

PROVINCIA DI SALERNO
SETTORE AMBIENTE
SERVIZIO DI DIFESA SUOLO E TUTELA DELLE ACQUE
UFFICIO GESTIONE DELLE ACQUE

**RELAZIONE IDRAULICA PER L'ISTANZA DI CONCESSIONE DI
DERIVAZIONE DELLE SORGENTI DEL CALORE LUCANO
(PIAGGINE - SA)**

Acquedotti del Calore Lucano S.p.A.



A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Franco Valletta", written over the stamp.

Consulenza scientifica

Prof. Geol. Pantaleone De Vita
Professore Associato di Geologia Applicata
Dipartimento di Scienze della Terra
Università di Napoli "Federico II"



MAGGIO 2018

| | |
|--|----|
| PREMESSA | 3 |
| 1. INDIVIDUAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO NELLA SEZIONE DI INTERESSE | 4 |
| 2. VALUTAZIONE DELLE PORTATE NELLA SEZIONE DI INTERESSE DETERMINAZIONE DELLE PORTATE GIORNALIERE DEL FIUME, DELLA PORTATA MASSIMA DI PIENA, DELLA CURVA DI DURATA DELLE PORTATE E LA STIMA DELLA PORTATA MINIMA CON PERIODO DI RITORNO COMPATIBILE CON L'OPERA DI CAPTAZIONE | 5 |
| 2.1 Monitoraggio delle portate sorgive mediante misuratori di portata installati nelle opere di captazione | 6 |
| 2.2 Misure di portata in alveo | 11 |
| 2.3 Monitoraggio delle portate delle sorgenti del Calore e relativa caratterizzazione idrodinamica | 14 |
| 2.4 Deflusso globale del gruppo sorgivo e rilascio a valle | 16 |
| 2.5 Analisi differenziale delle portate del fiume Calore nel settore compreso tra le opere di captazione ed il ponte in corrispondenza dell'abitato di Piaggine | 21 |
| 2.6 Determinazione delle portate idriche che vengono restituite al fiume Calore a seguito dell'utilizzo idropotabile e dei trattamenti di depurazione, così come previsto dalla legge | 36 |
| 2.7 Stima della frazione idrica che si disperde nel sottosuolo durante il vettoriamento delle acque sorgive lungo il Vallone La Festola, per diverse condizioni di deflusso, al fine di individuare l'aliquota idrica che alimenta il deflusso superficiale del Calore Lucano | 36 |
| 3. VALUTAZIONE DEL DMV OCCORRE VALUTARE LA PORTATA MINIMA ISTANTANEA CHE DEVE ESSERE PRESENTE IN ALVEO IMMEDIATAMENTE A VALLE DEI PRELIEVI AL FINE DI MANTENERE VITALI LE CONDIZIONI DI FUNZIONALITÀ E DI QUALITÀ DEGLI ECOSISTEMI INTERESSATI | 38 |
| 4. CALCOLI IDRAULICI, IN CONDIZIONI ANTE-OPERAM E POST-OPERAM, DA EFFETTUARSI IN CORRISPONDENZA DELLA SEZIONE DI INTERESSE E ALMENO DI UNA SEZIONE A MONTE E A VALLE DELL'INTERVENTO, AL FINE DELLA DEFINIZIONE, IN CORRISPONDENZA DELLA PORTATA DI VERIFICA, DEI LIVELLI DELLE ALTEZZE IDRICHE RAGGIUNTE NONCHÉ DELLE VELOCITÀ DI MOTO (PER GLI ATTRAVERSAMENTI VALUTAZIONE DEL FRANCO DI SICUREZZA) | 40 |
| 5. CAPACITÀ DEL FLUSSO IDRAULICO, NOTE LE CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE DEL FONDO DELL'ALVEO E LA VELOCITÀ MASSIMA DELLA CORRENTE NELLA SEZIONE DI INTERESSE DEFINIRE LA CAPACITÀ DI EROSIONE, DI TRASPORTO O DI DEPOSIZIONE DEI CLASTI; NEL CASO IN CUI LA VELOCITÀ DEL FLUSSO SIA TALE DA GENERARE FENOMENI EROSIVI OCCORRERÀ PREVEDERE INTERVENTI DI MITIGAZIONE | 41 |
| 6. PASSAGGI ARTIFICIALI PER L'ITTIOFAUNA, DESCRIVERE LE PRINCIPALI SPECIE ITTICHE PRESENTI E GLI INTERVENTI ATTI A CONSENTIRNE IL NORMALE PASSAGGIO NELLA SEZIONE DI INTERESSE | 42 |
| 7. BILANCIO IDROGEOLOGICO RELATIVAMENTE ALLA SEZIONE DI SBARRAMENTO CON UNA VALUTAZIONE ACCURATA DELLE POSSIBILI RIPERCUSSIONI A VALLE DELLA DERIVAZIONE, IN TERMINI QUALITATIVE E QUANTITATIVI DELL'ASTA FLUVIALE | 43 |
| 8. DIMENSIONAMENTO DELLE PRINCIPALI OPERE D'ARTE: BOCCA DI PRESA, OPERE DI CARICO E DI ADDUZIONE, DISPOSITIVI DI LIMITAZIONE DELLA PORTATA MASSIMA IN INGRESSO E DI RILASCIO DEL DEFLUSSO MINIMO VITALE, DISPOSITIVI PER LA RESTITUZIONE; IN CASO DI MODULAZIONE DEI RILASCI DESCRIZIONE E GIUSTIFICAZIONE DELLE MODALITÀ DI GESTIONE DELLA STESSA | 49 |
| 9. TAVOLE FUORI TESTO (FORMATO A3) | 50 |

PREMESSA

Nella presente relazione sono trattati gli aspetti propriamente idraulici delle sorgenti del Calore, oggetto della presente istanza di concessione, e dei deflussi nell'alveo del fiume Calore durante il periodo di magra.

Nel primo caso, sono illustrati i dati del monitoraggio delle portate sorgive, iniziato nell'agosto del 2012, effettuato mediante l'installazione di misuratori di livello idrico all'interno delle opere di captazione delle suddette sorgenti. Dai dati acquisiti, è stato possibile stimare il regime delle sorgenti ed i parametri statistici rappresentativi dello stesso.

Nel secondo caso, invece, sono state effettuate misure di portata differenziali nell'alveo del fiume Calore, a valle delle emergenze sorgentizie, che mediante un'analisi comparativa multitemporale hanno consentito la comprensione dei processi idrogeologici esistenti, quindi la definizione della problematica inerente il Deflusso Minimo Vitale (DMV).

1. INDIVIDUAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO NELLA SEZIONE DI INTERESSE

In base alle caratteristiche morfologiche descritte nella relazione geologica e idrogeologica, il bacino idrografico sotteso dalle sorgenti del fiume Calore è di dimensioni molto piccole (circa 6 ha) poiché si sviluppa su un crinale a profilo trasversale generalmente convesso con una rete idrografica non sviluppata e caratterizzata in prevalenza da piccoli impluvi di ordine gerarchico zero.

Invece, il bacino idrogeologico, che nel caso specifico può essere considerato corrispondente al bacino sotterraneo (Celico, 1988), in quanto include il bacino superficiale, coincide approssimativamente all'intera morfostruttura della Serra del Cervati. Quest'ultima, essendo delimitata da precisi limiti idrostrutturali, di qui in avanti sarà considerata come idrostruttura o struttura idrogeologica (Celico, 1988) con circolazione autonoma.

Per approfondimenti in merito alle caratteristiche della struttura idrogeologica della Serra del Cervati si rimanda alla consultazione della “Relazione geologica e idrogeologica”.

del fiume Calore tenendo conto dei contributi delle confluenze degli affluenti (fiume Bianco, vallone del Monaco, torrente Mangosa e bacino Acqua Cavalli).

2.1 Monitoraggio delle portate sorgive mediante misuratori di portata installati nelle opere di captazione

Il monitoraggio delle portate idriche erogate dalle sorgenti del Calore è stato effettuato mediante il monitoraggio dei livelli idrici, con sensori capacitivi di livello idrico e *datalogger* (Odyssey Dataflow). I sensori sono stati installati all'interno delle stesse opere di captazione, in corrispondenza delle vasche di laminazione che sono munite di luce a stramazzo rettangolare. Gli strumenti sono stati collocati all'interno della sorgente superiore, inferiore e nel partitore (Figg. 2, 3, 4 e 5). Per le difficili condizioni logistiche, non è stato possibile effettuare un'installazione anche nella sorgente galleria, i cui deflussi, poco variabili durante l'anno idrologico, sono stati determinati sia per differenza rispetto a quelli che raggiungono il partitore che in base a misure di portata nell'ambito dell'opera di captazione, effettuate con mulinello idrometrico.

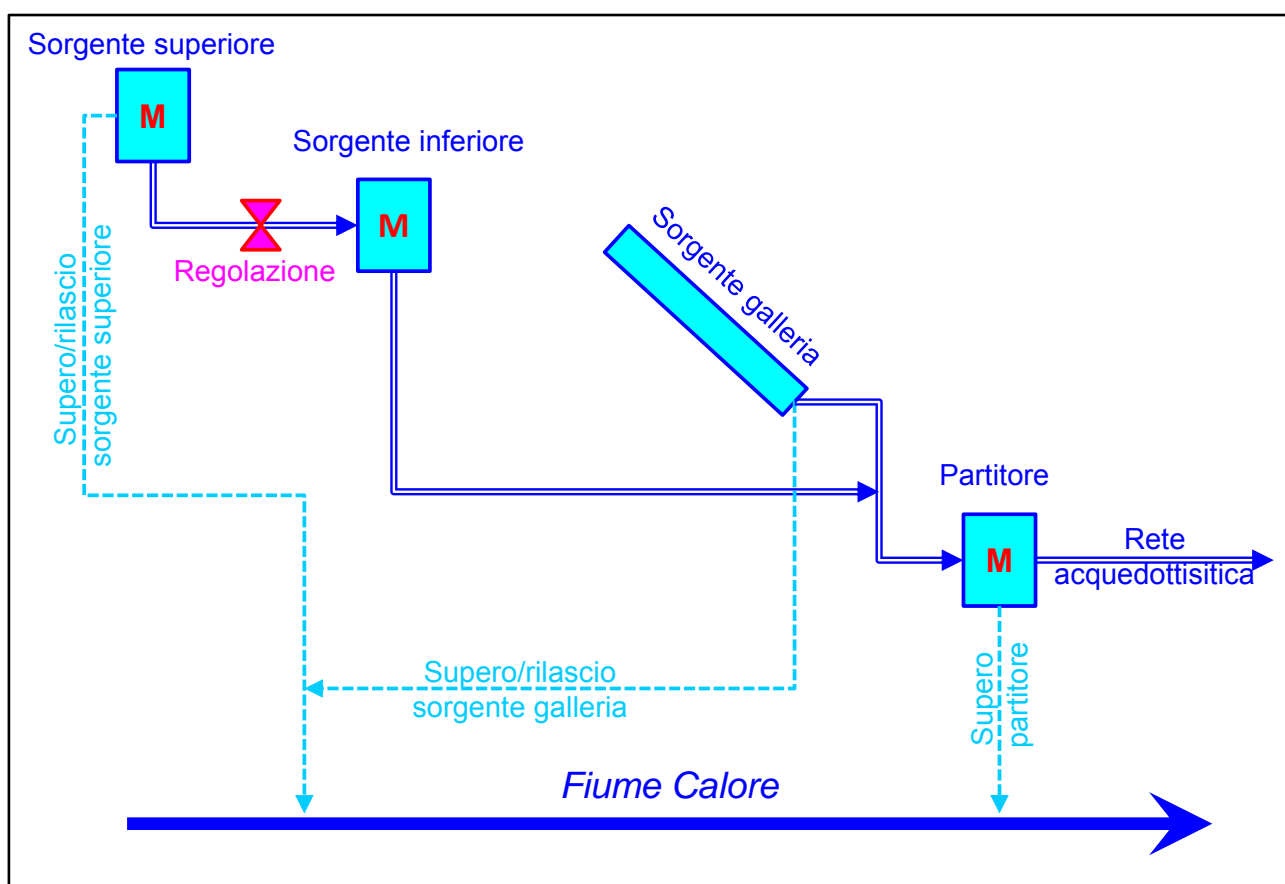


Fig. 2: Schema idraulico delle opere di captazione delle sorgenti del Calore, con indicazione dell'ubicazione dei sensori di livello idrico per il monitoraggio delle portate (M). Sono anche evidenziati i deflussi di supero o rilasciati nel fiume Calore. È da notare che, in relazione alla regolazione effettuata dagli operatori del Consorzio Intercomunale degli Acquedotti del Calore Lucano, i deflussi della sorgente superiore vengono fatti confluire all'interno dell'opera di captazione della sorgente inferiore. In questo caso il sensore di livello è stato posto a valle dell'adduzione proveniente dalla Sorgente superiore.



Fig. 3: Sensore di livello idrico e datalogger installato nella vasca di laminazione del partitore, a monte dello stramazzo.



Fig. 4: Sensore di livello idrico e datalogger installato nella vasca di laminazione della sorgente inferiore, posta a valle dell'ingresso dei deflussi provenienti dalla sorgente superiore, ed a monte dello stramazzo.



Fig. 5: Sensore di livello idrico e datalogger installato nella captazione della sorgente superiore, a monte della soglia di sfioro.

I livelli idrici, a partire dal 9 agosto 2012, sono stati monitorati in continuo con una frequenza di campionamento di misura ogni 15 minuti.

Nel caso del partitore e della sorgente inferiore, i livelli idrici, riferiti alla quota della soglia dello stramazzo, sono stati trasformati in portate mediante la formula di Francis (1883) che lega la portata di efflusso da stramazzi rettangolari all'altezza del tirante idraulico sulla soglia dello stramazzo stesso:

$$Q \left(\frac{ft^3}{s} \right) = 3.33 \cdot h_1^{\frac{3}{2}} \cdot (L - 0.2 \cdot h_1)$$

dove:

L = lunghezza dello stramazzo (ft – piedi)

h_1 = altezza del tirante idraulico rispetto alla soglia dello stramazzo (ft – piedi).

In questi casi, i sensori di livello/datalogger Odyssey Dataflow sono stati installati nell'ambito della vasca di calma alla massima distanza dallo stramazzo, al fine di evitare influenza della deformazione del pelo libero dell'acqua in prossimità dello stramazzo stesso. I livelli idrici misurati sono stati riferiti alla quota della soglia dello stramazzo mediante livellazione topografica di precisione che ha consentito di misurare il dislivello esistente tra la quota di installazione dello strumento e la soglia dello stramazzo. Inoltre, le portate determinate mediante l'applicazione della legge di Francis sono state validate mediante confronto con quelle misurate dal contatore posto sulla tubazione di adduzione, a monte del partitore (Fig. 6).



Fig. 6: Contatore installato sulla tubazione di adduzione al partitore. Le portate determinate dalle letture al contatore sono state utilizzate per validare le stime di portata effettuate mediante la trasformazione del livello idrico, misurato con i sensori/datalogger, in portata.

Nel caso della sorgente superiore, l'assenza di una vasca di laminazione e di uno stramazzo, quindi la sussistenza di condizioni simili a quelle di un alveo naturale, hanno indotto a ricostruire una scala di deflusso, mediante la quale i valori di livello idrico sono stati trasformati in portate. Detta scala di deflusso è stata ricostruita effettuando una serie di contemporanee misure di portata, all'interno dell'opera di captazione, e di livello idrico e nell'individuazione della legge empirica che interpola meglio i dati sperimentali. In base alle condizioni geometriche della sezione di deflusso, e per ottenere un'ottimale interpolazione dei dati sperimentali, dai valori più bassi a quelli più elevati,

sono state considerate due differenti scale di deflusso valori di livello inferiori a 236 mm (Fig. 7) e superiori a 236 mm (Fig. 8).

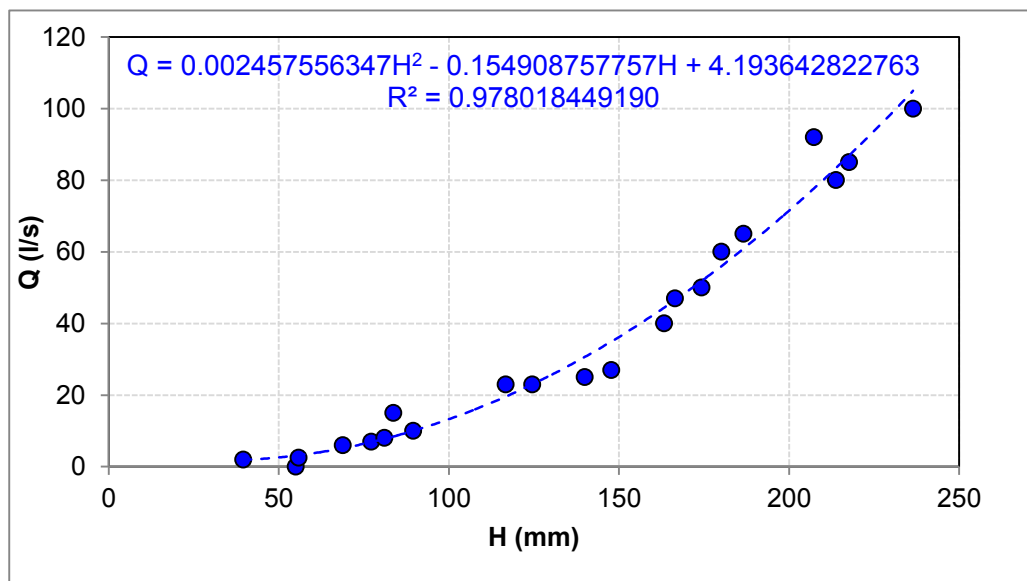


Fig. 7: Curva di deflusso ricostruita sulla base di dati sperimentali per la sorgente superiore valida per altezze idrometriche minori o uguali a 236 mm.

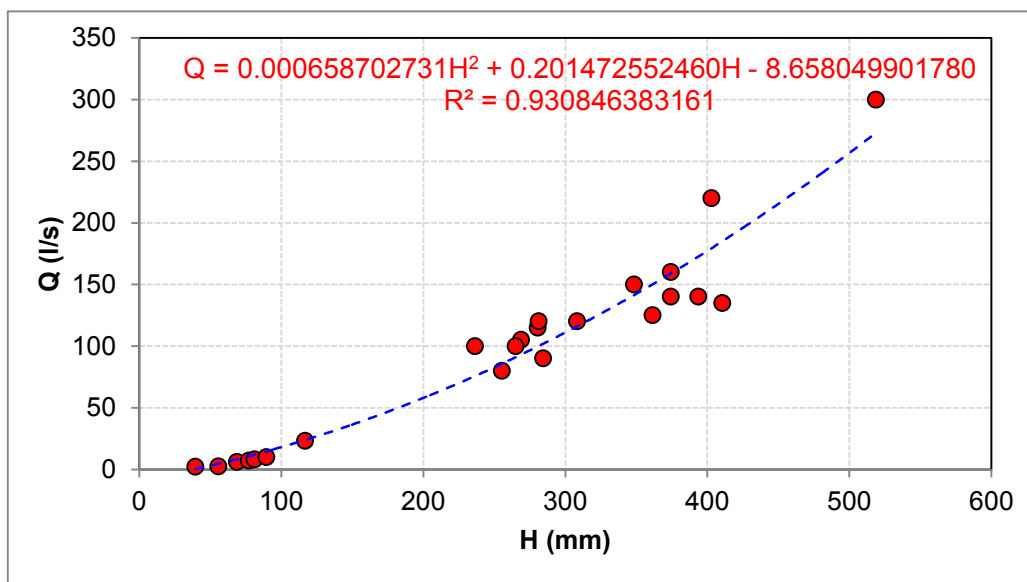


Fig. 8: Curva di deflusso ricostruita sulla base di dati sperimentali per la sorgente superiore valida per altezze idrometriche superiori a 236 mm.

