

# 1 Introduzione : il problema della valutazione delle piene

di *V.A.Copertino e M.Fiorentino*

## 1.1 Premessa

La conoscenza approfondita dei fenomeni di piena dei corsi d'acqua è indispensabile nella progettazione di molte opere idrauliche, negli interventi di controllo e di sistemazione dei corsi d'acqua e in tutte le attività volte alla difesa del suolo dall'azione delle acque. La portata e il volume idrico, in base ai quali effettuare il dimensionamento di opere e interventi, sono associati alla stima del rischio del loro superamento, comunemente espresso mediante il periodo di ritorno, che rappresenta il numero medio di anni tra due superamenti successivi. La valutazione delle piene si imposta, pertanto, esclusivamente su basi statistico-probabilistiche.

Poichè è raro che si disponga di dati e osservazioni di piena nelle sezioni di interesse del reticolo idrografico, occorre soventemente ricorrere all'analisi di frequenza di precipitazioni e portate di piena relative ad un'estesa regione, allo scopo di pervenire alla stima del periodo di ritorno da attribuire ad uno specifico valore assunto dalla portata o dal volume di piena in un sito del reticolo. L'insieme delle procedure, adatte a trasferire l'informazione idrologica proveniente dai dati registrati in un qualunque sito ad un altro, va sotto il nome di analisi regionale; ad essa si deve ricorrere quando la valutazione è richiesta in un sito non attrezzato oppure dove l'informazione disponibile è insufficiente in confronto con gli obiettivi dell'analisi stessa. Alla base di un modello di regionalizzazione vi è la preventiva individuazione del meccanismo fisico-stocastico che spiega la distribuzione della variabile idrologica di interesse nello spazio e nel dominio di frequenza statistica. (e.g., Maione, 1988).

Tradizionalmente in idrologia si sono sempre diffusi e correntemente applicati studi di parametrizzazione regionale che tendessero alla definizione di indici idrologici, validi per regioni omogenee. Introdotti in semplici formule, tali indici hanno consentito nel passato, e consentono ancora, di dare risposte rapide a quesiti idrologici, se pur con una non rigorosa valutazione del rischio. Un esempio di idrologia parametrica sono le usuali formule empiriche per il calcolo delle massime piene (e.g. Caroni, 1982). Sono però noti (Natale, 1987) i limiti di formule e procedure regionali, reperibili sui testi di idrologia, che risalgono ormai a parecchi decenni fa e sono tuttavia, ancora oggi, di uso molto diffuso nella pratica professionale.

Il progetto speciale VAPI (VALutazione PIene) del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del CNR, patrocinato dal Ministero

della Protezione Civile, si propone di fornire una guida tecnica sulla valutazione delle piene, destinata a tutti gli operatori del settore dell'Ingegneria idraulica e della difesa del suolo, basata su moderne ed affidabili metodologie di analisi regionale. In questo ambito si è svolta l'attività dell'Unità Operativa 1.21 del GNDICI, presso l'Università della Basilicata.

## 1.2. Il problema della stima nello studio delle piene

Nell'impostare l'indagine sulle piene, occorre definire in via preliminare la grandezza idrologica di interesse, sia essa la massima precipitazione di assegnata durata, oppure il massimo valore annuale della portata in una sezione di corso d'acqua naturale, oppure il massimo volume di piena transitante ad un invaso artificiale.

Si indichi con  $X$  la variabile casuale che fornisce i valori assunti dalla grandezza idrologica di interesse, nei diversi momenti di osservazione. A causa del carattere aleatorio dei fenomeni climatici, esiste sempre un rischio che un prescelto valore  $x$  di  $X$  venga superato. La stima  $x_T$  del valore di  $x$ , corrispondente ad un assegnato periodo di ritorno  $T$ , si effettua in base ai dati disponibili, che costituiscono la serie campionaria della variabile nel sito di interesse, oppure ricorrendo all'analisi regionale, che utilizza le serie storiche presenti all'interno della regione in cui il sito ricade. Nel primo caso si ha una stima *puntuale*, nel secondo una stima *regionale*.

La stima risente, in ogni caso, oltre che dell'incertezza derivante dalla variabilità di base del fenomeno fisico, dell'incertezza derivante dagli errori di misura e dal metodo di stima utilizzato. Per quanto riguarda gli errori di misura, nulla è dato al tecnico progettista, se non il compito di ridurre i possibili effetti con oculata scelta dello schema di calcolo. Auspicabile è invece l'impegno dei servizi pubblici statali e regionali nell'adeguamento delle reti di misura e di monitoraggio agli attuali standards tecnologici.

