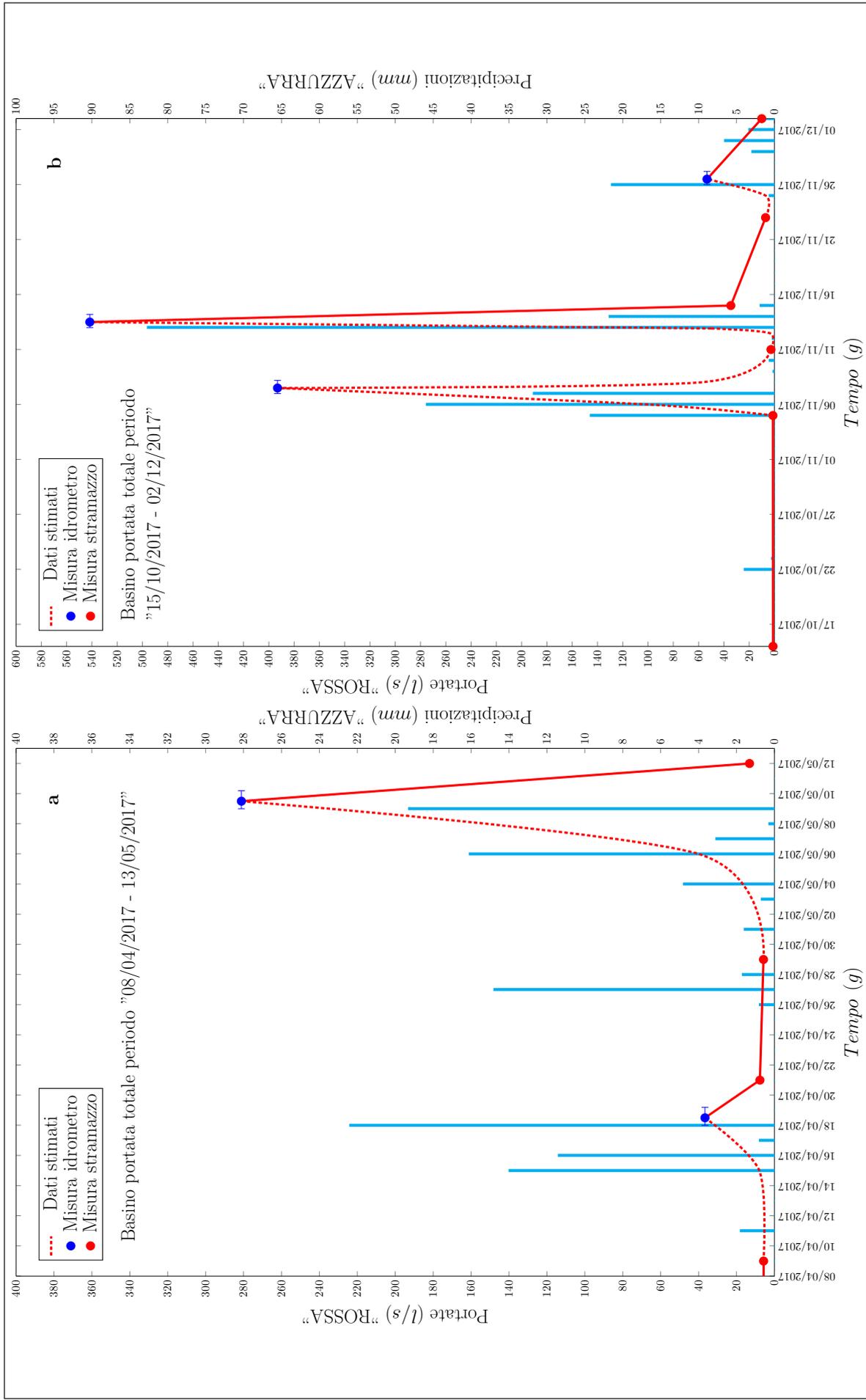


Fig. 26-27 – Particolare dell'idrogramma Basino Totale. Analizzando il comportamento delle portate nei quattro grafici, si nota come in periodi di magra, al verificarsi di precipitazioni non vi sia risposta con aumento di portata allo stramazzo, evidente nella fig. 27, grafico a. Mentre le risposte in periodi di morbida e piena sono molto repentine, così come le successive curve di esaurimento. Tale comportamento è facilmente giustificabile dalla connessione diretta con l'apporto proveniente dalla valle cieca del Rio Stella.

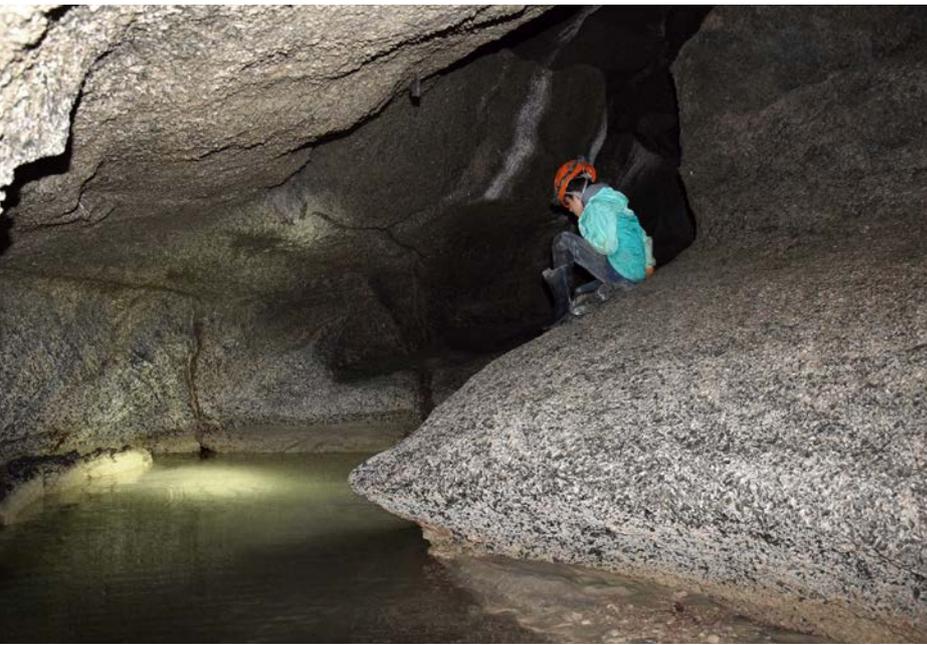


Fig. 28 – Apporto in destra idrografica, panoramica (in alto) e particolare (in basso), con recapito al punto P11 di fig. 12 (foto E. Sfrisi).

dare i valori massimi in corrispondenza della ravvicinata ed intensa precipitazione del 13 novembre: portata massima registrata con idrometro presso Basino Totale 542 l/s, presso il sifone 39 l/s.

