

DOPO IL VAPI: LA VALUTAZIONE DELLE MASSIME PORTATE AL COLMO DI PIENA NELL'ESPERIENZA DEL POR CALABRIA

D. Biondi⁽¹⁾, P. Claps⁽²⁾, F. Cruscomagno⁽¹⁾, D.L. De Luca⁽¹⁾, M. Fiorentino⁽³⁾, D. Ganora⁽²⁾, A. Gioia⁽⁴⁾, V. Iacobellis⁽⁴⁾, F. Laio⁽²⁾, S. Manfreda⁽³⁾, P. Versace⁽¹⁾

- (1) Dipartimento di Difesa del Suolo, Università della Calabria, Italia, e-mail: daniela.biondi@unical.it
- (2) Dipartimento di Ingegneria dell'ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI), Politecnico di Torino, Italia.
- (3) Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente, Università degli Studi della Basilicata, Italia.
- (4) Dipartimento di Ingegneria delle Acque e di Chimica, Politecnico di Bari, Italia.

SOMMARIO

Nell'ambito dei POR 2000-2006 la Regione Calabria ha emanato un bando per l'affidamento di uno studio finalizzato alla stima delle massime portate al colmo di piena in Calabria che i Dipartimenti di afferenza degli autori si sono aggiudicati. In questo lavoro si sintetizzano alcuni dei risultati dello studio che, ad oltre 20 anni dal progetto VAPI, fornisce uno strumento operativo, attraverso la definizione di linee guida e procedure standardizzate, capace di rispondere efficacemente alle problematiche relative a differenti contesti applicativi, grazie all'uso di modellistica caratterizzata da diversi livelli di complessità. Gli approcci proposti per la stima della portata al colmo sono 5 e spaziano dai semplici metodi empirici per la stima speditiva del coefficiente udometrico, ai più moderni approcci statistici, fino a complesse modellazioni a parametri distribuiti per la ricostruzione dell'intero idrogramma di piena.

1 INTRODUZIONE

La stima della piena di progetto è in generale un problema difficile da risolvere e lo è particolarmente nella realtà del territorio calabrese, in cui il numero di sezioni strumentate è esiguo e le serie di dati di portata non sono così estese da consentire sempre una stima diretta e affidabile. Le piene fluviali e le inondazioni che ne conseguono sono poi da sempre uno dei principali problemi della Calabria. Moltissimi danni e un numero intollerabile di vittime hanno, infatti, segnato nel corso degli anni la storia della regione. C'è poi da considerare la specificità dei corsi d'acqua calabresi: in un territorio in prevalenza collinare/montuoso caratterizzato da una forma stretta e allungata, infatti, i fiumi, con alcune eccezioni, non presentano uno sviluppo significativo. Tali condizioni danno origine alle cosiddette "fiumare", cioè corsi d'acqua a carattere torrentizio, che nel tratto montano presentano strette gole e si trasformano proseguendo verso la costa in un letto largo e sassoso; impetuosi in inverno, quando le piogge sono abbondanti, trascinano con violenza fango e detriti verso il mare, si

riducono a piccoli o inesistenti torrenti nei mesi estivi.

Nell'ambito dei POR 2000-2006 la Regione Calabria ha emanato un bando per l'affidamento di uno studio finalizzato alla stima delle massime portate al colmo di piena in Calabria, che i Dipartimenti di afferenza degli autori si sono aggiudicati. Lo studio ha messo a frutto il rilevante patrimonio di competenze accumulato dal gruppo di lavoro nel corso di oltre 30 anni di ricerca sui temi dell'idrologia e delle fiumare calabre in particolare, maturato anche attraverso una consolidata prassi di collaborazione e la comune presenza nell'ambito del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI).

Lo studio vuole rappresentare un contributo al miglioramento nella valutazione della portata di progetto, soprattutto per tecnici e professionisti che debbano affrontare tale problema. Per rispondere efficacemente alle problematiche relative a differenti contesti applicativi è stata proposta una gerarchia modellistica che prevede due principali approcci: l'analisi statistica, diretta o di tipo regionale, delle portate al colmo e l'applicazione di modellistica afflussi-deflussi. Le metodologie proposte sono le seguenti:

- Livello 1: Definizione del coefficiente udometrico
- Livello 2: Modelli statistici regionali
- Livello 3: Modelli afflussi/deflussi concentrati
- Livello 4: Modelli afflussi/deflussi semi – distribuiti ad oggetti
- Livello 5: Modelli afflussi/deflussi distribuiti e fisicamente basati

I livelli 1 e 2 sono riconducibili ad un'impostazione di tipo statistico, mentre i livelli 3, 4 e 5 sono caratterizzati dall'applicazione di metodi di trasformazione afflussi deflussi.

Per aggiornare in assoluta continuità le procedure finora utilizzate, nella definizione delle metodologie di analisi a ciascun livello si è, inoltre, preso in considerazione, approfondito ed integrato sia le conoscenze acquisite nell'ambito dell'approccio statistico con il progetto VAPI (VALutazione PIene) del GNDCI, le cui metodologie, sviluppate originariamente proprio in Calabria, sono diventate un riferimento per tutto il territorio nazionale, sia le tecniche di stima definite e adottate nell'ambito del PAI dall'AdB Regionale che si basano sulla simulazione idrologica.

Nel seguito saranno brevemente descritti gli approcci adottati ed i risultati conseguiti per ciascun livello.

