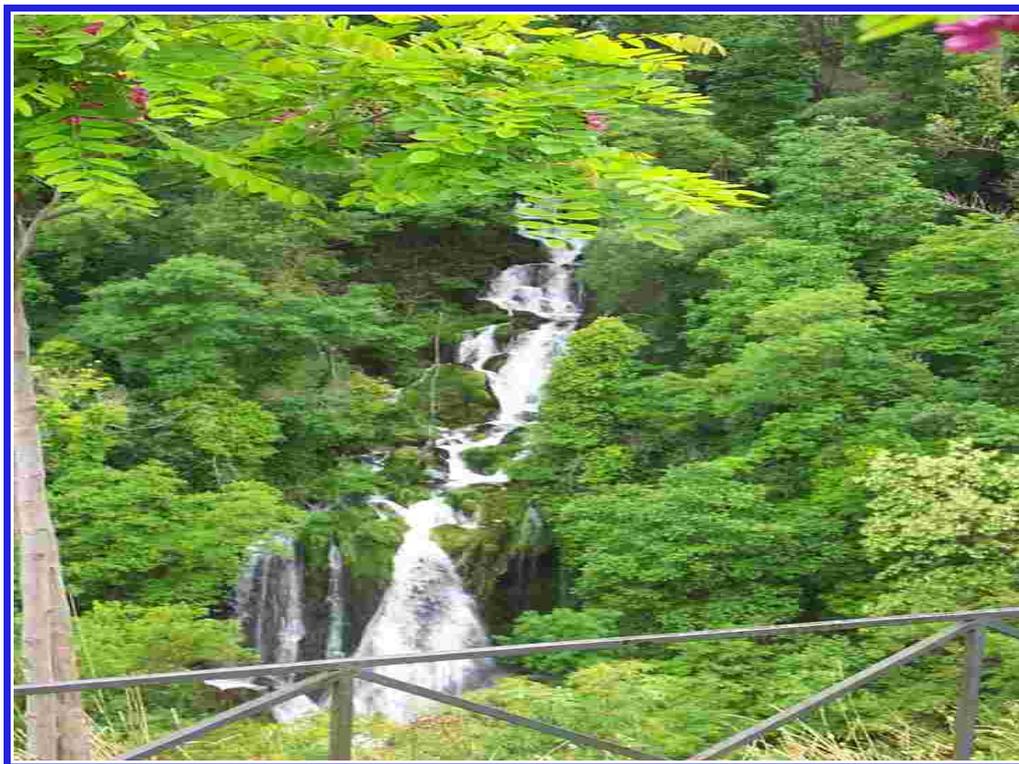


RUWA

acqua
territorio
energia

**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO IDROELETTRICO
SUL TORRENTE RIO FOCE – GROTTI DI STIFFE**

Relazione Idrologica



Maggio 2009

RUWA srl

acqua territorio energia

Via Carlo Pisacane 25/F

88100 Catanzaro

tel/fax 0961 33381 - cel. 334 7090356

www.ruwa.it - info@ruwa.it - P.I. 02723670796

**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO IDROELETTRICO
SUL RIO FOCE – GROTTI DI STIFFE**

Relazione Idrologica

SINTESI

RUWA srl
acqua territorio energia
Via Carlo Pisacane 25/F
88100 Catanzaro
tel/fax 0961 33381 - cel. 334 7090356
www.ruwa.it - info@ruwa.it - P.I. 02723670796

Ing. Dario Tricoli

Catanzaro Maggio 2009

I contenuti del presente documento sono di proprietà della società Ruwa srl e ne è vietata la riproduzione, anche parziale, degli stessi.

Indice generale

1 – Premessa.....	3
2 – Ricostruzione ed elaborazione preliminare quadro conoscitivo di base.....	4
2.1 – Analisi dati territoriali.....	5
2.1.1 – Cartografie.....	5
2.1.2 - Carte Tematiche.....	8
2.2 – Dati idro-meteorologici.....	16
2.2.1 – Pluviometria.....	17
2.2.2 – Idrometria.....	20
2.2.3 – Termometria.....	22
2.3 – Studi esistenti.....	24
3 – Bilancio idrologico.....	25
3.1 – Richiami di idrologia tecnica.....	26
3.2 – Implementazione modello.....	33
3.2.1 – Fase di separazione delle piogge (calcolo pioggia netta).....	34
3.2.2 – Fase di formazione della piena.....	38
3.2.3 - Deflusso di Base (profondo).....	40
3.2.4 – Modello meteorologico.....	41
3.3 – Taratura modello.....	46
3.4 – Risultati ottenuti.....	48
3.4.1 – Bilancio idrologico anno medio.....	51
3.4.2 – Bilancio idrologico anni estremi.....	53
3.4.3 – Curva delle durate.....	55
3.5 – Valutazione Deflusso Minimo Vitale (DMV).....	58
3.6 – Valutazione risorsa idrica utilizzabile.....	59
4 – Conclusioni e Raccomandazioni.....	62
Allegati.....	63
Allegato A.1 –Dati Pluviometrici (periodo 1950-2002).....	64
Allegato A.2 – Dati termometrici (periodo 1950-2002).....	68
Allegato A.3 – Stazione di Campana Dati pluviometrici (2004-2008).....	70
Allegato A.4 – Stazione di Campana Dati termometrici (2004-2008).....	72
Allegato A.5 – Dati idrometrici (periodo 2006-2007).....	74
Allegato A.6 – Modellazione idrologica in HEC-HMS.....	76
Allegato A.7 – Modellazione Idrologica – Idrogrammi ricostruiti.....	79
Allegato A.8 – Modellazione Idrologica – Curve di durate ricostruite.....	84
Allegato A.9– Taratura modello.....	90
Allegato A.10– Documentazione fotografica.....	97
Allegato A.11 – Correlazione stazioni Campana – Rocca di Mezzo.....	102

1 – Premessa

Consulenza per la redazione del bilancio idrologico del bacino del Rio Foce, affluente del fiume Aterno, in provincia dell'Aquila, finalizzato al dimensionamento di un impianto idroelettrico.

L'attività di consulenza prevede le seguenti fasi:

- A) raccolta ed elaborazione dati idro-pluviometrici ai fini della caratterizzazione meteorologica ed idrologica del bacino di interesse;
- B) raccolta ed elaborazione dati cartografici (Carta Tecnica Regionale, uso del suolo, geologia, litologia, pedologia, ecc.) ai fini della caratterizzazione morfologica e geologica del bacino di interesse;
- C) raccolta studi, ricerche e pubblicazioni attinenti la problematica del bilancio idrologico e la determinazione del deflusso minimo vitale nell'area di interesse;
- D) implementazione modellistica idrologica su base annuale per la ricostruzione delle portate medie mensili e della curva di durata.

Al termine delle attività condotte è stata redatta la presente relazione contenente la descrizione delle varie fasi di lavoro svolte e dei principali risultati ottenuti in termini di ricostruzione delle caratteristiche di deflusso del bacino di interesse. La relazione contiene inoltre tutti i dati utilizzati ed i risultati ottenuti nelle varie fasi di lavoro.

La zona oggetto di intervento ricade nel territorio comunale di San Demetrio Ne Vetestini e precisamente nelle vicinanze della località Stiffe.

Il Rio Foce che è alimentato da una serie di sorgenti presenti nelle grotte di Stiffe dispone di un consistente deflusso di base. Il bacino idrogeologico che alimenta le sopra citate sorgenti è quello che fa capo all'inghiottitoio di Pozzo Caldaio, posto circa 2.5 km a SO delle stesse grotte a una quota di 1253 m.s.l.m. contro i 676 m.s.l.m. delle grotte, ha una superficie di 52 Km² circa.

La presente relazione ha lo scopo di stimare la risorsa idrica disponibile ai fini dell'ottimizzazione dell'impianto idroelettrico da realizzare al fine anche del suo corretto inserimento nel contesto ambientale della zona in modo da mitigare eventuali suoi impatti negativi.

Nel presente studio sarà quindi predisposta una modellazione idrologica del bacino che alimenta il Rio Foce che opportunamente calibrata attraverso i dati disponibili, sarà in grado di simulare in modo sufficientemente realistico il regime dei deflussi nel corso d'acqua e quindi stimare la risorsa idrica disponibile con riferimento sia all'anno medio che a quello secco ed umido.

Opportune valutazioni saranno quindi fatte sul Deflusso Minimo Vitale da rilasciare per garantire una buona qualità delle acque e quindi sarà stimata la effettiva risorsa utilizzabile.

2 – Ricostruzione ed elaborazione preliminare quadro conoscitivo di base

Nella prima fase di lavoro sono stati raccolti ed elaborati in modo preliminare tutti i dati disponibili nella zona oggetto di studio utili per caratterizzare il bacino idrografico dal punto di vista geomorfologico, idrologico, idrogeologico e climatico.

Sono stati altresì raccolti i risultati di alcuni precedenti utili per approfondire le conoscenze del bacino oggetto di studio.

2.1 – Analisi dati territoriali

Si è svolto dapprima uno studio delle principali caratteristiche geomorfologiche, litologiche, orografiche e di altri tematismi che in ogni caso hanno una certa influenza sul regime idrologico, idraulico e sedimentologico del corso d'acqua. In una prima fase sono stati analizzati i dati necessari per la caratterizzazione del bacino idrografico, in un secondo tempo si è passati allo studio delle caratteristiche del corso d'acqua con particolare riferimento al suo regime di deflussi.

Tutte le cartografie raccolte sono state inserite in un sistema informatico territoriale (GIS) per le successive elaborazioni.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO IDROELETTRICO SUL RIO FOCE
Relazione idrologica - **SINTESI**

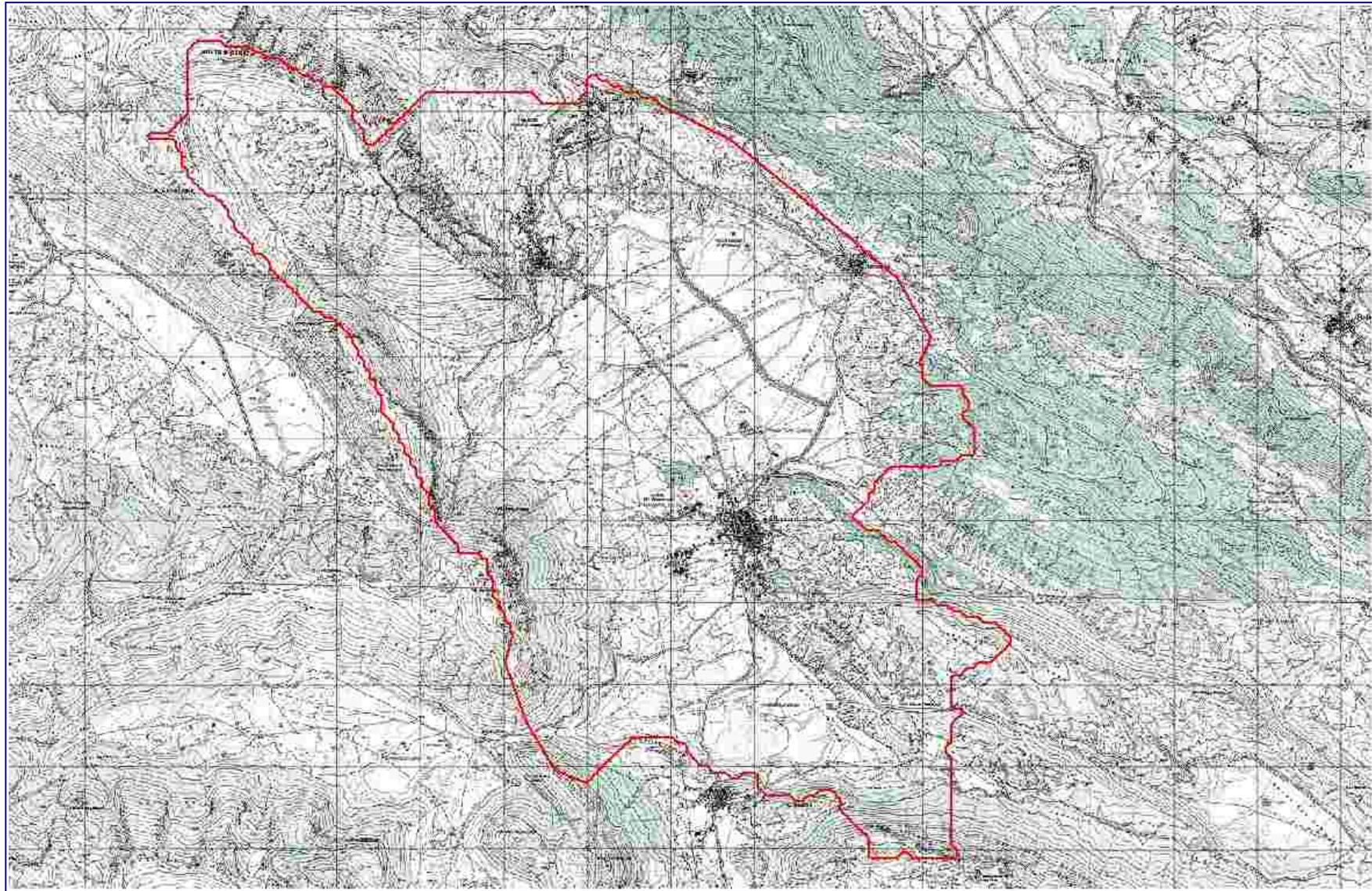


Fig. 2.2 – Rio Foce: Individuazione bacino idrografico - IGM 1:25.000

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO IDROELETTRICO SUL RIO FOCE
Relazione idrologica - **SINTESI**