I tempi di corrivazione sono molto veloci, stimabili in circa 4÷6 ore; l'acqua scorre dunque nel letto del torrente ipogeo (ed epigeo) alla velocità media di circa 5÷6 metri al minuto.

Analizzando le portate sullo stramazzo del Basino Totale si è riscontrato, sin dai

primi sopralluoghi, che vi è un disavanzo: la somma delle portate misurate al punto S5, S4, S3 ed S2 (fig. 12) è inferiore a quanto registrato sullo stramazzo totale S1; questo si verifica anche quando il punto S5 è in secca. In periodi di magra il disavanzo è minimo; in periodi di piena si è misurato un disavanzo massimo di 5÷6 l/s, vale a dire circa il 15÷20% sulla portata totale, ma l'incidenza maggiore si è riscontrata nei periodi di morbida, quando con portata totale tra i 3 ed i 15 l/s il disavanzo sale al 40÷50%.

Probabilmente l'acqua proveniente dal Rio Stella che viene convogliata nel subalveo, torna ad alimentare il torrente, oltre che nei punti monitorati, anche nell'apporto in destra idrografica, situato nel gomito di un'ampia curva del meandro principale, punto P11 (figg. 12-28), dove non è possibile installare uno stramazzo poiché l'acqua alimenta, attraverso un foro nell'alveo, una sorta di laghetto. Non si escludono anche altri punti di transito tra il subalveo e l'alveo, ma al momento questi ultimi non sono stati identificati.

Sicuramente dall'apporto P11 fluiscono anche le acque provenienti dall'Abisso Bentini che, in periodo di magra e morbida, scompaiono pochi metri dopo la cascatella presso il punto P17 (figg. 12-29).

La temperatura e la conducibilità sono ovviamente influenzate dalle acque degli apporti del sifone e della

cascatella. La temperatura in periodi di magra e morbida si mantiene pressoché costante su valori leggermente inferiori a quella dei due apporti sopramenzionati, ma quando l'apporto diretto dalla valle cieca è rilevante, cioè quando il tratto a monte della cascatella si attiva poiché i sistemi sono già carichi, i valori diminuiscono considerevolmente (figg. 14-17) in corrispondenza all'aumento della portata. La conducibilità segue un andamento del tutto analogo, ma di partenza ha un valore intermedio tra il sifone e la cascatella.

### Grotta risorgente SEMPAL

L'apporto proveniente dalla Grotta risorgente SEMPAL è ubicato lungo la forra del Rio Basino in destra idrografica. Anche presso questo stramazzo è stato installato un idrometro a fine ottobre 2016. Questo sottosistema drena sicuramente le acque della zona più settentrionale di Monte Mauro sino alle doline dove si aprono la Grotta della Colombaia e la Grotta del Pilastrino, percorrenza verificata mediante colorazione con fluoresceina nel dicembre del 2002 (POGGIALINI 2010). Ma resta da definire sino a quali doline poste più a sud, sud-ovest e sud-est fa capo.

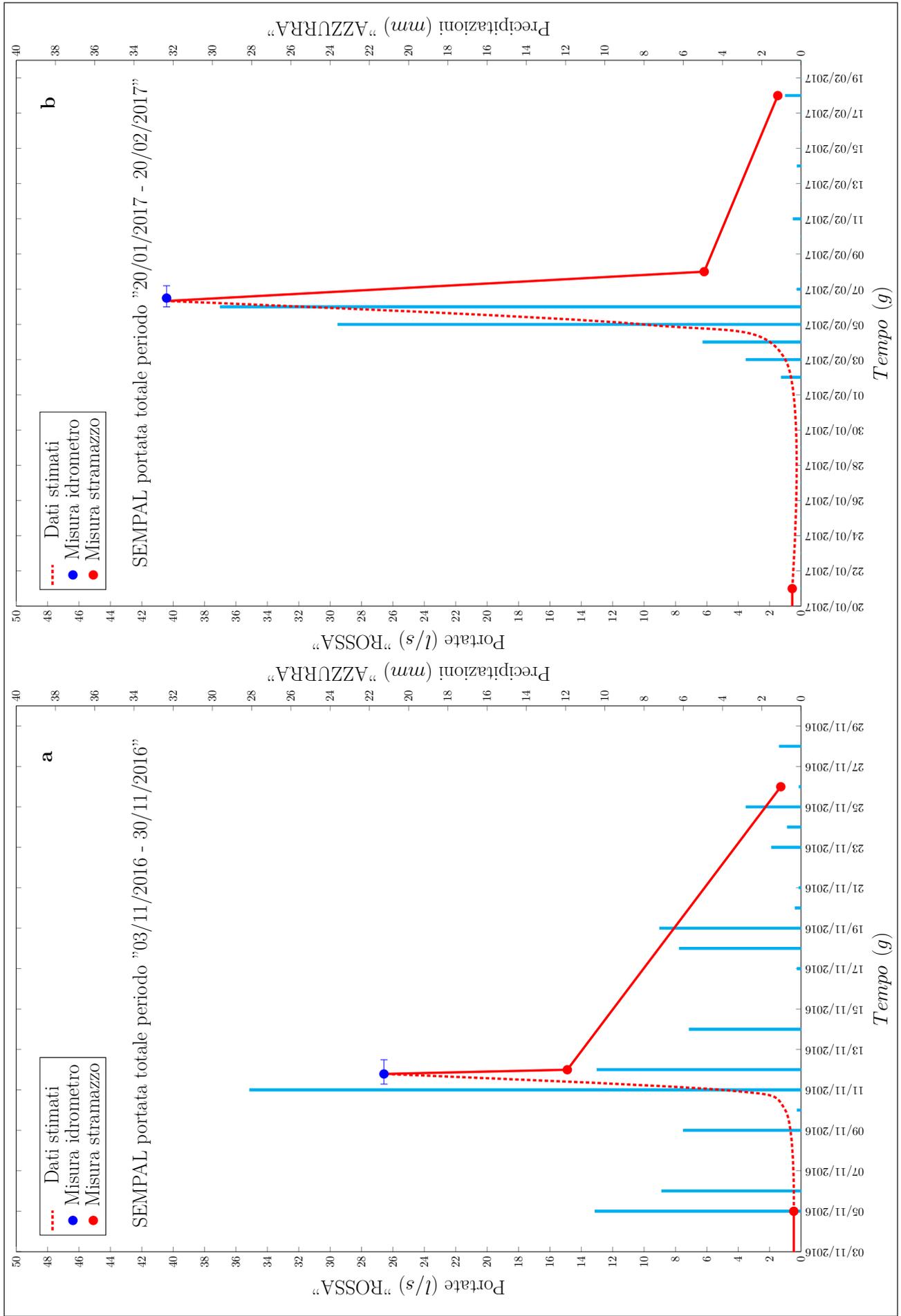
I dati raccolti durante il periodo di osservazione, portata media, picchi di portata massima, tempi di corrivazione stimati, temperatura e conducibilità, fanno presupporre un ampio bacino di alimentazione che con ragionevole certezza interessa anche la grande dolina posta a sud di Ca' Castellina, per lo meno l'area in cui si apre la grotta omonima, mentre per quanto riguarda l'inghiottitoio a sud-est, dove è situato l'Abisso Babilonia, si nutrono perplessità e si ipotizza una confluenza nel sistema che alimenta la Risorgente di Cassano. Questo perché da rilievo, effettuato negli anni Ottanta, la profondità massima, dove vi è un laghetto sifonante, pare inferiore alla quota del collettore: quota scorrimento acque presso Grotta della Colombaia circa 240 m; fondo Abisso Babilonia circa 223 m.