2.2 Misure di portata in alveo

Al fine di misurare i deflussi nell'alveo del fiume Calore, nel settore compreso tra le sorgenti ed il ponte in corrispondenza dell'abitato di Piaggine, sono state effettuate nell'arco del periodo giugno 2012 – giugno 2014, quattro tornate di misure di portata in alveo, mediante mulinello idrometrico e ricostruzione della sezione di velocità idrica/portata, su un numero di sezioni rispettivamente variabile da otto a nove.

Il settore del fiume Calore oggetto di osservazione, compreso tra le omonime sorgenti ed il ponte in corrispondenza dell'abitato di Piaggine, è lungo circa 9.7 km. In questo settore confluiscono i deflussi dei sottobacini idrografici del torrente Mangosa (secco già dalla stagione tardo-primaverile), del vallone del Monaco (con portate idriche occorrenti solo in connessione di eventi pluviometrici eccezionali), del fiume Bianco (con portate idriche perenni anche se molto variabili nel corso dell'anno idrologico), del bacino Acqua Cavalli nel quale confluisce lo scarico del troppo pieno dell'acquedotto di Piaggine. La suddetta linea acquedottistica, caratterizzata da una portata massima di adduzione variabile tra 12-15 l/s, è alimentata in parte da una derivazione dal partitore nel quale confluiscono i deflussi delle sorgenti del Calore ed in parte dalla captazione di altre piccole sorgenti. Per la variabilità delle portate delle sorgenti captate, il contributo idrico delle sorgenti del Calore è variabile durante l'anno, diventando preponderante durante l'estate. Nello specifico, al partitore di questo acquedotto ubicato in località Maurani viene effettuato un rilascio idrico, mediante un meccanismo di troppo pieno, che si immette nel fiume Calore a circa 0.8 km a monte del ponte in corrispondenza dell'abitato di Piaggine. Detto contributo è stato considerato come deflusso proveniente dal sottobacino idrografico di Acqua Cavalli.

Il settore di alveo fluviale in esame, si caratterizza per i primi 7.7 km, a partire dal ponte di Piaggine, come una profonda, ed a tratti selvaggia, forra incisa in rocce calcaree mesozoiche (Fig. 9), accessibile da valle solo per i primi 2.5 km, mentre da monte solo per circa 0.5 km dopo la confluenza con il fiume Bianco. A limitare, la seppur minima possibilità di accesso e di percorribilità dell'alveo, sono i numerosi tratti a pareti calcaree subverticali, privi di sponde e strapiombanti nel fiume stesso, che localmente ha un alveo incassato in roccia con profonde pozze generate dall'erosione della roccia calcarea (marmitta), e la presenza di numerosi salti del fondo alveo, dovuti all'erosione differenziale di banchi di roccia calcarea che ne rendono fortemente discontinuo il profilo di fondo (Fig. 9).



Fig. 9: Esempio di tratto di alveo nella forra del fiume Calore inaccessibile per le pareti rocciose subverticali strapiombanti nell'alveo.

Nei restanti 2.0 km, dall'inizio della forra fino alle sorgenti, il reticolo idrografico è impostato su terreni di substrato delle serie torbiditiche e bacinali, a prevalente componente argillitica, e su coltri detritiche del Quaternario sovrapposte ai precedenti. In questo settore, non facilmente percorribile nella sua interezza per la fitta vegetazione arbustiva, sono state osservate alcune piccole sorgenti, connesse alla circolazione idrica sotterranea nella coltre detritica che contribuiscono ad alimentare i deflussi del fiume Calore. Il contributo di queste sorgenti è stato considerato con le misure di portata effettuate a valle della confluenza delle stesse con il fiume Calore.

Per apprezzare le variazioni della portata defluente nell'alveo del fiume Calore in maniera significativa nell'ambito dell'intervallo compreso tra alcuni litri/secondo fino alla decina di litri/secondo, le misure di portata non sono state effettuate in regime piena (anche per questioni di sicurezza) né di morbida. I rilevamenti sono stati effettuati all'incirca alla fine di giugno, quando i deflussi fluviali, tendendo ad annullarsi in corrispondenza della sezione del ponte di Piaggine sono stati osservati essere di pochi litri/secondo o decine di litri/secondo. L'adozione di tale criterio ha consentito di minimizzare gli errori di misura, altrimenti maggiori in senso assoluto su portate più elevate, e rendere maggiormente agevole l'accesso all'alveo del fiume.

Inoltre, le misure sono state effettuate su sezioni fluviali strette, e possibilmente in roccia, in cui il deflusso appariva più concentrato e meno disperso in forma di flusso subalveo, attraverso il seppur esiguo ed occasionale materasso alluvionale. Per tale motivo, oltre che per

facilitare il confronto tra le misure effettuate in periodi di versi, le sezioni fluviali misurate sono state approssimativamente sempre le stesse.

In accordo al suddetto criterio, le misure di portata in alveo sono state effettuate nelle seguenti date: 30 giugno 2012; 14 agosto 2012; 1 luglio 2013; 24 giugno 2014. Le misure di portata sono state analizzate in termini differenziali lungo il settore di alveo fluviale considerato, quindi mediante analisi numerica e grafica delle portate misurate e di quelle incrementali attese.

2.3 Monitoraggio delle portate delle sorgenti del Calore e relativa caratterizzazione idrodinamica

Il monitoraggio delle portate ha consentito di ricostruire l'idrogramma sorgivo nel periodo compreso tra il 9 agosto 2012 ed il 5 settembre 2014, per ciascuna sorgente (Fig. 10) e quindi complessivamente per l'intero gruppo sorgivo (Fig. 11). I dati così acquisiti hanno permesso di ricostruire il regime idrologico di ciascuna sorgente e quindi di determinare la relativa caratterizzazione idrodinamica mediante il valore di portata massima, media, minima, indice e regime di Meinzer (Tab. 1).

Per indice di Meinzer (I_M) si intende:

$$I_M(\%) = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\text{med}}}$$

dove:

Q_{\max} = portata massima

Q_{\min} = portata minima

Q_{med} = portata media

Il regime di Meinzer è così caratterizzato:

$I_M \geq 100\%$ = variabile; $50\% > I_M > 100\%$ = subvariabile; $I_M \leq 50\%$ = costante.

| | Sorgente | Portata massima (l/s) | Portata media (l/s) | Portata minima (l/s) | Indice di Meinzer (%) | Regime di Meinzer |
|---|---|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| A | Sorgente superiore (Calore II) | 288.1 | 65.3 | 3.0 | 436% | Variabile |
| B | Contributo della sorgente superiore verso l'inferiore | 18.0 | 9.8 | 0 | - | - |
| C | Sorgente inferiore ¹ (Calore I) | 68.0 | 53.1 | 39.0 | 54% | Subvariabile |
| D | Sorgente galleria (Calore III) | 30.0 | 20.0 | 15.0 | 75% | Subvariabile |
| | Totale gruppo sorgivo (A+C+D) | 386.1 | 138.4 | 57.0 | 238% | Variabile |

Tab. 1: Caratterizzazione idrodinamica delle sorgenti del Calore sulla base del monitoraggio delle portate idriche nel periodo 9 agosto 2012 ed il 5 settembre 2014.

¹ I deflussi misurati sono al netto del contributo idrico proveniente dalla Sorgente superiore, regolato dagli operatori del Consorzio Intercomunale degli Acquedotti del Calore Lucano in relazione alle esigenze gestionali.

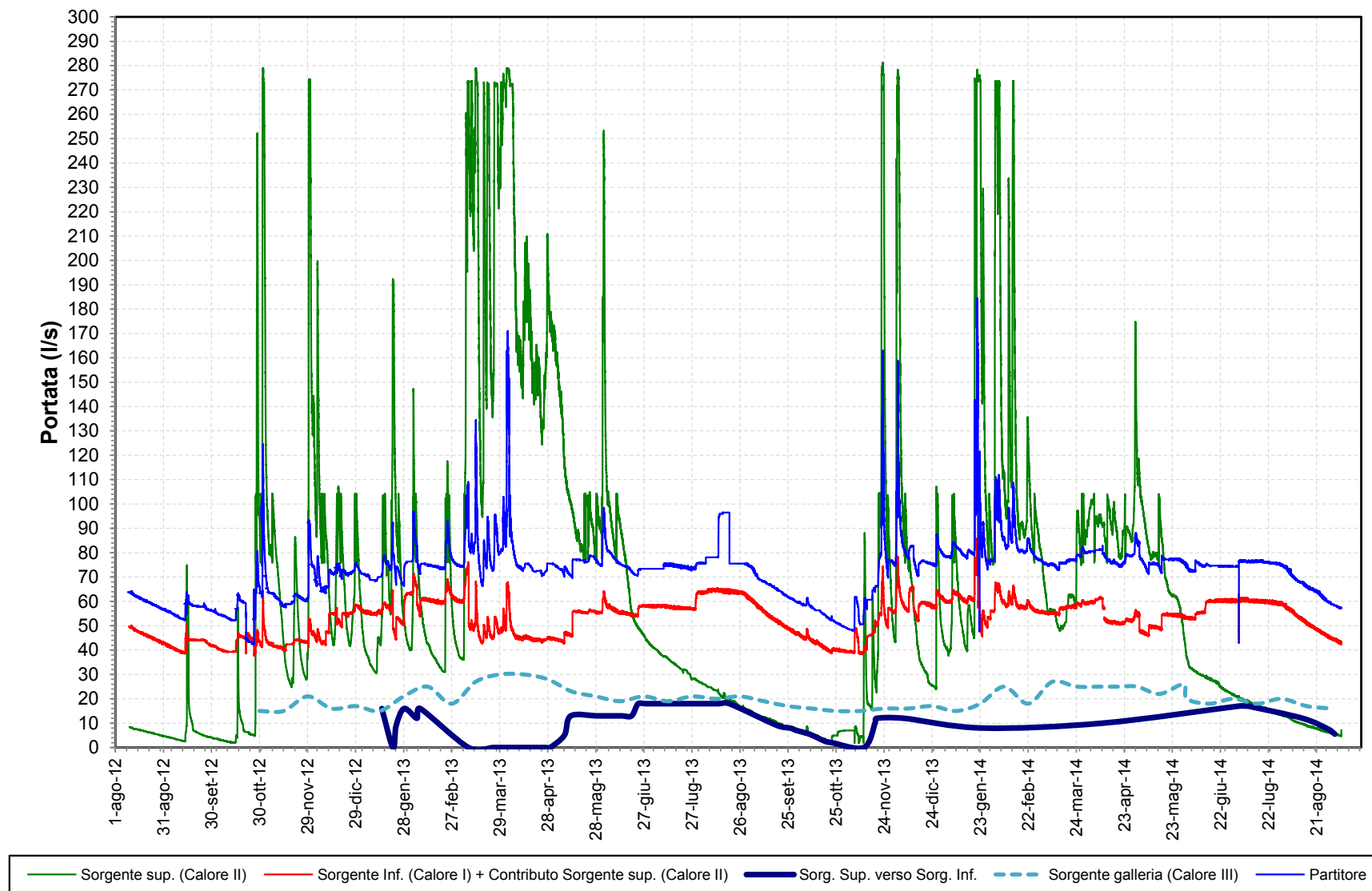


Fig. 10: Idrogrammi ricostruiti nel periodo 9 agosto 2012 ed il 5 settembre 2014 per: Sorgente superiore (Calore II); Sorgente inferiore (Calore I), compreso il contributo proveniente dalla Sorgente superiore; contributo della Sorgente superiore verso l'inferiore; Sorgente galleria (Calore III); Partitore.

2.4 Deflusso globale del gruppo sorgivo e rilascio a valle

Il monitoraggio delle portate sorgive nell'ambito delle opere di captazione delle tre sorgenti, nonché delle portate addotte al partitore, ha consentito di avanzare le conoscenze sull'idrodinamica del gruppo sorgivo nonché sulle modalità di prelievo idrico e di rilascio a valle.

La sommatoria degli idrogrammi (Fig. 11) della Sorgente superiore (Calore II), della Sorgente inferiore (Calore I) e della Sorgente galleria (Calore III) ha permesso di caratterizzare il comportamento idrodinamico dell'intero gruppo sorgivo nel periodo di osservazione analizzato (9 agosto 2012 – 5 settembre 2014), quindi di stimare la portata massima, media, minima, l'indice ed il regime di Meinzer dell'intero gruppo sorgivo (Tab. 1), evidenziando una spiccata variabilità delle portate in relazione alle dinamiche della ricarica dell'acquifero calcareo. Nell'ambito delle tre sorgenti sono state confermate le marcate differenze in termini idrodinamici già note dalle indicazioni degli operatori del Consorzio Intercomunale degli Acquedotti del Calore Lucano, risultando la Sorgente superiore (Calore II) maggiormente variabile rispetto alla Sorgente inferiore (Calore I) ed alla Sorgente galleria (Calore III). In particolare, la Sorgente superiore si caratterizza per una spiccata variabilità delle portate che tendono a crescere repentinamente fino a raggiungere all'incirca i 300 l/s, in concomitanza con i periodi di massime precipitazioni invernali, ed a diminuire drasticamente, fino a pochi litri al secondo, durante la stagione tardo-estiva / inizio-autunnale. Ciò è verosimilmente da attribuire ad una circolazione idrica sotterranea più superficiale e connessa ad un reticolo di macro-discontinuità acquifere, verosimilmente carsificate. Il regime relativamente più modulato delle altre due sorgenti è invece da mettere in relazione ad una circolazione più profonda che si sviluppa nel fitto reticolo di discontinuità minori (circolazione in rete).

L'idrogramma sorgivo totale, confrontato con quello registrato al partitore, consente la valutazione del rilascio idrico totale nel reticolo idrografico del fiume Calore (Fig. 11). In particolare, è da considerare che una parte del rilascio avviene anche a valle del partitore stesso per il superamento della massima portata adducibile nella condotta acquedottistica, pari a circa 100 l/s. Ovviamente, quando la portata idrica addotta al partitore è inferiore a tale valore, questa è tutta convogliata nella rete acquedottistica. Da ciò consegue che il rilascio idrico avviene secondo le seguenti modalità:

- 1) durante i periodi di piena, per superamento del troppo pieno nell'ambito delle opere di captazione della Sorgente superiore e della Sorgente galleria (non si ha rilascio idrico dalla sorgente inferiore poiché essa non è stata strutturata con una soglia di sfioro per il troppo pieno; cfr. Fig. 20);
- 2) durante i periodi di piena, nel partitore, superamento della massima portata adducibile nella condotta acquedottistica, pari a circa 100 l/s;
- 3) **durante il periodo di magra, mediante regolazione nella sorgente superiore e galleria.**

Grazie ad un'estensione dei dati acquisiti fino a giugno 2016, è stato possibile definire il regime idrico del gruppo sorgivo, le portate di magra, le portate captate e il rilascio per la salvaguardia del Deflusso Minimo Vitale (DMV). Di seguito si riporta una tabella di sintesi (Tab. 2) dei valori medi mensili delle portate totali del gruppo sorgivo, di prelievo e di rilascio, basate su misure non

sistematiche effettuate dagli operatori della società Acquedotti del Calore S.p.a nel periodo gennaio 2011-luglio 2012, e registrate mediante la stazione di monitoraggio dall'agosto 2012 fino al giugno 2016.

| Anno | Mese | Portate totali (l/s) | Portate di prelievo (l/s) | Portate di rilascio (l/s) |
|--------|--------|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| 2011 | gen-11 | 50 ÷ 280 | 40 ÷ 67 | ≥ 10 |
| | feb-11 | | | |
| | mar-11 | | | |
| | apr-11 | | | |
| | mag-11 | | | |
| | giu-11 | | | |
| | lug-11 | | | |
| | ago-11 | | | |
| | set-11 | | | |
| | ott-11 | | | |
| | nov-11 | | | |
| | dic-11 | | | |
| 2012 | gen-12 | | | |
| | feb-12 | | | |
| | mar-12 | | | |
| | apr-12 | | | |
| | mag-12 | | | |
| | giu-12 | | | |
| | lug-12 | | | |
| | ago-12 | 72.1 | 60.1 | 12.0 |
| | set-12 | 67.6 | 56.6 | 11.0 |
| | ott-12 | 79.4 | 55.1 | 24.3 |
| nov-12 | 136.8 | 61.9 | 74.9 | |
| dic-12 | 149.6 | 66.7 | 82.9 | |
| 2013 | gen-13 | 134.4 | 67.0 | 67.4 |
| | feb-13 | 138.9 | 67.0 | 71.9 |
| | mar-13 | 262.5 | 67.0 | 195.5 |
| | apr-13 | 262.3 | 67.0 | 195.3 |
| | mag-13 | 181.0 | 67.0 | 114.0 |
| | giu-13 | 154.3 | 67.0 | 87.3 |
| | lug-13 | 112.3 | 67.0 | 45.3 |
| | ago-13 | 105.3 | 67.0 | 38.3 |
| | set-13 | 82.1 | 64.8 | 17.3 |
| | ott-13 | 65.3 | 54.8 | 10.5 |
| | nov-13 | 114.5 | 60.5 | 54.0 |
| | dic-13 | 145.7 | 67.0 | 78.7 |
| 2014 | gen-14 | 173.9 | 65.3 | 108.6 |
| | feb-14 | 212.7 | 67.0 | 145.7 |
| | mar-14 | 148.7 | 67.0 | 81.7 |
| | apr-14 | 179.8 | 67.0 | 112.8 |
| | mag-14 | 163.4 | 67.0 | 96.4 |
| | giu-14 | 105.0 | 67.0 | 38.0 |
| | lug-14 | 98.8 | 66.1 | 32.8 |
| | ago-14 | 84.9 | 67.0 | 17.9 |
| | set-14 | 64.9 | 54.4 | 10.5 |
| | ott-14 | 56.0 | 46.0 | 10.0 |
| | nov-14 | 57.1 | 47.1 | 10.0 |
| | dic-14 | 71.3 | 60.8 | 10.5 |
| 2015 | gen-15 | 98.0 | 65.4 | 32.6 |
| | feb-15 | 119.3 | 67.0 | 52.3 |
| | mar-15 | 165.0 | 67.0 | 98.0 |

| | | | | |
|------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| | apr-15 | 187.7 | 67.0 | 120.7 |
| | mag-15 | 141.6 | 67.0 | 74.6 |
| | giu-15 | 100.4 | 67.0 | 33.4 |
| | lug-15 | 87.4 | 66.1 | 21.3 |
| | ago-15 | 75.5 | 65.0 | 10.5 |
| | set-15 | 62.7 | 52.2 | 10.5 |
| | ott-15 | 64.7 | 54.2 | 10.5 |
| | nov-15 | 77.7 | 61.0 | 16.7 |
| | dic-15 | 77.3 | 64.1 | 13.2 |
| 2016 | gen-16 | 109.4 | 65.9 | 43.5 |
| | feb-16 | 163.2 | 67.0 | 96.2 |
| | mar-16 | 142.0 | 67.0 | 75.0 |
| | apr-16 | 115.2 | 67.0 | 48.2 |
| | mag-16 | 113.9 | 67.0 | 46.9 |
| | giu-16 | 82.0 | 67.0 | 15.0 |
| | Min | 56.0 | 46.0 | 10.0 |
| | Media | 120.5 | 63.6 | 56.9 |
| | Max | 262.5 | 67.0 | 195.5 |

Tab. 2: report statistico delle portate totali, di prelievo e di rilascio alle sorgenti del Calore. Il monitoraggio automatico è iniziato dall'agosto 2012, mentre per il periodo precedente si dispone solo di misure non sistematiche. In rosso sono indicati i mesi con portate di magra ($Q \leq 70$ l/s).