2 LIVELLO 1: COEFFICIENTE UDOMETRICO

L'approccio di livello 1 rappresenta una tecnica per la valutazione speditiva ed immediata di un valore di prima approssimazione della portata di progetto, soprattutto per bacini per i quali non appare necessario sviluppare più costose e lunghe procedure di calcolo. L'approccio proposto prevede l'applicazione del metodo statistico della piena indice *Dalrymple* (1960), applicato in questo caso alla portata per area unitaria, ovvero al coefficiente udometrico u [$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$].

La stima del coefficiente udometrico u_T relativo ad un periodo di ritorno T può essere condotta tramite due approcci possibili: Procedura Diretta e Procedura Indiretta. Il primo approccio (procedura diretta) suddivide la stima del coefficiente udometrico in due fasi distinte: nella prima fase si stima il valore $\bar{u}$, coefficiente udometrico relativo alla media dei massimi annuali di portata al colmo; nella seconda si stima

$K(T)$ denominato fattore di crescita, ottenendo, infine, il valore di progetto con il prodotto:

$$u_T = \bar{u} \cdot K(T) \quad (1)$$

La stima di $\bar{u}$ è effettuata applicando la classica formula razionale:

$$\bar{u} = C^* \overline{I_{t_R}} \quad (2)$$

dove C^* è un coefficiente d'afflusso da stimarsi con una relazione empirica appositamente ricavata in base al valore del Curve Number (CN) medio del bacino, e $\overline{I_{t_R}}$ è l'intensità media di pioggia per una durata pari al tempo di ritardo t_R . In dettaglio, la relazione empirica tra C^* e il CN medio del bacino è stata tarata sulla base dei dati idrometrici delle stazioni di misura con una scala di deflusso ritenuta affidabile (Coscile a Camerata, Esaro a La Musica, Crati a Conca, Tacina a Riviotto, Corace a Grascio).

Per il fattore di crescita si fa riferimento ai valori regionali relativi alla distribuzione dei massimi annuali della portata al colmo.

Sono stati così valutati, a scala regionale (fig.1a), i coefficienti udometrici per diversi periodi di ritorno e in diverse ipotesi di condizioni di umidità del bacino, in corrispondenza di oltre 800 sezioni, costituenti intersezione tra i canali di ordine almeno pari a 4, secondo la classificazione di Horton-Strahler. A riguardo, è stato utilizzato il reticolo idrografico regionale ufficiale del PAI in formato vettoriale, digitalizzato a partire da cartografia IGM in scala 1:25000.

Per tutti i bacini con sbocco a mare, di ordine inferiore a 5, sono stati considerati solo i nodi in corrispondenza della foce. In particolare, sono stati proposti tre differenti livelli:

- Livello 1/A - coefficiente udometrico con periodo di ritorno $T=200$ anni per bacino idrografico in condizioni di umidità media (CN II).
- Livello 1/B - coefficiente udometrico con periodo di ritorno $T=200$ anni per bacino idrografico in condizioni di umidità elevata (CN III).
- Livello 1/C - coefficiente udometrico con periodo di ritorno $T=1000$ anni per bacino idrografico in condizioni di umidità elevata (CN III).

Per un generico punto non investigato tramite la procedura diretta, la stima del coefficiente udometrico relativo ad un periodo di ritorno T può essere effettuata in maniera speditiva mediante la seguente legge di potenza funzione dell'area A sottesa (approccio indiretto):

$$u_T = \begin{cases} m A^{-q} & \text{se } A > 5 \text{ km}^2 \\ m 5^{-q} & \text{se } A \leq 5 \text{ km}^2 \end{cases} \quad (3)$$

i cui parametri sono stati calcolati in 27 zone omogenee, individuate sulla base di criteri essenzialmente geografici e dei risultati ottenuti con la stima diretta (fig. 1b).

Per ciascuno di questi livelli è stata redatta un'apposita cartografia con le equazioni di regressione per ciascuna delle aree omogenee. I risultati ottenuti, inoltre, sono stati confrontati con le stime derivanti dalle serie storiche dei bacini strumentati e dall'applicazione delle metodologie VAPI e PAI Calabria (fig. 2).

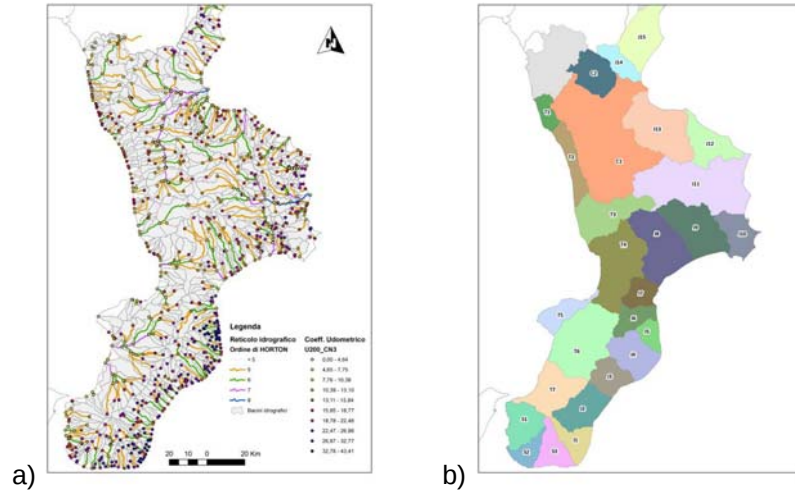


Figura 1. a) Carta di u_T , livello 1/B ottenuto con la stima diretta; b) suddivisione in zone omogenee per la stima indiretta di u_T .