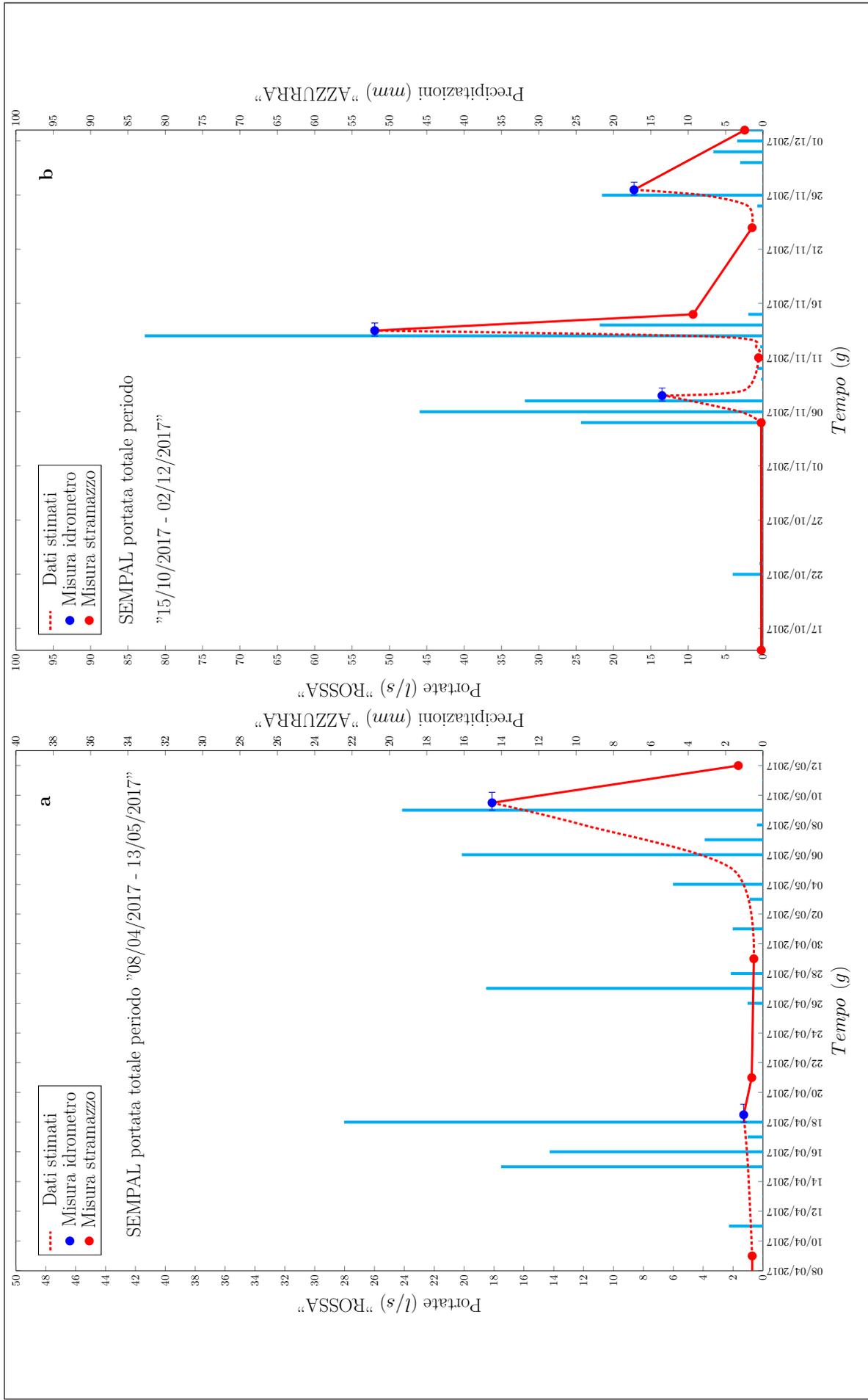
Come gli altri sottosistemi sin qui analizzati, in tempi di magra e morbida al verificarsi delle precipitazioni non vi è risposta alla stramazzo (fig. 21). Risposta che invece risulta molto repentina quando il sistema è carico (figg. 21, 30-32). I picchi di portata sono maggiori di quanto registrato presso l'idrometro dell'Abisso Bentini e presso l'idrometro del sifone. La portata massima

durante il periodo di studio è stata di 52 l/s, registrata in data 13 novembre 2017 (fig. 31, grafico b); successivamente, durante un sopralluogo effettuato a febbraio 2018, dopo intense precipitazioni, si è riscontrato che l'idrometro ha segnato ben 89 l/s, mentre quello posto presso lo stramazzo del Rio Basino è andato a fondo scala, facendo supporre un picco superiore ai 700 l/s. Infine lo stramazzo presso il sifone ha fornito un valore di 38 l/s e quello della cascatella di 15 l/s.



Fig. 29 – In periodo di magra-morbida l'acqua proveniente dall'Abisso Bentini, mediante la cascatella in destra idrografica, si immette nel subalveo pochi metri a valle, nel punto identificato come P17 (fig. 12). Nella foto in alto si può notare come l'apporto dal Rio Stella, a monte della cascatella, sia in secca. Le foto sono state scattate in data 12/08/2017 (foto S. Zauli).





Figg. 30-31 – Particolare dell'idrogramma registrato alla Risorgente di SEMPAL. Analizzando i quattro grafici è evidente come in periodi di magra-morbida al verificarsi delle precipitazioni non vi sia risposta con aumento di portata allo stramazzo. Al contrario, in periodi di piena i picchi di portata sono molto evidenti e repentini, così come la fase di esaurimento. Il comportamento di tale risorgente si avvicina a quello del Rio Basino, ovviamente con risposte più smorzate e tempi di corrvazione più lunghi, stimabili in circa 12 ore.