Detto report statistico, limitatamente all'aggiornamento dei dati fino al giugno 2016, è stato trasmesso anche al Parco del Cilento e Vallo di Diano che ne ha fatto richiesta (comunicazione Prot. 00315 del 12 gennaio 2015) con la finalità di acquisire i dati dei prelievi e dei rilasci idrici, effettuati alle opere di captazione delle sorgenti del Calore negli ultimi cinque anni.

Dalla precedente tabella (Tab. 2), in riferimento al periodo del monitoraggio automatico (agosto 2012-giugno 2016) è possibile evincere che:

- 1) identificando il periodo di magra corrispondente a valori delle portate inferiori o uguali a 70 l/s (valori in colore rosso nella tabella precedente), tale periodo si è finora manifestato in quattro anni idrologici consecutivi (2011-2012; 2012-2013, 2013-2014 e 2014-2015) con durata di: 1 mese (settembre 2012 e ottobre 2013), 2 mesi (settembre-ottobre 2015) e 3 mesi (settembre-novembre 2014); tale variabilità è giustificabile in base alla quantità e distribuzione delle precipitazioni dei mesi antecedenti, quindi a fenomeni naturali connessi alla variabilità climatica annuale;
- 2) la portata del gruppo sorgivo ha raggiunto, nell'ottobre 2014, il valore medio mensile minimo di 56 l/s;
- 3) il rilascio medio mensile, ed anche istantaneo, nei periodi di magra è stato sempre maggiore o uguale a 10 l/s; in particolare, dal giugno 2015, dopo il parere favorevole con prescrizioni dell'Autorità di Bacino Regionale Campania Sud (Prot. n. 2015/2076 del 30/06/2015, Rif. Part. N. 24/2015), tale rilascio è stato imposto sempre con una portata uguale o superiore a 10.5 l/s e comunque pari ad almeno il 20% della portata di magra nel caso di portate totali del gruppo sorgivo inferiori a 57 l/s.

L'analisi statistica dell'intera serie storica dei valori di portata registrati per l'intero gruppo sorgivo (circa 136.500 dati) ha consentito di analizzare i valori istantanei e di definire le frequenze, quindi le durate, delle portate inferiori a 70 l/s, ritenute indicative del periodo di magra. I valori di frequenza sono stati espressi in giorni sull'intera serie storica e in giorni/anno (Tab. 3).

Da tale analisi si evince che le portate istantanee del gruppo sorgivo sono in media inferiori a 55 l/s per un periodo della durata di circa 30 giorni all'anno, mentre inferiori a 50 l/s per un periodo di circa 15 giorni all'anno.

| Portata totale (l/s) | Frequenza sull'intera serie storica | Giorni sull'intera serie storica | Giorni / anno |
|----------------------|-------------------------------------|----------------------------------|---------------|
| 70.0 | 24% | 341 | 88 |
| 65.0 | 19% | 270 | 70 |
| 60.0 | 13% | 185 | 48 |
| 55.0 | 8% | 114 | 30 |
| 50.0 | 4% | 57 | 15 |

Tab. 3: analisi di frequenza e di durata delle portate di magra ($Q \leq 70$ l/s). L'analisi è basata sui dati di portata istantanea (oltre 136.500), misurati con periodicità di 15 minuti.

Il confronto tra l'idrogramma sorgivo totale e quello registrato in ingresso al partitore consente di evidenziare il rilascio globale nel reticolo idrografico del fiume Calore (Tab. 4).

| | | Portata massima (l/s) | Portata media (l/s) | Portata minima (l/s) |
|---|---|-----------------------|---------------------|----------------------|
| A | Totale gruppo sorgivo | 386.1 | 138.4 | 57.0 |
| B | Afflussi al partitore | 184.4 | 72.4 | 46.5 |
| C | Rilascio idrico alle opere di captazione (A – B) | 201.7 | 66.0 | 10.5 |
| D | Rilascio idrico al partitore per superamento della massima portata adducibile (B - 100 l/s) | 84.4 | 0.61 ² | 0.0 |
| | TOTALE (C + D) | 286.1 | 66.6 | 10.5 |

Tab. 4: Rilascio idrico massimo, medio e minimo, nel periodo di osservazione (9 agosto 2012 – 5 settembre 2014), ripartito in rilascio idrico alle opere di captazione, per supero del troppo pieno o per manovre degli operatori, ed in rilascio dal partitore, per supero della massima portata adducibile nella condotta acquedottistica (100 l/s).

Sebbene, la limitata estensione del periodo di monitoraggio (appena due anni) non consenta ancora analisi statistico-probabilistiche finalizzate al calcolo delle portate di magra (es. $Q_{7,10}$), è possibile evincere dai dati sperimentali che, in valore medio, le opere di captazione delle sorgenti del Calore hanno rilasciato a valle, nel periodo di osservazione circa 66.6 l/s. **In magra, invece, il rilascio minimo è stato di 10.5 l/s.** Tale deflusso nella rete idrografica è da mettere in relazione non ai superi della Sorgente superiore e della Sorgente galleria, ma ad una manovra specifica, effettuata dagli operatori del Consorzio Intercomunale degli Acquedotti del Calore Lucano, per garantire il rilascio anche in magra.

² Il calcolo è stato effettuato trasformando in valore medio le portate istantanee che hanno superato, anche per periodi uguali o superiori alla frequenza di campionamento (15 min), il valore di 100 l/s.

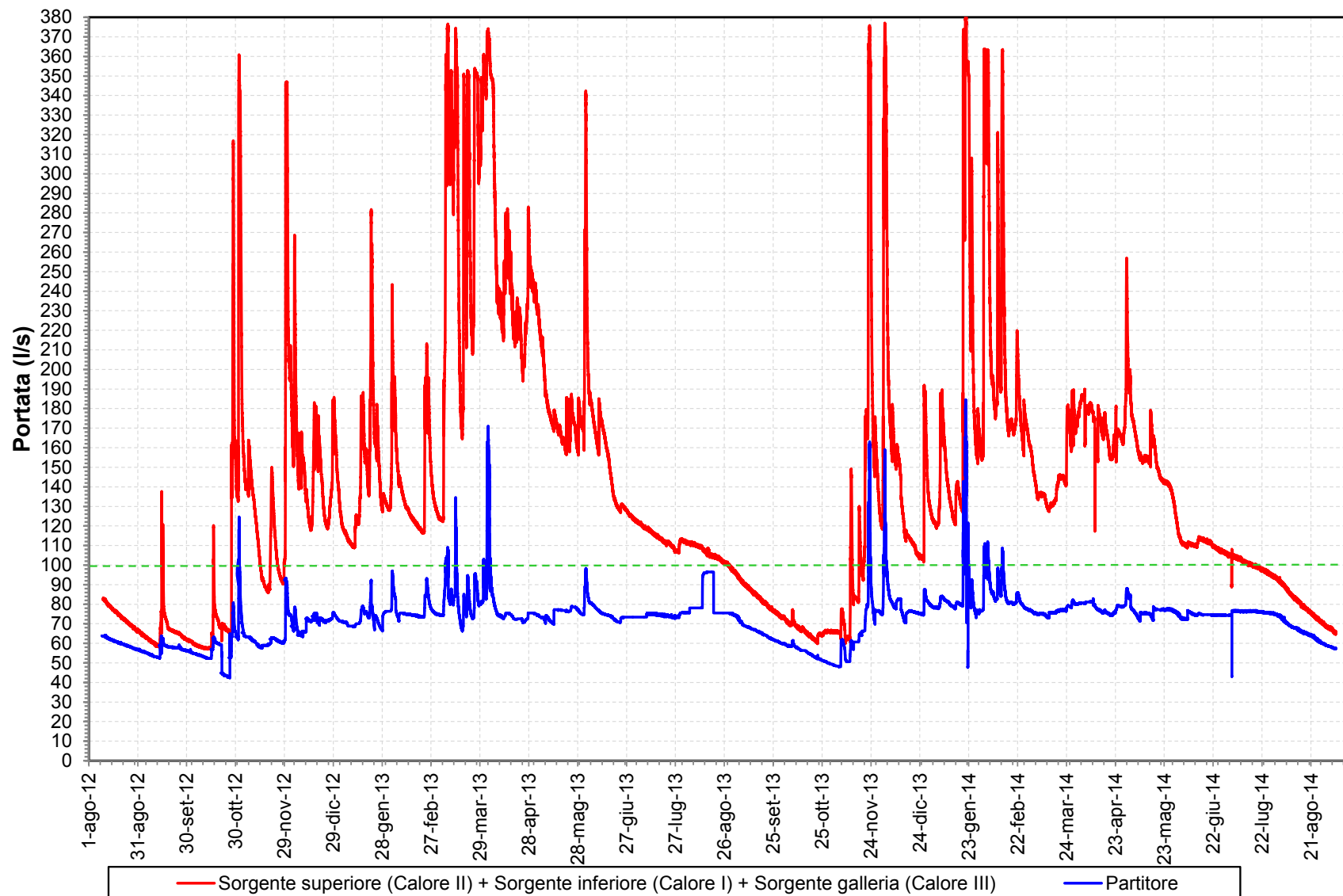


Fig. 11: Confronto tra l'idrogramma totale del gruppo sorgivo e gli afflussi al partitore. La differenza tra i due idrogrammi indica il rilascio idrico nel reticolo idrografico del fiume Calore. Altro rilascio idrico avviene al partitore per il supero della massima portata convogliata nella condotta acquedottistica, pari a circa 100 l/s.

2.5 Analisi differenziale delle portate del fiume Calore nel settore compreso tra le opere di captazione ed il ponte in corrispondenza dell'abitato di Piaggine

In accordo ai criteri illustrati nel precedente paragrafo 2.2, sono state effettuate quattro tornate di misure in alveo (30 giugno 2012, 14 agosto 2012, 1 luglio 2013 e 24 giugno 2014) in un numero di sezioni fluviali variabile da otto a nove, distribuite nel tratto compreso tra le sorgenti ed il ponte sul fiume Calore. Come già indicato (par. 2.2), l'ubicazione delle suddette sezioni di misura è stata fortemente condizionata dall'inaccessibilità delle parti più interne della forra e pertanto esse sono state limitate ai settori dell'alveo corrispondenti ai primi 2.5 km, a partire dal ponte di Piaggine, ed ai primi 2.2 km, a partire dall'impluvio a valle delle sorgenti; il tratto intermedio, lungo circa 5.0 km, è rimasto inesplorato. Nonostante questa limitazione, le misure in alveo hanno consentito di valutare i processi idrogeologici che avvengono lungo il percorso compiuto dai deflussi fluviali, poiché poste in ingresso ed in uscita del settore idrografico oggetto di studio.

L'analisi e l'interpretazione idrogeologica delle misure di portata è stata basata sull'ipotesi di impermeabilità dell'alveo. Secondo tale ipotesi, le portate fluviali dovrebbero crescere progressivamente nel percorso da monte verso valle, in relazione ai contributi provenienti dalle differenti fonti distribuite lungo il percorso (es. contributi idrici da: altre sorgenti, falda idrica sotterranea o affluenti), o di restare costanti, in assenza di contributi idrici. Nella fattispecie, le perdite per evapotraspirazione sono da ritenersi verosimilmente trascurabili, sia per il tempo di transito troppo rapido affinché queste possano agire significativamente sui deflussi ed anche per il microclima esistente all'interno della forra, caratterizzato da una limitata circolazione d'aria ed una fitta vegetazione che scherma l'irraggiamento solare. In base alla suddetta ipotesi, le portate fluviali misurate da monte a valle dovrebbero descrivere, in un diagramma portata/lunghezza del percorso, un grafico cumulato, ovvero una linea spezzata con valori di portata sempre crescenti o al più stazionari nei tratti privi di contributi idrici. **Le differenze (ΔQ) tra le portate riferite a questo comportamento teorico e le misure in alveo, effettuate a distanza progressiva crescente a partire dalle sorgenti, sono quindi interpretabili come apporti provenienti da circolazione idrica sotterranea, nel caso di variazioni positive ($\Delta Q > 0$) o come perdite del deflusso fluviale, per infiltrazione e ricarica della falda idrica sotterranea, nel caso di variazioni negative ($\Delta Q < 0$).**

L'interpretazione dei risultati ha tenuto conto le differenti condizioni idrogeologiche che caratterizzano l'alveo, che sono differenziabili in due settori distinti nel percorso che dalle sorgenti procede verso valle (Tavv. 1 e 2):

- a) il settore compreso tra le sorgenti e l'inizio della forra, caratterizzato da depositi di substrato torbiditici e bacinali con coperture detritiche carbonatiche, esteso circa 2.2 km;
- b) il settore della forra, incisa nelle successioni carbonatiche del Cretaceo ad elevata permeabilità per fessurazione e carsismo, esteso per i restanti 7.5 km.

Le misure di portata effettuate nelle varie date hanno consentito di effettuare un'analisi numerica e grafica delle variazioni delle portate lungo l'alveo del Calore (Tabb. 5, 6, 7 e 8 e Figg. 12, 13, 14 e 15). In particolare, sono state stimate le differenze (ΔQ) tra le portate attese (Q_a), riferite all'ipotesi

di alveo impermeabile, e le portate misurate (Q_m). L'ubicazione ed i valori misurati nelle differenti sezioni fluviali nelle differenti date sono visualizzate nelle tavole in appendice (Tavv. 3, 4, 5 e 6).

| ID | Corso d'acqua | Distanza progressiva dalle sorgenti (m) | Portate misurate (l/s) | Portate attese (l/s) | ΔQ (l/s) |
|-------------------|--|---|------------------------|----------------------|------------------|
| | | | 30-giu-12 | 30-giu-12 | 30-giu-12 |
| I | Fiumicello | 0 | 17.1 | 17.1 | 0.0 |
| F | Fiumicello prima della confluenza con il fiume Bianco | 2016 | 23.6 | 23.6 | 0.0 |
| G | Calore dopo la confluenza con il fiume Bianco ed il Vallone Monaco | 2221 | 30.8 | 31.0 | -0.2 |
| E | Calore | 8797 | 17.6 | 31.0 | -13.4 |
| D | Calore | 9433 | 31.1 | 31.0 | 0.1 |
| B | Calore | 9762 | 6.1 | 38.8 | -32.7 |
| Confluenze | | | | | |
| 1 | Fiume Bianco | 2050 | 7.4 | | |
| 2 | Vallone Monaco | 2150 | 0.0 | | |
| 3 | Torrente Mangosa a ponte Creturo | 7673 | 0.0 | | |
| 4 | Bacino Acqua Cavalli (rilascio acquedotto di Piaggine) | 9512 | 7.8 | | |

Tab. 5: Risultati delle misure di portata in alveo effettuate il 30 giugno 2012. Per ciascuna sezione fluviale sono evidenziate le portate misurate e quelle attese in considerazione del contributo misurato alle confluenze (fiume Bianco, vallone Monaco, torrente Mangosa a ponte Creturo, rilascio acquedotto di Piaggine nel bacino Acqua Cavalli). Nell'ultima colonna è evidenziata la differenza tra le portate attese e quelle misurate ($\square Q$) in corrispondenza delle varie progressive di misura.

| ID | Corso d'acqua | Distanza progressiva dalle sorgenti (m) | Portate misurate (l/s) | Portate attese (l/s) | ΔQ (l/s) |
|-------------------|--|---|------------------------|----------------------|------------------|
| | | | 14-ago-12 | 14-ago-12 | 14-ago-12 |
| I | Fiumicello | 0 | 2.7 | 2.7 | 0.0 |
| F | Fiumicello | 1957 | 6.2 | 6.2 | 0.0 |
| G | Calore dopo la confluenza con il fiume Bianco | 2033 | 3.3 | 7.5 | -4.2 |
| G2 | Calore dopo la confluenza con il torrente Monaco | 2225 | 3.2 | 7.5 | -4.3 |
| G3 | Calore dopo la confluenza con il torrente Monaco | 2332 | 2.8 | 7.5 | -4.7 |
| E2 | Calore | 7029 | 0 | 7.5 | -7.5 |
| E | Calore | 8616 | 0 | 7.5 | -7.5 |
| D | Calore | 9197 | 0 | 7.5 | -7.5 |
| B | Calore | 9574 | 0 | 7.5 | -7.5 |
| Confluenze | | | | | |
| 1 | Fiume Bianco | 2050 | 1.3 | | |
| 2 | Vallone Monaco | 2150 | 0.0 | | |
| 3 | Torrente Mangosa a ponte Creturo | 7673 | 0.0 | | |
| 4 | Bacino Acqua Cavalli (rilascio acquedotto di Piaggine) | 9512 | 0.0 | | |

Tab. 6: Risultati delle misure di portata in alveo effettuate il 14 agosto 2012. Per ciascuna sezione fluviale sono evidenziate le portate misurate e quelle attese in considerazione del contributo misurato alle confluenze (fiume Bianco, vallone Monaco, torrente Mangosa a ponte Creturo, rilascio acquedotto di Piaggine nel bacino Acqua Cavalli). Nell'ultima colonna è evidenziata la differenza tra le portate attese e quelle misurate ($\square Q$) in corrispondenza delle varie progressive di misura.

| ID | Corso d'acqua | Distanza progressiva dalle sorgenti (m) | Portate misurate (l/s) | Portate attese (l/s) | ΔQ (l/s) |
|------------|--|---|------------------------|----------------------|------------------|
| | | | 01-lug-13 | 01-lug-13 | 01-lug-13 |
| I | Fiumicello | 0 | 67.8 | 67.8 | 0.0 |
| I2 | Fiumicello | 1177 | 143.0 | 143.0 | 0.0 |
| G | Calore dopo la confluenza con il fiume Bianco ed il Vallone Monaco | 2221 | 141.6 | 174.8 | -33.2 |
| E | Calore | 8797 | 117.8 | 174.8 | -57.0 |
| D | Calore | 9433 | 119.7 | 174.8 | -55.1 |
| B | Calore | 9762 | 120.2 | 180.8 | -60.6 |
| Confluenze | | | | | |
| 1 | Fiume Bianco | 2050 | 31.8 | | |
| 2 | Vallone Monaco | 2150 | 0.0 | | |
| 3 | Torrente Mangosa a ponte Creturo | 7673 | 0.0 | | |
| 4 | Bacino Acqua Cavalli (rilascio acquedotto di Piaggine) | 9512 | 6.0 | | |

Tab. 7: Risultati delle misure di portata in alveo effettuate il 1 luglio 2013. Per ciascuna sezione fluviale sono evidenziate le portate misurate e quelle attese in considerazione del contributo misurato alle confluenze (fiume Bianco, vallone Monaco, torrente Mangosa a ponte Creturo, rilascio acquedotto di Piaggine nel bacino Acqua Cavalli). Nell'ultima colonna è evidenziata la differenza tra le portate attese e quelle misurate ($\square Q$) in corrispondenza delle varie progressive di misura.

| ID | Corso d'acqua | Distanza progressiva dalle sorgenti (m) | Portate misurate (l/s) | Portate attese (l/s) | ΔQ (l/s) |
|------------|--|---|------------------------|----------------------|------------------|
| | | | 24-giu-14 | 24-giu-14 | 24-giu-14 |
| I | Fiumicello | 0 | 22.8 | 22.8 | 0.0 |
| I2 | Fiumicello | 1177 | 25.0 | 25.0 | 0.0 |
| F | Fiumicello prima della confluenza con il fiume Bianco | 2016 | 33.4 | 55.6 | -22.2 |
| G | Calore dopo la confluenza con il fiume Bianco ed il Vallone Monaco | 2221 | 80.9 | 80.9 | 0.0 |
| E | Calore | 8797 | 57.4 | 80.9 | -23.5 |
| D | Calore | 9433 | 64.5 | 80.9 | -16.4 |
| B | Calore | 9762 | 33.4 | 85.9 | -52.5 |
| Confluenze | | | | | |
| 1 | Fiume Bianco | 2050 | 22.2 | | |
| 2 | Vallone Monaco | 2150 | 0.0 | | |
| 3 | Torrente Mangosa a ponte Creturo | 7673 | 0.0 | | |
| 4 | Bacino Acqua Cavalli (rilascio acquedotto di Piaggine) | 9512 | 5.0 | | |

Tab. 8: Risultati delle misure di portata in alveo effettuate il 24 giugno 2014. Per ciascuna sezione fluviale sono evidenziate le portate misurate e quelle attese in considerazione del contributo misurato alle confluenze (fiume Bianco, vallone Monaco, torrente Mangosa a ponte Creturo, rilascio acquedotto di Piaggine nel bacino Acqua Cavalli). Nell'ultima colonna è evidenziata la differenza tra le portate attese e quelle misurate ($\square Q$) in corrispondenza delle varie progressive di misura.