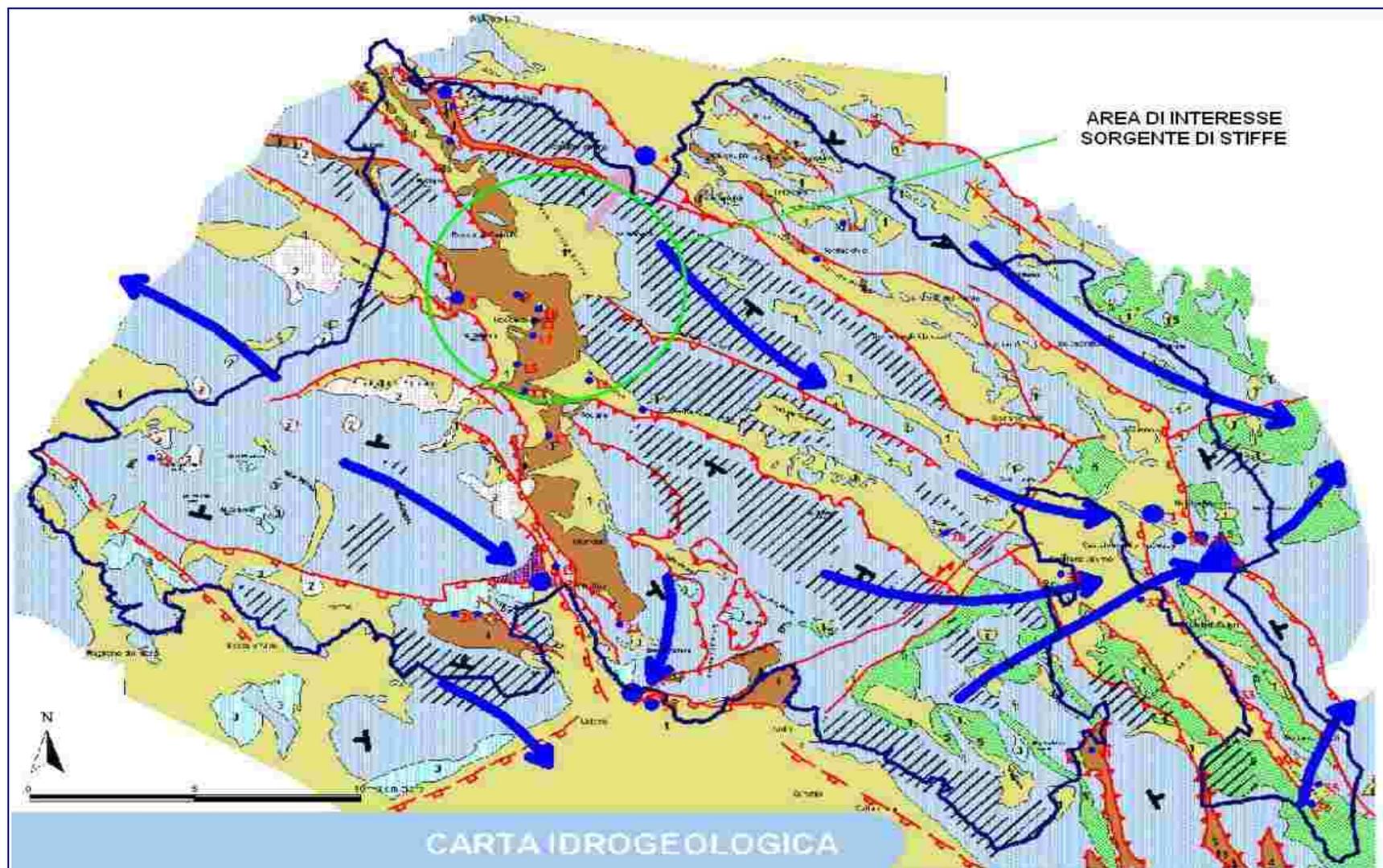


Fig. 2.4 – Rio Foce - Carta idrogeologica con indicazione principali sorgenti

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO IDROELETTRICO SUL RIO FOCE
Relazione idrologica - **SINTESI**

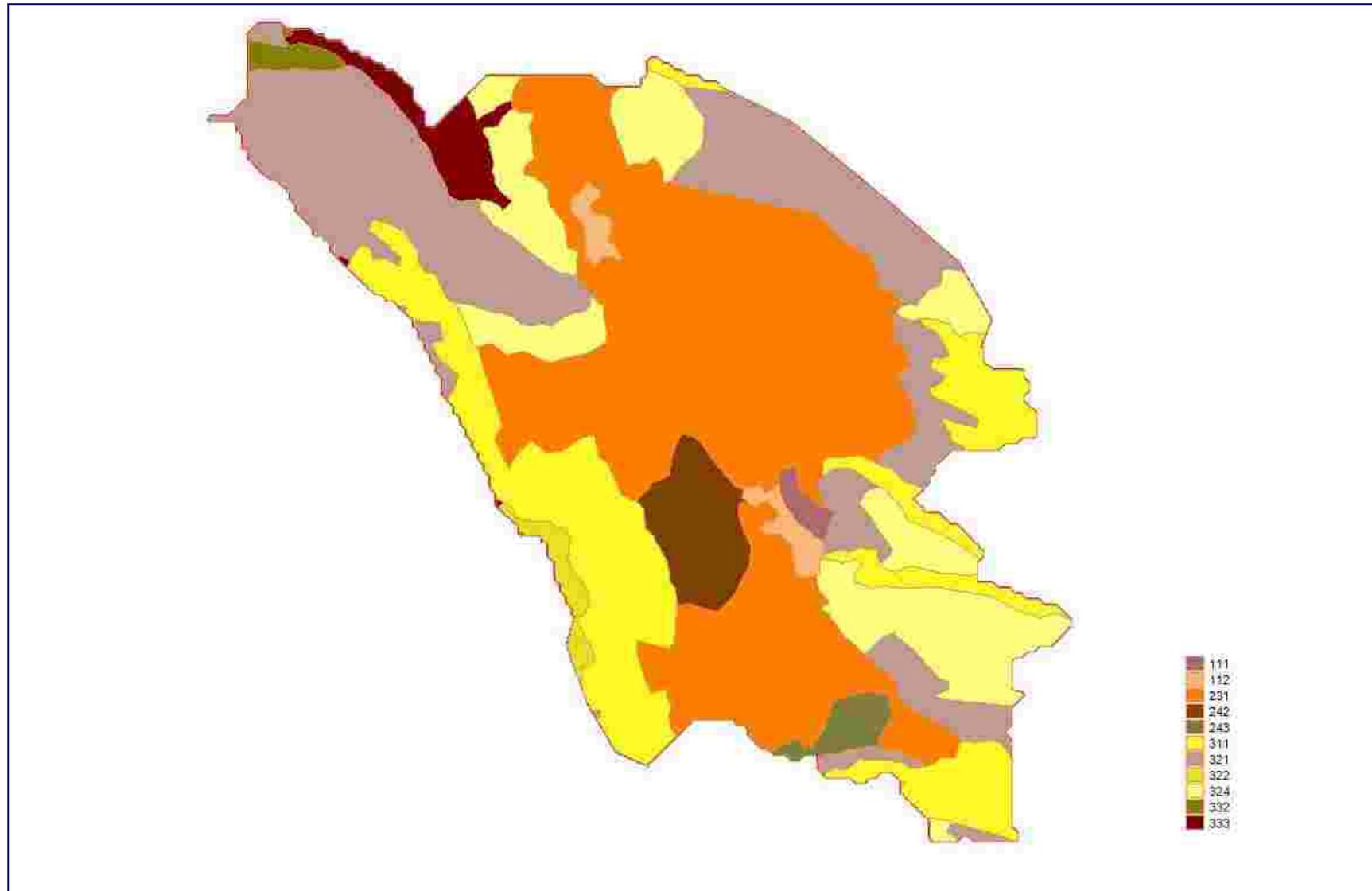


Fig. 2.5 – Rio Foce: Classi uso del suolo

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO IDROELETTRICO SUL RIO FOCE
Relazione idrologica - **SINTESI**



Fig. 2.6 – Rio Foce: Modello digitale del terreno (DEM – fonte NASA SRTM)

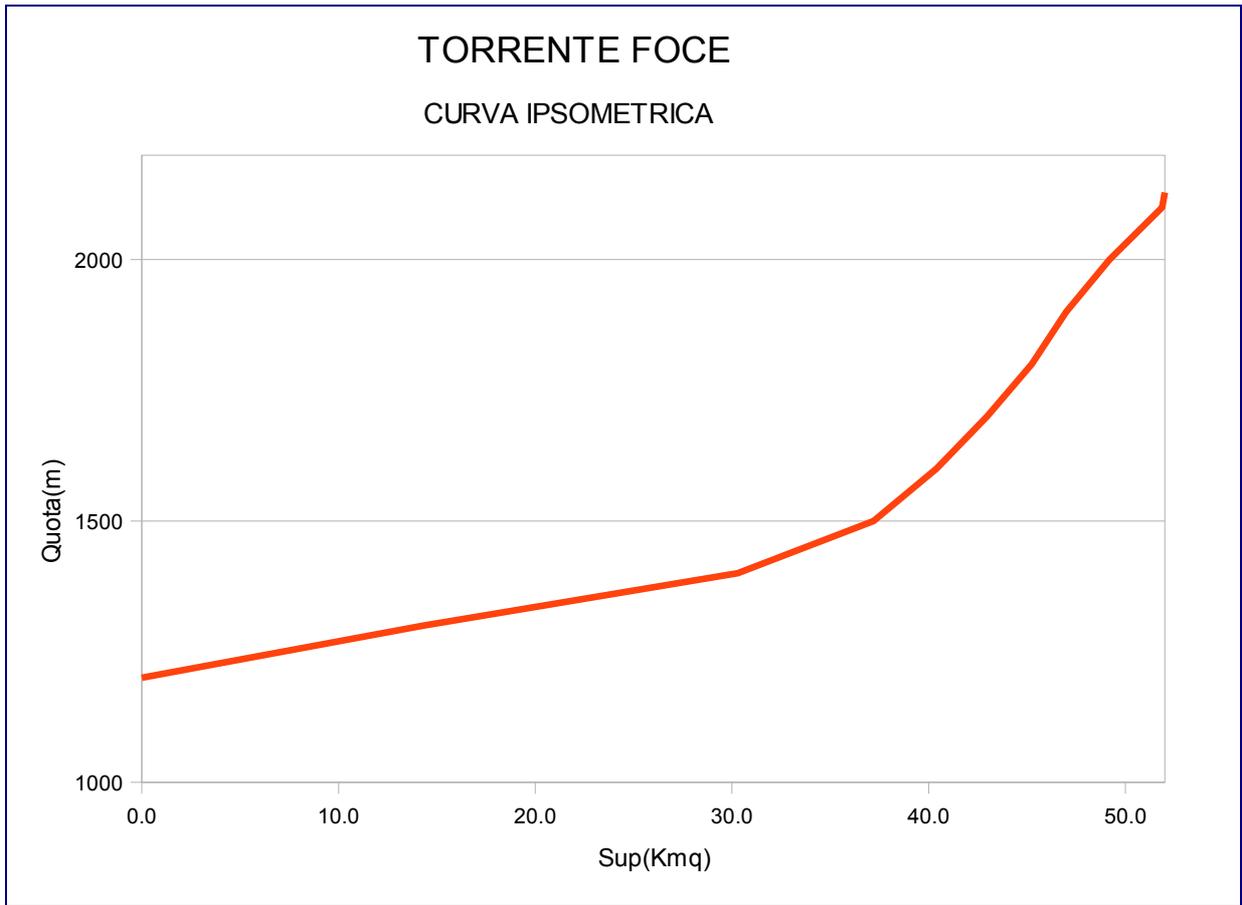


Fig. 2.7 – Curve ispometriche assolute

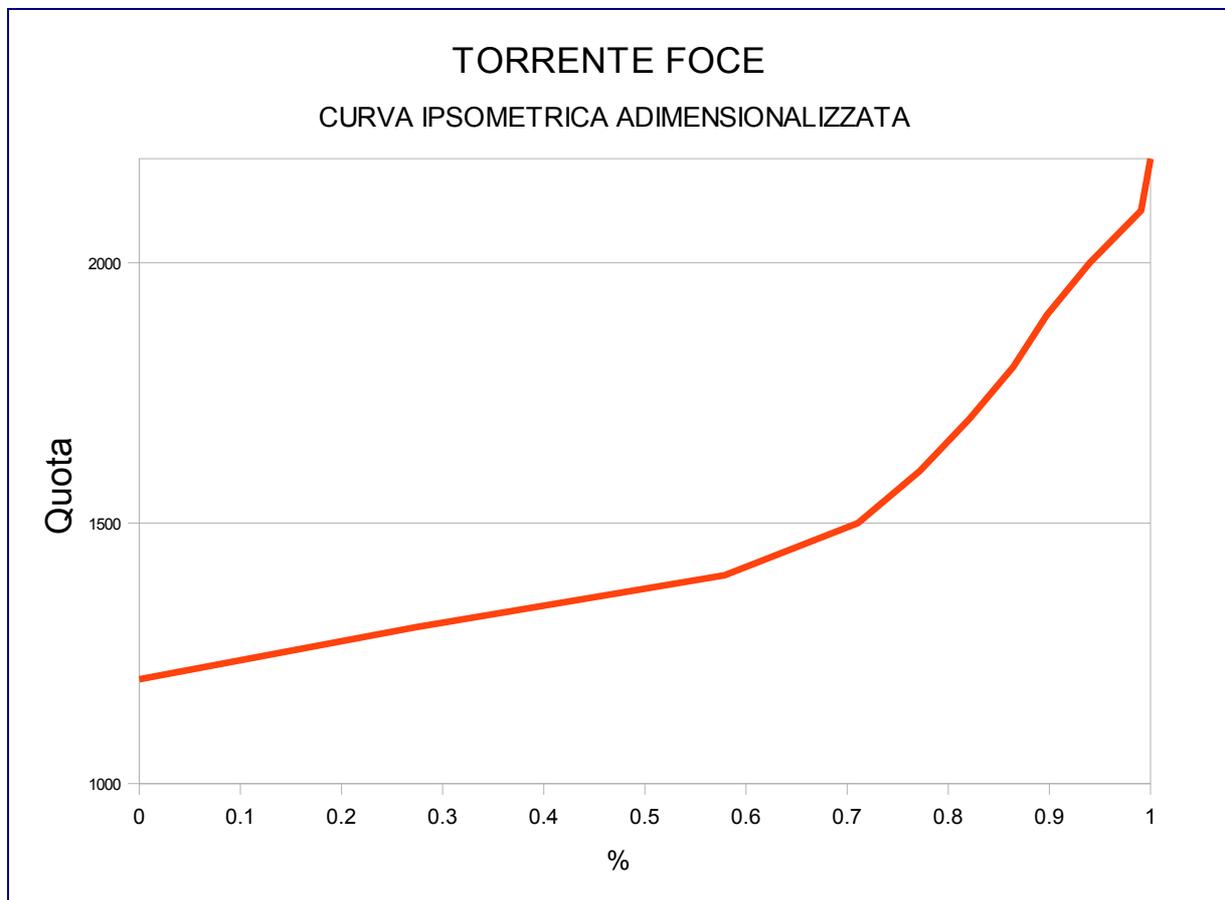


Fig. 2.8 – Curva ipsometrica adimensionalizzata

2.2 – Dati idro-meteorologici

Ai fini della caratterizzazione del regime climatico delle zone sono stati utilizzati i dati meteorologici disponibili raccolti negli anni passati a cura dell'ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, le cui competenze sono ora passate al Ufficio Idrografico della Regione Abruzzo. In particolare le stazioni per cui sono state trovate le serie di osservazioni di temperatura e pioggia più lunga e che sono le più rappresentative per il bacino oggetto di studio sono: Rocca Di Mezzo e Campana. La posizione delle sopra citate stazioni è riportata in fig. 2.9 .