Fig. 32 – Stramazzo ubicato presso la Risorgente di SEMPAL: A) particolare in periodo di magra, foto effettuata in data 21/04/2017, portata rilevata allo stramazzo 0,75 l/s; B) in periodo di piena, foto effettuata in data 24/02/2018, portata rilevata allo stramazzo 45 l/s (foto S. Zauli).

La risposta alle precipitazioni ed i tempi di deflusso molto veloci hanno confermato quanto riscontrato in occasione della colorazione del 2002, vale a dire che i tempi di corrvazione di questo sottosistema sono prossimi alle 10÷12 ore. Si ipotizza che una portata così alta e una così veloce percorrenza possano essere riconducibili solo ad un importante bacino di raccolta con breve zona di trasferimento.

La temperatura dell'acqua di questo apporto si mantiene costante mentre la conducibilità diminuisce considerevolmente all'aumentare della portata, il valore aumenta poi lentamente sino a posizionarsi, in periodi di magra e morbida, su valori più elevati rispetto agli altri punti analizzati (eccezion fatta per quanto registrato presso il punto P3 della Grotta risorgente del Rio Basino) (figg. 12, 14-17).

#### Individuazione dei bacini imbriferi che alimentano i principali sistemi carsici di drenaggio

Sulla base di tutti i dati sperimentali disponibili, sia acquisiti direttamente in questo stu-

dio sia ricavati dalla bibliografia esistente, è stato possibile, per la prima volta ottenere una definizione puntuale, anche se non definitiva, dei vari sottobacini che alimentano i principali dreni carsici dell'area (fig. 33).

Fondamentale è stata la ricostruzione del bilancio idrologico per ogni singolo punto di recapito.

Per calcolare le dimensioni dei bacini idrologici di assorbimento delle acque si è partiti dai seguenti dati:

- 1163 mm di pioggia caduti in 594 giorni, dal 07/02/2016 al 23/09/2017;
- volumi acqua registrati in uscita nei punti di misura con stramazzo e idrometro (portata media litri al secondo 3600 secondi x 24 ore x 594 giorni, il tutto diviso 1000 per avere la corrispondenza in m<sup>3</sup>);
- ruscellamento zero;
- evapotraspirazione nel bacino della valle cieca del Rio Stella: 58%;
- evapotraspirazione restanti aree, con presenza di canali, doline ostruite e folta vegetazione: 80%.

Relativamente ai valori di evapotraspirazione considerati, va notato che la differenza tra la valle cieca del Rio Stella e le altre aree è dovuta alle loro differenti caratteristiche.

Per quanto concerne la valle cieca del Rio Stella: la formazione geologica che caratterizza l'area è la Marnosa-arenacea, materiale impermeabile; per la sua morfologia la valle raccoglie le acque come un catino e le convoglia verso la parete gessosa, dove si inabissano dando luogo al traforo idrogeologico Rio Stella-Rio Basino; la vegetazione è del tipo prativo-arbustiva, con assenza, quasi totale di alberi. Per tali caratteristiche si è convenuto attribuire un valore di evapotraspirazione compreso tra 55 e 60% (valore medio: 58%) (fig. 3).

Le restanti zone, che comprendono praticamente tutto l'affioramento gessoso, sono caratterizzate da una folta vegetazione ad alto fusto ed in alcuni punti è presente un fitto sottobosco; le doline sono quasi tutte occluse. Date queste caratteristiche, la maggior parte delle acque meteoriche vengono trattenute in superficie e l'evapotraspirazione è molto rilevante (80% circa).

La prime due stime effettuate hanno riguardato i bacini di alimentazione dell'Abisso Bentini, apporto a cascatella in della idrografica Grotta risorgente del Rio Basino (fig. 12, punto S4) e della Grotta risorgente SEMPAL (fig. 2, punto 8). Questo perché era più intuitiva la loro definizione sulla base di una analoga situazione litologica e idrogeologica.

Si è partiti dalla stima del volume d'acqua registrato in uscita in ambedue le grotte, poiché risultava complesso definire in maniera esatta e puntuale il bacino di alimentazione, dato che questi ultimi si sviluppano tutti all'interno di un'area carsica priva di evidenti limiti morfologici ben identificabili:

- volume d'acqua registrato in uscita presso lo stramazzo della cascatella: 87.247 m<sup>3</sup>;
- volume d'acqua registrato in uscita presso lo stramazzo alla risorgente SEMPAL: 130.870 m<sup>3</sup>.

Considerando un valore di evapotraspirazione pari all'80%, l'acqua precipitata nei due bacini risulterebbe ammontare a:

- bacino Abisso Bentini 436.234 m<sup>3</sup>;
- bacino SEMPAL 654.350 m<sup>3</sup>.

Per verificare la correttezza di questa assunzione e poter identificare geograficamente i bacini imbriferi, si sono calcolate le superfici (S) in km<sup>2</sup>:

- $S = 436.234 \text{ m}^3 / 1000 / 1163 \text{ mm}$  quindi  $S = 0,375 \text{ km}^2$  (bacino Abisso Bentini);
- $S = 654.350 / 1000 / 1163$  quindi  $S = 0,563 \text{ km}^2$  (bacino Grotta SEMPAL).

A questo punto è stato affrontato il calcolo della superficie del bacino che alimenta il complesso carsico Rio Stella-Rio Basino, utilizzando una metodologia un po' differente.

Questo perché l'alimentazione di questo acquifero avviene, per una gran parte, da apporti dalla valle cieca del Rio Stella e in misura non così facilmente definibile dal sifone in sinistra idrografica (fig. 12, punto S2):

Acqua uscita in totale 885.298 m<sup>3</sup>  
- apporto cascatella -87.247 m<sup>3</sup> (sottratto poiché trattasi del bacino dell'Abisso Bentini)  
= acqua Rio Stella + sifone = 798.051 m<sup>3</sup>  
(di cui 159.097 m<sup>3</sup> è riferito all'apporto del sifone).

Sulla base dei criteri esposti precedentemente, l'acqua proveniente esclusivamente dal bacino della valle cieca del Rio Stella, risulta essere: 798.051 m<sup>3</sup> - 159.097 m<sup>3</sup> = 638.954 m<sup>3</sup>.

Il bacino della valle cieca del Rio Stella è ben delineabile e, conseguentemente, facilmente calcolabile: 1,56 km<sup>2</sup>; lo stesso risultato è stato ottenuto dal Frattini nel 1954.