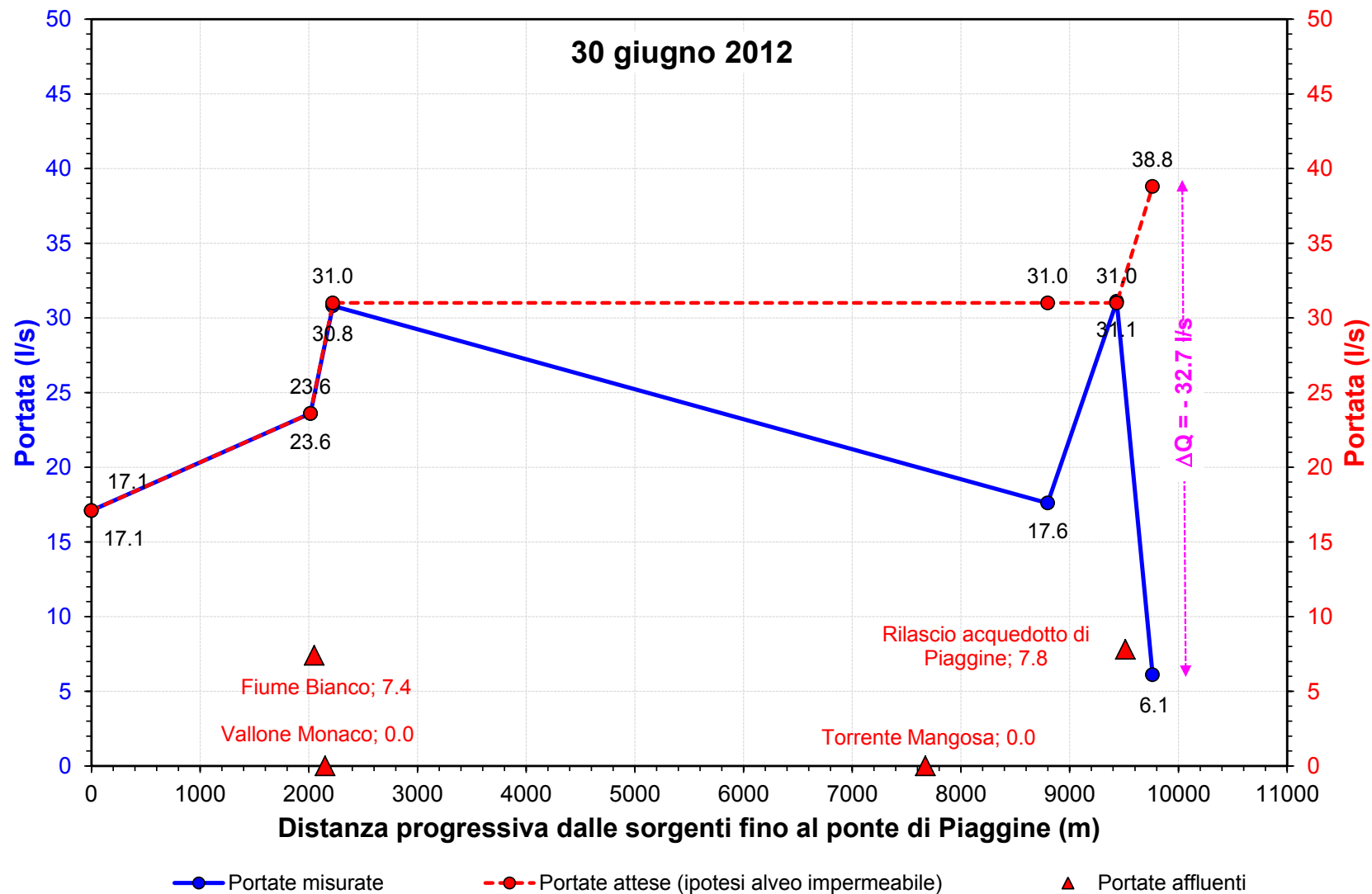


Fig. 12: Confronto tra le portate progressive misurate il 30 giugno 2012 e quelle attese nell'ipotesi di alveo impermeabile. È evidenziata alla sezione di chiusura la differenza tra le due (ΔQ).

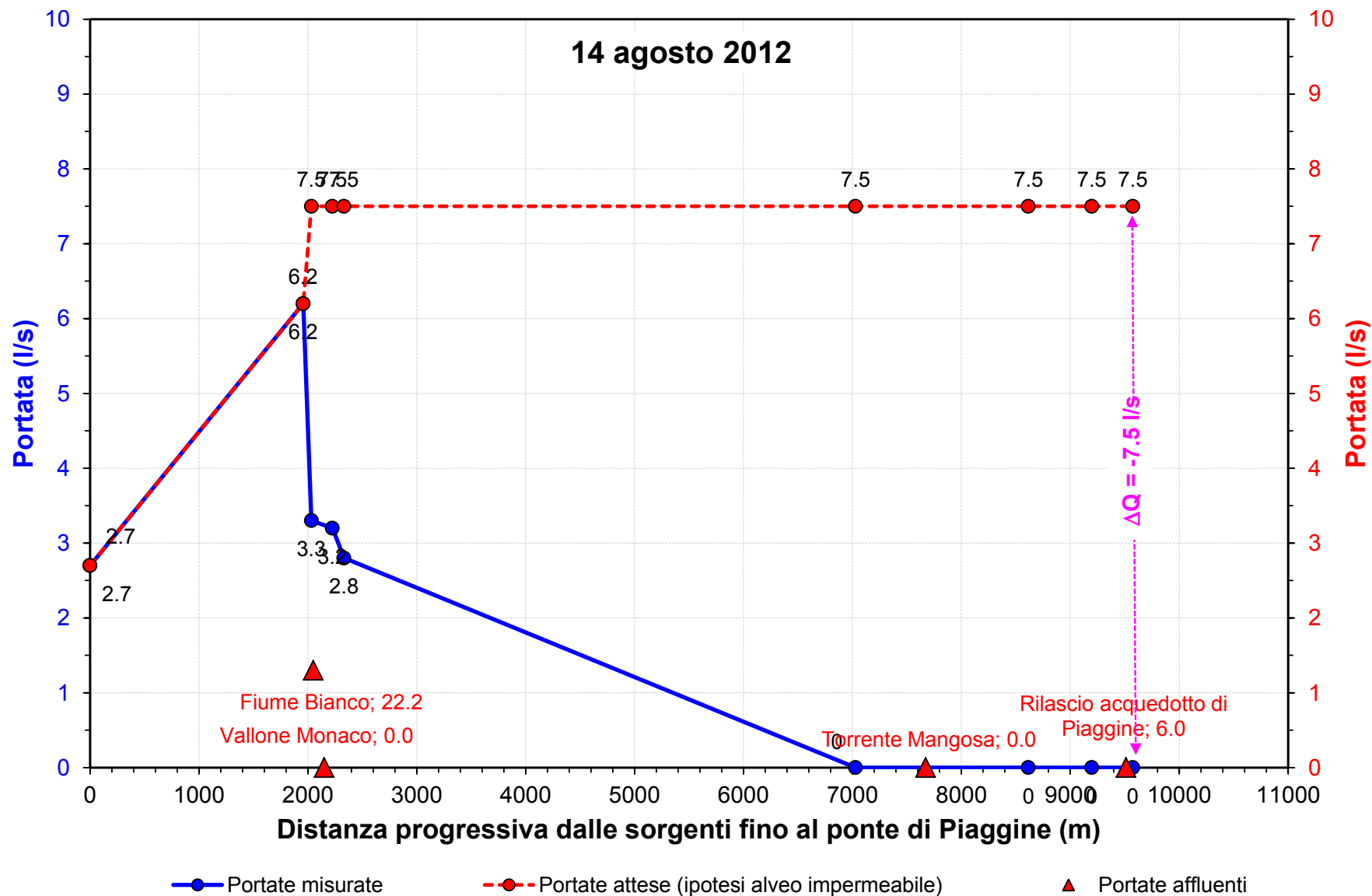


Fig. 13: Confronto tra le portate progressive misurate il 14 agosto 2012 e quelle attese nell'ipotesi di alveo impermeabile. È evidenziata alla sezione di chiusura la differenza tra le due (ΔQ).

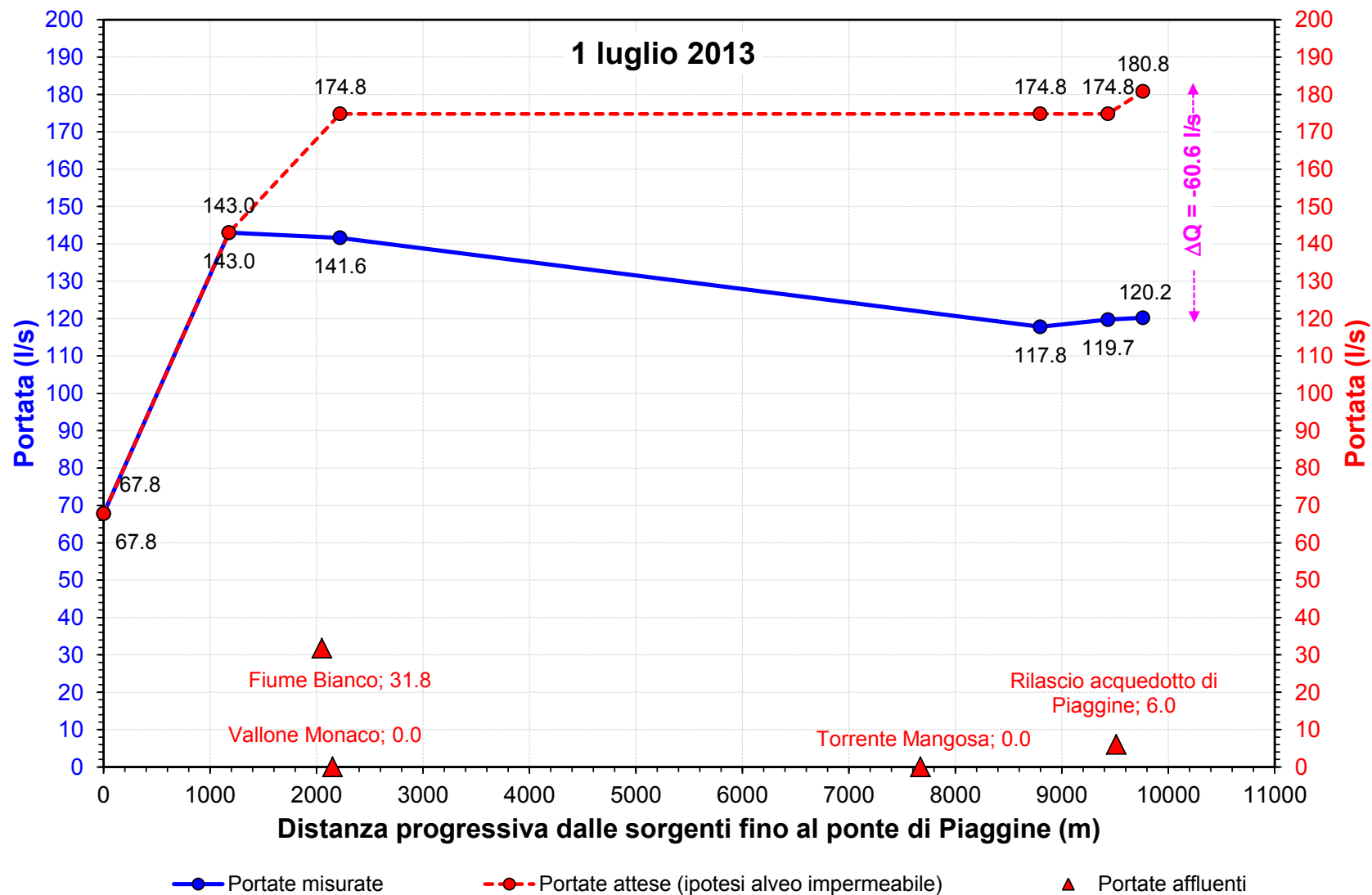


Fig. 14: Confronto tra le portate progressive misurate il 1 luglio 2013 e quelle attese nell'ipotesi di alveo impermeabile. È evidenziata alla sezione di chiusura la differenza tra le due (ΔQ).

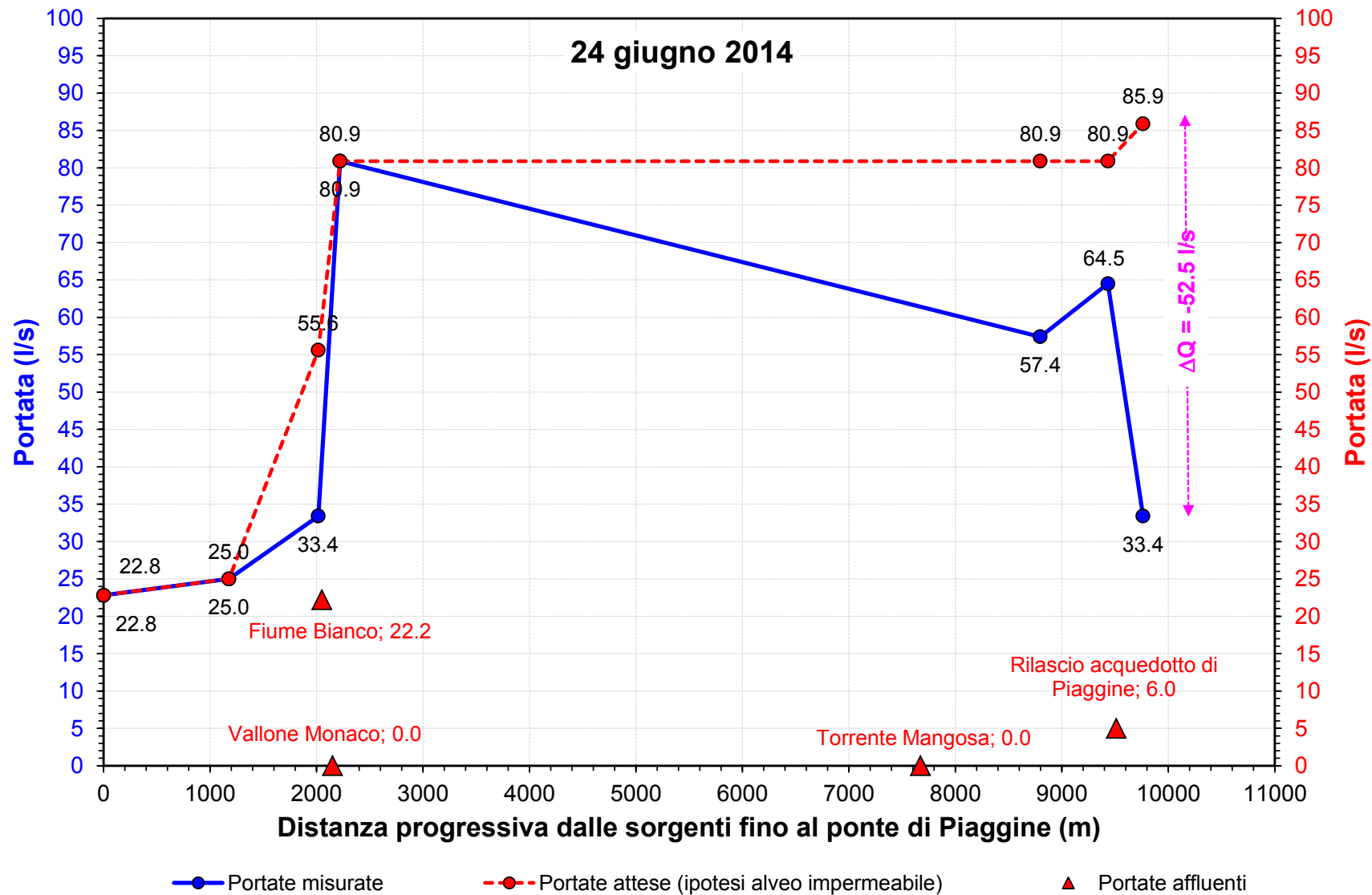


Fig. 15: Confronto tra le portate progressive misurate il 24 giugno 2014 e quelle attese nell'ipotesi di alveo impermeabile. È evidenziata alla sezione di chiusura la differenza tra le due (ΔQ).