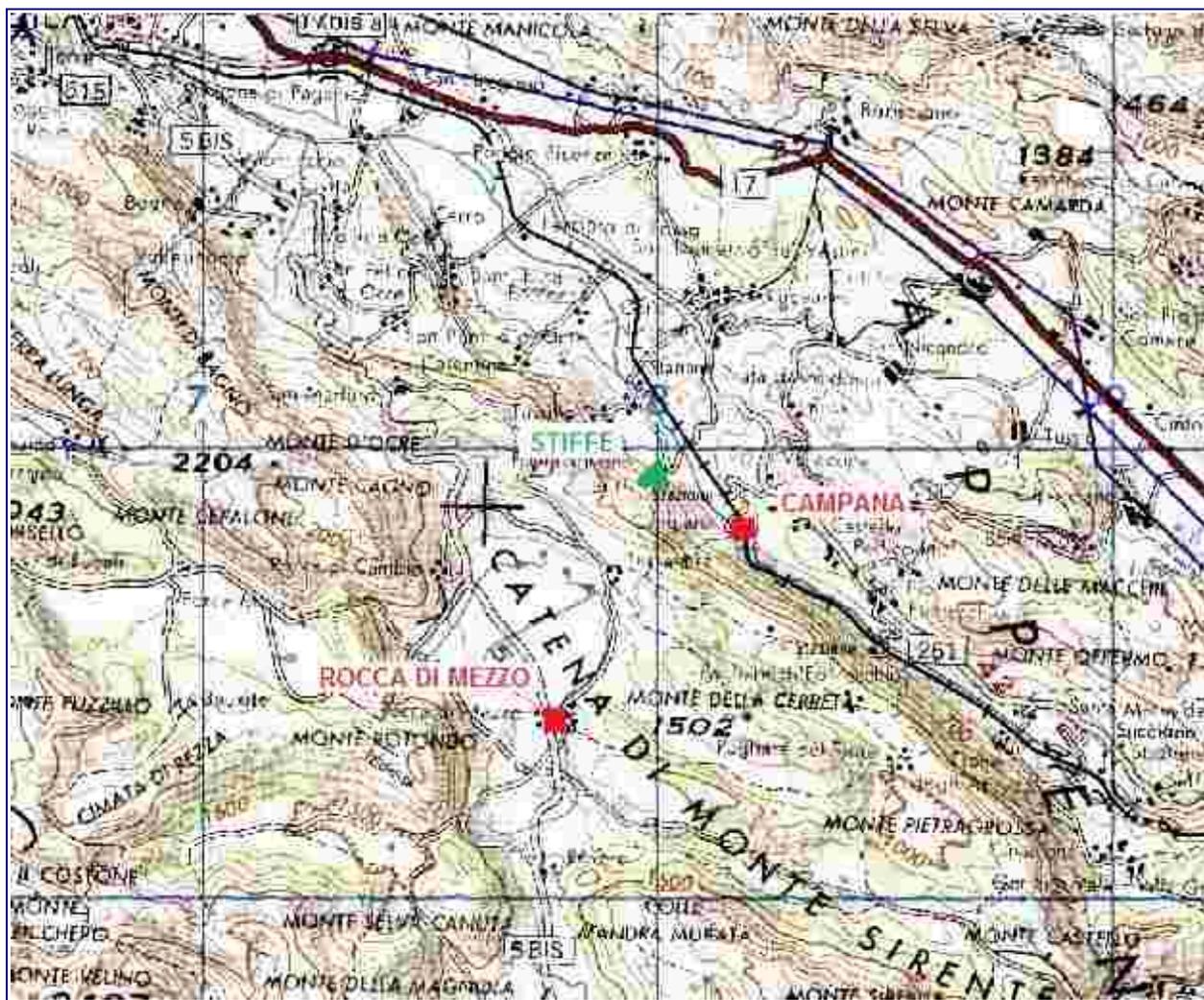


Fig. 2.9 – Stazioni meteorologiche

Nella stazione di Rocca di Mezzo dell'ex S.I.M.N., che è quella più rappresentativa per il bacino oggetto di studio, le osservazioni pluviometriche e termometriche sono disponibili dal 1950 al 2001. Per questo motivo sono stati raccolti anche i dati pluviometrici e termometrici della stazione di Campana sempre gestita dall' Ufficio Idrografico di Pescara che pur essendo meno rappresentativa del clima del bacino del Rio Foce rispetto a Rocca di Mezzo era quella più vicina allo stesso bacino per cui i dati erano disponibili tra il 2004 e il 2008.

Gli unici dati idrometrici disponibili ricadono proprio in questo periodo per cui era essenziale per la taratura del modello idrologico poter disporre dei dati meteorologici, pioggia e temperatura, nello stesso periodo. Nei paragrafi che seguono con riferimento rispettivamente a pluviometria, idrometria e termometria verranno descritti nel dettaglio le procedure adottate per la raccolta e la preparazione dei dati per la successiva modellazione idrografica.

2.2.1 – Pluviometria

Come già in precedenza accennato per caratterizzare la pluviometria del bacino idrografico del Rio Foce, chiuso all'inghiottitoio di Pozzo Caldaio, sono stati raccolti i dati relativi alla stazione di Rocca di Mezzo, posta in posizione baricentrica rispetto al bacino, disponibili presso il Servizio Idrografico di Pescara che ha ereditato la rete di sensori dello S.I.M.N., solo per il periodo più recente, dal 2004 al 2008, sono stati raccolti dalla stazione di Campana.

Per l'acquisizione dei dati pluviometrici stazione di Rocca di Mezzo della rete ex S.I.M.N. si è proceduto ad acquisire le pagine degli annali presenti sul sito del Servizio Idrografico di Pescara e quindi alla loro digitalizzazione tramite riconoscimento automatico dei caratteri, dopo tutte le verifiche necessarie i dati sono stati inseriti in una base dati, in formato DDS, per le successive elaborazioni. In particolare sono state acquisite le altezze mensili di pioggia per un periodo compreso tra il 1951 ed il 2002. In totale sono state acquisite 624 altezze mensili di pioggia.

Stazione pluviometrica-Dati disponibili-Periodo 1950-2002		
Nome	Quota (mslm)	Mesi
Rocca Di mezzo	1329	624

Tab. 2. 3 – Consistenza stazioni pluviometriche

Una volta inseriti i dati nell'archivio sono state eseguite una serie di elaborazioni statistiche, riportate nell'allegato 1.4, per individuare per ogni stazione l'andamento mensile di:

- pioggia media;
- pioggia minima;
- pioggia massima;
- pioggia con percentuale 5% (anno secco)
- pioggia con percentuale 50% (anno medio)
- pioggia con percentuale 95% (anno umido)

In fig. 2.11 è riportato l'andamento dell'anno mediano (percentuale 50%) della pluviometria nella stazione esaminata, si può notare un abbassamento delle precipitazioni nel periodo estivo mentre nella parte restante dell'anno si mantengono abbastanza uniformi con una punta nel periodo dicembre – gennaio.

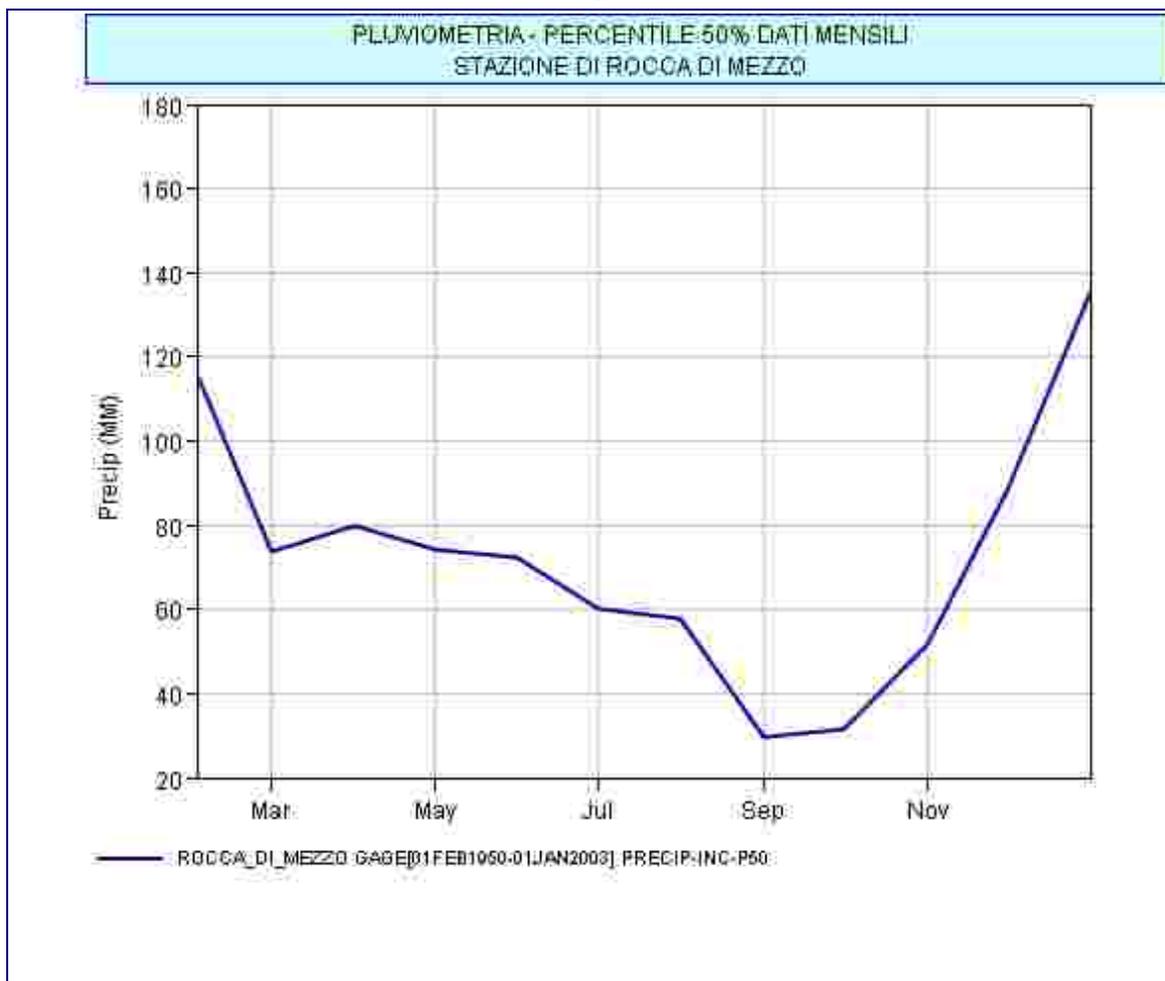


Fig. 2.11 – Pluviometria – anno mediano

Come in precedenza accennato per caratterizzare la pluviometria nel periodo 2003-2008 sono stati acquisiti i dati della stazione di Campana riportati in fig. 2.12 che sono stati gentilmente forniti dall'Ufficio Idrografico di Pescara.

Un'adeguata analisi statistica è stata inoltre condotta per un periodo di circa 5 anni in cui si disponeva dei dati pluviometrici e termometrici delle due stazioni, Campana e Rocca di Mezzo, al fine di rilevare il coefficiente di correlazione, vedi allegato A.11, e quindi stimare un fattore di correzione da applicare ai dati di Campana in modo da meglio rappresentare il regime climatico del bacino oggetto di studio e quindi da poterli utilizzare successivamente nella taratura del modello. Il coefficiente di correzione ad applicare ai dati pluviometrici di Campana è pari a 1.81.

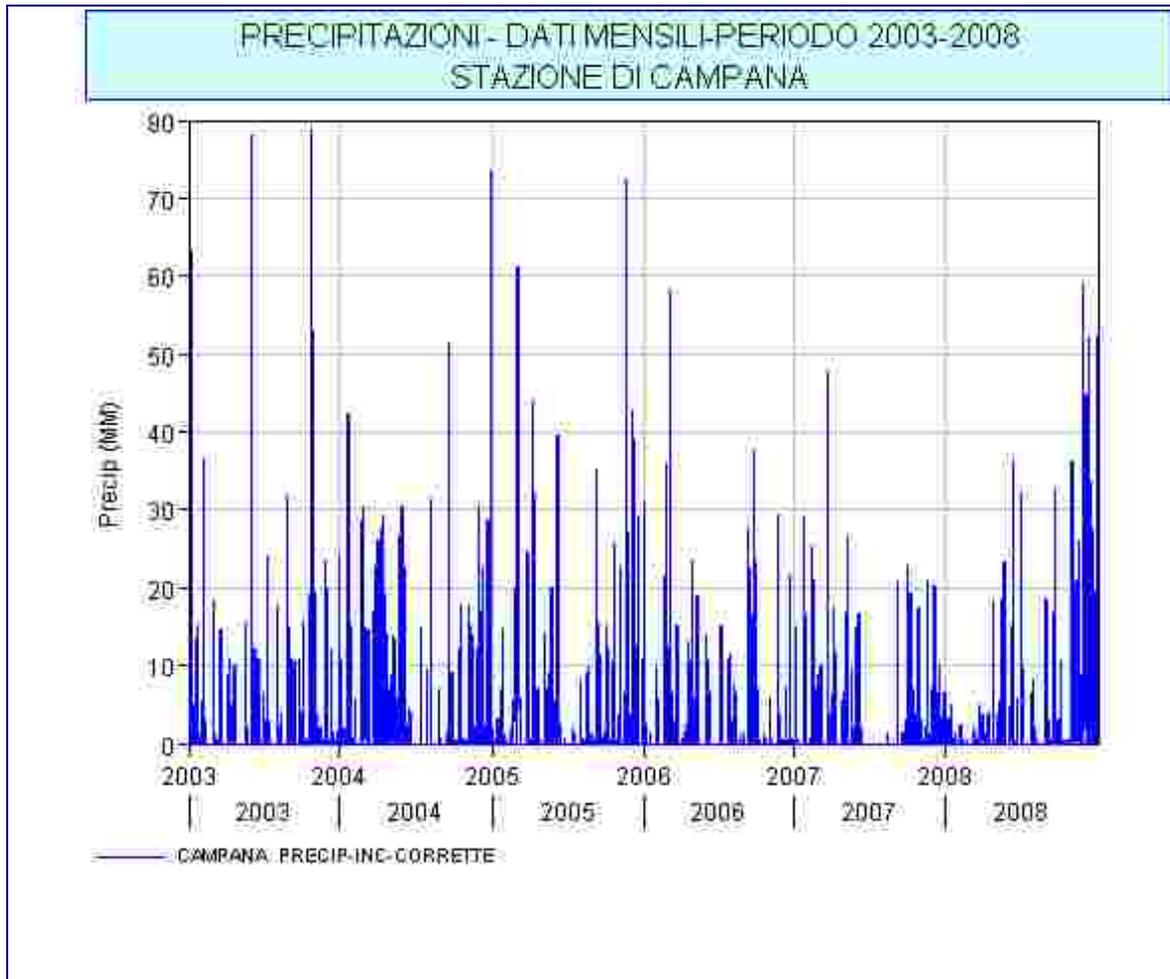


Fig. 2.12 – Pluviometria – Campana

In considerazione del fatto che i dati della stazione di Campana devono essere utilizzati per la taratura del modello e non per simulazioni sull'anno medio gli stessi dati non sono stati sottoposti ad alcuna elaborazione statistica.

Il dettaglio dei dati pluviometrici acquisiti per la stazione di Campana è riportata in allegato A.3.

2.2.2 – Idrometria

Nel Rio Foce non sono disponibili misurazioni sistematiche di portate pregresse se non alcune misure estemporanee fatte in passato in prossimità della sua immissione nel fiume Rio. Al fine di caratterizzare il regime dei deflussi e nell'ambito della redazione dello studio preliminare il committente ha fatto eseguire una serie di misurazioni sistematiche della portata del Rio Foce in prossimità della sezione di presa dell'impianto idroelettrico da realizzare.

A questo scopo è stato installato un misuratore di livello e pressione e tramite una serie di misurazioni dirette di portata è stata ricostruita una scala di deflusso. Le misurazioni giornaliere effettuate sono riportate in fig. 2.13 e mostrano come il deflusso, con riferimento al periodo considerato, sia stato caratterizzato da una fase di esaurimento che corrisponde al periodo di scioglimento della neve che inizia a marzo e si prolunga fino a maggio-giugno in funzione dell'andamento termometrico.