Sulla base dei dati pluviometrici disponibili, e sulla base della superficie della valle cieca, l'acqua totale caduta nel bacino nel periodo in oggetto risulterebbe essere:

$$1,56 \text{ km}^2 \times 1000 \times 1163 \text{ mm} = 1.814.280 \text{ m}^3.$$

Considerando una evapotraspirazione del 58% (percentuale considerata congruente con le caratteristiche della valle cieca del Rio Stella) si ha un valore per l'acqua entrata nel traforo idrogeologico pari a 761.998 m<sup>3</sup>.

Alla superficie della valle cieca si deve aggiungere anche la superficie sovrastante il percorso della grotta, dove sono presenti canali e due doline ben delineate. Quest'area è simile a quella dei bacini dell'Abisso Bentini e della Grotta SEMPAL, quindi è corretto considerare per loro un valore di evapotraspirazione di 80% circa.

Il problema è che il calcolo della superficie in-

teressata è complesso, mancando riferimenti precisi, e conseguentemente si è deciso di procedere in maniera differente. Per stabilire quanto possa essere la sua estensione si è proceduto a ritroso partendo dal bilancio idrogeologico.

A questo proposito va subito notato che, indipendentemente dal valore dell'apporto ancora incognito, l'acqua stimata in uscita,  $638.954 \text{ m}^3$ , è inferiore alla stima dell'acqua in entrata ( $761.998 \text{ m}^3$ ).

Tale anomalia potrebbe essere spiegata considerando il sifone, posto in sinistra idrografica, al pari di un'ansa ipogea alimentata da un grande serbatoio presente nel subalveo, e non un ulteriore apporto proveniente da infiltrazioni nell'area di Monte delle Volpe.

In tal caso avremmo:  $798.051 \text{ m}^3$  (acqua in uscita) –  $761.998 \text{ m}^3$  (apporto valle cieca) =  $36.053 \text{ m}^3$ .

Tale eccesso potrebbe quindi logicamente essere attribuito all'infiltrazione sopra il Rio Basino, che comprende anche una porzione di Monte della Volpe, dove peraltro si trovano anche le principali sale di crollo del complesso. Un'altra ipotesi potrebbe essere quella di una minore o di una maggiore infiltrazione media nella valle cieca del Rio Stella, cosa che peraltro non appare logica (vedi box).

Pertanto, sulla base del surplus d'acqua, è stato possibile valutare la dimensione del bacino relativo che risulta essere:  $= 0,155 \text{ km}^2$ .

Tale superficie sommata a quella della valle cieca del Rio Stella porta ad un totale di circa  $1,715 \text{ km}^2$ .

Una volta individuate le dimensioni, in  $\text{km}^2$ , dei tre principali bacini idrologici oggetto di studio, sono state ipotizzati i loro posizionamenti sulla carta topografica. Cercando di seguire i crinali e gli spartiacque, e considerando un errore  $\pm 10\%$ , sono stati individuati i bacini così come riportati in fig. 33, le cui dimensioni sono:

- $1,56 \text{ km}^2$  Bacino valle cieca del Rio Stella (idrografico)
- $0,15 \div 0,17 \text{ km}^2$  Ulteriore bacino del Rio Basino oltre alla valle cieca
- $0,35 \div 0,41 \text{ km}^2$  Bacino Abisso Bentini

$0,51 \div 0,62 \text{ km}^2$  Bacino sistema SEMPAL

-Colombaia

Il bacino riconducibile alla risorgente di Ca' Roccale ha sicuramente dimensioni molto ridotte e fa capo alla dolina sovrastante, ove è ubicata la Grotta Nera (CHIARINI *et alii*, *Le grotte nei Gessi di Monte Mauro* in questo volume) ed al canalone che in essa si immette, lungo il quale, in periodi molto piovosi, è presente un rivolo d'acqua che fuoriesce nei pressi di una spaccatura. Durante il periodo di monitoraggio la risorgente è stata quasi sempre in secca.

Per quanto concerne gli altri bacini idrogeologici, che alimentano le risorgente poste a sud-est dell'affioramento gessoso, purtroppo i dati raccolti non sono sufficientemente accurati.

In particolare, i dati per stimare il bacino della Risorgente di Cassano non sono completi poichè non sono disponibili le portate massime. Al contrario, i dati raccolti presso le risorgenti di Co' di Sasso si riferiscono a pochi mesi di monitoraggio, poichè la Risorgente bassa di Co' di Sasso (risorgente perenne) è stata individuata e monitorata solo negli ultimi mesi a causa dell'infestante vegetazione che avvolge la zona.

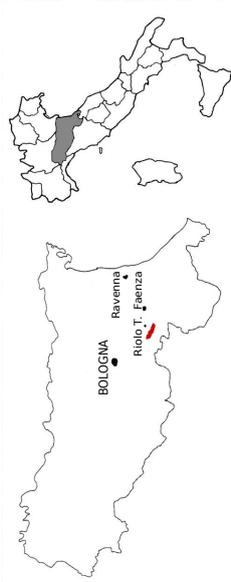
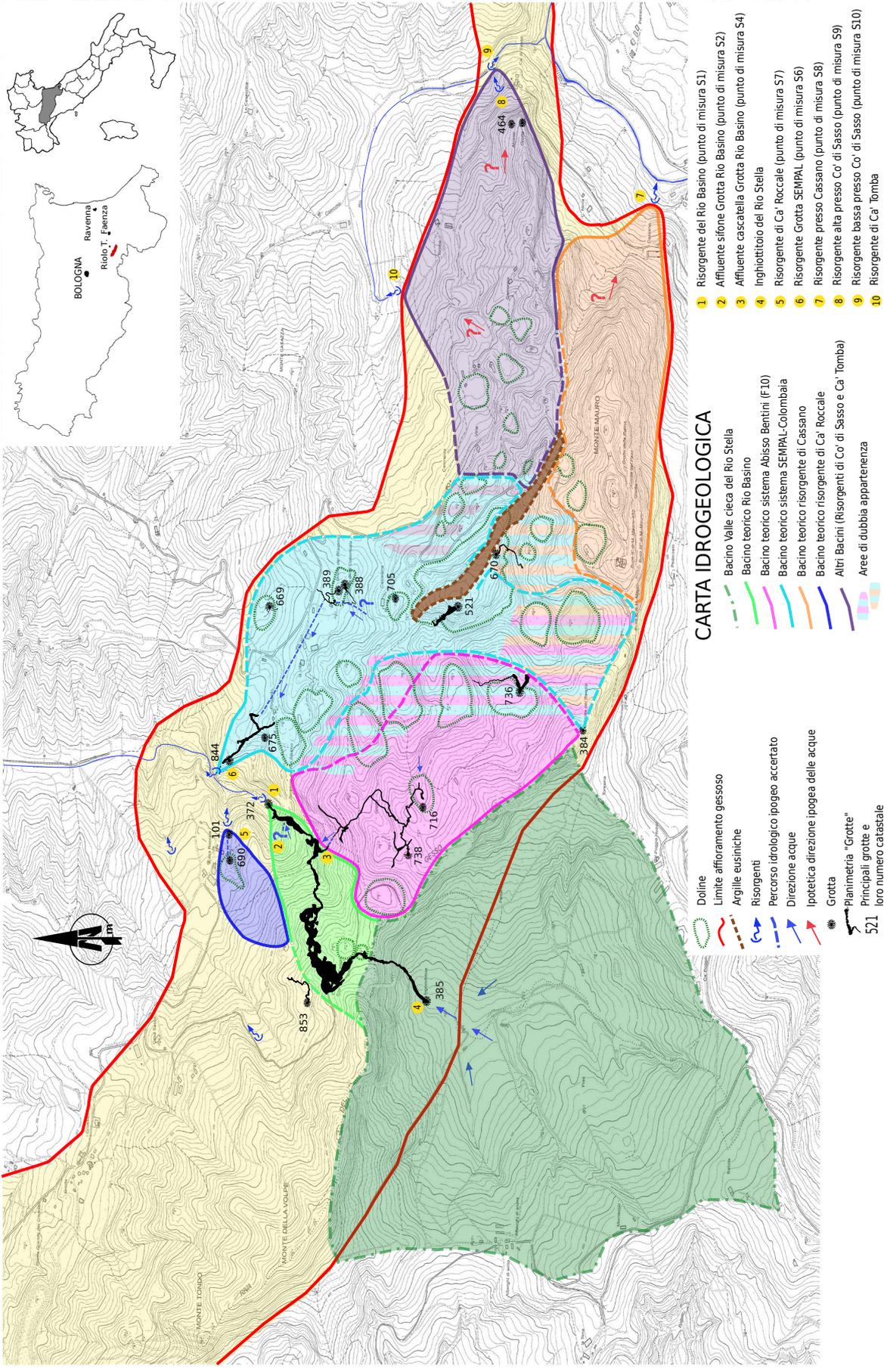
Per tali motivi, le superfici dei bacini che catturano le acque che drenano verso sud-est sono molto approssimativi. Le aree, di fatto, sono state individuate seguendo crinali e spartiacque superficiali ed in parte calcolate "per esclusione".