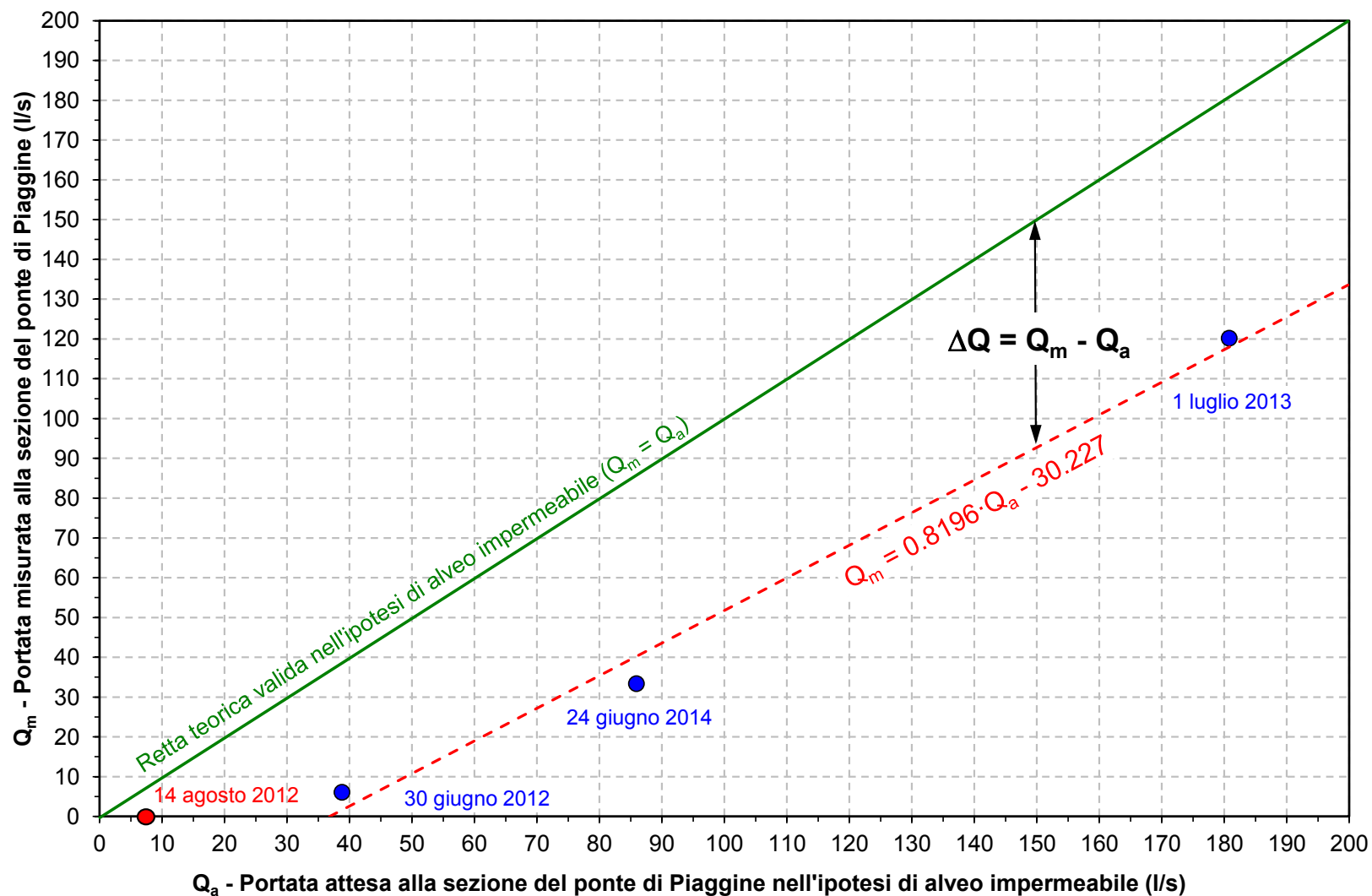


Fig. 16: Legge empirica di variazione delle portate misurate (Q_m) ed attese (Q_a) al ponte di Piaggine (punti blu e linea tratteggiata rossa). Le perdite per infiltrazione dall'alveo sono deducibili dalla differenza tra la retta teorica di uguaglianza tra le portate misurate (Q_m) e quelle attese (Q_a) (linea verde). La misura del 14 agosto 2012 non è stata considerata nell'interpolazione lineare poiché caratterizzata da valori nulli ($Q_m = 0$), ovvero dalla condizione di infiltrazione totale dei deflussi nell'alveo del fiume Calore.

I dati sperimentali (Tab. 9) mostrano l'esistenza di una legge lineare empirica tra le portate misurate (Q_m) e quelle attese (Q_a) alla sezione fluviale del ponte di Piaggine (Fig. 32).

$$Q_m \text{ (l/s)} = 0.8196Q_a - 30.227 \quad [1]$$

da cui deriva

$$Q_a \text{ (l/s)} = \frac{Q_m + 30.227}{0.8196} \quad [2]$$

| Data | Q_m (l/s) | Q_a (l/s) | $\Delta Q = Q_m - Q_a$ (l/s) |
|----------------|-------------|-------------|------------------------------|
| 30 giugno 2012 | 6.1 | 38.8 | -32.7 |
| 14 agosto 2012 | 0.0 | 7.5 | -7.5 |
| 1 luglio 2013 | 120.2 | 180.8 | -60.6 |
| 24 giugno 2014 | 33.4 | 85.9 | -52.5 |

Tab. 9: Portate misurate (Q_m), portate attese nell'ipotesi di alveo impermeabile (Q_a) e relativa differenza ($\Delta Q = Q_m - Q_a$) alla sezione fluviale del ponte di Piaggine, riferite alle quattro date di misura.

Dalla suddetta legge empirica si deduce che le portate di deflusso alla sezione del ponte di Piaggine sono non nulle ($Q_m > 0$) per la condizione di seguito esplicitata.

Ponendo $Q_m = 0$, la [1] si trasforma in:

$$Q_m \text{ (l/s)} = 0.8196Q_a - 30.227 = 0$$

da cui si ottiene:

$$Q_a \text{ (l/s)} = \frac{30.227}{0.8196} = 36.880$$

In altri termini, possono esistere deflussi alla sezione fluviale del ponte di Piaggine solo per valori di portata globale in ingresso nella forra (Q_a) maggiori di circa 36.9 l/s. È da precisare che tale stima è verosimilmente sottodimensionata poiché non tiene conto degli ulteriori apporti idrici sotterranei, provenienti da sorgenti minori non incluse nei sottobacini idrografici

considerati, i cui contributi renderebbero più elevate le portate in ingresso nella forra, quindi le perdite per infiltrazione dall'alveo del fiume Calore.

Inoltre, osservando la legge empirica che lega le portate misurate (Q_m) a quelle attese (Q_a) è possibile ricavare mediante le trasformazioni algebriche di seguito riportate,

$$Q_m - Q_a = 0.8196Q_a - Q_a - 30.227$$

$$\Delta Q = Q_m - Q_a = (0.8196 - 1) \cdot Q_a - 30.227,$$

l'espressione analitica che lega le perdite per infiltrazione verso la falda di base (ΔQ) alla portata attesa (Q_a), ovvero di afflusso globale alla forra.

$$\Delta Q \text{ (l/s)} = - 0.184 Q_a - 30.227$$

Da tale relazione, oltre che dall'analisi grafica (Fig. 32), è possibile evincere che le perdite per infiltrazione (ΔQ) sono direttamente proporzionali alla portata globale di afflusso alla forra (Q_a).

I risultati, illustrati anche in forma grafica (Figg. 12, 13, 14, 15 e 16) e numerica (Tab. 9), dimostrano chiaramente che lungo il percorso del fiume Calore, dalle sorgenti fino al ponte in prossimità di Piaggine, avvengono i fenomeni idrogeologici descritti nei punti seguenti.

- 1) Nel primo settore, esteso per circa 2.2 km, e compreso tra le sorgenti e l'inizio della forra incisa nelle successioni carbonatiche del Cretaceo, le portate fluviali sono state rilevate in progressivo aumento, ed approssimativamente coincidenti a quelle attese, per tre fattori fondamentali:
 - a) presenza di un substrato a bassa permeabilità, costituito da terreni bacinali e torbiditici, a prevalente componente argillitica (Formazione del Bifurto - BIF, Arenarie di Albanella - ABA ed Argille Varicolori - ALV), che limita le perdite per infiltrazione dall'alveo verso la falda di base;
 - b) apporti idrici in alveo provenienti da piccole sorgenti, sia puntuali (es. sorgente dell'Inforcatino) che lineari, riferibili ad una circolazione idrica sotterranea nell'ambito dell'acquifero detritico carbonatico che è sovrapposto al substrato dei depositi bacinali e torbiditici, a bassa permeabilità;
 - c) apporti idrici della confluenza con il fiume Bianco, alimentato da sorgenti, sia puntuali che lineari, connesse ad una circolazione idrica sotterranea esistente

nell'ambito degli acquiferi detritici carbonatici sovrapposti a terreni di substrato torbiditici e bacinali a bassa permeabilità (stessa condizioni idrogeologica descritta al punto precedente).

- 2) Nel secondo settore, esteso per circa 7.5 km, e sviluppantesi interamente nella forra incisa nelle successioni carbonatiche cretacee, le portate fluviali sono state rilevate in diminuzione e non coincidenti con quelle attese ($\Delta Q < 0$), per tre fattori fondamentali:
 - a) assenza di afflussi, nella stagione estiva, alla confluenza del vallone del Monaco; per la mancanza di sorgenti significative, tale bacino idrografico è verosimile che possa dare apporti idrici solo durante i periodi di prolungate ed intense precipitazioni, quando si possono generare deflussi superficiali in ammassi rocciosi ad elevata permeabilità;
 - b) assenza di afflussi, nella stagione estiva, alla confluenza del torrente Mangosa, in larga parte impostato sui versanti meridionali del Monte Motola, costituiti dalla successione carbonatica mesozoica, ed in parte impostato su terreni bacinali e torbiditici a bassa permeabilità; tale bacino idrografico fornisce apporto idrico all'alveo del fiume Calore solo nella stagione invernale e primaverile per l'assenza di sorgenti significative che determina l'esistenza di deflussi superficiali solo in concomitanza della stagione piovosa fino all'inizio di quella estiva;
 - c) **perdite per infiltrazione, diffuse e concentrate, verso la falda di base attraverso il reticolo di fessure e di canali carsici che pervade l'ammasso roccioso carbonatico**; nella fattispecie, tale processo è giustificato dal recapito della falda di base all'esterno del bacino idrografico, come dimostrano:
 - i. **l'emergenza delle sorgenti Foce Gorgo Nero, Festole di Laurino, Acqua Fresca e Foce, nel Comune di Laurino, a quote comprese tra 410 e 324 m s.l.m. (cfr. n. 245, 246, 247 e 248 in Tab. 10 e Tavv. 1 e 7), con una portata medio annua complessiva di circa 500 l/s.**
 - ii. **la quota del fondo alveo del fiume Calore (valore minimo alla sezione di chiusura 578 m s.l.m.), che è superiore a quella di emergenza delle suddette sorgenti, e pertanto a quella alla quale si attese la superficie piezometrica della falda di base.**



Fig. 17: Emergenza della Sorgente Foce Gorgo Nero nell'alveo del fiume Calore, in corrispondenza della località Ponte di Sant'Elena, pochi chilometri a valle del ponte di Piaggine (410 m s.l.m.). Tale sorgente rappresenta l'emergenza della falda di base verso la quale hanno recapito in fenomeni di infiltrazione dall'alveo fluviale nel settore a monte. La fotografia è stata ripresa il 5 settembre 2014.



Fig. 18: Condizioni di naturalità del fiume Calore immediatamente a valle dell'emergenza della Sorgente Foce Gorgo Nero. La fotografia è stata ripresa il 5 settembre 2014.

| ID | Denominazione | Comune | Corso d'acqua | Quota m s.l.m. | Portata (m ³ /s): a) Σ del gruppo; b) portata misurata in alveo | Portata (m ³ /s): a) non captata; b) captazione parziale; c) captazione totale | Gestore della captazione | Tipologia circolazione idrica sotterranea | | |
|--------|----------------------------|----------------------------------|------------------|----------------|---|--|--------------------------|---|-----------------------------|---------|
| 229a-c | 229a | Del Persico | Sanza | Bussento | 626 | 0,032 | 0,067 ^a | (c): potabile | | Basale |
| | 229b | Festola di Sotto | | | 582 | 0,016 | | | | Basale |
| | 229c | Fistole di Sanza | | | 610 | 0,020 | | (b): potabile | CONSAC | Basale |
| 230 | Gruppo Fistole del Faraone | Rofrano | Fosso di Pruno | 426 | | 0,492 ^b | (b): potabile | CONSAC | Basale | |
| 231 | Gruppo del F. Pruno | Rofrano | Fosso di Pruno | 516 | | | (a): | | Basale | |
| 232 | Varco La Peta | Sanza | Bussento | 909 | 0,065 | | (c): potabile | CONSAC | Sospesa | |
| 233 | Monte Menzano | Sanza | Bussento | 637 | 0,117 | | (b): potabile | CONSAC | Basale | |
| 234 | Rio Freddo | Buonabitacolo | Tanagro | 468 | 0,604 | | (b): irriguo | C. B. Vallo di Diano | Basale | |
| 235a-d | 235a | Vagera I, II, III | Sassano | Calore-Tanagro | 465 | 0,192 | 0,944 ^a | | | Basale |
| | 235b | Gruppo Fontanella Soprano I e II | | | 465 | 0,752 | | (b): irriguo | C. B. Vallo di Diano | Basale |
| | 235c | Della Valle II e III | | | 465 | | | | | Basale |
| | 235d | Pozzo | | | 463 | | | | | Basale |
| 236 | Fontanelle Sottane | Sassano | Tanagro | 458 | 0,299 | | (b): irriguo | C. B. Vallo di Diano | Basale | |
| 237a-b | 237a | Acqua che Suona | Monte S. Giacomo | Calore Lucano | 1.460 | 0,010 | 0,013 ^a | | | Sospesa |
| | 237b | Acqua degli Zingari | Monte S. Giacomo | | 1.425 | 0,003 | | | | Sospesa |
| 238a-b | 238a | Calore II | Piaggine | Calore Lucano | 1104 | 0,041 | 0,098 ^a | (c): potabile | Consorzio Acquedotti Lucano | Sospesa |
| | 238b | Calore I | Piaggine | Calore Lucano | 1.150 | 0,058 | | (c): potabile | Consorzio Acquedotti Lucano | Sospesa |
| 241 | Del Festolaro | Valle dell'Angelo | Calore Lucano | 1.080 | 0,012 | | (b): potabile | | Sospesa | |
| 242 | Savucco | Piaggine | Calore Lucano | 926 | 0,006 | | (b): altro | | Sospesa | |
| 245 | Festole di Laurino | Laurino | Calore Lucano | 394 | 0,080 | | | | Basale | |
| 246 | Foce Gorgo Nero | Laurino | Calore Lucano | 410 | 0,124 | | | | Basale | |
| 247 | Acqua Fresca | Laurino | Calore Lucano | 354 | 0,150 | | | | Basale | |
| 248 | Foce | Laurino | Calore Lucano | 324 | 0,151 | | | | Basale | |

Tab. 10: Principali sorgenti riferibili alla circolazione idrica sotterranea nell'unità idrogeologica del Monte Cervati (cfr.par. 10.4). Per l'analisi statistica delle sorgenti in relazione al tipo di circolazione idrica sotterranea (basale o sospesa) ed alla quota di affioramento,

2.6 Determinazione delle portate idriche che vengono restituite al fiume Calore a seguito dell'utilizzo idropotabile e dei trattamenti di depurazione, così come previsto dalla legge

Sulla base delle misure di portata e del monitoraggio alle sorgenti del Calore, è stato possibile analizzare il regime idrologico delle stesse ed il rilascio nella rete idrografica del fiume Calore. I risultati, illustrati nel dettaglio nel paragrafo precedente, sono sintetizzati nella seguente tabella 11.

| | | Portata massima (l/s) | Portata media (l/s) | Portata minima (l/s) |
|---|---|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| A | Totale gruppo sorgivo | 386.1 | 138.4 | 57.0 |
| B | Afflussi al partitore | 184.4 | 72.4 | 46.5 |
| C | Rilascio idrico alle opere di captazione (A – B) | 201.7 | 66.0 | 10.5 |
| D | Rilascio idrico al partitore per superamento della massima portata adducibile (B - 100 l/s) | 84.4 | 0.61 | 0.0 |
| | TOTALE (C + D) | 286.1 | 66.6 | 10.5 |

Tab. 11: Rilascio idrico alle opere di presa nel fiume Calore, massimo, medio e minimo, nel periodo di osservazione (9 agosto 2012 – 5 settembre 2014), ripartito in rilascio idrico alle opere di captazione, per supero del troppo pieno o per manovre degli operatori, ed in rilascio dal partitore, per supero della massima portata adducibile nella condotta acquedottistica (100 l/s).

Da tale misure è possibile evincere che il rilascio idrico dalle opere di captazione e dal partitore assomma **ad una media annua di 66.6 l/s**, mentre la portata minima rilasciata a valle, mediante specifica manovra degli operatori del Consorzio degli Acquedotti del Calore Lucano è di **10.5 l/s**.

2.7 Stima della frazione idrica che si disperde nel sottosuolo durante il vettoriamento delle acque sorgive lungo il Vallone La Festola, per diverse condizioni di deflusso, al fine di individuare l'aliquota idrica che alimenta il deflusso superficiale del Calore Lucano

L'analisi delle caratteristiche idrogeologiche del bacino idrografico sotteso dalla sezione di chiusura del fiume Calore al ponte di Piaggine e, soprattutto, il regime delle portate fluviali, variabile da molti m³/s, durante i fenomeni di piena, a zero durante la stagione estiva inoltrata, ha indotto ad effettuare le misure di portata in alveo nel periodo immediatamente precedente alla scomparsa dei deflussi fluviali, che usualmente avviene a partire dalla seconda metà di luglio. Tale scelta è stata dettata dalla necessità di misurare variazioni dei deflussi fluviali connesse ad eventuali processi idrogeologici di alimentazione del fiume Calore da parte di deflussi sotterranei o, viceversa, di alimentazione della falda idrica sotterranea mediante perdite per infiltrazione dei deflussi fluviali. Le misure di portata effettuate in altri periodi dell'anno idrologico, ad esempio durante la morbida, non avrebbero altresì consentito di evidenziare con chiarezza i suddetti processi, sia per la preponderante presenza di deflussi superficiali che per le portate elevate, che non avrebbero consentito la rilevazione di differenze di piccole portate idriche con elevata accuratezza.