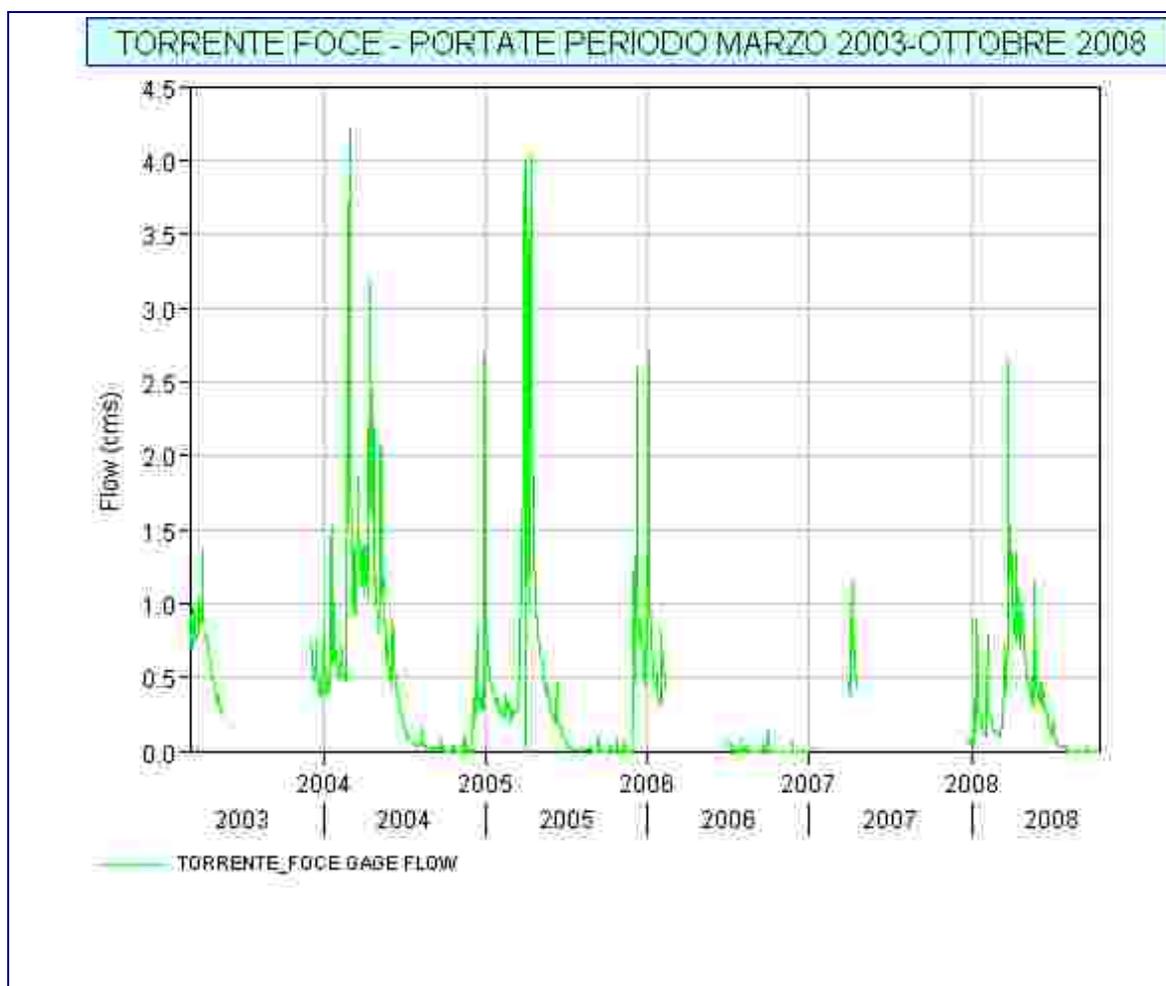


Fig. 2.12 – Misure di portata

L'Ufficio Idrografico di Pescara ha inoltre gentilmente concesso le seguenti misure di portata delle sorgenti nelle grotte di Stiffe eseguite in maniera estemporanea negli anni passati dallo stesso Ufficio:

- 1) 7.10.1953 l/sec. 123;
- 2) 5.10.1991 l/sec. 22;
- 3) 15.11.1991 l/sec.901;
- 4) 16.12.2002 l/sec.720;
- 5) 23.04.2003 l/sec.570;
- 6) 10.11.2003 l/sec. 120.

Tra di esse l'unica confrontabile alle misure effettuate nell'ambito del presente studio è quella del 23/04/2003, in questa data si ha una portata misurata di 510 lt/s, con uno scarto quindi di circa il 10% rispetto a quella misurata dall'Ufficio Idrografico.

2.2.3 – Termometria

In maniera analoga a quanto fatto per la pluviometria sono stati acquisiti le serie termometriche per la stazione dalla rete dell'ex S.I.M.N. Rocca Di Mezzo, per caratterizzare il regime termometrico della zona relativamente all'anno medio. La stazione di Campana, è stata invece utilizzata per caratterizzare la termometria nel periodo 2003-2008 che è servito per la taratura del modello idrologico, tali dati sono stati corretti per meglio rappresentare l'area id studio, il fattore di correttivo, pari a 0.81, è stato calcolato in modo analogo a quanto fatto per la pluviometria.

Le temperature medie mensili per la stazione di Rocca di Mezzo. sono riportate nella fig. 2.14. La consistenza dei dati termometrici rilevati è riportata nella tab. 2.4. In totale sono stati acquisiti 788 valori di temperatura, nella figura 2.15 sono invece riportati gli andamenti delle temperature minime, medie e massime mensili con riferimento al periodo considerato.

Stazione pluviometrica-Dati disponibili-Periodo 1950-2002		
Nome	Quota (mslm)	Mesi
Rocca Di mezzo	1329	624

Tab. 2.4 - Consistenza stazioni termometriche

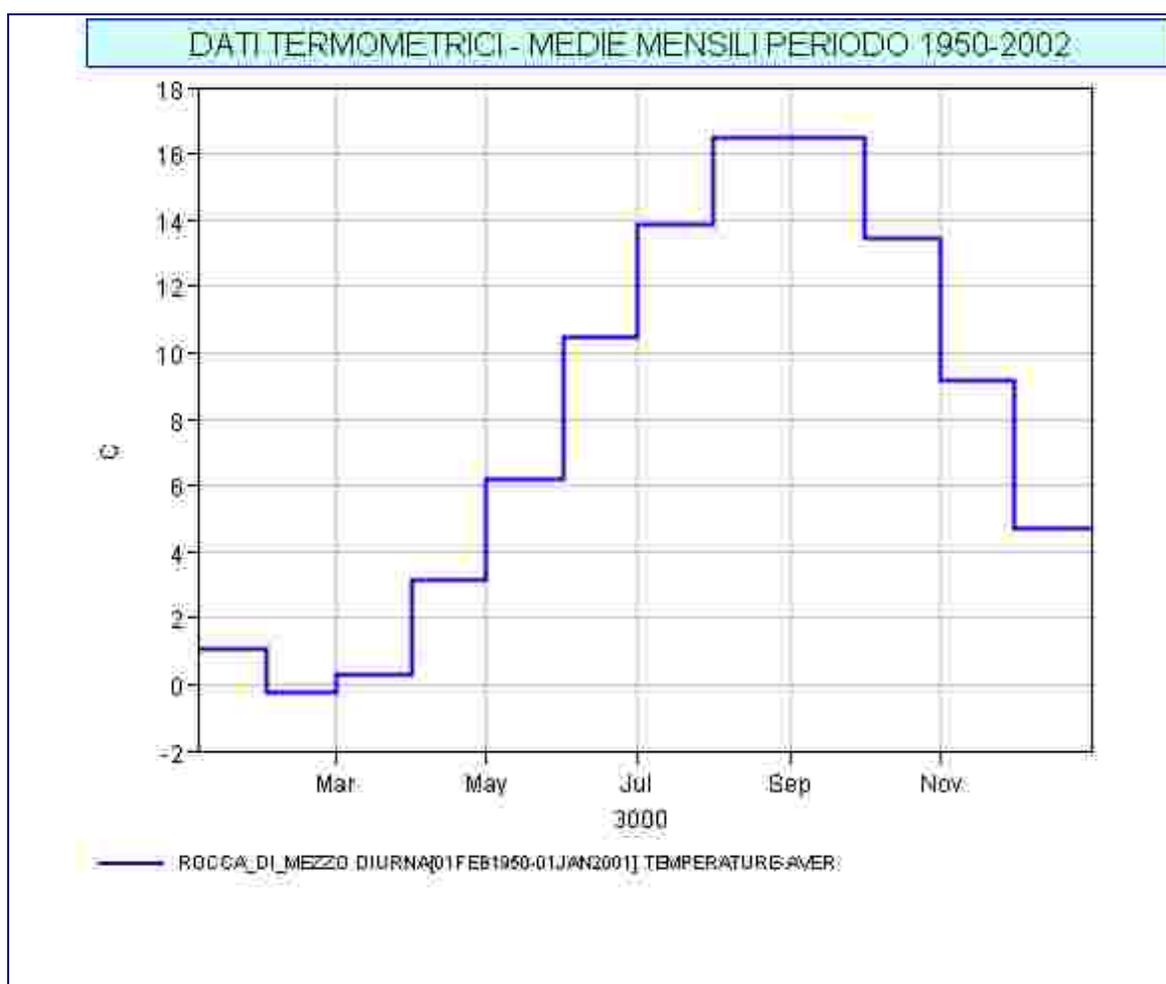


Fig. 2.14 – Misure di temperatura

Il dettaglio dei dati di temperatura acquisiti relativamente alle stazioni di Rocca di Mezzo e di Campana è riportato rispettivamente in allegato A.2 e A.4.

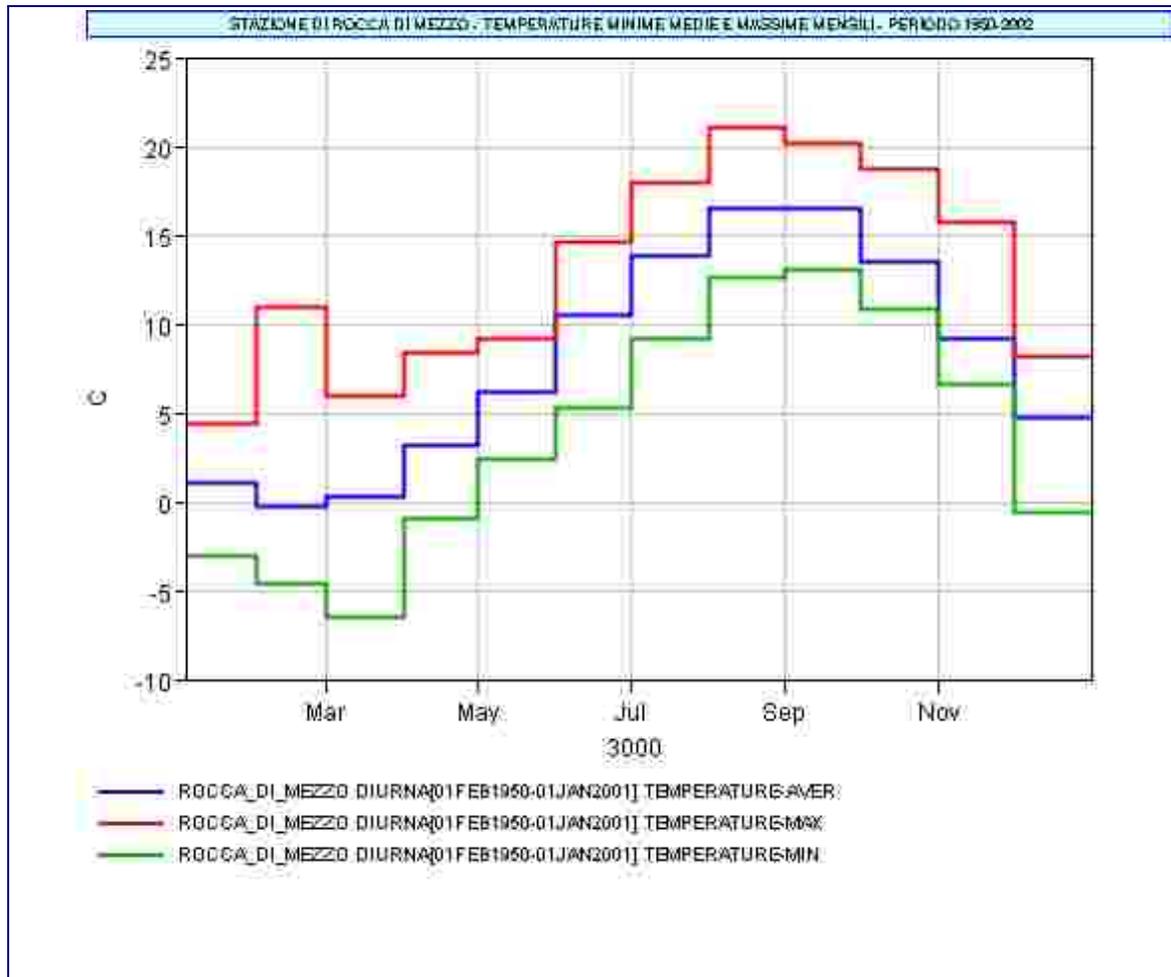


Fig. 2.15 – Misure di temperatura

2.3 – Studi esistenti

Studi relativi al progetto di un impianto idroelettrico della sorgente di Stiffe.

Nell'ambito degli studi preliminari per la realizzazione di un impianto idroelettrico ad acqua fluente della Sorgente di Stiffe nel Comune di S. Demetrio ne' Vestini, è stato condotto uno studio sul Torrente Stiffe al fine di ricostruire la curva di durata, lo studio è stato condotto dall' Ing. G. Boschetti. Utilizzando le portate rilevate nei vari periodi di monitoraggio della sorgente di Stiffe, è stata tracciata una curva delle durate delle portate nei 365 giorni dell' anno.

Lo studio era finalizzato al calcolo della producibilità in KWh nei periodi di funzionamento dell'impianto.

3 – Bilancio idrologico

Il presente studio ha lo scopo principale di ricostruire il bilancio idrologico nel bacino del Rio Foce al fine di dimensionare in modo ottimale l'impianto idroelettrico da realizzare sullo stesso corso d'acqua e consentirne quindi l'inserimento nel contesto locale in maniera sostenibile anche dal punto di vista ambientale.

La procedura utilizzata per la ricostruzione del bilancio idrologico prevede l'implementazione di un modello numerico di simulazione, basato sul software HEC-HMS, sviluppato da "Hydrologic Engineering Center" del US Army Corps of Engineers, per la modellazione del bacino idrografico del Rio Foce.

L'implementazione del modello, che prevede l'utilizzo della caratterizzazione del bacino idrografico e risultati dell'elaborazione dei dati idropluviometrici precedentemente descritti, serve a schematizzare il fenomeno di trasformazione afflussi-deflussi e quindi sulla base di un anno idrologico medio a ricostruire i deflussi idrici nella sezione di chiusura del bacino idrografico.

La trasformazione afflussi-deflussi viene generalmente schematizzata nella modellazione idrologica come composta da quattro fasi: separazione delle piogge, formazione della piena, propagazione della piena e deflusso di base. Nel caso in cui, come in quello in esame, il bacino idrografico è caratterizzato da una importante circolazione sotterranea allora è fondamentale concentrare le proprie attenzioni nella stima del deflusso di base, che avviene per restituzione d'acqua dalle falde al deflusso superficiale, che rappresenta la componente più importante del deflusso totale.

Considerato che la quota media del bacino idrografico afferente all'inghiottitoio di Pozzo Caldaio che alimenta il rio Foce è di circa 1300 m.sl.m. in un'importante porzione dello stesso bacino il regime idrologico è fortemente influenzato dalla temperatura ed in particolare dal fenomeno di accumulo della precipitazione in forma nevosa durante il periodo invernale ed il suo scioglimento durante i mesi primaverili. Per tale motivo nella modellazione idrologica si è dovuto tenere conto anche della presenza della neve.

Una volta implementato il modello idrologico ne è stata eseguita la taratura, con la calibrazione dei parametri, basandosi sulle misure di deflusso disponibili relative ad un periodo poco più lungo di un anno compreso tra il 2003 ed il 2008. Si è quindi passati alla simulazione dell'anno idrologico medio e degli anni idrologici estremi, secco e umido con riferimento a un tempo di ritorno di 5 anni. La simulazione ha quindi condotto alla stima dei deflussi idrici e quindi dell'idrogramma annuale e della curva di durata delle portate.