Compito del tecnico è invece quello di ridurre gli errori di stima con la scelta dello stimatore più opportuno per il caso in esame, laddove sotto il nome di stimatore va l'insieme delle operazioni che forniscono la stima  $x_T$ .

Uno stimatore *puntuale*, utilizzabile allorché si dispone di un numero sufficiente di osservazioni della grandezza idrologica di interesse nel sito di progetto, richiede la definizione di:

- a) un modello probabilistico atto ad interpretare il comportamento stocastico delle osservazioni della variabile;
- b) una tecnica, generalmente numerica, per la valutazione dei parametri del modello probabilistico.

Uno stimatore *regionale*, necessario allorché per la scarsità di osservazioni dirette in sito è necessario utilizzare l'intera informazione idrologica disponibile nella *regione* in cui ricade il sito di interesse, richiede, oltre a quanto è previsto per il caso precedente, la scelta del modello di regionalizzazione, che prescrive le modalità con cui si effettua il trasferimento dell'informazione idrologica da un sito all'altro, e della tecnica di stima dei relativi parametri.

### 1.2.1. Gli stimatori puntuali

Gli stimatori puntuali sono utilizzabili da soli, come già detto in precedenza, soltanto nel caso in cui la serie storica delle osservazioni della grandezza idrologica di interesse è sufficientemente lunga (generalmente 30-40 anni di osservazione) ed affidabile, per poter ritenere che gli errori di campionatura, dovuti alla limitatezza della serie, siano accettabili.

Storicamente, essi derivano dalla teoria degli eventi estremi, nota in idrologia grazie a Gumbel (1958), che per primo derivò le caratteristiche teoriche della distribuzione di probabilità di una grandezza estrema (massima o minima) in un numero casuale di variabili casuali.

### 1.2.2 I modelli probabilistici

I modelli probabilistici che discendono direttamente da questa teoria sono a due o tre parametri. I più noti ai tecnici italiani sono quelli del "primo tipo", a due parametri, che vanno sotto il nome di legge di Gumbel.

L'affinarsi degli studi idrologici negli ultimi venti anni ha però messo in evidenza i limiti di questi modelli, comunque pregevoli per la loro semplicità. È stato infatti messo in evidenza (Rossi e Versace, 1982) come essi, principalmente per il loro limitato numero di parametri, non sono in grado di interpretare dal punto di vista statistico la eterogeneità - tra l'altro fisicamente giustificabile - osservata tra gli eventi ordinari e quelli straordinari. In altre parole questi modelli conducono di norma ad una sottostima degli eventi più gravosi, con evidente probabile inefficienza dell'intervento tecnico per il quale la stima era stata effettuata.

Per ovviare a tale difetto, sono stati proposti prima in Inghilterra, poi negli Stati Uniti, ed infine in Italia, modelli probabilistici a più parametri noti in letteratura tecnica, rispettivamente, con gli acronimi GEV (NERC, 1975), WAKEBY (Houghton, 1978) e TCEV (Rossi *et al.*). In particolare l'ultimo, la cui sigla deriva dall'espressione inglese Two-Component Extreme Value, rappresenta la distribuzione di probabilità del valore massimo di due variabili distribuite secondo la legge di Gumbel e, pertanto, è atto a fornire la stima della probabilità corrispondente ad

un determinato evento estremo, sia che esso provenga dalla popolazione statistica degli eventi ordinari sia che esso provenga da quella degli eventi straordinari.

### 1.2.3 Le tecniche di stima dei parametri

Per quanto riguarda le modalità applicative delle diverse tecniche di stima dei parametri che sono state fino ad oggi proposte ed utilizzate, si preferisce rimandare alla relativa letteratura scientifica. E' però opportuno qualche richiamo all'efficienza delle diverse tecniche, con particolare riferimento alla riduzione degli errori di campionatura che esse producono.

Poichè la stima dei parametri viene effettuata ponendo in sistema, generalmente non lineare, alcune funzioni teoriche dei parametri del modello probabilistico ed i valori assunti da queste funzioni con riferimento ai dati osservati, disponibili nella serie storica, le diverse tecniche di stima si distinguono per la scelta del tipo di funzione da adottare. Tra queste, le più note sono quelle che vanno sotto il nome di *metodo dei momenti*, *metodo della massima verosimiglianza*, *metodo della massima entropia*, *metodo dei momenti pesati in probabilità*.