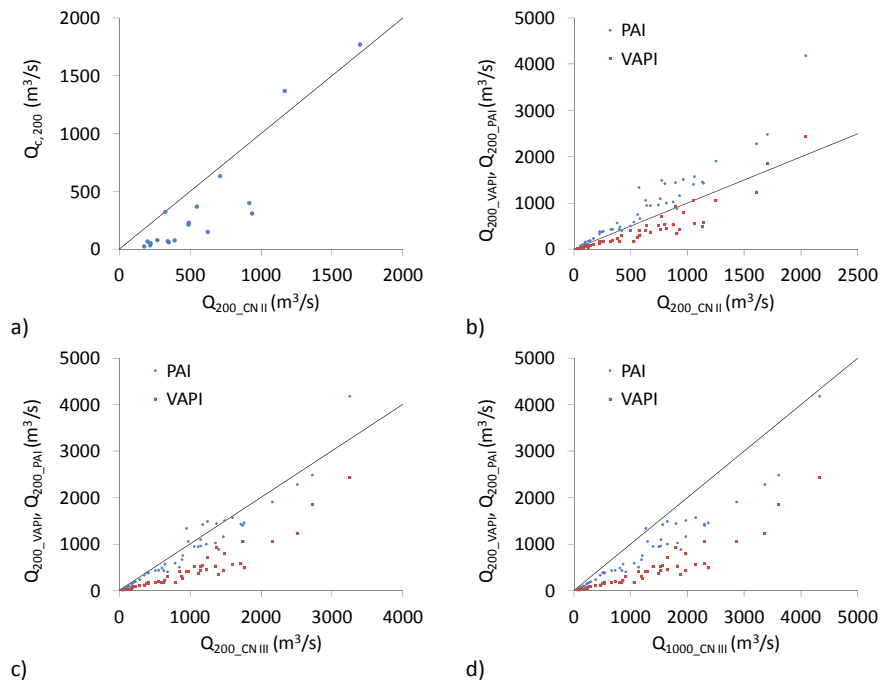


Figura 2. a) Confronto tra $Q_{200_CN\ II}$ e le stime da serie storica $Q_{c,200}$; confronto tra le stime Q_{200_PAI} , Q_{200_VAPI} e $Q_{200_CN\ II}$; c) $Q_{200_CN\ III}$; d) $Q_{1000_CN\ III}$

Il Livello 1/A fornisce risultati simili alle stime statistiche derivanti dalle serie storiche dei bacini utilizzati per la taratura del legame tra C^* e il CN, ed una sovrastima per le altre stazioni di misura (fig. 2a); inoltre, per bacini non strumentati, le stime sono intermedie tra quelle ottenute con le metodologie VAPI e PAI (fig. 2b). Le stime del Livello 1/B sono in media uguali a quelle del PAI (fig. 2c), mentre l'applicazione del Livello 1/C fornisce valori del coefficiente udometrico superiori o molto superiori rispetto alle stime PAI (fig. 2d).

3 LIVELLO 2: MODELLI STATISTICI REGIONALI

Sono state considerate due differenti metodologie. La prima consiste nell'approccio statistico classico alla base dell'analisi regionale di frequenza delle piene, rivisto in un'ottica di estensione del metodo indice, ponendo particolare attenzione alla valutazione dell'incertezza di stima del quantile di progetto ed alla possibilità di utilizzare informazioni idrometriche contenute nelle serie campionarie brevi (*Laio et al.*, 2011). La seconda riguarda l'applicazione di modelli teoricamente derivati utilizzati per la stima delle portate al colmo di piena, in particolare il modello IF (*Jacobellis & Fiorentino*, 2000) ed il modello TCIF (*Gioia et al.*, 2008).

3.1 Regionalizzazione della curva di frequenza delle piene e valutazione dell'incertezza di stima

La curva di frequenza delle piene $Q(T)$ viene determinata come:

$$Q(T) = Q_{ind} \cdot K(L_{CV}, L_{CA}, T) \quad (4)$$

dove Q_{ind} è la media dei massimi annui al colmo di piena (piena indice) e K è una generica distribuzione di probabilità adimensionale (curva di crescita) che risulta funzione del periodo di ritorno T , del coefficiente di L-variazione (L_{CV}) e del coefficiente di L-asimmetria (L_{CA}). L'estensione del metodo indice consiste nel fatto che vengono contemporaneamente regionalizzate le statistiche Q_{ind} , L_{CV} e L_{CA} : a tale scopo sono state considerate regressioni lineari pesate, per legare il valore della singola statistica con una serie di descrittori morfologici, climatici, pedologici e di uso del suolo. Il modello di regressione segue lo schema di *Stedinger & Tasker* (1985) che permette di incorporare la varianza di stima del modello in una componente dovuta all'incertezza campionaria, e in una componente dovuta al fatto che il modello è una rappresentazione semplificata della realtà. Quest'ultima, detta varianza del modello, è anche la misura utilizzata per selezionare il modello più adatto tra le molte combinazioni possibili di descrittori.

La distribuzione di probabilità non viene scelta a priori, consentendo così l'utilizzo di serie con pochi dati. Infatti, anche su campioni brevi rimane possibile calcolare gli L-momenti, a cui si associa la rispettiva varianza di stima campionaria, che risulta una misura di incertezza del dato (*Elamir & Seheult*, 2004). In questo modo non si introduce l'incertezza (difficile da quantificare) relativa alla scelta a priori di una specifica distribuzione.