In un secondo tempo si è passati quindi alla stima della risorsa idrica utilizzabile sottraendo ai deflussi stimati le quantità d'acqua da rilasciare per garantire il deflusso minimo vitale (DMV) nel corso d'acqua e quindi rispettarne le esigenze ambientali.

Nel presente capitolo vengono descritte nel dettaglio le varie fasi di sopra richiamate e precisamente nel paragrafo 3.1 vengono brevemente richiamate alcune nozioni dei metodi utilizzati in idrologia tecnica per affrontare le problematiche connesse alla stima di un bilancio idrologico al fine di inquadrare in modo corretto i metodi utilizzati nel presente studio. Nel paragrafo 3.2 vengono descritte le varie fasi dell'implementazione del modello numerico di calcolo e quindi, nel paragrafo 3.3, la sua taratura. Nel paragrafo 3.4 sono descritti i principali risultati ottenuti dal modello idrologico. La valutazione del deflusso minimo vitale è riportata nel paragrafo 3.5. Nel paragrafo 3.6 viene infine valutata la risorsa idrica utilizzabile sulla base di quella totale disponibile, del DMV ed anche della portata massima derivabile.

Il software HEC-HMS

Il software HEC-HMS è specifico per la modellazione idrologica dei bacini idrografici e quindi per la determinazione delle portate di piena attese in determinate sezioni del bacino in funzione dei tempi di ritorno considerati.

Il software HEC-HMS permette di simulare la risposta di un bacino idrografico investito da un evento meteorico di caratteristiche note. Il funzionamento del programma è stato testato in varie zone geografiche ed è risultato utile per schematizzare una grande serie di situazioni che si possono trovare in natura; sia riferite a grandi bacini idrografici che a piccole aree urbane o naturali.

Gli idrogrammi calcolati dal programma possono essere utilizzati, anche in combinazione con altri software, per studiare problemi diversi come per esempio la disponibilità della risorsa idrica, il drenaggio urbano, la previsione delle piene, l'impatto dello sviluppo delle aree urbane, il progetto degli sfioratori di piena nelle dighe, la mitigazione del rischio idraulico, ecc..

Il programma è caratterizzato da un ambiente di lavoro integrato e completo di: database, utility per l'inserimento e la modifica dei dati, un motore di calcolo e un sistema di visualizzazione dei risultati. Tutte le componenti sono accessibili tramite un interfaccia grafica molto funzionale.

I dati relativi alle serie temporali sono archiviati in file in formato Data Storage System (DSS), la scrittura e la lettura dei dati vengono gestiti dal programma stesso in maniera del tutto trasparente.

Il motore di calcolo deriva da oltre 30 anni di esperienza, infatti molti algoritmi che derivano dalle versioni precedenti del programma (HEC-1 1998, HEC-1F 1989, PRECIP 1989 e HEC-IFH 1992) sono stati implementati in nuove e moderne librerie di calcolo.

Il software HEC-HMS, nel suo utilizzo di base, permette di modellare il comportamento di un bacino idrografico interessato da un singolo evento pluviometrico e di stimare, quindi, le caratteristiche della sua risposta, quali: volume di deflusso, forma dell'idrogramma, portata massima e tempo di corrivazione. Esiste anche la possibilità di eseguire modellazioni idrologiche continue di un bacino idrografico, che prevede l'utilizzo di schematizzazioni più complesse, ma che non sono inserite nella presente trattazione, in quanto presuppongono un uso avanzato del software.

La modellazione idrologica di un bacino idrografico viene fatta, in genere, quando è necessario conoscere, nel dettaglio, le caratteristiche della piena di progetto, quando cioè non è sufficiente valutare la portata massima, ma serve anche conoscere la forma dell'idrogramma di piena. Il procedimento per arrivare a valutare le caratteristiche dell'evento di piena di progetto (vedi schema seguente) è costituito dalle fasi sotto elencate:

- 1) *schematizzazione del modello fisico del bacino idrografico ed implementazioni nel software*
- 2) *inserimento dati misurati di pioggia e di portata di un evento di piena "storico"*
- 3) *taratura dei parametri del modello fisico attraverso la simulazione dell'evento di piena "storico"*
- 4) *inserimento dati di pioggia di progetto*
- 5) *simulazione dell'evento di piena di progetto.*

Nel caso in cui non si disponga delle misure di pioggia e di portata relativa ad un evento storico di piena, i passi 2 e 3 verranno omessi. Ognuna di queste fasi necessita di alcuni dati in ingresso e produce dei risultati in uscita, che vengono in genere utilizzati nella fase successiva, come meglio specificato nello schema seguente.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO IDROELETTRICO SUL RIO FOCE
Relazione idrologica - **SINTESI**

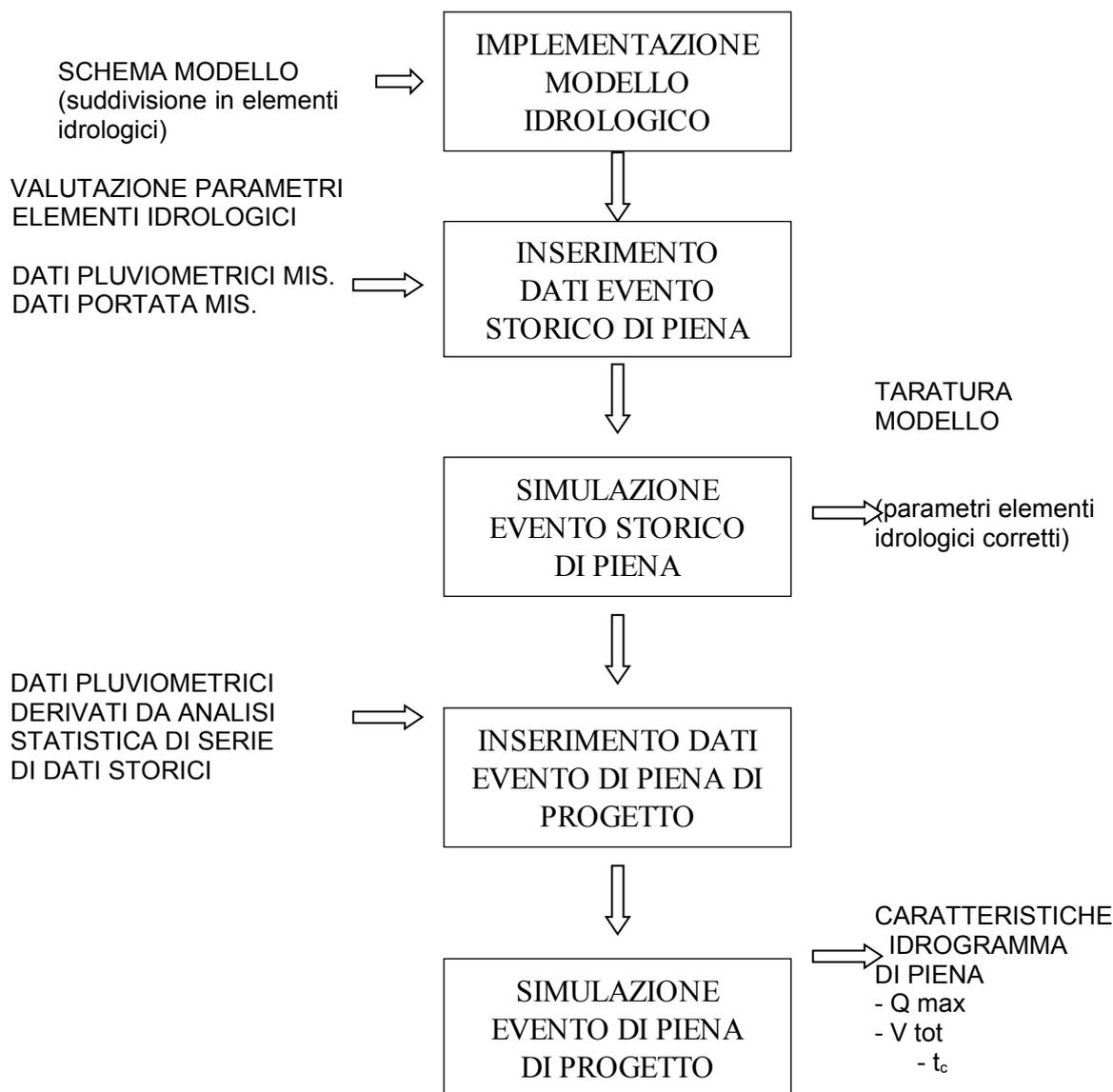


Fig. 3.1

Esistono poi anche limitazioni all'estensione spaziale della modellazione. Nella modellazione del fenomeno afflussi-deflussi, i metodi idrologici utilizzati dal software hanno la principale caratteristica di essere stazionari e lineari, che sono caratteristiche che si associano bene a bacini idrografici di limitate dimensioni, fino a qualche decina di Km², e che si presentano abbastanza omogenei come caratteristiche geologiche, litologiche, orografiche e dell'uso del suolo. Nel caso di bacini molto grandi, o nei quali le caratteristiche sopra citate variano in maniera significativa, allora è facile che il sistema nel suo complesso non sia né stazionario, né lineare, anche per la presenza di discontinuità nel regime idrologico, quali zone di espansione, tratti intermedi del reticolo particolarmente incassati e ad elevata pendenza e zone endoreiche. In questo caso occorre studiare attentamente la schematizzazione del bacino idrografico e utilizzare tutti gli elementi idrologici disponibili, in particolare sottobacini e tronchi fluviali, in modo da ottenere una modellazione che sia quanto più possibile vicina alla situazione reale.

Nella presente trattazione si intende affrontare la possibilità di eseguire la modellazione idrologica continua di un bacino idrografico che riguarda l'uso avanzato del software. A tale proposito si può notare che la necessità di una modellazione idrologica continua di un bacino idrologico si ha quando si sta indagando sul bilancio idrologico e quindi per valutare la risorsa idrica di un bacino. Si può ricorrere alla modellazione continua anche per stimare le condizioni di saturazione del suolo prima dell'avvio di un evento di pioggia che investe un bacino idrografico e

quindi nel caso della necessità di implementare modelli di previsione delle piene funzionanti in tempo reale. In questi casi è necessario utilizzare il modello di valutazione dell'umidità del suolo (SMA) per il calcolo della pioggia netta.

Prima di implementare il modello fisico del bacino idrografico nel software, è opportuno valutare con attenzione la schematizzazione da utilizzare attraverso un'analisi delle caratteristiche del bacino idrografico oggetto dello studio, ma anche delle proprie esigenze in termini di risultati che si intende ottenere e della loro precisazione.

Di seguito si riportano schematicamente le varie fasi che compongono l'analisi sopra citata. Tali fasi saranno illustrate nel dettaglio in seguito:

1. *Raccolta cartografica*
2. *Raccolta dati pluviometrici ed idrometrici*
3. *Individuazione della/e sezione/i di chiusura del reticolo idrografico, laddove serva conoscere la portata di piena*
4. *Individuazione e perimetrazione del/i bacino/i idrografico/i che afferiscono alle sezioni di chiusura di cui sopra*
5. *Individuazione e perimetrazione di sottobacini omogenei dal punto di vista geomorfologico, uso del suolo e pluviometrico*
6. *Individuazione schema di concessione tra i diversi sottobacini di cui al punto precedente tramite tronchi e giunzioni.*

I passi 5) ed 6) non sono previsti solo in caso di bacini idrografici molto semplici, per la modellazione dei quali è sufficiente utilizzare un sottobacino come unico elemento idrologico della schematizzazione.

3.2 – Implementazione modello

Una volta identificati i sottobacini in cui suddividere il bacino idrografico oggetto di studio e il loro sistema di connessione si passa all'inserimento dei dati nel software HEC-HMS e precisamente nel modulo dedicato alla schematizzazione fisica del bacino e quindi per ogni fase della trasformazione afflusso-deflusso occorre selezionare il metodo di utilizzo e quindi inserire i parametri necessari per quel metodo. Nel presente lavoro i metodi utilizzati per le varie fasi riportati in tab. 3.1 sono descritti nei paragrafi seguenti.

FASE	METODO
- separazione delle piogge	Soil Moisture Accounting
- formazione della piena	UH del del Soil Conservature Service
- deflusso di base	Serbatoio lineare

Tab. 3.1

Nel paragrafo 3.5 è invece descritto il modello meteorologico da utilizzare per la modellazione che tiene in conto anche del fenomeno dell'evaporazione e dell'accumulo e scioglimento della neve.

Pluviometria

Come già in precedenza specificato per caratterizzare la pluviometria del bacino idrografico del Rio Foce sono stati utilizzati i dati della stazioni di Rocca di Mezzo

Evapotraspirazione

I valori di evapotraspirazione media mensile sono stati calcolati con le classiche formule presenti in letteratura in funzione della temperatura e della posizione geografica, sulla valutazione dell' evapotraspirazione non sono stati condotti particolari approfondimenti in quanto si è constatato come il modello idrologico non fosse particolarmente sensibile a tale parametro. I valori di evapotraspirazione utilizzati e le relative modalità di inserimento sono riportati in fig. 3.7.

Fenomeno accumulo e scioglimento della neve

Il modello idrologico implementato per il bacino idrografico del Rio Foce si è dimostrato particolarmente sensibile al fenomeno di accumulo e scioglimento della neve per cui sono stati condotti opportuni approfondimenti in modo da simulare al meglio tale fenomeno.

Il metodo utilizzato per simulare il fenomeno legato alla neve è quello dell'indice di temperatura, secondo questo metodo in estrema sintesi la precipitazione si accumula all'interno del sottobacino sotto forma nevosa quando la temperatura scende al di sotto dello zero, successivamente quando la temperatura risale al di sopra dello zero la neve inizia a sciogliersi e quindi c'è una restituzione d'acqua che partecipa al deflusso- Il metodo in realtà è più sofisticato e tiene conto anche dei fenomeni di inerzia termica dell'acqua e della neve ma non si ritiene necessario descrivere nel dettaglio tale metodo in questa sede.

Le figure che seguono mostrano le modalità di inserimento dei valori dei parametri utilizzati per le varie componenti del metodo utilizzato per tenere in conto del fenomeno dia ccumlo e scioglimento della neve. In particolare la fig. 3.8 mostra i valori del metodo dell'indice di temperatura, nella fig. 3.9 sono riportati i parametri del gradiente termico che serve per tenere in conto che all'aumentare della quota la temperatura diminuisce.

3.3 – Taratura modello

Una volta implementato il modello di calcolo si è passati alla fase di taratura utilizzando come periodo di riferimento quello comprendente il periodo in cui sono disponibili le uniche misure di deflusso in moto continuo sul Rio Foce.

Come in precedenza specificato, per la taratura del modello si sono utilizzati i dati pluviometrici e termometrici registrati nella stazione di Campana, relativi al periodo 2003-2008. Per poter utilizzare questi dati si sono considerate le osservazioni di temperatura e pioggia, delle stazioni Rocca di Mezzo e Campana, per un periodo di osservazione di tre anni, dal confronto di questi dati si è potuto calcolare un coefficiente correttivo delle misure di Campana con i quali si è proceduto alla taratura.

Per avvicinare i risultati delle simulazioni all'idrogramma misurato si è preferito agire manualmente sul valore di alcuni parametri del modello piuttosto che utilizzare le possibilità offerte dal software HEC-HMS di procedere ad una taratura automatica in quanto tale procedura è stata ritenuta più idonea in considerazione della complessità del modello idrologico utilizzato perchè più facilmente controllabile.