Il metodo più semplice, quello dei momenti, molto noto e utilizzato dai tecnici, è purtroppo anche quello meno efficiente, in quanto fornisce stime che sono molto sensibili alla variabilità delle osservazioni e pertanto poco affidabili. Gli altri tre, più complessi nelle modalità applicative, forniscono, invece, stime di minima incertezza con riguardo all'informazione fornita dalle osservazioni.

### 1.2.4 Gli stimatori regionali

Se non si dispone di dati direttamente osservati nel sito di interesse per il caso in esame, è necessario ricorrere a tecniche di analisi regionale dell'informazione idrologica. Esse consistono nella ricerca dei legami esistenti tra le caratteristiche climatiche e fisiografiche misurabili nella regione che comprende il sito di interesse e la grandezza idrologica della quale si richiede una corretta stima.

Si tratta, in altre parole, di ricercare i complessi legami esistenti tra precipitazioni, deflussi e caratteristiche del bacino, non riferendosi ai singoli eventi, bensì rivolgendo l'attenzione al comportamento statistico di detti legami. Ad esempio, nel caso della valutazione delle piene, si tratta di determinare la legge di dipendenza dei parametri del modello probabilistico (e.g. TCEV) dai parametri della distribuzione di probabilità delle piogge (e.g. Gumbel o TCEV) di durata pari al tempo critico del bacino idrografico sotteso dalla sezione di interesse.

Questa legge di dipendenza risente, ovviamente, delle caratteristiche geolito-

logiche e di copertura del suolo, mentre per la valutazione della durata critica caratteristica del bacino idrografico in esame è spesso necessaria un'approfondita analisi delle caratteristiche geomorfologiche del reticolo idrografico.

Per la valutazione dei massimi tra gli eventi estremi, l'analisi regionale è praticamente necessaria allorché il modello probabilistico più adatto ad interpretare il comportamento statistico della grandezza di interesse possiede un numero di parametri maggiore di due. Questo è sempre il caso (Fiorentino *et al.*, 1987a), quando trattasi della valutazione delle piene dei corsi d'acqua italiani.

### 1.2.5 Approccio gerarchico alla stima regionale dei parametri

La metodologia di analisi regionale adottata in questo lavoro utilizza come modello probabilistico la distribuzione dei valori estremi a doppia componente (TCEV), che si è verificato capace di spiegare alcune piene straordinariamente elevate osservate nel passato, particolarmente in quelle serie di dati aventi un'elevata asimmetria, non spiegata dalla distribuzione del valore estremo del primo tipo, la legge di Gumbel.

La procedura seguita è riconducibile a quella classica della piena indice, modificata secondo un approccio di tipo gerarchico (Fiorentino *et al.*, 1987), che utilizza tre differenti livelli di scala spaziale per la stima dei diversi parametri del modello probabilistico: ad ogni livello gerarchico si considerano contemporaneamente tutte le serie storiche ricadenti nella zona in esame, per la stima del parametro caratteristico di quel determinato livello. L'impiego di una tale tecnica di gerarchizzazione permette di volta in volta la stima di un numero ridotto di parametri da un numero elevato di dati, rendendo i risultati più affidabili. In particolare si definiscono tre livelli di regionalizzazione: i parametri di forma della distribuzione di probabilità sono stimati su base interregionale; il parametro di scala è stimato su base regionale e conduce alla stima del coefficiente di variazione delle piene annuali; il parametro di locazione è stimato su scala di bacino e conduce alla stima della piena indice, cioè la media delle piene annuali.

La metodologia descritta è stata applicata prima di tutto all'analisi regionale delle piogge giornaliere, poi a quella delle piogge orarie (1, 3, 6, 12, 24). I risultati dell'analisi pluviometrica, che pur conservano dignità autonoma ai fini della valutazione degli eventi estremi, sono stati presi successivamente a riferimento per l'analisi regionale delle portate di piena.

### 1.3 Il Sistema Informativo Territoriale

L'obiettivo finale dell'analisi regionale è fornire una metodologia per la stima della portata di piena che può verificarsi con assegnata probabilità di superamento, in sezioni fluviali prive di stazione idrometrica oppure con misure insufficienti per numero o qualità. Tale risultato finale si ottiene oggi attraverso una procedura ormai consolidata in tutti gli studi di idrologia e per niente dissimile, da un punto di vista concettuale, da quelle tradizionalmente seguite, in quanto riguarda la ricerca di relazioni, valide per regioni idrologicamente omogenee, che legano i parametri della funzione di densità di probabilità più adatta ad interpretare le distribuzioni campionarie, ai caratteri morfometrici e pluviometrici dei bacini idrografici.