Per ognuna delle statistiche di piena è stato selezionato un modello di regressione che si applica all'intera area di studio; in questo modo non si introduce l'incertezza (anch'essa difficile da quantificare) relativa alla scelta di una specifica configurazione di regioni omogenee e alla fase di valutazione dell'omogeneità della regione, che risulta

spesso di difficile applicazione (Viglione et al., 2007).

L'applicazione della procedura regionale in siti non strumentati inizia con la determinazione, mediante procedure GIS dei descrittori necessari all'applicazione delle relazioni di stima di Q_{ind} , L_{CV} e L_{CA} . I descrittori necessari sono l'area, la quota media e la longitudine del baricentro del bacino, la distanza interquartile della curva ipsografica, la pendenza del longest drainage path, l'esponente della curva di possibilità pluviometrica, L_{CV} delle precipitazioni massime annue di durata 6 ore, la percentuale di bacino che ricade nei raggruppamenti di uso del suolo LC1 e LC4 del CORINE Land Cover e la percentuale di suolo con permeabilità bassa e molto bassa.

Q_{ind} , L_{CV} e L_{CA} sono quindi utilizzate per stimare fino a tre parametri di qualsiasi distribuzione (Hosking & Wallis, 1997). Per distribuzioni a quattro parametri, come la TCEV, è necessario fissare anche il coefficiente di L-kurtosi.

La scelta della distribuzione può essere basata su un approccio di model averaging, che prevede di valutare più distribuzioni e di calcolarne la curva media. Questo approccio è giustificato dal fatto che, quando la base dati contiene molti campioni di breve durata, diventa molto difficile definire una distribuzione di riferimento, come mostrato nell'esempio di figura 3. Per semplificare l'applicazione si suggerisce l'uso della log-Normale a tre parametri, che risulta sempre molto vicina alla curva media. Risultati soddisfacenti nelle applicazioni al territorio calabrese si sono ottenuti con la distribuzione TCEV, già utilizzata nell'ambito del progetto VAPI.

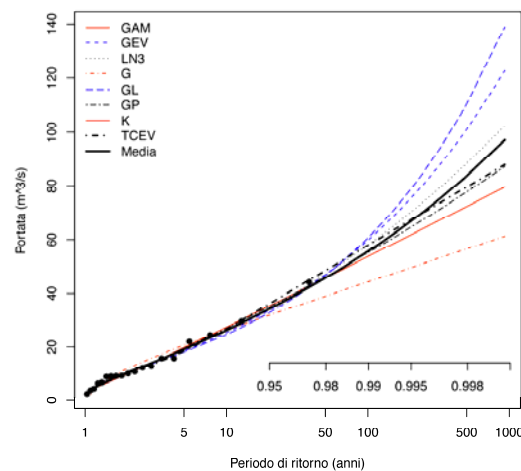


Figura 3. Adattamento ad un campione di diverse distribuzioni di probabilità stimate con il metodo degli L-momenti: Gamma (GAM), Generalized Extreme Values (GEV), log-Normale a 3 parametri (LN3), Gumbel (G), Logistica Generalizzata (GL), Pareto Generalizzata (GP), Kappa a 4 parametri (K), Two Componente Extreme Values (TCEV).

Noti gli L-momenti e le loro varianze, è possibile generare le fasce di confidenza della distribuzione scelta mediante simulazioni Monte Carlo. Una serie di triplette Q_{ind} , L_{CV} e L_{CA} viene generata a partire dalle singole distribuzioni degli L-momenti e utilizzata per generare altrettante triplette di parametri della distribuzione e, di conseguenza, un “fascio” di curve di frequenza. Gli intervalli di confidenza si ottengono “tagliando” il fascio in corrispondenza del periodo di ritorno di interesse, e

determinando i valori limite della distribuzione empirica del quantile (ottenuta dalle simulazioni Monte Carlo) in base ad un fissato livello di significatività.

Questa procedura trova applicazione anche in casi in cui sia presente una serie storica di lunghezza modesta. In questi casi si calcolano sia gli L-momenti campionari che quelli regionali, ognuno accompagnato dalla propria varianza di stima. Il confronto delle varianze degli L-momenti campionari e di quelli regionali permette di scegliere un “gruppo misto” formato, ad esempio, da Q_{ind} , L_{CV} campionari e L_{CA} regionale. Tale approccio non influenza la procedura per la stima dei parametri della distribuzione, per cui la curva di frequenza può essere calcolata come indicato in precedenza. Un esempio di applicazione è riportato nella figura 4, dove si osserva la curva di frequenza con le relative fasce di confidenza, calcolate sia sulla base di Q_{ind} , L_{CV} e L_{CA} campionari che sulla base di Q_{ind} , L_{CV} e L_{CA} regionali.

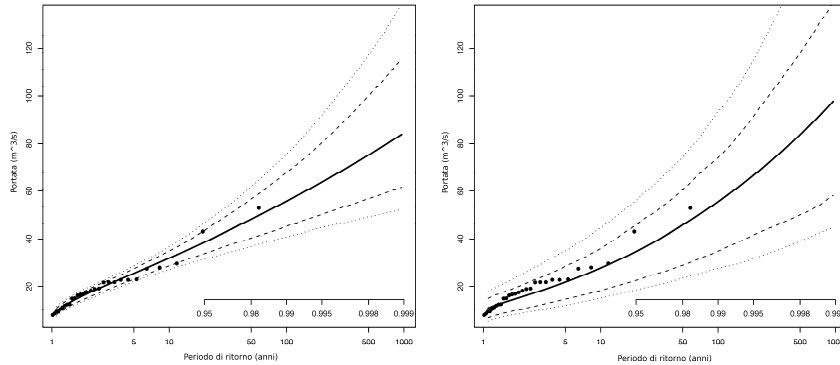


Figura 4. Esempio di curva di frequenza (log-Normale a 3 parametri) e relative fasce di confidenza al 10-90% e 20-80% calcolata: (a) a sinistra sulla base degli L-momenti campionari e (b) a destra sulla base degli L-momenti regionali in cross-validazione.