Inoltre, particolare valenza, quale possibile spartiacque tra i sistemi, viene attribuito allo strato di sedimenti pre-evaporitici costituito da argille eusiniche che si interpone tra la scaglia gessosa di Monte Mauro e quella di Monte Incisa (CHIARINI *et alii*, *Le grotte nei Gessi di Monte Mauro* in questo volume), presente presumibilmente sino all'ampia dolina presso Ca' Castellina (fig. 33).

### Conclusioni

I dati idrogeologici raccolti durante questo

Fig. 33 (nella pagina accanto) – Bacini di alimentazione dei sistemi carsici di drenaggio. Il presente studio ha permesso di delineare con buona accuratezza i limiti idrogeologici dei vari bacini; rimangono però alcune aree dubbie che sono state evidenziate tratteggiando i confini dei bacini e riempiendo con bande a più colori le zone contigue. Si evidenzia come il sedimento di argille eusiniche possa giocare un ruolo primario nel delineare i bacini dei sistemi carsici.



### CARTA IDROGEOLOGICA

- Doline
- Limite affioramento gessoso
- Argille eusiniche
- Risorgenti
- Percorso idrologico ipogeo accertato
- Direzione acque
- Ipotesi direzione ipogea delle acque
- Grotta
- Planimetria "Grotte"
- Principali grotte e loro numero catastale

- Bacino Valle cieca del Rio Stella
- Bacino teorico Rio Basino
- Bacino teorico sistema Abisso Bentini (F10)
- Bacino teorico sistema SEMPAL-Colombai
- Bacino teorico risorgente di Cassano
- Bacino teorico risorgente di Ca' Roccale
- Altri Bacini (Risorgenti di Co' di Sasso e Ca' Tomba)
- Aree di dubbia appartenenza

- 1 Risorgente del Rio Basino (punto di misura S1)
- 2 Affluente sifone Grotta Rio Basino (punto di misura S2)
- 3 Affluente cascata Grotta Rio Basino (punto di misura S4)
- 4 Inghiottoio del Rio Stella
- 5 Risorgente di Ca' Roccale (punto di misura S7)
- 6 Risorgente Grotta SEMPAL (punto di misura S6)
- 7 Risorgente presso Cassano (punto di misura S8)
- 8 Risorgente alta presso Co' di Sasso (punto di misura S9)
- 9 Risorgente bassa presso Co' di Sasso (punto di misura S10)
- 10 Risorgente di Ca' Tomba



Risorgente - Apporto	Tipologia	Tipologia sistema	Portata (l/s)		Rapporto Fmax/Fmin
			(Minima)	(Massima)	
Rio Basino (S1)	Perenne	Dreno dominante	1,11	542	490
Apporto a sifone (S2)	Perenne	Condotto a taglio alto	0,33	43	130
Apporto Basino in sx (S3)	Perenne	-	0,18	1,5 (*1)	8
Apporto cascatella (S4) (Abisso Bentini)	Perenne	Dreno dominante	0,5	12,63	25
Apporto a monte di S4 (S5)	Temporanea	Dreno dominante	0	> 16 (*1)	-
Risorgente SEMPAL (S6)	Perenne	Dreno dominante	0,21	52	247
Risorgente di Ca' Roccale (S7)	Temporanea	Dreno dominante	0	4,26 (*1)	-
Risorgente Cassano (S8)	Perenne	Dreno dominante	0,15	4,26 (*1)	> 28
Risorgente Co' di Sasso Alta (S9)	Temporanea	Dreno dominante	0	5,4 (*1)	-
Risorgente Co' di Sasso Bassa (S10)	Perenne	-	0,07	> 60 (*1)(*2)	-

Tab. 5 – Principali caratteristiche degli apporti idrici monitorati durante lo studio.

(\*1) Misura puntuale effettuata sulla portata allo stramazzo, poichè in questi punti non è stato possibile installare l'idrometro; pertanto, i picchi di portata massima indicati in tabella sono inferiori alle reali potenzialità dei sistemi.

(\*2) La portata massima presso questa risorgente risente in periodi di forte piovosità dell'apporto esterno del Rio Co' di Sasso, che l'alimenta 4-5 metri prima dello stramazzo, falsando pertanto i dati inerenti l'apporto ipogeo.

studio hanno permesso di evidenziare una differenza di comportamento all'interno dei vari bacini idrogeologici analizzati e anche all'interno dei sottobacini che concorrono all'alimentazione del Rio Basino (tab. 5). In generale l'idrodinamica di tutti questi sistemi è molto rapida, come del resto ci si aspetta per sistemi carsici in gesso (FORTI *et alii* 1989; FORTI *et alii* s.d.).