A tale proposito occorre notare che i primi tentativi di simulazione fatti senza tenere in conto il fenomeno di accumulo e di scioglimento della neve hanno dato risultati, in termini di idrogramma, completamente diversi da quello misurato, ciò dimostra l'importanza del fenomeno di accumulo e di scioglimento della neve nel bacino che tende a far concentrare la maggior parte dei deflussi durante il periodo primaverile.

Per rendere i risultati della modellazione più simili all'idrogramma misurato si è agito in particolare sui parametri dei metodi di separazione delle piogge e del deflusso di base, rispetto ai quali il modello si è dimostrato più sensibile, variandone i valori all'interno di un certo range predefinito, vedi fig. 3.12.

La taratura effettuata ha mostrato che il regime dei deflussi nel Rio Foce è strettamente correlato al regime idrologico del bacino afferente all'inghiottitoio di Pozzo Caldaio ma anche che tali deflussi non rappresentano la totalità delle acque assorbite dallo stesso inghiottitoio ma solo una porzione di esse, corrispondente 40-60% del totale.

3.4 – Risultati ottenuti

I risultati ottenuti dopo la taratura sono riportati in forma grafica in fig. 3.13 e 3.14. Nella prima figura sono evidenziati: l'idrogramma totale calcolato (in blu), il deflusso di base calcolato (in tratteggio) e l'idrogramma misurato (in nero) oltre che lo ietogramma di pioggia nella parte superiore della figura..

Da notare le piogge che si verificano nel periodo compreso tra l'estate e l'inverno danno luogo ad un deflusso quasi nullo, per via dell'evapotraspirazione in estate e inizio autunno e del fenomeno di accumulo della precipitazione in forma nevosa in autunno avanzato e inverno.

In figura 3.14 sono evidenziati la componente superficiale (tratto continuo blu) e la componente di base (tratto e punto in viola) del deflusso calcolato sempre a confronto di quello misurato (puntinato in viola). Il deflusso totale misurato è invece riportato in rosso.

La taratura effettuata ha dato la possibilità di avvicinare i risultati del modello agli idrogrammi misurati in modo accettabile nonostante alcune differenze permangano. In realtà non si è voluto avere un'aderenza perfetta alle misure disponibili in quanto si ritiene che esse non siano totalmente affidabili e che in ogni caso non si ha la certezza che esse rappresentino in modo corretto il reale comportamento del bacino.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO IDROELETTRICO SUL RIO FOCE
Relazione idrologica - **SINTESI**

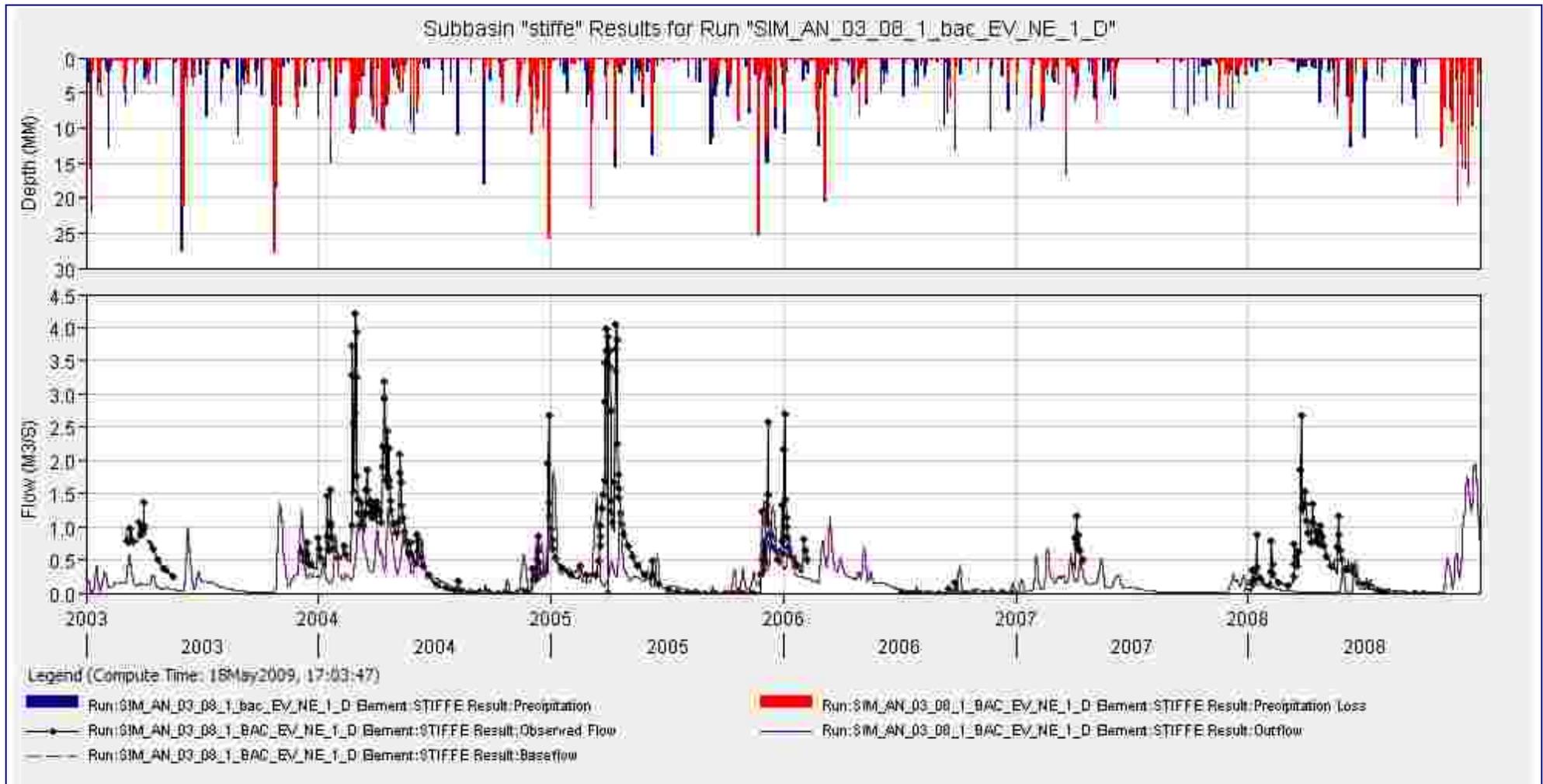


Fig. 3.13 - Modellazione idrologica – grafico taratura

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO IDROELETTRICO SUL RIO FOCE
Relazione idrologica - **SINTESI**

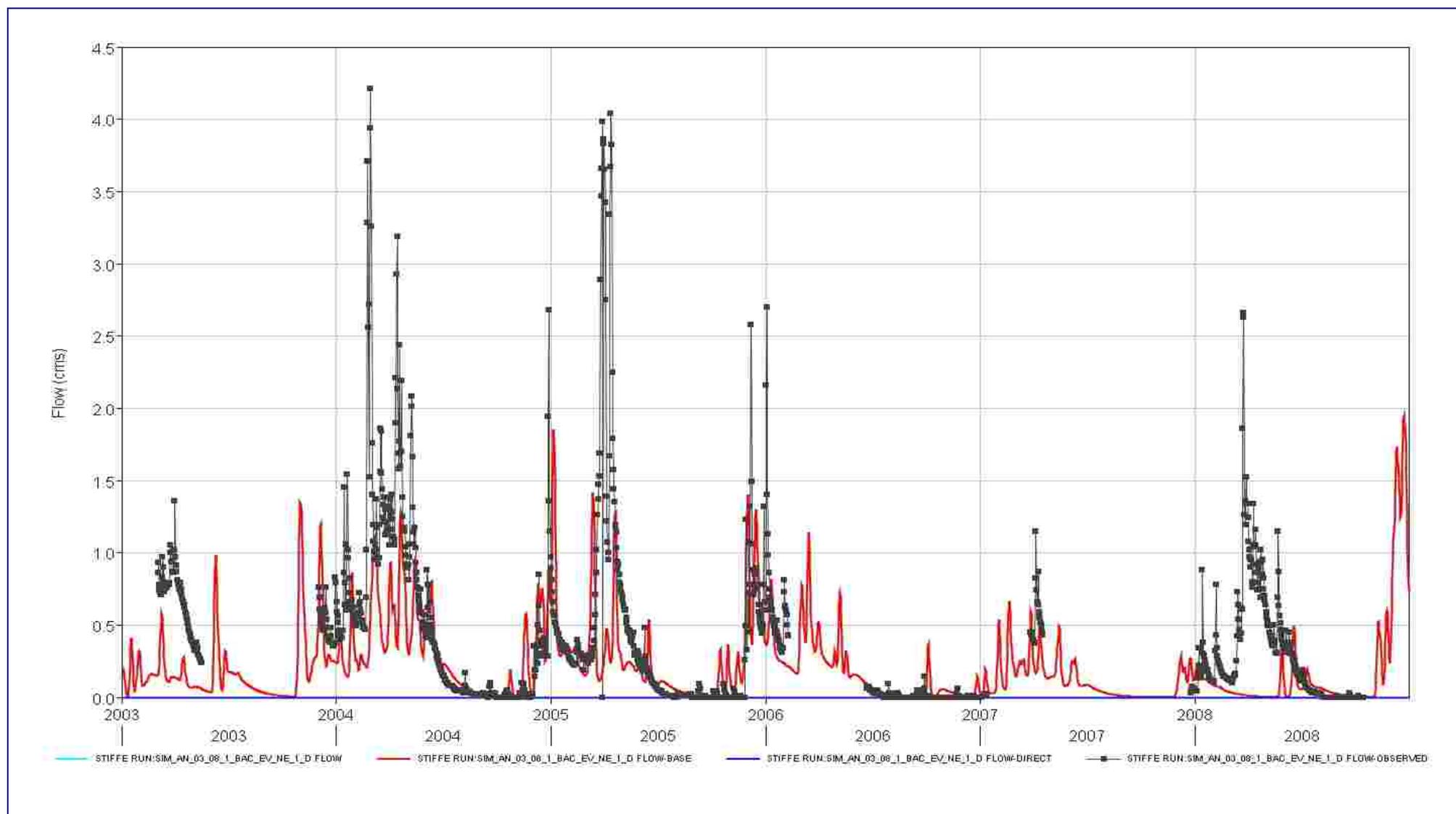


Fig. 3.14 - Modellazione idrologica – grafico taratura

3.4.1 – Bilancio idrologico anno medio

Utilizzando il modello numerico di calcolo, tarato come in precedenza descritto, è stata effettuata la simulazione dell'anno idrologico medio. I dati pluviometrici e termometrici utilizzati sono quelli della stazione di Rocca di Mezzo gestita dal Ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale che ha funzionato tra il 1950 ed il 2002 con dati abbastanza continui e che ricade in posizione baricentrica rispetto all'area di studio. I criteri utilizzati per la scelta delle stazioni meteo e della ricostruzione dell'anno idrologico medio è stata ampiamente descritta nel paragrafo 2.2.

In considerazione dell'importanza del deflusso di base, dovuto al riempimento ed al successivo svuotamento dei volumi sotterranei, e della presenza della neve che richiedono una durata della simulazione superiore all'anno idrologico per evitare problemi di transitorio, dovuti alla non corretta impostazione dei valori iniziali dei parametri utilizzati, la simulazione è stata protratta per una durata di tre anni ed sono stati considerati unicamente i risultati relativi all'ultimo anno. La figura 3.15 riporta gli idrogrammi ottenuti dalla simulazione con durata di tre anni per i singoli sottobacini e l'intero bacino idrografico del Rio Foce.

L'andamento dell'idrogramma risultante, relativo all'anno medio, evidenzia che i deflussi sono caratterizzati da due picchi, il primo più basso che si verifica in autunno quando le temperature non sono tali da consentire l'accumulo di precipitazioni in forma nevosa, il secondo più alto che corrisponde alla fase di scioglimento della neve e si verifica in primavera. I valori massimi dei due picchi sono rispettivamente di 0.5 e 0.8m³/s.

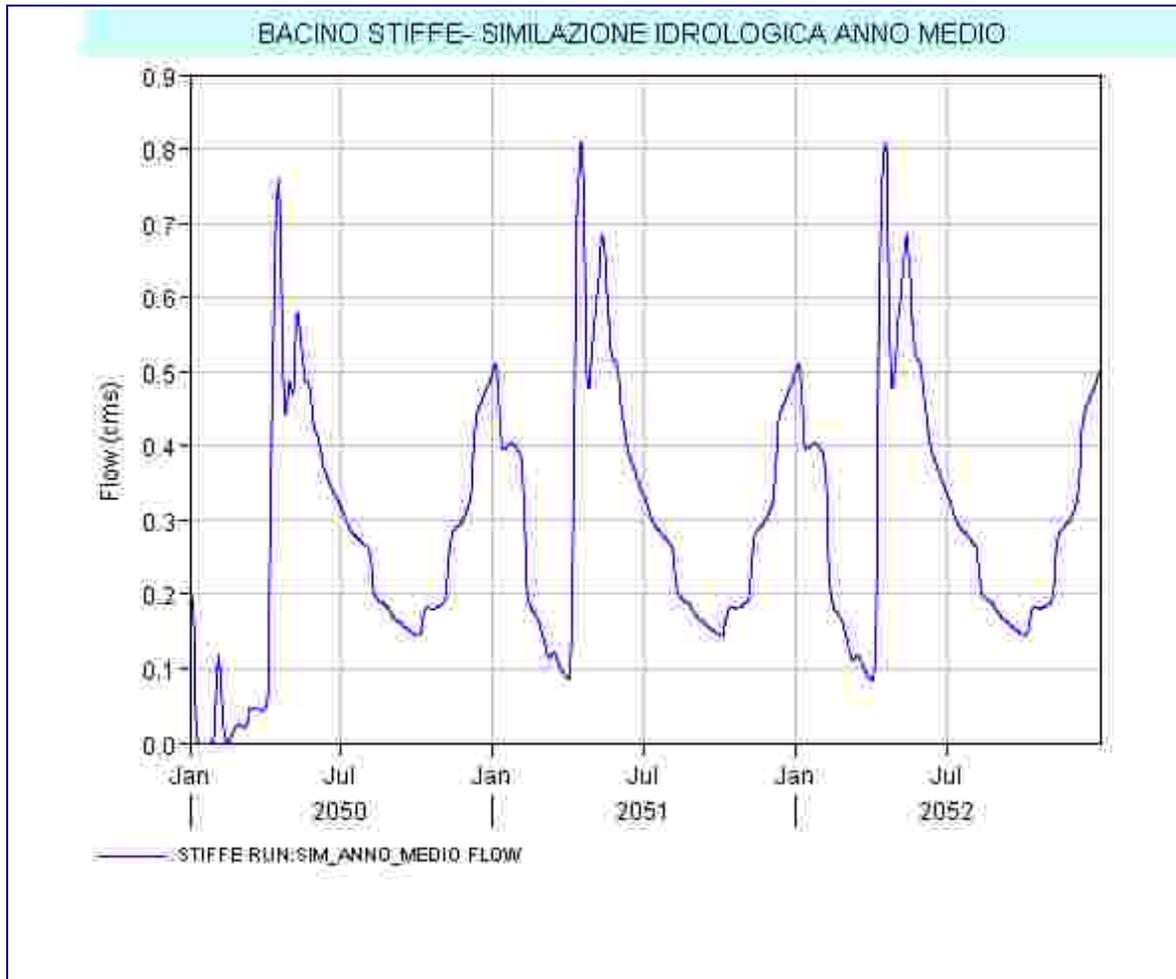


Fig. 3.15 – Simulazione anno idrologico medio - Idrogrammi

3.4.2 – Bilancio idrologico anni estremi

In modo analogo a quanto fatto per la simulazione dell'anno idrologico medio, in considerazione dell'importanza del deflusso di base e della presenza della neve che richiedono una durata della simulazione superiore all'anno idrologico per evitare problemi di transitorio la simulazione sia per l'anno idrologico secco che per quello umido è stata protratta per una durata di tre anni ed sono stati considerati unicamente i risultati relativi all'ultimo anno. Le figure 3.16 e 3.17 riportano rispettivamente gli idrogrammi ottenuti dalla simulazione con durata di tre anni per i singoli sottobacini e l'intero bacino idrografico del Rio Foce con riferimento all'anno idrologico secco e umido.