3.2 Portate al colmo di piena mediante un modello teoricamente derivato

Un ulteriore approfondimento sulla stima delle portate al colmo di piena è stato condotto mediante il ricorso a distribuzioni teoricamente derivate. Le distribuzioni utilizzate sono state le distribuzioni IF e TCIF già testate in aree dell'Italia meridionale.

3.2.1 I modelli IF e TCIF

Il modello IF definisce la portata al colmo di piena Q come prodotto tra l'area contribuyente del bacino, a , e una portata specifica per unità di area contribuyente, u . La distribuzione utilizza una distribuzione gamma a due parametri, $g(a)$, per a ed una distribuzione di Weibull a due parametri per l'intensità di precipitazione $i_{a,\tau}$. Quest'ultima varia con la durata τ secondo una legge di potenza in accordo con le classiche curve di probabilità pluviometrica. Di conseguenza, considerando le ipotesi alla base del modello, il valore atteso $E[i_{a,\tau}]$ osserva una dipendenza del tipo di potenza $E[i_{a,\tau}] = i_l a^\epsilon$ dove i_l è l'intensità media di precipitazione per area unitaria.

Il modello TCIF è una generalizzazione del modello IF e nasce dalla considerazione che la produzione di deflusso superficiale avviene in corrispondenza di una precipitazione che superi, per intensità o altezza, una o più soglie dipendenti dalla capacità di assorbimento del suolo. Uno schema a doppia soglia può ricondurre ad una

distribuzione dei massimi a doppia componente in grado di descrivere la coesistenza di fenomeni di tipo ordinario (“L”) e straordinario (“H”). I due meccanismi presentano le seguenti caratteristiche:

- meccanismo di tipo “L” (frequente), è caratterizzato dall’attivazione di un’area contribuyente a_L che si manifesta nel momento in cui l’intensità di precipitazione $i_{a,\tau}$ supera una soglia più bassa $f_{a,L}$ per generare una portata specifica $u_{a,L} = \xi (i_{a,\tau} - f_{a,L})$
- meccanismo di tipo “H” (raro), è caratterizzato dall’attivazione di un’area contribuyente a_H che si manifesta nel momento in cui l’intensità di precipitazione $i_{a,\tau}$ supera una soglia più alta $f_{a,H}$ per generare una portata specifica $u_{a,H} = \xi (i_{a,\tau} - f_{a,H})$

Il coefficiente di laminazione, ξ , è indipendente dal meccanismo di generazione del ruscellamento, mentre $f_{a,L}$ ed $f_{a,H}$ scalano con l’area contribuyente secondo le seguenti relazioni di potenza $f_{a,L} = f_{A,L}(a_L/A)^{-\epsilon_L}$ ed $f_{a,H} = f_{A,H}(a_H/A)^{-\epsilon_H}$.

Le aree contribuenti al picco di piena, a_L e a_H seguono, per i valori inferiori ad A , una distribuzione Gamma caratterizzata dal valore medio pari a: $r_L = E[a_L]/A$ ed $r_H = E[a_H]/A$. Assumendo il processo dei superamenti delle soglie di tipo Poissoniano, Λ_L e Λ_H sono il numero medio annuo di eventi di piena indipendenti associati rispettivamente al meccanismo di generazione del deflusso di tipo “L” e di tipo “H” e possono determinarsi in funzione delle soglie di ruscellamento $f_{A,L}$ ed $f_{A,H}$ relative alla condizione di bacino interamente contribuyente, del valore atteso $E[i_{a,\tau}]$, del numero medio annuo di eventi di pioggia indipendenti (Λ_p) e del parametro di forma, k , della distribuzione di Weibull (Jacobellis et al., 2011).