Il risultato più interessante dello studio, comunque, è stata l'individuazione di un grande serbatoio di subalveo che concorre all'alimentazione del sifone nel tratto terminale del Rio Basino (fig. 12).

L'esistenza di tale serbatoio è stata confermata dal fatto che il comportamento idrologico del sifone, lungi dall'essere simile, come sarebbe dovuto essere, a quello del Bentini, se ne discosta essenzialmente per il repentino incremento delle portate in risposta delle precipitazioni esterne, in maniera del tutto analoga a quello

che avviene nel Rio Basino. Questo fatto indica quindi una connessione diretta con il bacino del Rio Stella anche se i tempi di corrivazione possono in questo caso essere più lenti a causa dell'effetto "tamponante" del serbatoio sotterraneo.

Un altro aspetto fondamentale è che questo bacino deve necessariamente avere dimensioni molto notevoli per garantire un apporto anche in periodi di secca, garantendo così almeno l'80% della portata del sifone, come dimostrato dai calcoli sul bilancio idrogeologico. Inoltre, è stato dimostrato che tale serbatoio si espande al disotto del livello freatico per una profondità di almeno 12÷13 metri (profondità massima misurata con lo svuotamento del sifone ad opera del GSFA, in collaborazione di altri gruppi romagnoli, nel settembre 2002; osservazione diretta degli autori) (BENTINI 2003; EVILIO 2010).

L'analisi delle portate a livello del sifone, poi,

ha permesso anche di evidenziare come le condotte che drenano il serbatoio siano evidentemente dimensionate per un massimo valore di circa 40 l/s, e pertanto in occasione di grandi piene il serbatoio stesso si riempie e tracima attivando il punto P19 (fig. 12).

Sulla base quindi di tutti i dati sperimentali e bibliografici è stato possibile realizzare lo schema di fig. 34, in cui sono stati evidenziati i tre bacini di raccolta esterni e le connessioni tra questi e il grande serbatoio di subalveo e gli sversamenti che da quest'ultimo interessano il sistema ipogeo dello Stella-Basino.

Ma l'esistenza di questo grande serbatoio di

subalveo pone un grosso problema relativo alla sua genesi. Infatti è noto che, fino a pochissimo tempo addietro, si riteneva che nella carsificazione dei gessi i processi attivi al di sotto del livello freatico fossero limitati all'effetto impacchettamento e riduzione dei solfati a solfuri (DE WAELE *et alii* 2011), processi questi assolutamente inidonei a formare vuoti di anche solo pochi metri cubi.

Recentemente, però, è stata presentata una nuova teoria speleogenetica basata sull'interazione tra le acque carsiche e il gradiente geotermico, in grado di giustificare l'evoluzione di grandi vuoti poco al di sotto dei fiumi sotter-

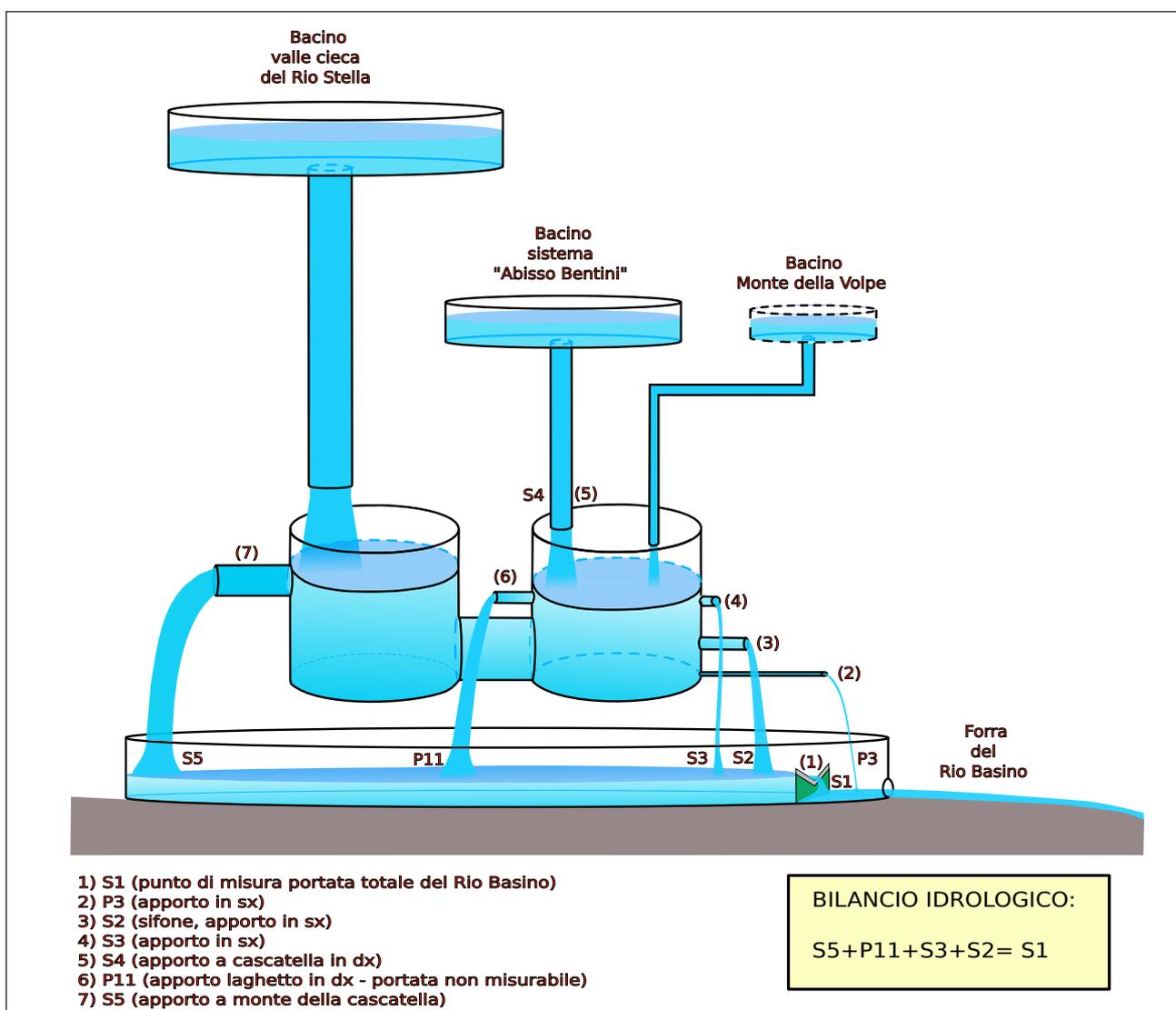


Fig. 34 – Modello a "serbatoi" del Sistema Rio Stella-Rio Basino. La portata globale del sistema è dovuta alla somma degli arrivi da tre serbatoi indipendenti di dimensioni e capacità idrica differente: il primo rappresentato dalla valle cieca del Rio Stella, il secondo dall'area che alimenta l'Abisso Bentini con recapito alla Cascatella e il terzo proveniente da Monte della Volpe. Quest'ultimo è solo ipotizzato, non essendo stato possibile definirne esattamente il suo contributo reale, che comunque è nettamente subordinato a quello dei primi due. Nei calcoli delle portate l'apporto del condotto in sinistra, denominato P3, è stato del tutto trascurato data la sua irrilevanza per il bilancio idrogeologico. Per meglio comprendere i rapporti esistenti tra i vari punti di controllo si rimanda alla figura pubblicata nel box.