Come illustrato nel paragrafo precedente (cfr. par. 6.2), le misure di portata effettuate in più sezioni di misura dell'alveo del fiume Calore, nel settore compreso tra le opere di captazione ed il ponte di Piaggine (9.7 km), **hanno dimostrato l'esistenza di una diminuzione delle portate in alveo per infiltrazione e percolazione verso la falda di base nel settore in cui il fiume Calore percorre la forra incisa in rocce carbonatiche. Dalle misurazioni effettuate si evince che le suddette perdite sono proporzionali alle portate in afflusso nella forra e tali da determinare l'esistenza di deflussi alla sezione del ponte di Piaggine solo per afflussi nella forra superiori a circa 36.9 l/s. Contrariamente, per valori inferiori di portate di afflusso, non si registrerebbero deflussi alla suddetta sezione fluviale.**

Per la natura carbonatica dell'ammasso roccioso che costituisce la forra del fiume Calore e per le caratteristiche di permeabilità, per fessurazione e carsismo, le suddette perdite sono da attribuire a processi di infiltrazione, da diffusi a concentrati, che determinano la ricarica della falda di base dell'acquifero carbonatico, soggiacente a quote inferiori a quelle dell'alveo del fiume Calore stesso (quota minima 578 m s.l.m.). **Nel caso specifico, la falda di base, alimentata anche dalla restante parte dell'unità idrogeologica del Monte Cervati, ha infatti recapito all'esterno del bacino idrografico del fiume Calore, emergendo più a valle tra 410 e 324 m s.l.m. in corrispondenza delle sorgenti Foce Gorgo Nero, Festole di Laurino, Acqua Fresca e Foce (cfr. n. 245, 246, 247 e 248 in Tab. 10 e Tavv. 1 e 7), nel Comune di Laurino, con una portata medio annua complessiva di circa 500 l/s.**

3. VALUTAZIONE DEL DMV OCCORRE VALUTARE LA PORTATA MINIMA ISTANTANEA CHE DEVE ESSERE PRESENTE IN ALVEO IMMEDIATAMENTE A VALLE DEI PRELIEVI AL FINE DI MANTENERE VITALI LE CONDIZIONI DI FUNZIONALITÀ E DI QUALITÀ DEGLI ECOSISTEMI INTERESSATI

La valutazione del deflusso minimo vitale nel tratto fluviale compreso tra le emergenze sorgentizie del Calore ed il ponte di Piaggine (circa 9.7 km) deve necessariamente prendere in considerazione la complessità dei processi idrogeologici che vi hanno sede. A tale proposito, l'applicazione delle *“Linee guida per la valutazione del deflusso minimo vitale dei corsi d'acqua ricadenti nel territorio dell'Autorità di Bacino Interregionale del fiume Sele per la tutela degli organismi viventi fluviali”* presenta notevoli difficoltà, proprio per la particolarità delle condizioni idrogeologiche esistenti in questo settore fluviale.

La principale complessità deriva dal poter assicurare, nel periodo di magra, i deflussi in alveo nel tratto terminale del fiume Calore, prossimo al ponte di Piaggine, conciliando sia le esigenze del prelievo idropotabile alle sorgenti che l'esistenza di perdite per infiltrazione dall'alveo. A titolo esemplificativo, prendendo a riferimento il criterio della tutela degli organismi viventi fluviali (DMV-OV), proposto nelle suddette norme, che si basa sull'estensione del bacino idrografico sotteso, il deflusso minimo vitale dovrebbe corrispondere ad almeno il 20% della portata media per bacini di estensione superiore a 20 km². Quindi considerando i dati di monitoraggio del gruppo sorgivo e ritenendo, in via riduttiva, le portate dello stesso gli unici deflussi esistenti nell'ambito del bacino in regime di magra, si ricaverebbe un deflusso minimo vitale pari a circa 27.7 l/s, a partire dalla portata media del gruppo sorgivo che è di circa 138.4 l/s (Tab. 10). Tuttavia, considerando le perdite esistenti nel tratto in cui il fiume Calore attraversa la forra, si ricava dall'equazione [2],

$$Q_a \text{ (l/s)} = \frac{Q_m + 30.227}{0.8196} \quad [2],$$

che le portate di rilascio (Q_a) che potrebbero garantire tale deflusso alla sezione del ponte di Piaggine dovrebbero assommare a circa 70.7 l/s, corrispondendo quindi ad un valore significativamente superiore a quello minimo raggiunto dal gruppo sorgivo stesso nel periodo di osservazione, che è invece pari a 57.0 l/s. Tale valutazione, seppur semplicistica, dimostra la difficoltà nell'applicazione del suddetto criterio.

In definitiva, in considerazione della peculiare condizione idrogeologica del bacino idrogeologico del fiume Calore alla sezione del ponte di Piaggine, e dell'alveo dello stesso, che determina l'infiltrazione dei deflussi fluviali, ovvero la re-infiltrazione di deflussi sorgivi provenienti da varie parti del bacino, per un ammontare pari ad almeno 36.9 l/s, **il deflusso minimo sarebbe solo di pochi litri al secondo pur considerando l'assenza della captazione delle sorgenti del Calore. Infatti, secondo tale ipotesi il rilascio totale delle portate erogate dalle sorgenti del Calore in magra (57.0 l/s) garantirebbe l'esistenza di deflussi fluviali al ponte di Piaggine con portate non superiori a 16.5 l/s [Eq. 1]. Inoltre, per la condizione di soggiacenza della superficie**

piezometrica della falda di base, è anche da considerare la possibilità concreta che il fenomeno di perdita per infiltrazione dall'alveo continui anche a valle del ponte di Piaggine, fino alla sorgente Foce Gorgo Nero. In tale caso, non è da escludere che i deflussi in alveo potrebbero comunque annullarsi nel tratto di alveo compreso tra il ponte di Piaggine e la suddetta emergenza sorgentizia.

Cambiando punto di vista, sarebbe possibile ottenere un deflusso alla sezione del ponte di Piaggine pari a 1 l/s, tale da garantire un deflusso idrico virtualmente continuo lungo l'alveo del fiume Calore, rilasciando la portata di 38.1 l/s [Eq. 1]. Tale condizione, benché minima, corrisponderebbe al rilascio di circa il 67% delle portate erogate in magra dal gruppo sorgivo ed alla captazione di soli 18.9 l/s, che è insufficiente all'alimentazione della rete acquedottistica dei 13 Comuni durante il periodo estivo. Inoltre, le abbondanti precipitazioni delle stagioni invernali hanno reso gli idrologici osservati (2012-2013 e 2013-2014) non siccitosi; da ciò consegue che la portata minima del gruppo sorgivo potrebbe essere verosimilmente inferiore rispetto a quella registrata nel periodo di monitoraggio. Pertanto, non è da escludere che il suddetto rilascio di 38.1 l/s possa corrispondere, in anni più siccitosi, al 100% della portata sorgiva erogata in magra, come sembrano indicare le testimonianze degli operatori del Consorzio, che hanno osservato, in precedenti anni siccitosi, portate minime del gruppo sorgivo comprese tra 36 e 42 l/s.

Il rilascio minimo di 10.5 l/s, operato in magra dal Consorzio Intercomunale degli Acquedotti del Calore Lucano nel periodo di osservazione, pur essendo pari a circa il 18% della portata minima del gruppo sorgivo (57.0 l/s) non ha consentito di determinare, da solo, deflussi fluviali continui fino alla sezione del ponte di Piaggine, sebbene esso abbia garantito deflussi significativi dal punto di vista idrobiologico nel tratto compreso tra le sorgenti e l'immissione nella forra carbonatica.

In tale contesto, è da sottolineare che il fiume Calore, pochi chilometri più a valle del ponte di Piaggine, nel Comune di Laurino, si caratterizza per avere un deflusso perenne e rilevante per l'emergenza della falda di base nelle sorgenti di Foce Gorgo Nero, Festole di Laurino, Acqua Fresca e Foce (cfr. n. 245, 246, 247 e 248; Tab. 10; Tavv. 1 e 7), con una portata medio annua complessiva di circa 500 l/s.

Da tutto ciò consegue che le valutazioni riguardanti la concessione alla derivazione e l'aliquota di rilascio a valle devono essere bilanciate tenendo conto sia delle particolari condizioni idrogeologiche del fiume Calore che delle importanti esigenze di tipo sociale ed economico, quali l'alimentazione di 13 territori comunali, per la maggior parte dei quali le sorgenti del Calore rappresentano una fonte insostituibile di approvvigionamento idropotabile per la collocazione degli stessi a quote medio-elevate.

4. CALCOLI IDRAULICI, IN CONDIZIONI ANTE-OPERAM E POST-OPERAM, DA EFFETTUARSI IN CORRISPONDENZA DELLA SEZIONE DI INTERESSE E ALMENO DI UNA SEZIONE A MONTE E A VALLE DELL'INTERVENTO, AL FINE DELLA DEFINIZIONE, IN CORRISPONDENZA DELLA PORTATA DI VERIFICA, DEI LIVELLI DELLE ALTEZZE IDRICHE RAGGIUNTE NONCHÉ DELLE VELOCITÀ DI MOTO (PER GLI ATTRAVERSAMENTI VALUTAZIONE DEL FRANCO DI SICUREZZA)

La presente istanza di concessione riferendosi a sorgenti, già captate mediante bottini di presa dal 1939, non comporta interventi di derivazione su sezioni fluviali, per le quali effettuare valutazioni circa l'incidenza delle opere a farsi sulle caratteristiche idrauliche locali.

5. CAPACITÀ DEL FLUSSO IDRAULICO, NOTE LE CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE DEL FONDO DELL'ALVEO E LA VELOCITÀ MASSIMA DELLA CORRENTE NELLA SEZIONE DI INTERESSE DEFINIRE LA CAPACITÀ DI EROSIONE, DI TRASPORTO O DI DEPOSIZIONE DEI CLASTI; NEL CASO IN CUI LA VELOCITÀ DEL FLUSSO SIA TALE DA GENERARE FENOMENI EROSIVI OCCORRERÀ PREVEDERE INTERVENTI DI MITIGAZIONE

La presente istanza di concessione riferendosi a sorgenti, già captate mediante bottini di presa dal 1939, non comporta interventi di derivazione su sezioni fluviali, per le quali effettuare valutazioni circa l'incidenza delle opere a farsi sulle caratteristiche del trasporto solido locale.

6. PASSAGGI ARTIFICIALI PER L'ITTIOFAUNA, DESCRIVERE LE PRINCIPALI SPECIE ITTICHE PRESENTI E GLI INTERVENTI ATTI A CONSENTIRNE IL NORMALE PASSAGGIO NELLA SEZIONE DI INTERESSE

La presente istanza di concessione riferendosi a sorgenti, già captate mediante bottini di presa dal 1939, non comporta interventi di derivazione su sezioni fluviali, per le quali effettuare valutazioni circa l'incidenza delle opere a farsi sul transito delle specie ittiche.

7. BILANCIO IDROGEOLOGICO RELATIVAMENTE ALLA SEZIONE DI SBARRAMENTO CON UNA VALUTAZIONE ACCURATA DELLE POSSIBILI RIPERCUSSIONI A VALLE DELLA DERIVAZIONE, IN TERMINI QUALITATIVE E QUANTITATIVI DELL'ASTA FLUVIALE

In considerazione delle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero calcareo, dello schema di circolazione idrica sotterranea dell'idrostruttura della Serra del Cervati, caratterizzato da un unico recapito delle acque sotterranee rappresentato dalle sorgenti del Calore, è possibile affermare che la **potenzialità idrica dell'acquifero corrisponde esattamente ai volumi idrici erogati dal gruppo sorgivo**. Inoltre, è possibile confermare che, per le caratteristiche delle opere di captazione che convogliano le acque naturalmente defluenti dalle sorgenti, i prelievi effettuati sono compatibili con la capacità di ricarica dell'acquifero. In altri termini, le opere di captazione esistenti, non captando acque sotterranee mediante sistemi di pompaggio non alterano il bilancio idrologico della falda idrica sotterranea poiché non sottraggono alla stessa volumi idrici superiori a quelli di ricarica (condizione nota come sovrasfruttamento della falda a cui consegue il progressivo abbassamento dei livelli piezometrici).

Nonostante queste valutazioni di carattere generale è stato effettuato un bilancio idrologico dell'idrostruttura della Serra del Cervati, applicando la nota formula:

$$P = E_r + R + I_e$$

dove:

P = precipitazione media (mm/anno);

E_r = evapotraspirazione reale media (mm/anno);

R = ruscellamento superficiale medio (mm/anno);

I_e = infiltrazione efficace media, corrispondente all'aliquota di ricarica delle falde idriche sotterranee (mm/anno).

Nel caso specifico, non essendo nota la componente del ruscellamento superficiale (R), l'equazione del bilancio può essere modificata (Celico, 1986), esprimendo la stessa in funzione dell'infiltrazione efficace media. Infatti, definendo il coefficiente d'infiltrazione potenziale (C.I.P.), variabile compresa tra 0% (completamente impermeabile) e 100% (completamente permeabile), come:

$$C.I.P. = I_e / P - E_r$$

è possibile stimare la ricarica medio annua dell'acquifero con la seguente equazione:

$$I_e = (P - E_r) \times C.I.P.$$

In questo caso, l'infiltrazione efficace (I_e) deve essere considerata presunta poiché non calcolata in base alla rigorosa applicazione del bilancio idrologico, in assenza di misure del ruscellamento superficiale (R). Nonostante questi limiti apparenti, tale metodologia è usualmente impiegata in tutti quei casi in cui l'assenza di stazioni di misura dei deflussi fluviali non consente la valutazione di R . La ricarica dell'acquifero così determinata deve essere confrontata con i deflussi idrici sotterranei, rappresentati da portate sorgive, emungimenti da pozzi o travasi sotterranei.

Il bilancio idrologico così effettuato è da considerarsi largamente approssimato a causa della rilevante indeterminazione di alcune variabili che compongono l'equazione del bilancio. Una delle principali indeterminazioni è attribuibile alla stima delle precipitazioni (P) alle fasce altitudinali elevate, per l'assenza di stazioni pluviometriche in alta quota. Nel caso specifico, la struttura idrogeologica della Serra del Cervati, estesa circa 2.6 km^2 , ha un'altitudine media di 1537 m s.l.m. Altre indeterminazioni sono associabili sia al valore del C.I.P., di cui si conoscono i valori rappresentativi tarati su vari tipi di acquifero, che nel caso di acquiferi calcarei sono variabili tra 80% e 90% , e la reale estensione del bacino idrogeologico o sotterraneo.

La carenza di stazioni pluviometriche nelle fasce altitudinali elevate viene usualmente sopperita mediante l'estrapolazione statistica dei valori di precipitazione registrati alle quote più basse. Nel caso specifico sono state considerate le serie storiche di precipitazione di alcune delle più rappresentative stazioni pluviometriche, gestite dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (S.I.M.N.), successivamente I.S.P.R.A., ed attualmente controllate dalla Protezione Civile Nazionale. Al fine di ricostruire una legge di variazione delle precipitazioni con la quota, sono state scelte le stazioni localizzate nel transetto che dalla Piana del Sele giunge fino al Monte Cervati, funzionanti nel periodo 1954-1999 (Tab. 12): Albanella Ponte Barizzo, Eboli, Altavilla Silentina, Felitto, Roccadaspide, Albanella, Cicerale, Sant'Angelo a Fasanella, San Sumino, Cannalonga, Gioi Cilento e Piaggine. È stata anche considerata la stazione pluviometrica di Montevergine, la più elevata della Campania (1272 m s.l.m.) nello stesso periodo di riferimento.

| Stazione | Quota (m s.l.m.) | N anni di osservazione | P (mm/anno) |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| Albanella Ponte Barizzo | 5 | 21 | 853.4 |
| Eboli | 143 | 27 | 1205.1 |
| Altavilla Silentina | 265 | 37 | 1043.1 |
| Felitto | 272 | 26 | 1341.5 |
| Roccadaspide | 356 | 37 | 1372.7 |
| Albanella Paese | 359 | 27 | 1092.9 |
| Cicerale | 436 | 14 | 1100.7 |
| San Sumino | 518 | 11 | 1419.8 |
| Vallo della Lucania - Cannalonga | 521 | 22 | 1281.0 |
| Castelcivita | 527 | 23 | 1182.9 |
| Bellosguardo | 536 | 42 | 1105.7 |
| S. Angelo a Fasanella | 557 | 42 | 1319.2 |
| Gioi Cilento | 685 | 41 | 1189.0 |
| Piaggine | 710 | 28 | 1318.0 |
| Montevergine | 1270 | 37 | 1917.4 |

Tab. 12: precipitazioni medie annue delle stazioni S.I.M.N. nel transetto compreso tra la linea di costa e il Monte Cervati. È stata inserita anche la stazione di Montevergine.

Successivamente è stata ricostruita la legge di correlazione tra i dati di precipitazione media annua e l'altitudine di ciascuna stazione (Fig. 19):

$$P \text{ (mm/anno)} = 0.6462 \times H \text{ (m s.l.m.)} + 941.05 \text{ (mm/anno)} \quad (1)$$

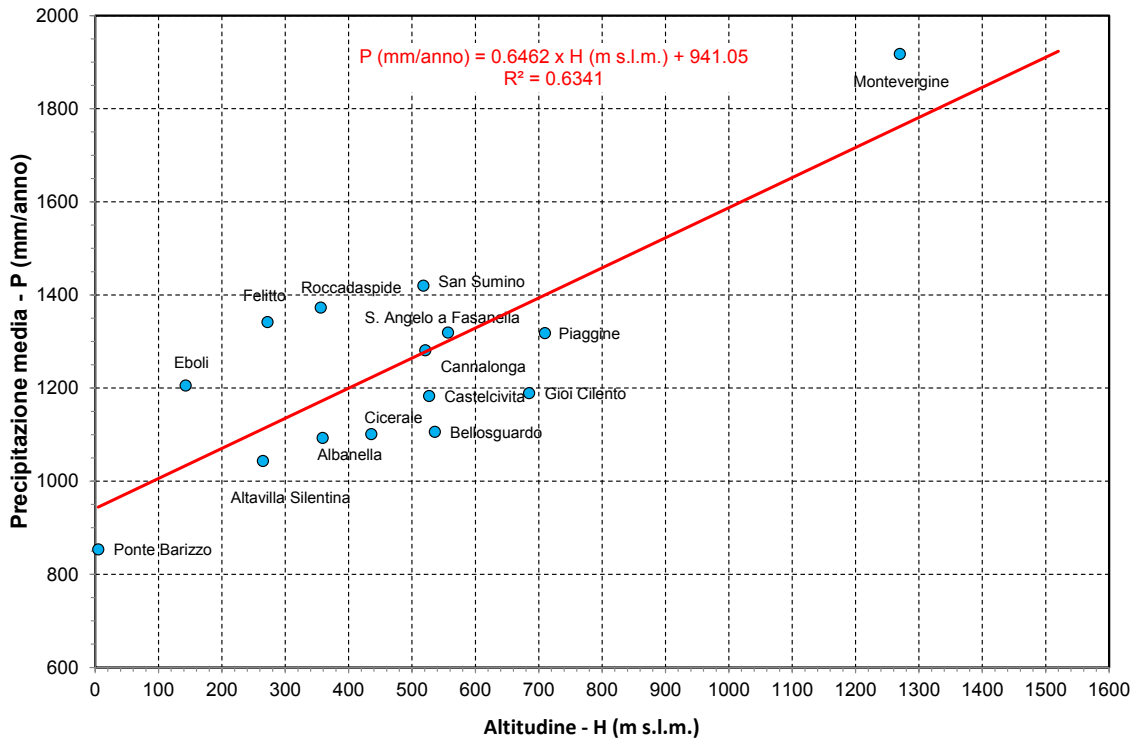


Fig. 19: legge di regressione lineare tra le precipitazioni medie annue e l'altitudine per le stazioni pluviometriche ricadenti in un transetto compreso tra la linea di costa ed il Monte Cervati.