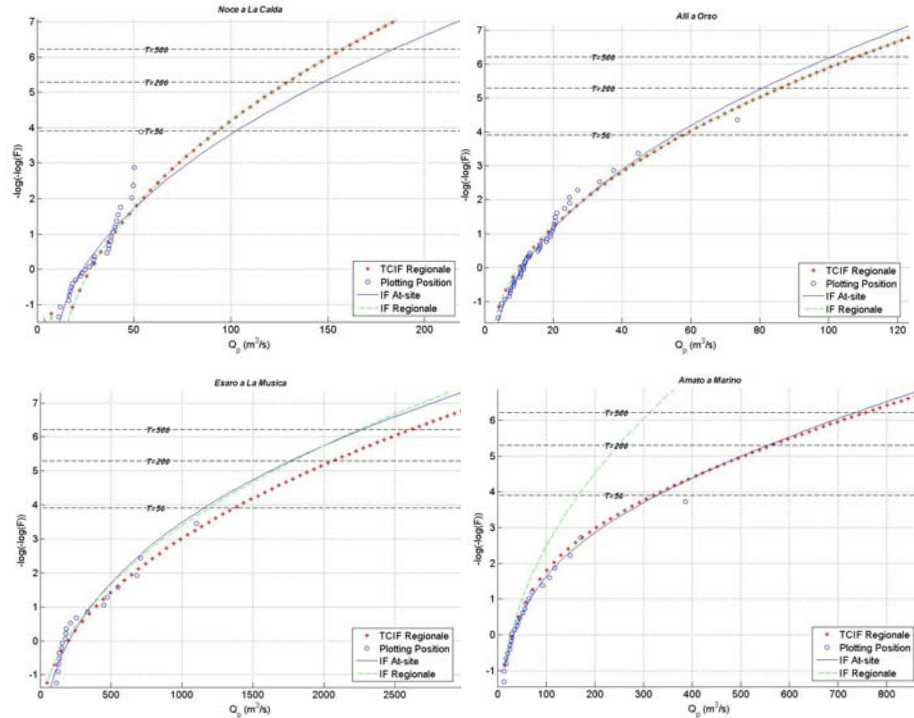


Figura 5. Confronto tra Plotting Positions e cdf calcolate con stima regionale.

3.2.2 Relazioni regionali dei parametri del modello

I parametri stimati localmente sono stati analizzati onde ricavare le relazioni regionali con descrittori geomorfologici riportate in *Iacobellis et al.* (2011). Gli autori introducono anche una metodologia che consente di discriminare a priori tra il modello IF e TCIF e di stimarne i parametri.

Nella figura 5 si riportano le distribuzioni ottenute per 4 dei 13 bacini considerati, scelti come quelli aventi il massimo ed il minimo coefficiente di asimmetria, γ , con distribuzione di tipo IF ovvero di tipo TCIF. Il confronto mostra le Weibull Plotting Positions (cerchi blu) delle serie storiche osservate AMFS; la cdf (TCIF o IF) del modello selezionato (linea continua blu) con procedura di calibrazione at-site (Tabella 1); la cdf del modello IF regionale (linea verde tratteggiata); la cdf del modello TCIF regionale (asterischi rossi).

4 LIVELLI 3, 4 E 5: SIMULAZIONE IDROLOGICA MEDIANTE MODELLI AFFLUSSI-DEFLUSSI

I livelli 3, 4 e 5 proposti, prevedono un approccio indiretto basato sull'analisi statistica delle osservazioni pluviometriche relative al bacino idrografico di interesse e sull'impiego di modelli afflussi/deflussi per la trasformazione in portate, nell'ipotesi che il periodo di ritorno rimanga lo stesso. Tale approccio consente di definire non solo il valore di portata al colmo, ma anche l'intero idrogramma di piena. Inoltre, fornisce l'opportunità di modellare alcuni aspetti in maniera più esplicita e di tenere conto di eventuali interferenze con opere antropiche (es. serbatoi) o di cambiamenti climatici o di diversi scenari pluviometrici. I modelli considerati nell'ambito del progetto sono esemplificativi degli elementi caratterizzanti la modellistica di ciascun livello. Pertanto, saranno solo brevemente richiamati nel seguito rimandando per una loro descrizione puntuale alla bibliografia citata.

I modelli previsti al 3° livello sono di tipo speditivo, nel senso che devono effettuare la richiesta applicazione in tempi molto brevi e devono essere di facile uso anche per operatori non specializzati. Inoltre, il modello deve risultare applicabile anche a bacini non strumentati, per i quali non sono disponibili dati idrometrici storici o non si dispone di dati sufficienti per la taratura. In questo livello di modellazione sono, pertanto, considerati modelli idrologici concentrati di tipo concettuale, ad evento, basati su approcci riconducibili a quello dell'idrogramma unitario istantaneo geomorfologico (GIUH), o che comunque possono essere applicati ad una qualsiasi sezione di un corso d'acqua calabrese sulla base delle sole caratteristiche geomorfologiche del bacino e del reticolo idrografico. Quale esempio di modello appartenente al terzo livello della gerarchia proposta, nelle applicazioni del progetto è stato considerato il modello NASP-Nash SPeditivo (*Biondi & Versace*, 2007).

I modelli considerati al 4° livello sono parsimoniosi in termini di parametri e tempi di calcolo, di impostazione concettuale, ma, a differenza dei modelli di livello 3, necessitano in generale di una serie di eventi di piena registrati per la taratura. La modellistica adottata è stata indirizzata verso la tipologia di modelli semi-distribuiti, caratterizzati da un'impostazione ad oggetti che consente l'agevole integrazione con moduli idraulici. In particolare, nell'ambito del progetto si è fatto riferimento al modello WRROOM (Watershed Rainfall Runoff Object Oriented Model), proposto da alcuni componenti del gruppo di lavoro (*Calabretta et al.*, 2000).

I modelli previsti al 5° livello sono caratterizzati da una rappresentazione dettagliata dei processi idrologici che si sviluppano alla frontiera tra l'atmosfera e il suolo e all'interno di quest'ultimo in risposta alle sollecitazioni climatiche, adeguata a rappresentare i legami fortemente non lineari che intervengono nella formazione delle piene e più in generale a consentire simulazioni in continuo. Sono da indirizzarsi all'applicazione in specifici casi di studio: tali modelli, infatti, richiedono tempi medio-lunghi per la realizzazione, sono di uso non immediato, necessitano di dati di ingresso diversi da quelli sistematicamente raccolti dal Centro Funzionale o da altre strutture tecniche. Nell'ambito del POR si è fatto particolare riferimento al modello RISE (Runoff by Infiltration and Saturation Excess), descritto in *Versace et al.* (2004).