ranei (BADINO 2018). L'esistenza quindi del grande serbatoio del Rio Stella-Rio Basino è assolutamente coerente con la teoria e anzi la valida a livello sperimentale.

A questo proposito sarebbe poi importante che in un prossimo futuro si cercasse di meglio definire la struttura e la morfologia di questo serbatoio, che permetterebbe di affinare la teoria della speleogenesi freatica indotta dal gradiente geotermico.

## Bibliografia

- AA.VV. 1993, *La profonda storia dell'Abisso F10*, "Ipogea 1988-1993", (Bollettino del Gruppo Speleologico Faentino), pp. 5-13.
- G. BADINO 2018, *Geothermal flux and phreatic speleogenesis in gypsum*, "International Journal of Speleology" 47, 1, pp. 1-11.
- 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.
- G.P. COSTA, P. FORTI 1994, *Morfologia e carsismo*, in U. BAGNARESI, F. RICCI LUCCHI, G.B. VAI (a cura di), *La Vena del Gesso*, Bologna, pp. 83-117.
- G.B. DE GASPERI 1912, *Appunti sui fenomeni carsici nei gessi di Monte Mauro (Casola Valsenio)*, "Rivista Geografica Italiana" XIX, 3-4, pp. 319-326.
- J. DE WAELE, P. FORTI, A. ROSSI 2011, *Il carsismo nelle evaporiti dell'Emilia-Romagna*, in P. LUCCI, A. ROSSI (a cura di) 2011, *Speleologia e geositi carsici in Emilia-Romagna*, Bologna, pp. 25-59.
- R. EVILIO 2010, *Le esplorazioni*, in P. FORTI, P. LUCCI (a cura di), *Il progetto Stella-Basino, studio multidisciplinare di un sistema carsico nella Vena del Gesso romagnola*, (Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, s. II, vol. XXIII), Bologna, pp. 11-27.
- P. FORTI, F. FRANCAVILLA, E. PRATA, E. RABBI, A. GRIFFONI 1989, *Evoluzione idrogeologica dei sistemi carsici dell'Emilia Romagna: il complesso Rio Stella-Rio Basino (Riolo Terme, Italia)*, in *Atti del XV Congresso Nazionale di Speleologia*, (Castellana Grotte, 10-13 settembre 1987), pp. 349-368.
- P. FORTI, F. FRANCAVILLA, E. PRATA, E. RABBI, P. VENERI, F. FINOTELLI s.d., *Evoluzione idrogeologica dei sistemi carsici dell'Emilia Romagna*, Regione Emilia-Romagna, Università di Bologna.
- M. FRATTINI 1956a, *L'esplorazione della Grotta Sorgente del Rio Basino (Romagna)*, in *Atti VI Congr. Naz. Spel.*, Trieste, pp. 80-83.
- M. FRATTINI 1956b, *Attività di campagna del Gruppo Grotte "Pellegrino Strobel" di Parma*, in *Atti VII Congr. Naz. Spel. Sardegna*, (3-8 ottobre 1955), Milano, p. 69.
- GRUPPO SPELEOLOGICO "CITTÀ DI FAENZA", GRUPPO SPELEOLOGICO "VAMPIRO" 1964, *Le cavità naturali della Vena del Gesso tra i fiumi Lamone e Senio*, Faenza.
- S. MARABINI, G.B. VAI 1985, *Analisi di facies e macrotettonica della Vena del Gesso in Romagna*, "Bollettino della Società Geologica Italiana" 104, pp. 21-42.
- V. MARLETTO 2017, *Estate 2017, andamento meteo in Emilia-Romagna*, "Ecoscienza" 5, pp. 7-9.
- A. POGGIALINI 2000, *Il sogno di SEMPAL: in esplorazione dentro il collettore di Monte Mauro. Note preliminari*, "Speleologia Emiliana", s. IV, XXVI, 11, pp. 40-42.
- A. POGGIALINI 2010, *Grotta SEMPAL*, in P. FORTI, P. LUCCI (a cura di), *Il progetto Stella-Basino, studio multidisciplinare di un sistema carsico nella Vena del Gesso romagnola*, (Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, s. II, vol. XXIII), Bologna, pp. 73-75.

## Siti internet

<https://elearning.unipd.it/scuolaamv/mod/resource/view.php?id=9253>.

<https://www.arpae.it/>.

[https://www.arpae.it/cms3/documenti/\\_cerca\\_doc/meteo/clima/Atlante\\_climatico\\_1961-2015.pdf](https://www.arpae.it/cms3/documenti/_cerca_doc/meteo/clima/Atlante_climatico_1961-2015.pdf).

[https://www.arpae.it/dettaglio\\_documento](https://www.arpae.it/dettaglio_documento).

[asp?id=6147&idlivello=1528.](#)

[https://www.arpae.it/dettaglio\\_notizia.asp?idLivello=32&id=8926.](https://www.arpae.it/dettaglio_notizia.asp?idLivello=32&id=8926)

[http://www.isac.cnr.it/climstor/climate\\_news.html.](http://www.isac.cnr.it/climstor/climate_news.html)

[http://www.costruzioniidrauliche.it/dispense/pdf/cap1-idrologia.pdf.](http://www.costruzioniidrauliche.it/dispense/pdf/cap1-idrologia.pdf)

[http://www.smr.arpa.emr.it/dext3r/.](http://www.smr.arpa.emr.it/dext3r/)

[https://www.unirc.it/documentazione/materiale\\_didattico/598\\_2009\\_174\\_5555.pdf.](https://www.unirc.it/documentazione/materiale_didattico/598_2009_174_5555.pdf)

### **CONTENUTI AGGIUNTIVI MULTIMEDIALI**

Il DVD allegato contiene le tabelle e i relativi grafici di tutti i dati acquisiti durante lo studio idrogeologico dell'area di Monte Mauro.