Il calcolo dell'evapotraspirazione reale media annua (E_r) è stato effettuato applicando la formula di Turc (1954):

$$E_r = \frac{P}{\sqrt{\left[0.9 + \left(\frac{P^2}{L^2}\right)\right]}}$$

dove:

P = precipitazione media (mm/anno);

$L = 300 + 25 \times T_p + 0.05 \times T_p^3$ (potere evaporante dell'atmosfera)

$T_p = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i \times T_i}{\sum_{i=1}^{12} P_i}$ (temperatura media annua dell'aria, ponderata in base alle precipitazioni - °C)

P_i = temperature medie nel mese i -esimo;

T_i = temperature medie dell'aria nel mese i -esimo.

Per la minore frequenza delle stazioni termo-pluviometriche rispetto a quelle pluviometriche (nell'area del Cilento ne esistono soltanto 4), è stato allargato l'areale di riferimento, considerando tutte le stazioni della provincia di Salerno e di una parte delle province di Avellino e di Potenza. Sono state quindi considerate 15 stazioni termo-pluviometriche: Salerno, Battipaglia, Eboli, Morigerati, Capaccio, Avellino, Polla, Montella, Sala Consilina, Casalbuono, Lagonegro, Potenza, Castel Lagopesole, Nusco e Pescopagano. Anche in questo caso è stata calcolata la legge lineare di correlazione della temperatura ponderata con l'altitudine (Fig. 20), ottenendo l'equazione:

$$T_p (\text{°C}) = -0.0069 \times H (\text{m s.l.m.}) + 15.3 (\text{°C}) \quad (2)$$

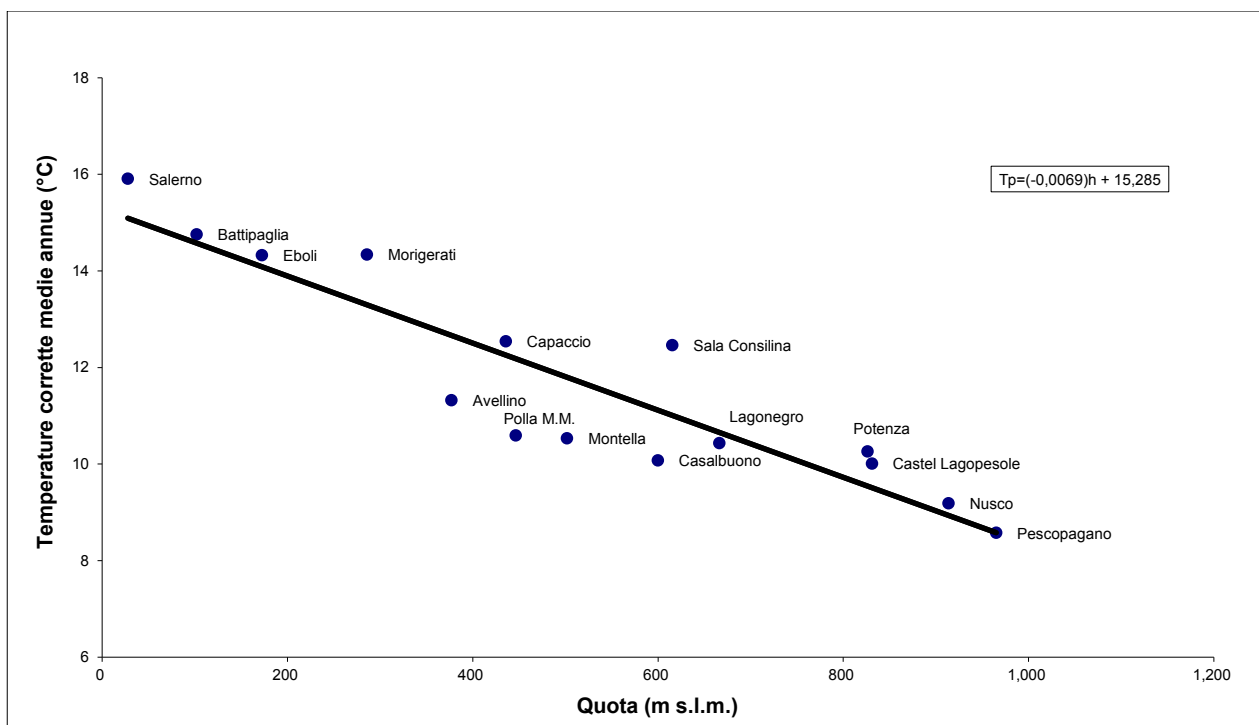


Fig. 20: legge lineare di regressione tra i valori di temperatura ponderata in funzione delle precipitazioni (T_p) e l'altitudine (H).

Considerando la quota media dell'idrostruttura Serra del Cervati pari a 1537 m s.l.m. ed un'estensione della stessa pari a 2.6 km² (Tab. 4) sono state applicate le equazioni empiriche (1) e (2), stimando rispettivamente un valore di precipitazione medio annuo pari a 1934.3 mm/anno ed un valore della temperatura ponderata pari a 4.7 °C.

Dai suddetti valori è stata stimata l'evapotraspirazione reale (E_r), quindi il deflusso globale ($D = P - E_r$) e l'infiltrazione efficace (I_e), ovvero l'aliquota media annua di ricarica della falda idrica sotterranea (Tab. 13):

| Quota media | Area | C.I.P. |
|--------------------|-------------------------|---------------|
| <i>(m s.l.m.)</i> | <i>(km²)</i> | <i>(%)</i> |
| 1537 | 2.6 | 80% |

Tab. 13: dati relativi all'idrostruttura calcarea della Serra del Cervati.

| P | TP | Er | P-Er | le | le |
|------------------|-------------|------------------|------------------|------------------|--------------|
| <i>(mm/anno)</i> | <i>(°C)</i> | <i>(mm/anno)</i> | <i>(mm/anno)</i> | <i>(mm/anno)</i> | <i>(l/s)</i> |
| 1934.3 | 4.7 | 413.4 | 1520.9 | 1216.7 | 100.3 |

Tab. 14: risultati del calcolo del bilancio idrologico presunto per la struttura idrogeologica della Serra del Cervati.

I risultati del calcolo portano a stimare la ricarica media annua della falda idrica sotterranea pari a circa 100 l/s che, per il recapito unico dell'idrostruttura della Serra del Cervati verso il gruppo sorgivo del Calore. Detta portata media, corrisponde con buona approssimazione a quella media del gruppo sorgivo (circa 138 l/s), determinata mediante monitoraggio delle portate sorgive (vedi paragrafo successivo). Tale corrispondenza, pur ammettendo le incertezze dei calcoli, appare confermare le ipotesi idrogeologiche riguardanti lo schema di circolazione idrica sotterranea e che le captazioni esistenti, derivando le portate sorgive che naturalmente traboccano oltre il limite di permeabilità tra l'acquifero calcareo della formazione dei calcari a radiolitidi (RDT) ed i terreni scarsamente permeabili della formazione del Bifurto (BIF) e delle Calciruditi e arenarie di Piaggine (PGN), non alterano il regime idrologico della falda idrica sotterranea.

Non sono presenti ulteriori punti di prelievo idrico dalla stessa falda che alimenta le sorgenti del Calore, sia naturali (sorgenti) che artificiali (pozzi o altre opere di captazione), in quanto queste costituiscono l'unico recapito della circolazione idrica sotterranea dell'idrostruttura della Serra del Cervati. Inoltre, per la caratteristica delle opere di captazione esistenti, consistenti in due bottini di presa ed in una piccola galleria artificiale, che captano esclusivamente le portate idriche che naturalmente defluiscono alle sorgenti, il regime della falda è da considerarsi in condizioni naturali e non influenzato da alcuna alterazione indotta da pompaggio o da modifica del limite a flusso imposto, rappresentato dal contatto tra l'acquifero e l'acquiclude.

8. DIMENSIONAMENTO DELLE PRINCIPALI OPERE D'ARTE; BOCCA DI PRESA, OPERE DI CARICO E DI ADDUZIONE, DISPOSITIVI DI LIMITAZIONE DELLA PORTATA MASSIMA IN INGRESSO E DI RILASCIO DEL DEFLUSSO MINIMO VITALE, DISPOSITIVI PER LA RESTITUZIONE; IN CASO DI MODULAZIONE DEI RILASCI DESCRIZIONE E GIUSTIFICAZIONE DELLE MODALITÀ DI GESTIONE DELLA STESSA

La presente istanza di concessione fa riferimento a sorgenti già captate mediante bottini di presa dal 1939.

9. TAVOLE FUORI TESTO (FORMATO A3)

Tav. 1: schema idrogeologico dell'unità idrogeologica del Monte Cervati

Tav. 2: cartografia geologia CARG (1:25.000) e bacino e reticolo idrografici sottesi dalla sezione del ponte in prossimità dell'abitato di Piaggine

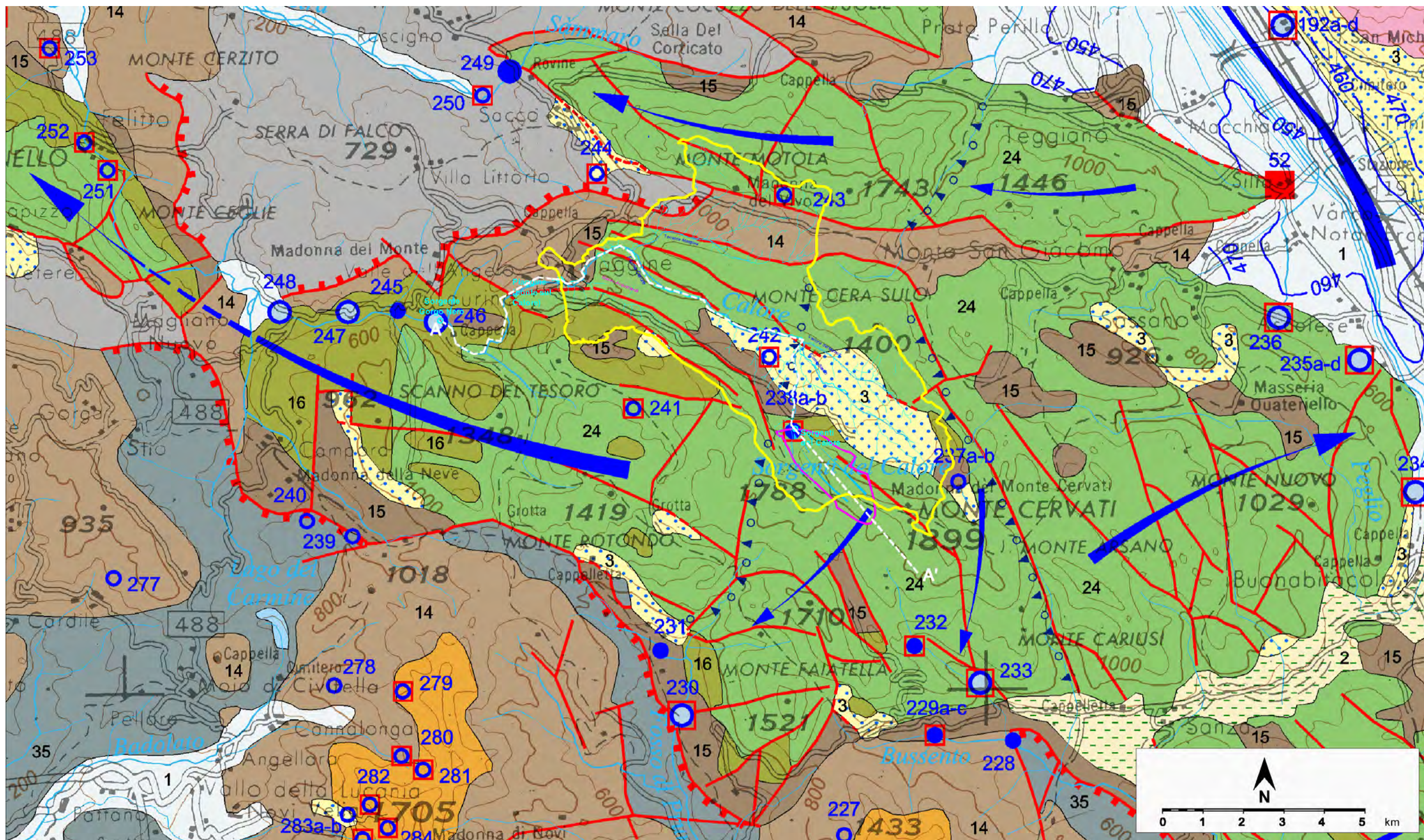
Tav. 3: ubicazione e valori delle misure di portata in alveo effettuate il 30 giugno 2012

Tav. 4: ubicazione e valori delle misure di portata in alveo effettuate il 1 agosto 2012

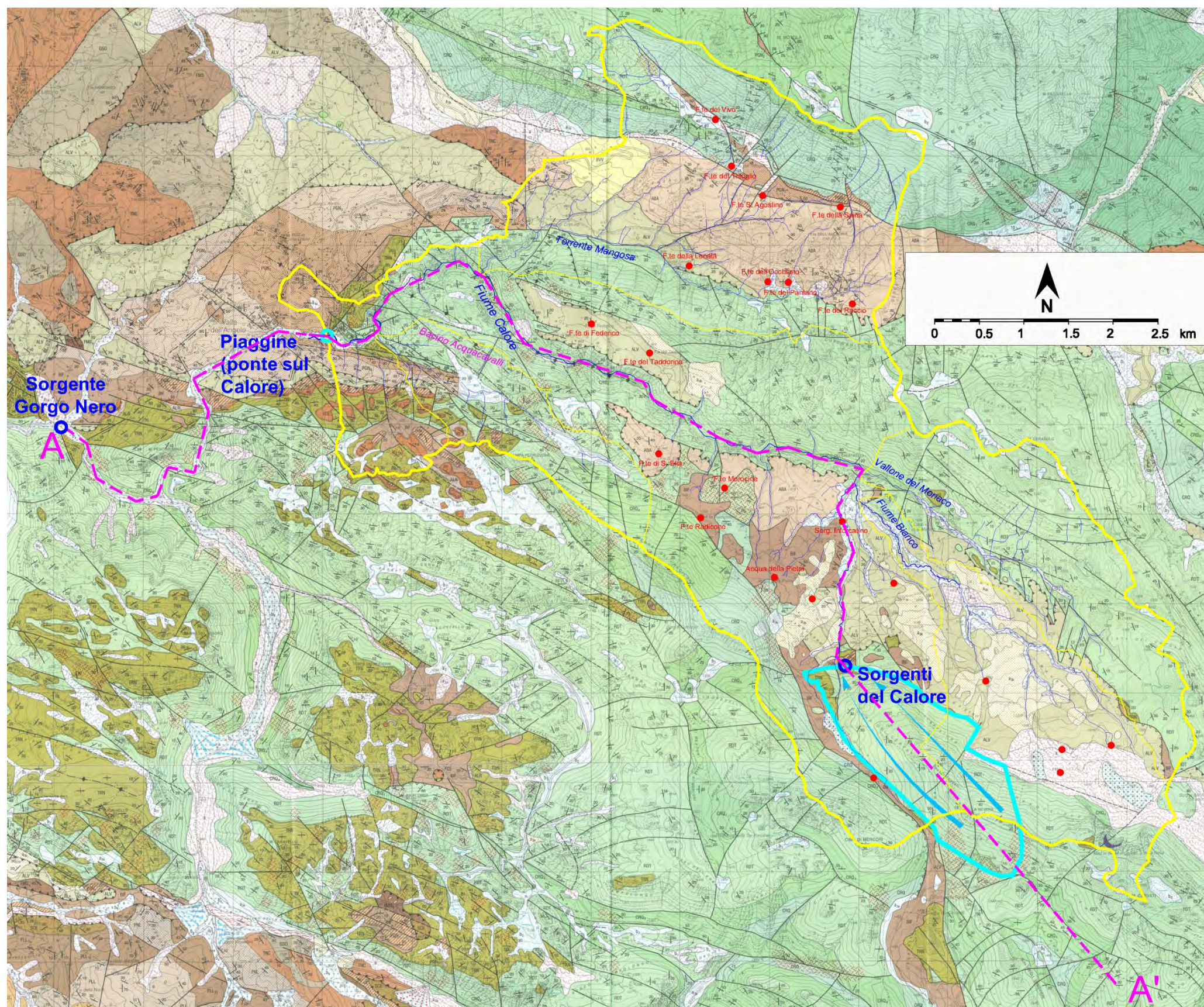
Tav. 5: ubicazione e valori delle misure di portata in alveo effettuate il 1 luglio 2013

Tav. 6: ubicazione e valori delle misure di portata in alveo effettuate il 24 giugno 2014

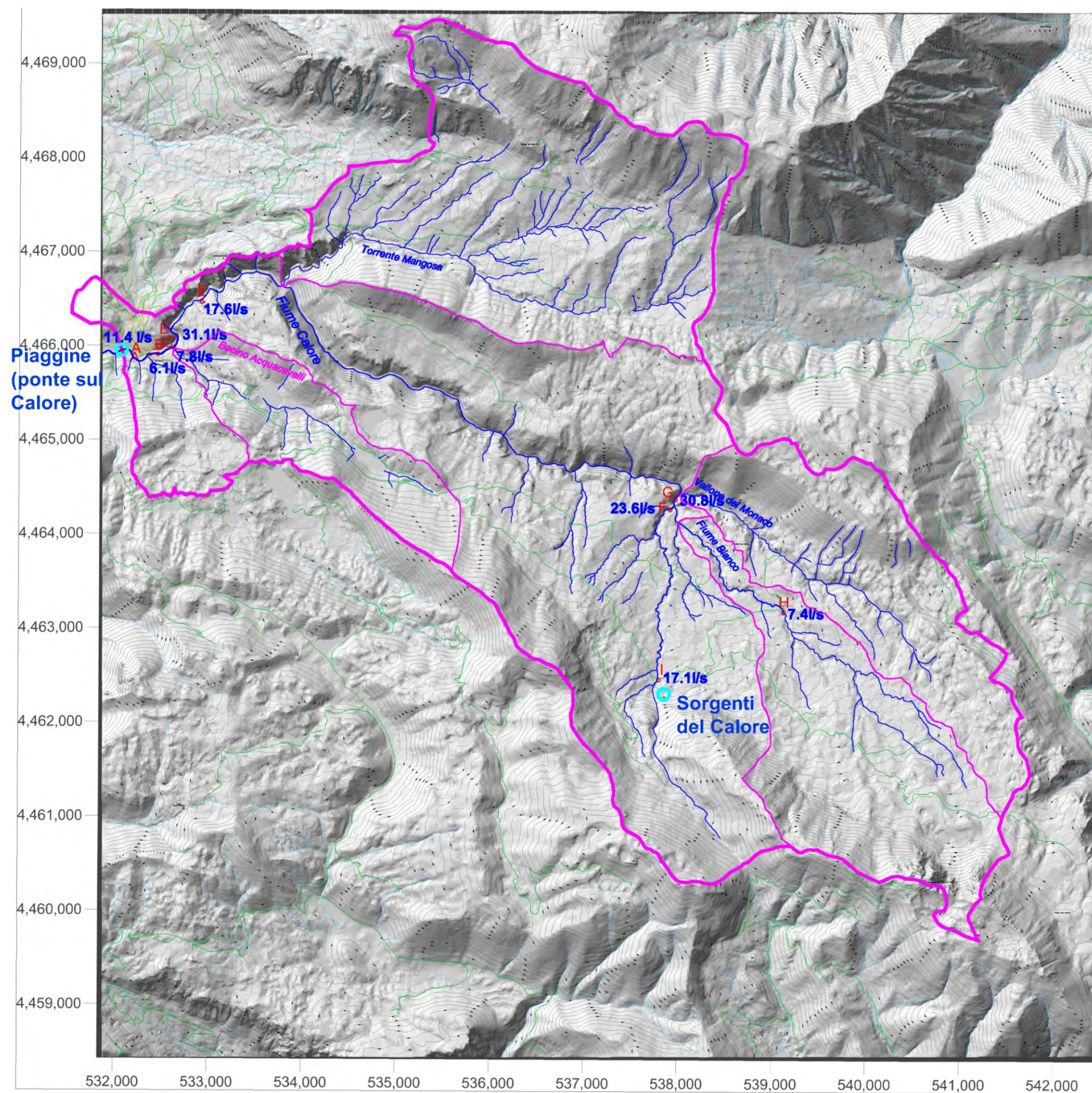
Tav. 7: sezione idrogeologica passante per le sorgenti del fiume Calore e l'alveo dello stesso