Di seguito sono illustrati i criteri proposti per la definizione dell'input pluviometrico e per la stima della portata di progetto, insieme all'applicazione ad un caso di studio.

4.1 Definizione dell'input pluviometrico

Sono state fornite indicazioni rispetto alla modellazione della distribuzione spazio-temporale di volumi pluviometrici di progetto riguardanti un bacino idrografico, sulla base degli eventi storici registrati in continuo. La metodologia prevede innanzitutto la definizione di scenari pluviometrici relativi alla media dei massimi annuali di precipitazione; gli andamenti corrispondenti ad un assegnato periodo di ritorno T si ottengono dal prodotto con l'opportuno fattore di crescita $K(T)$.

Nel dettaglio, la procedura prevede:

1. determinazione dei pluviometri di riferimento di ogni sottobacino e dei corrispondenti pesi dei topoi;
2. stima del volume di progetto ricadente sull'intero bacino $W(d)$, di assegnata durata d , in base alla curva di possibilità pluviometrica media areale;
3. suddivisione dell'intero bacino in M sottobacini not-overlapped;
4. individuazione, dalle serie storiche di precipitazione e per ogni durata d considerata, di tutti gli eventi osservati, il cui volume sull'intero bacino risulta superiore ad una prefissata soglia percentuale di $W(d)$;
5. normalizzazione di tutti gli eventi individuati rispetto alla durata e al volume totale e raggruppamento in classi di scenario (fig. 6), ognuna delle quali è rappresentativa di un particolare andamento spazio-temporale del campo di pioggia di durata e volume unitario;
6. determinazione, per ogni classe, di uno "scenario medio", dal quale, riscalando in base alla durata d e al volume $W(d)$, si risale allo scenario di progetto.

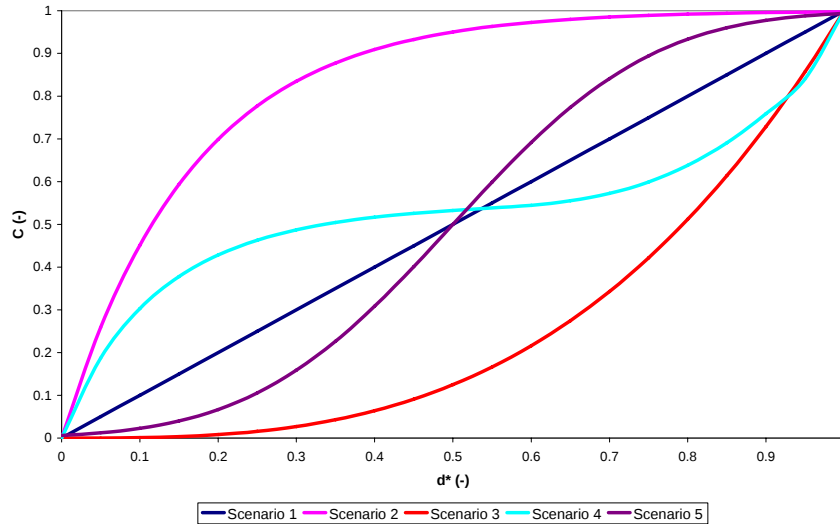


Figura 6. Possibili configurazioni di scenario ottenibili dalla curva integrale degli eventi selezionati

4.2 Stima della portata di progetto

La determinazione della portata di progetto avviene attraverso la simulazione idrologica dell'evento critico.

Fissato il periodo di ritorno T , la procedura consiste dei seguenti passi:

1. per ciascuno degli scenari di precipitazione ipotizzati si effettua la simulazione con precipitazioni in ingresso al modello afflussi-deflussi di diversa durata d ;
2. per ciascuna durata di pioggia considerata, si ottiene un valore di portata al colmo, $Q_c(d)$;
3. si determina la portata di progetto di ciascuno scenario in corrispondenza della durata critica d_{cr} , che produce la massima portata Q_c per quello scenario o per la quale gli incrementi relativi nella stima della portata al colmo per durate maggiori rimangono contenuti nel 5%;
4. si assume quale valore di portata di progetto per il fissato periodo di ritorno la mediana dei valori di progetto ottenuti con i diversi scenari.

La figura 7 riporta quanto ottenuto per il bacino del Crati a Castiglione Cosentino (405 km^2) dall'applicazione del modello NASP per i periodi di ritorno $T= 50, 200, 500$ anni. In particolare, sono mostrate le curve inviluppo delle portate al colmo $Q_c(d)$, con l'evidenziazione del valore critico, ottenute per diverse durate a partire dagli scenari S1 (intensità di pioggia costante), S2 (intensità di pioggia decrescente), S3 (intensità di pioggia crescente) ed S4 (eventi con valori maggiori di precipitazione negli istanti iniziali e finali). Nel caso illustrato, per i tre periodi di ritorno considerati, il valore della portata di progetto è risultato pari rispettivamente a 810, 1141 e 1365 m^3/s .