Con riferimento all'anno secco la ricostruzione dei deflussi mostra un andamento simile a quello dell'anno medio anche se i picchi sono meno pronunciati ed hanno valori rispettivamente di 0.15 e 0.28 m³/s. Al termine della fase di esaurimento le portate assumono valori minimi di circa 0.05 m³/s.

Anche con riferimento all'anno umido i deflussi calcolati hanno un andamento simile a quello dell'anno medio con volumi di deflusso e portate massime amplificate. Il valore dei due picchi è rispettivamente di 1.0 e 1.42 m³/s e la portata minima è circa 0.5 m³/s.

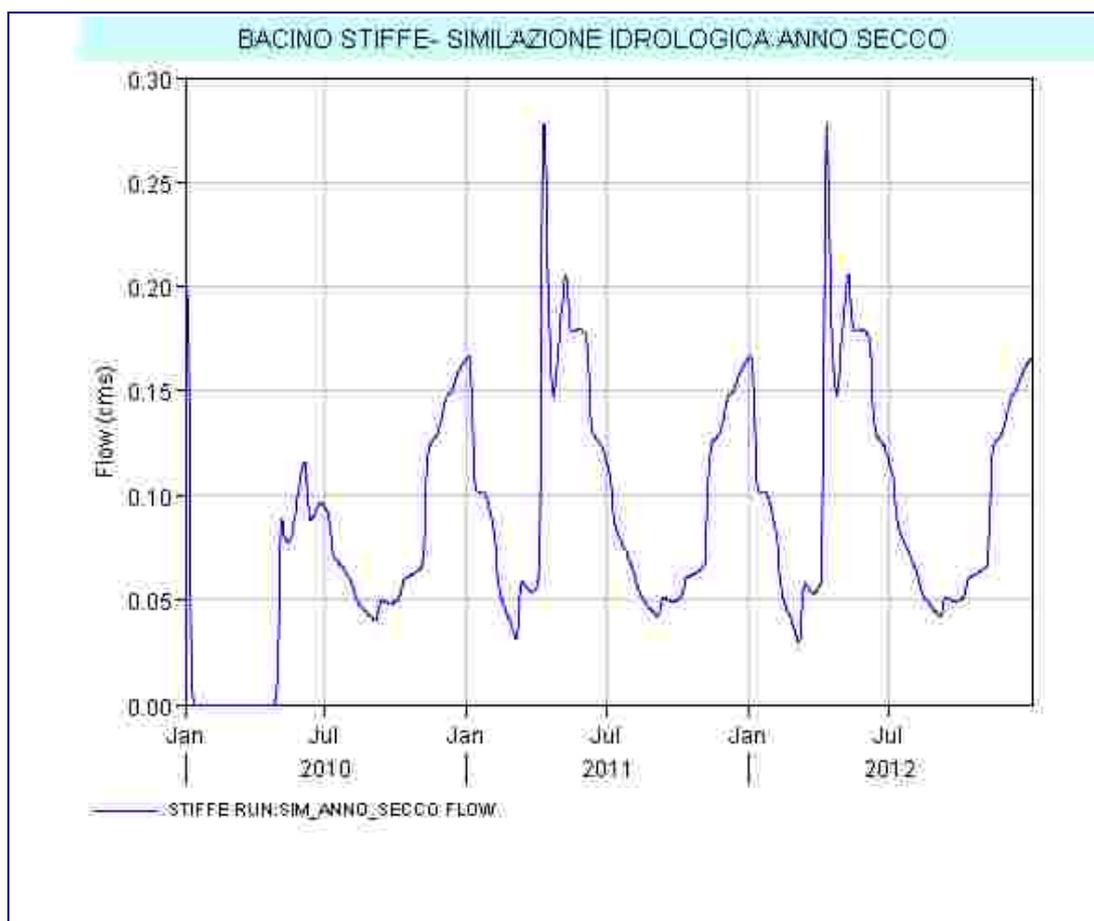


Fig. 3.16 – Simulazione anno idrologico secco – Idrogrammi

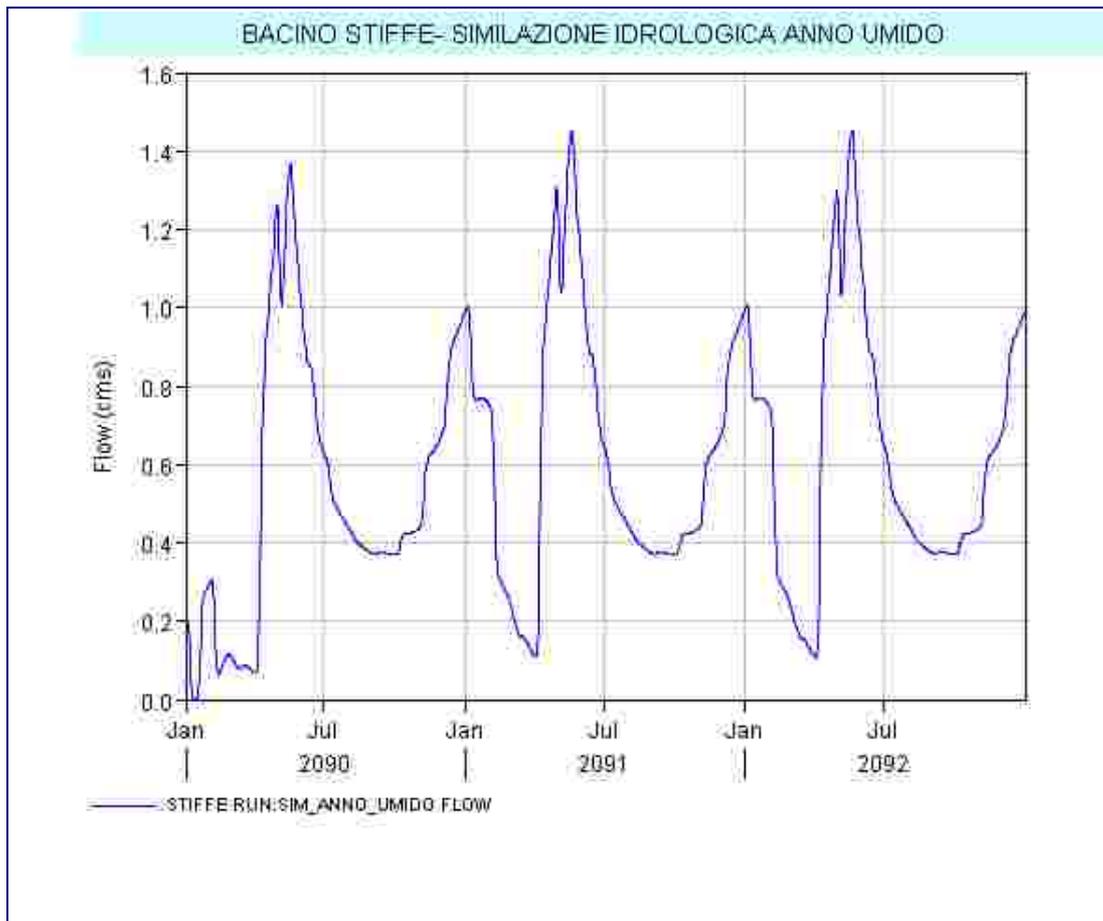


Fig. 3.17 – Simulazione anno idrologico umido - Idrogrammi

3.4.3 – Curva delle durate

Come precedentemente illustrato le simulazioni idrologiche per la ricostruzione dei deflussi hanno avuto una durata di tre anni .

La modellazione idrologica ha permesso di ricostruire il regime dei deflussi nel bacino idrografico del Rio Foce. Di conseguenza è stato possibile ricostruire gli idrogrammi e quindi le curve di durata delle portate nella sezione di chiusura di interesse. Di seguito si riportano unicamente gli idrogrammi (figg. 3.18) e le curve di durata (figg. 3.19) , con riferimento agli anni medio secco e umido, per la seguente sezione di chiusura:

- all'immissione nel fiume Aterno(bacino relativo all'inghiottitoio di Pozzo Caldaio con sup. 52 kmq);

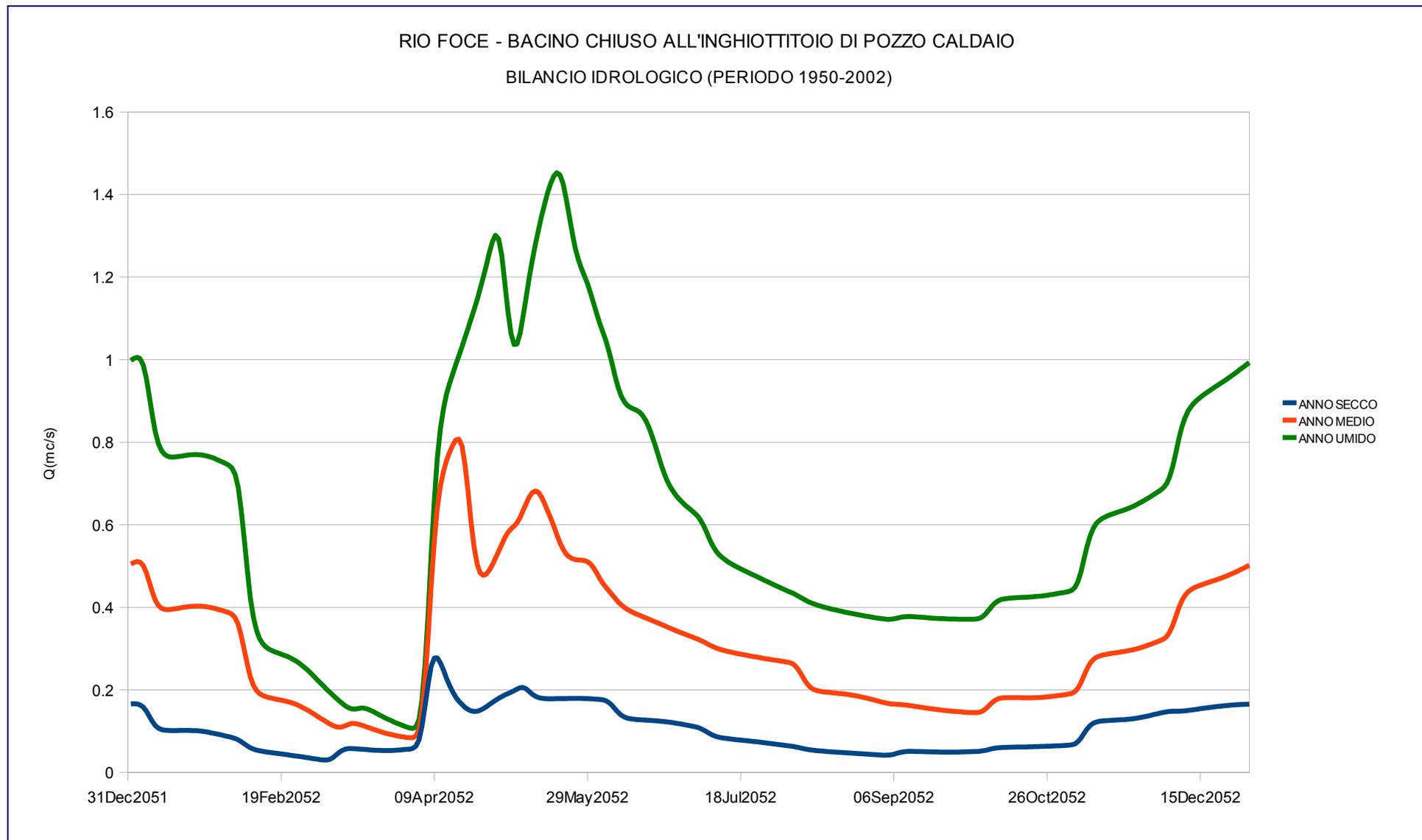


Fig. 3.18 – Ricostruzione andamento portate – bacino all'inghiottitoio di Pozzo Caldaio (sup. 52 kmq)

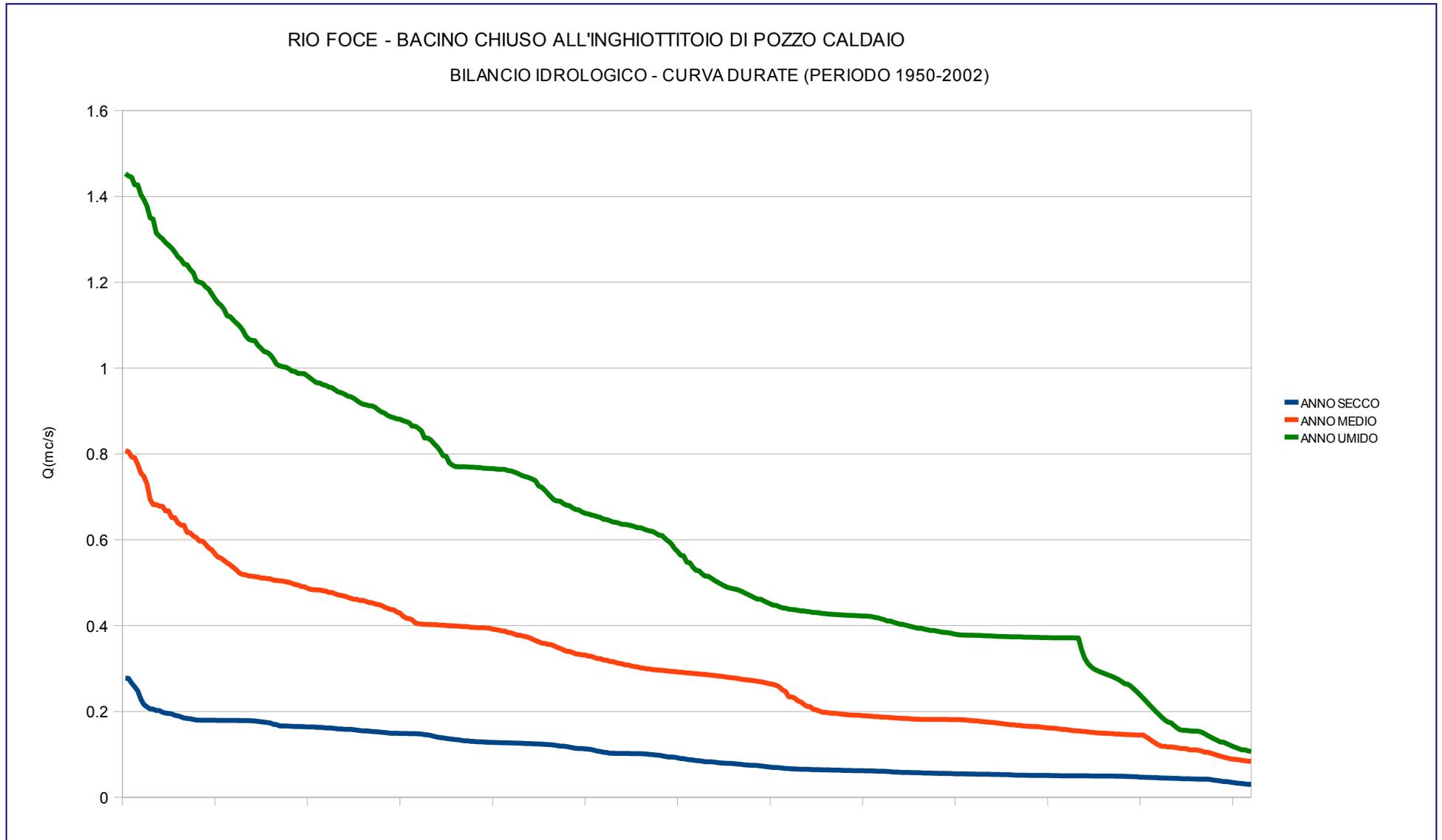


Fig. 3.19 – Curva di durata delle portate –bacino all'inghiottitoio di Pozzo Caldaio(sup. 52 kmq)

3.5 – Valutazione Deflusso Minimo Vitale (DMV)

Il Deflusso Minimo Vitale di un corso d'acqua (nel seguito DMV) è stato introdotto nel quadro legislativo nazionale dalla legge 183/1989 (art. 3, comma 1, lettera i) e successivamente è stato ripreso dal D.Lgs. 275/1993, dalla legge 36/1994, dal D.Lgs. 152/1999 e, infine, dal recente D.Lgs. 152/2006 di recepimento della Direttiva Europea sulle Acque 2000/60. Il DMV è la portata minima necessaria per ogni tronco omogeneo del corso d'acqua a garantire la salvaguardia delle caratteristiche fisiche del corpo idrico e chimico-fisiche delle acque, nonché per mantenere le biocenosi tipiche delle condizioni naturali locali.