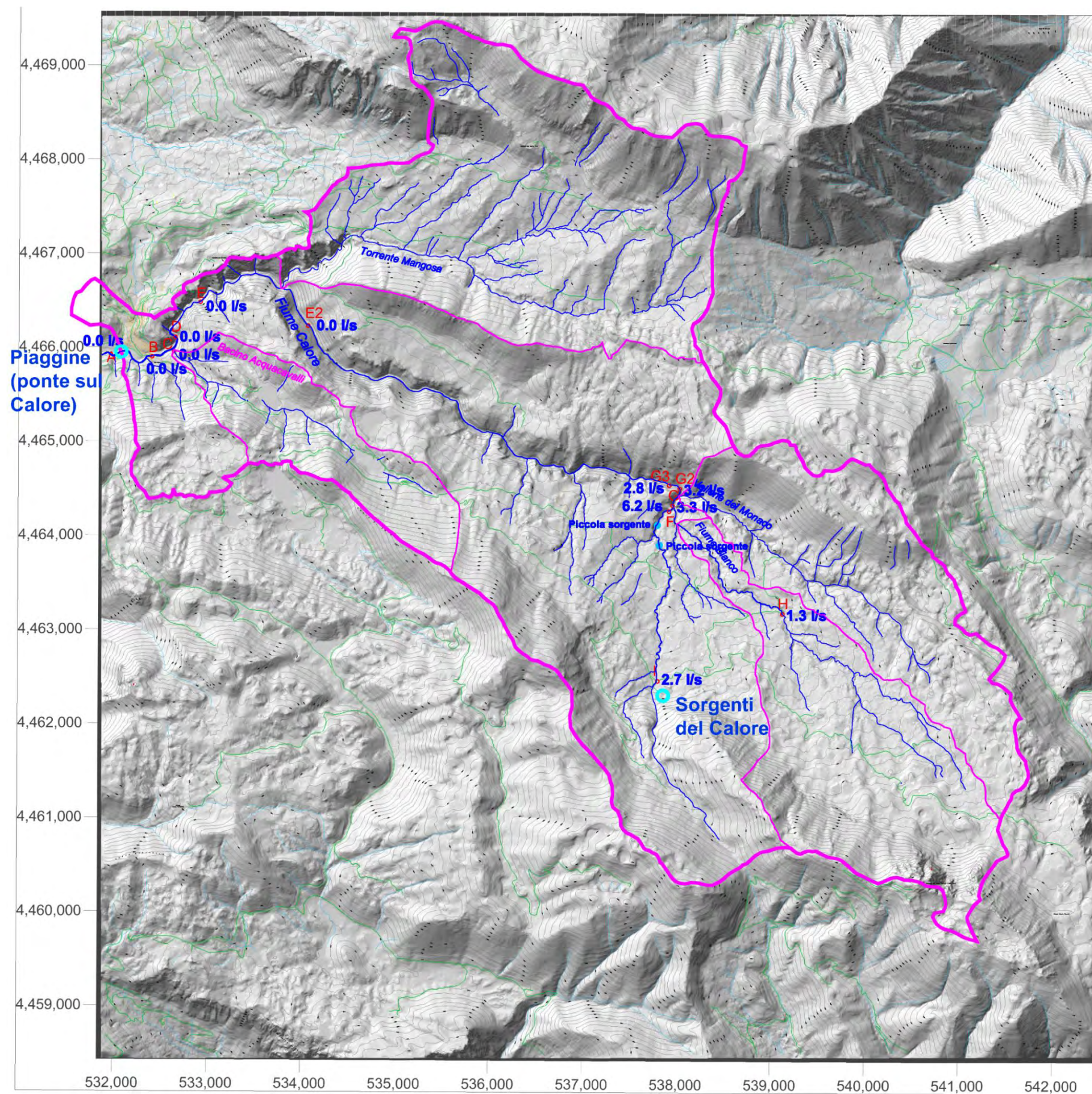
Tav. 1: Stralcio della “Carta idrogeologica dell’Italia meridionale” (in scala 1:250.000) relativa all’unità idrogeologica del Monte Cervati (Allocca et alii, 2007). Legenda sovrassegni: linea gialla) limite del bacino idrografico sotteso dalla sezione del ponte di Piaggine; linea fucsia) limite del bacino sotterraneo delle sorgenti del Calore (cfr. Figg. 15 e 16); linea bianca tratteggiata) traccia di sezione (cfr. Tav. 7).



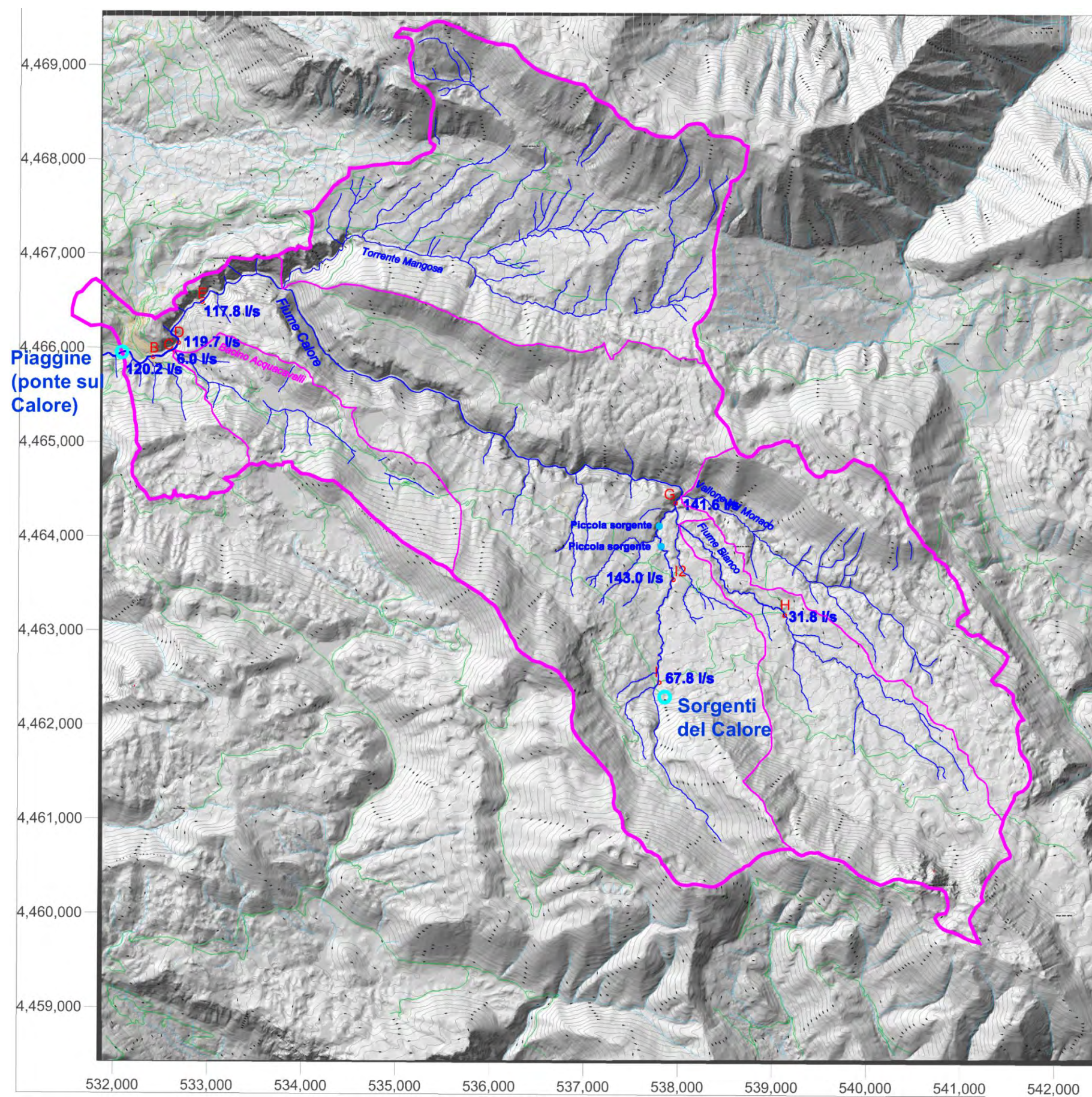
Tav. 2: Carta geologica (Foglio CARG 504 – Sala Consilina in scala 1:25.000). I colori della cartografia geologica corrispondono ai tasselli della legenda riportati nelle pagine precedenti. In fucsia: bacino idrografico del fiume Calore alla sezione del ponte di Piaggine, del torrente Mangosa, del vallone del Monaco e del fiume Bianco. Legenda sovrassegni: linee blu) reticolo idrografico; linea azzurra) limite del bacino sotterraneo sotteso dalle sorgenti del Calore, comprendente il rilievo della Serra del Cervati; linea fucsia) traccia di sezione idrogeologica passante per il corso del fiume Calore a valle delle sorgenti (cfr. Tav. 7); rosso) sorgenti e fonti emergenti all'interno del bacino idrografico del fiume Calore alla sezione del ponte di Piaggine.



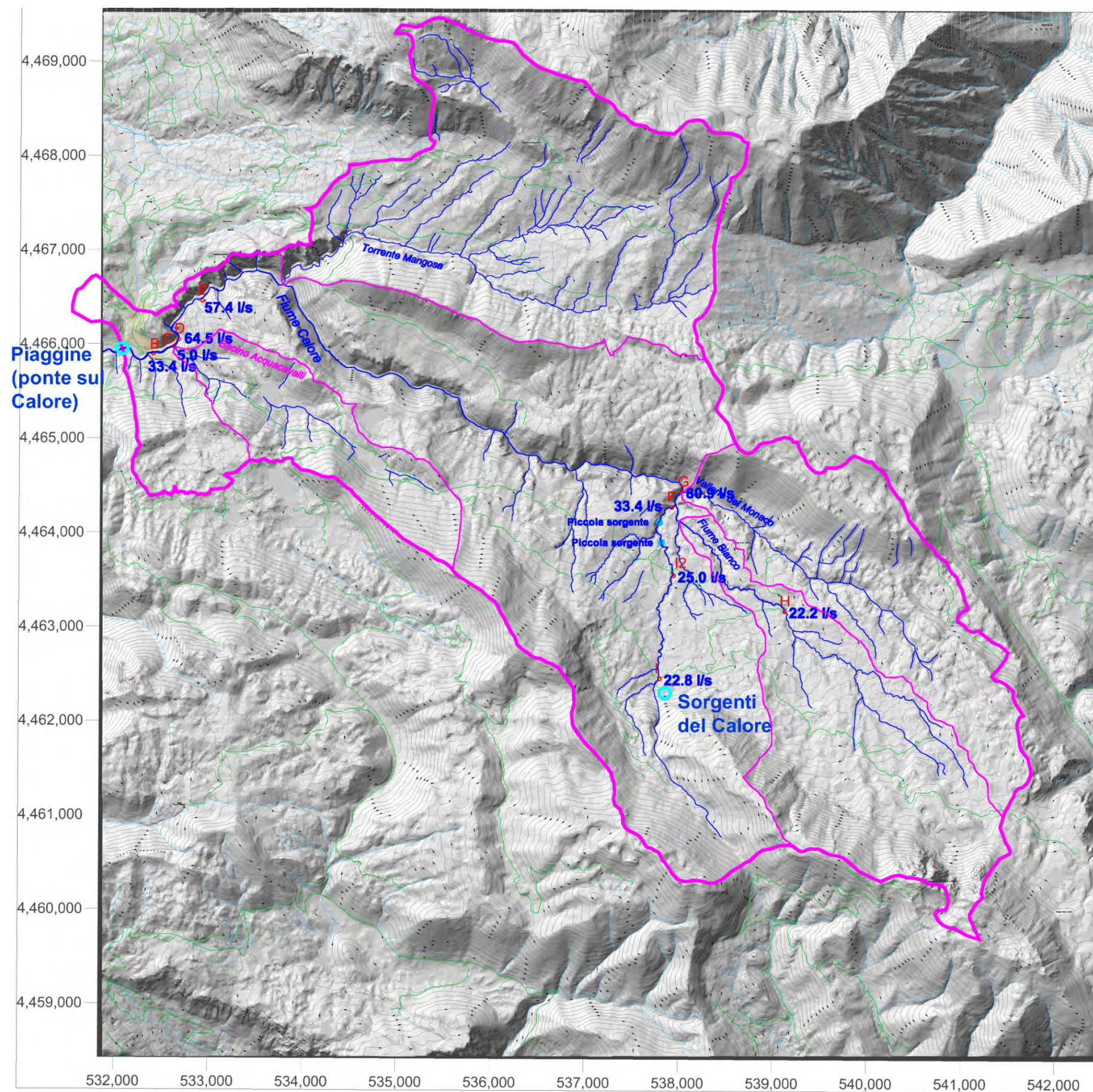
Tav. 3: Ubicazione e valori delle misure di portata in alveo effettuate il 30 giugno 2012. Sono visualizzati il rilievo ombreggiato dell'area ed il limite del bacino idrografico (colore fucsia). Le coordinate sono nel sistema UTM ED 50.



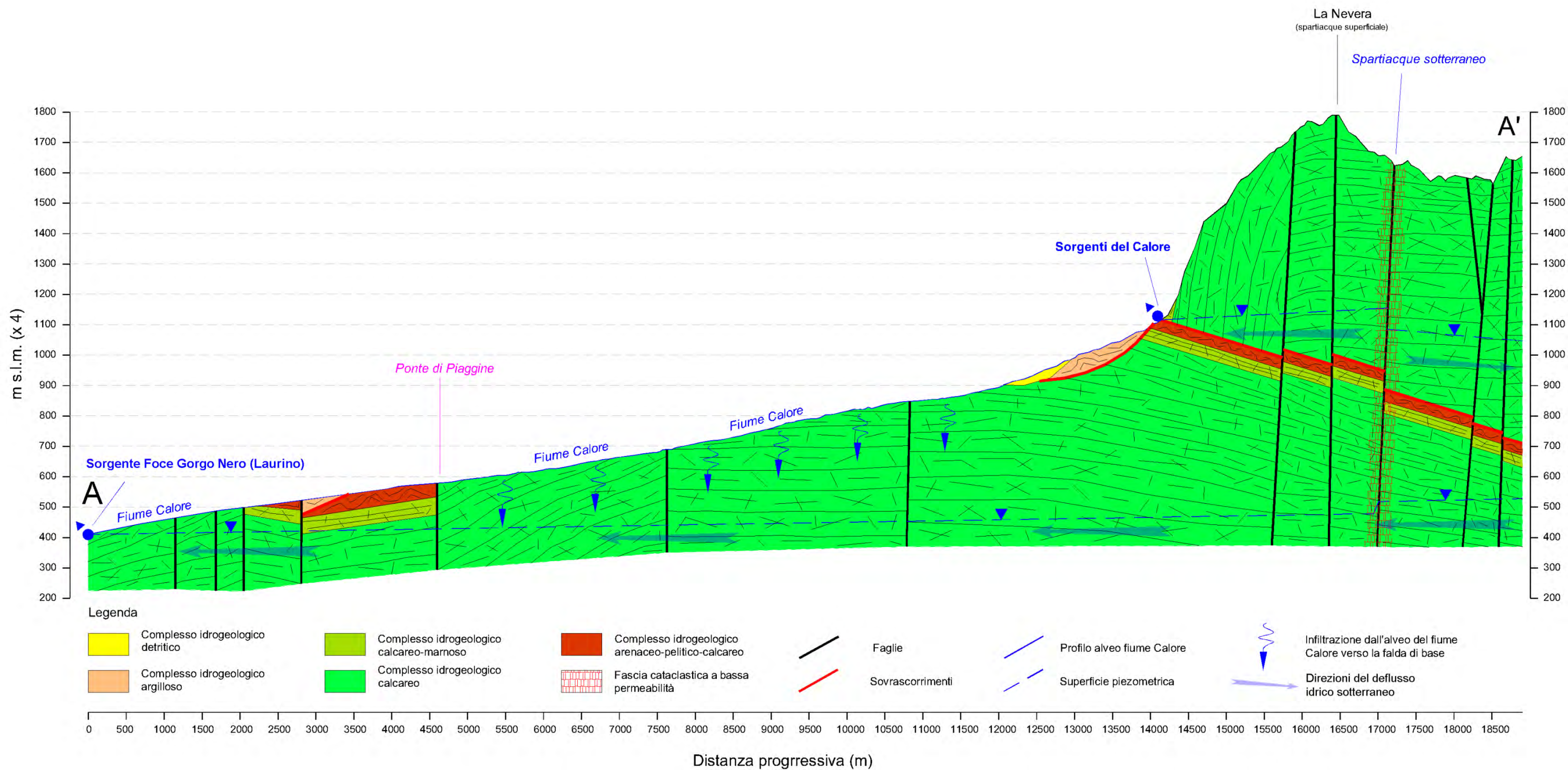
Tav. 4: Ubicazione e valori delle misure di portata in alveo effettuate il 1 agosto 2012. Sono visualizzati il rilievo ombreggiato dell'area ed il limite del bacino idrografico (colore fucsia). Le coordinate sono nel sistema UTM ED 50.



Tav. 5: Ubicazione e valori delle misure di portata in alveo effettuate il 1luglio 2013. Sono visualizzati il rilievo ombreggiato dell'area ed il limite del bacino idrografico (colore fucsia). Le coordinate sono nel sistema UTM ED 50.



Tav. 6: Ubicazione e valori delle misure di portata in alveo effettuate il 24 giugno 2014. Sono visualizzati il rilievo ombreggiato dell'area ed il limite del bacino idrografico (colore fucsia). Le coordinate sono nel sistema UTM ED 50.



Tav. 7: Sezione idrogeologica passante per l'alveo del fiume Calore a valle delle omonime sorgenti (cfr. Tavv. 1 e 2). La sezione ricostruisce lo schema di circolazione idrica sotterranea che spiega l'esistenza delle perdite di portate idriche dall'alveo del fiume Calore per infiltrazione e percolazione verso la falda di base. Quest'ultima ha recapito locale nella sorgente Foce Gorgo Nero, a valle del ponte di Piaggine. La scala verticale è esagerata di un fatto.