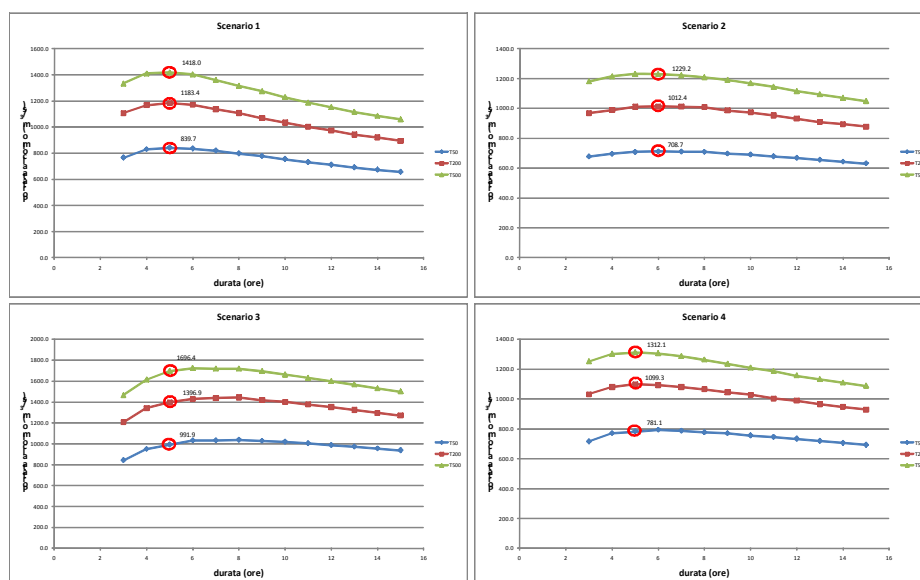


Figura 7. Crati a Castiglione Cosentino: curve inviluppo delle portate al colmo ottenute con i diversi scenari di precipitazione ipotizzati ed il modello NASP.

5 CONCLUSIONI

Nell'ambito del presente studio sono state proposte procedure per la stima della piena di progetto articolate su 5 livelli. I risultati ottenuti nei casi di studio analizzati forniscono in genere valori che si collocano a livello intermedio tra quelli del VAPI e quelli del PAI, che sono quelli adottati dall'Autorità di Bacino e sono basati sull'applicazione di modelli afflussi/deflussi. In estrema sintesi le stime statistiche (livelli 1/A e 2) e le stime basate sull'applicazione di modelli di trasformazione afflussi-deflussi (livelli 3, 4 e 5) forniscono valori che sono in linea con le osservazioni idrometriche disponibili e mediamente più cautelativi di quelli VAPI.

Il professionista deve scegliere in maniera opportuna quale approccio utilizzare tra quelli proposti, in base alle finalità dell'applicazione, ai dati disponibili, alle caratteristiche del bacino oggetto di studio, e ponendo particolare attenzione all'ambito di applicabilità di ciascun modello. In sintesi:

- il ricorso alla metodologia proposta al 1° livello è da limitarsi alla sola valutazione speditiva di un valore di prima approssimazione della portata di progetto;
- la scelta delle metodologie statistiche proposte come livello 2, è da preferirsi nel caso di bacini in cui non siano disponibili eventi di piena registrati e/o non sia richiesta la stima dell'intero idrogramma di piena;
- con riferimento ai modelli afflussi-deflussi, nel caso di sezioni non strumentate, si può fare ricorso ai modelli di livello 3 che si basano sull'utilizzo di descrittori geomorfoclimatici;
- i modelli di livello 4 e 5 richiedono, per la taratura dei parametri, un numero significativo di eventi di piena.

BIBLIOGRAFIA

- Biondi, D. & Versace, P. Peak flow estimation under parameter uncertainty in a real time flood warning system for ungauged basins In: *Quantification and Reduction of Predictive Uncertainty for Sustainable Water Resources Management*, IAHS Publ. 313, 2007, 425-435.
- Calabretta, G., Mendicino, G. & Versace, P. Un modello semidistribuito per la previsione delle piene fluviali in piccoli bacini idrografici, *Atti del XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Genova, 2000.
- Dalrymple, T. Flood Frequency Analysis. U.S. Geological Survey, Water Supply Paper, 1543-A, 1960.
- Elamir, E.A.H. & Seheult, A.H. Exact variance structure of sample L-moments. *Journal of statistical planning and inference*, 2004, 124(2), 337-359.
- Gioia, A., Iacobellis, V., Manfreda, S. & Fiorentino, M. Runoff thresholds in derived flood frequency distributions, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2008, 12, 1295-1307.
- Iacobellis, V. & Fiorentino M.: Derived distribution of floods based on the concept of partial area coverage with a climatic appeal, *Water Resour. Res.*, 2000, 36(2), 469-482.
- Iacobellis, V., Gioia, A., Manfreda, S. & Fiorentino, M. Flood quantiles estimation based on theoretically derived distributions: regional analysis in Southern Italy, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2011, 11, 673-695.
- Laio, F., Ganora, D., Claps, P. & Galeati, G. Spatially smooth regional estimation of the flood frequency curve (with uncertainty), *J. Hydrol.*, 2011, 408, 67-77.
- Hosking, J.R.M. & Wallis, J.R., *Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments*. Cambridge University Press, 1997.
- Stedinger, J.R. & Tasker, G.D. Regional hydrologic analysis 1: ordinary, weighted, and generalized least-squares compared, *Water Resour. Res.*, 1985, 21(9), 1421-1432.
- Rossi, F., Fiorentino, M., and Versace, P., Two component extreme value distribution for flood frequency analysis, *Water Resour. Res.*, 1984, 20(7), 847-856.
- Versace, P., Biondi, D. & Sirangelo, B. La generazione dei deflussi nella simulazione delle piene fluviali, *Atti del 29° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Trento, 2004.
- Viglione et al., A comparison of homogeneity tests for regional frequency analysis, *Water Resour. Res.*, 2007, 43(3):W03428.