Tale parametro, evidentemente, è di estrema importanza per le esigenze di tutela delle acque e deve costituire un riferimento fondamentale per la disciplina delle concessioni di derivazione, oltre che per le autorizzazioni degli scarichi.

È importante sottolineare, che le “Linee Guida per la predisposizione del bilancio idrico di bacino, comprensive dei criteri per il censimento delle utilizzazioni in atto e per la determinazione del minimo deflusso vitale” (nel seguito LG), richiamate all'art. 22, comma 4, del D.Lgs. 152/1999 ed emanate dal Ministero dell'Ambiente e Territorio con il D.M. 28/7/2004 (G.U. n. 268 del 15/11/2004), al paragrafo 7.1 definiscono il DMV come “la portata istantanea da determinare in ogni tratto omogeneo del corso d'acqua, che deve garantire la salvaguardia delle caratteristiche fisiche del corpo idrico, chimico-fisico delle acque nonché il mantenimento delle biocenosi tipiche delle condizioni naturali locali”. Le stesse LG, al paragrafo 7.2, specificano che il DMV rappresenta una portata di stretta attinenza al Piano di Tutela e che alla determinazione del DMV “attengono aspetti di tipo naturalistico e di tipo antropico caratteristici di ogni tronco di corso d'acqua di interesse”. Allo scopo di consentire la naturale variabilità del regime dei deflussi in base al quale si forma l'equilibrio fisico e biologico del corso d'acqua, può inoltre essere opportuno individuare valori del DMV differenti per ciascun mese o stagione dell'anno.

La fase conoscitiva di cui al par. 3 delle citate LG del Decreto 28/07/2004 presuppone un livello di conoscenza dei corsi d'acqua, suddivisi in tratti omogenei, tale che, per ogni sezione o tratto considerato, si debbano acquisire una serie di elementi conoscitivi di tipo:

- morfologico, geologico, idrogeologico, climatico e idrologico;
- regime dei deflussi naturali e relativa caratterizzazione statistica
- parametri geometrici dell'alveo;
- parametri idraulici della corrente;
- parametri biologici;
- indice di funzionalità fluviale;
- presenza di aree a specifica tutela;
- prelievi e immissioni di acqua.

Nel caso in questione il deflusso minimo vitale indicato nella concessione è una portata fissa da rilasciare pari a 30 lt/s .

3.6 – Valutazione risorsa idrica utilizzabile

Con riferimento alla sezione di chiusura ubicata in corrispondenza della presa prevista (S=52 kmq) e all'anno medio considerando il DMV come in precedenza descritto composto da unicamente dal termine fisso pari a

DMV = 0.030 mc/s

e considerando che il valore della portata massima derivabile sia fissato a

Qmax = 0.3 mc/s (Portata nominale impianto)

si ottengono i valori riportati nella tabella seguente per i volumi e le portate medie annuali delle principali caratteristiche di deflusso e della derivazione

	PORTATE MEDIE ANNUE (mc/s)	VOLUMI ANNUI (10 ⁶ mc)	% RISPETTO AL DEFLUSSO TOTALE
DEFLUSSO TOTALE	0.316	9.97	100.0%
DMV FISSO	0.030	0.95	9.5%
DEFLUSSO DISPONIBILE	0.286	9.02	90.5%
PRELIEVI	0.206	6.49	65.1%
DEFLUSSO RESIDUO	0.110	3.48	34.9%

dove:

- deflusso totale = deflussi totali ricostruiti con la modellazione idrologica
- DMV FISSO = deflusso minimo vitale valutato sulla base di 30 lt/s fissi durante tutto l'anno
- deflusso disponibile = deflusso totale - DMV fisso
- prelievi = deflusso disponibile – la parte eccedente la portata massima derivabile (0.3 mc/s) per 300 giorni l'anno,
- deflusso residuo = deflusso totale - prelievi

Dalla tabella riepilogativa si nota come il deflusso prelevato per il funzionamento dell'impianto idroelettrico in oggetto corrisponde a circa 65% del deflusso totale, la parte restante del 35% è invece lasciata disponibile per garantire la tutela degli ambienti acquatici presenti lungo il corso del Rio Foce nel tratto compreso tra la presa e la restituzione. Questo risultato è dovuto principalmente al criterio utilizzato per il DMV, ovvero quello presente nel disciplinare di concessione (fisso e pari a 30 lt/s). Il dettaglio dei risultati è riportato in forma grafica nelle figure 3.20 e 3.21.

Il deflusso è stato valutato considerando che l'impianto funzioni per 300 giorni l'anno, mentre per i restati giorni dell'anno non si hanno prelievi, come previsto nel disciplinare della concessione.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO IDROELETTRICO SUL RIO FOCE
Relazione idrologica - **SINTESI**

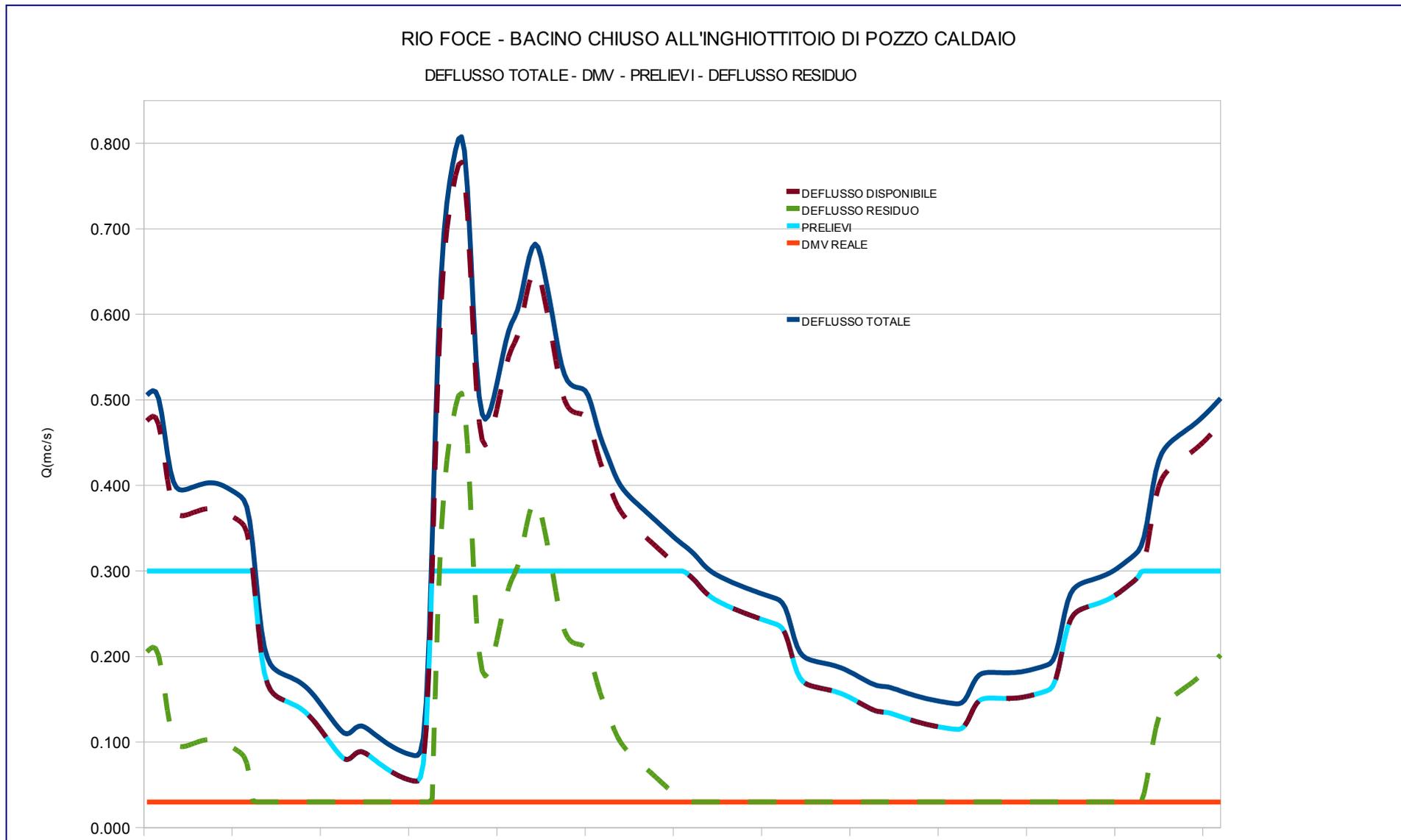


Fig. 3.20 – Deflussi annuali medi – bacino chiuso all'inghiottitoio di Pozzo Caldaio (sup. = 52 kmq)

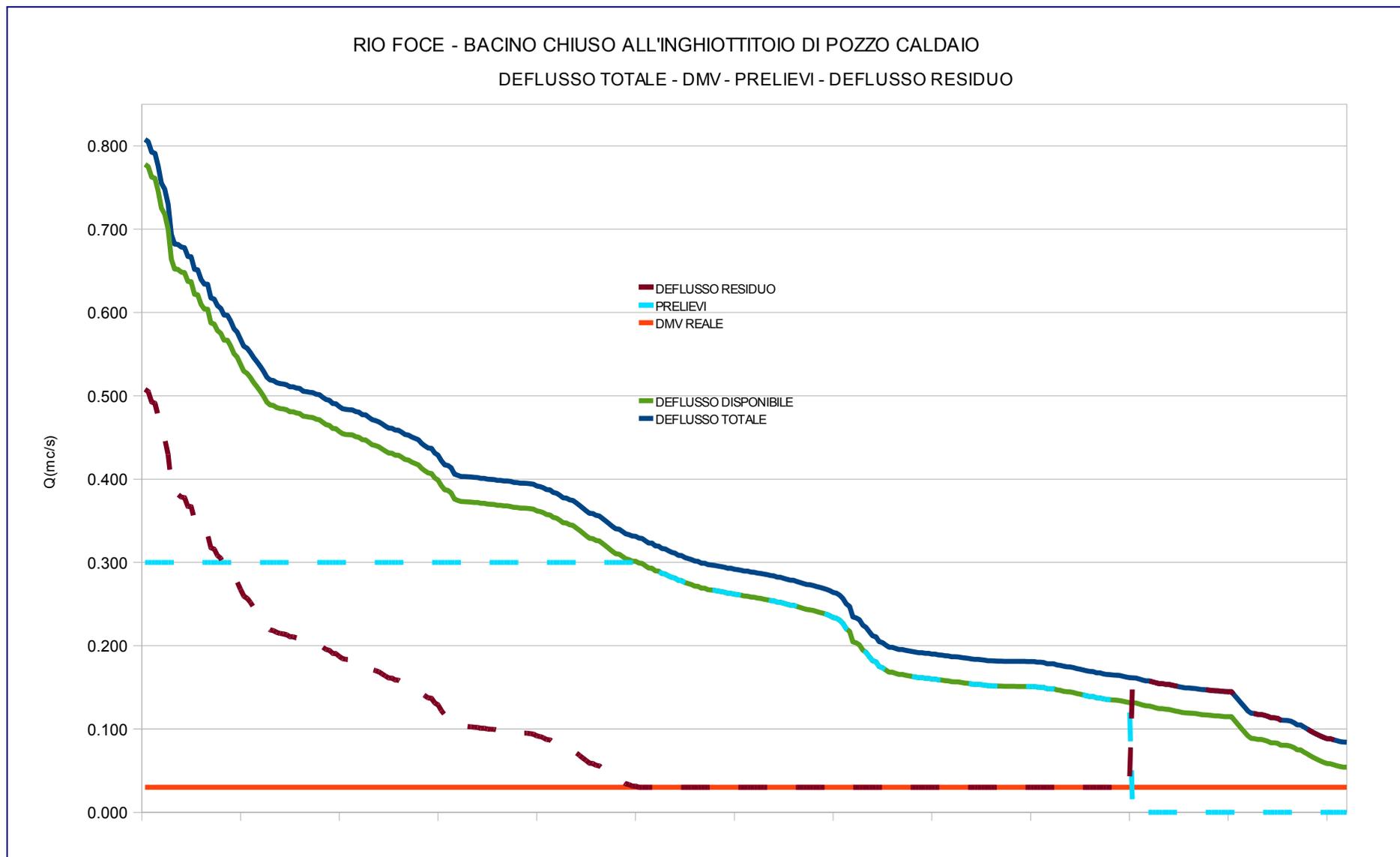


Fig. 3.21– Curva di durata delle portate – bacino chiuso all'inghiottitoio di Pozzo Caldaio (sup. = 52 kmq)

4 – Conclusioni e Raccomandazioni

Il lavoro svolto ed illustrato nella presente relazione è teso a ricostruire il regime idrologico del Rio Foce per un corretto dimensionamento dell'impianto idroelettrico in oggetto soprattutto per un suo corretto inserimento nel pregievole contesto ambientale che caratterizza la zona oggetto di intervento.

Nel corso delle attività svolte sono stati raccolti ed elaborati una serie di dati idro-meteorologici oltre che una serie di dati cartografici che hanno permesso l'implementazione e la taratura di un modello di simulazione idrologica del funzionamento del bacino idrografico del Rio Foce.

La taratura del modello ha dimostrato l'importanza che il fenomeno dell'accumulo e scioglimento della neve e la circolazione idrica sotterranea hanno sui deflussi del bacino. A tale proposito si fa notare che una serie di dati idrometrici di più lunga durata e di affidabilità più certa avrebbe garantito sicuramente la possibilità di validare i risultati ottenuti nel presente lavoro. Si auspica quindi che nel futuro possano essere forniti nuovi elementi per validare ulteriormente i risultati ottenuti.

I risultati ottenuti danno comunque la possibilità di dimensionare al meglio l'impianto idroelettrico nell'ottica del pieno rispetto dell'ambiente fluviale nel quale esso si inserisce.