È pertanto fondamentale non trascurare gli aspetti essenziali nella caratterizzazione dell'ambiente fisico-territoriale entro cui gli eventi idrologici estremi si manifestano. Si tratta di ricercare tutte le caratteristiche morfologiche, geologiche, di permeabilità e d'uso del suolo, climatiche, morfoevolutive, ma anche tutte le informazioni relative a nubifragi ed esondazioni, di cui si ha notizia nella storia.

Negli ultimi anni, poi, l'utilizzazione crescente dell'informatica nelle applicazioni cartografiche a diversa scala ha determinato lo sviluppo dei Sistemi Informativi Geografici, specializzati per settori applicativi ed adatti a compiere elaborazioni automatiche di parametri fisico-territoriali e produzione di cartografia numerica.

Poichè al terzo livello gerarchico dell'analisi regionale delle piene, la stima della piena indice è fortemente legata alla conoscenza delle caratteristiche fisiche (climatiche e geomorfologiche) dei bacini, si rivela particolarmente utile l'organizzazione dell'informazione, in un Sistema Informativo Territoriale: in esso si persegue lo scopo di organizzare nella maniera più rigorosa, e insieme efficace, l'informazione disponibile riguardante le caratteristiche geomorfologiche del bacino, per esempio le pendenze superficiali, i litotipi prevalenti, il tipo di drenaggio, l'uso del suolo. L'informazione che, confrontata con le elaborazioni dei deflussi osservati nei siti attrezzati per misure idrometrografiche, conduce all'identificazione di un modello interpretativo, che consenta la valutazione delle portate di piena.

Il Sistema Informativo Territoriale gestisce un apposito archivio elettronico, in cui viene raccolta una grande mole di dati e informazioni, sia che provenga da fonte cartografica, da schede o pubblicazioni ufficiali sia da precedenti archivi o da rilevazioni remote.

Effettuate le operazioni di acquisizione, il Sistema Informativo Territoriale consente di gestire, elaborare e visualizzare tutti i dati georeferenziati rilevanti dell'area di indagine, e tramite l'uso, progettazione e sviluppo di specifici moduli software di pervenire alla generazione di modelli digitali del terreno ad alta precisione, alla determinazione automatica dei principali parametri morfologici di

ogni bacino elementare, alla produzione di cartografia bi e tri-dimensionale rappresentativa dei caratteri fisici dei bacini.

#### 1.4 Caratterizzazione geomorfologica dei bacini idrografici: i tempi di ritardo e i GIUH

I caratteri geomorfologici dei bacini e dei relativi reticoli idrografici giocano un ruolo molto significativo nella formazione dei deflussi di piena, in quanto condizionano la risposta idrologica del bacino ad un evento di pioggia. Più in particolare, determinano il tempo di ritardo, definito come distanza tra i baricentri dell'idrogramma di piena dovuto ad una precipitazione e del solido di precipitazione efficace che ha provocato detta piena. A parità di periodo di ritorno, sono le precipitazioni di durata pari al tempo di ritardo caratteristico del bacino idrografico quelle che provocano il picco di piena più elevato (Fiorentino *et al.*, 1987b)

In molti problemi idrologici di difesa dalle piene e nei problemi di previsione delle piene in tempo reale, occorre conoscere, oltre che il valore della massima portata istantanea di un evento, anche la forma dell'onda di piena o, se vogliamo, l'andamento cronologico delle portate di piena.

La risposta idrologica del bacino idrografico ad un evento di pioggia può essere in generale schematizzata mediante l'idrogramma unitario istantaneo (IUH, dall'inglese Instantaneous Unit Hydrograph), che rappresenta l'idrogramma di piena causato da un evento impulsivo di pioggia di volume unitario e durata tendente a zero (e.g. Maione, 1988). Infatti, nell'ipotesi di linearità e stazionarietà della risposta, ipotesi quasi sempre accettabile nei casi di interesse tecnico, l'idrogramma di piena può essere valutato come il risultato della convoluzione dello ietogramma efficace nello IUH.

Un gran numero di lavori scientifici, a partire da quello pionieristico di Rodriguez-Iturbe e Valdes (1979), hanno dimostrato che lo IUH può essere determinato, in maniera del tutto affidabile e con una forte connotazione fisica, in base alle caratteristiche geomorfologiche del bacino, legando la risposta idrologica ai parametri rappresentativi della struttura ordinata del reticolo idrografico. All'idrogramma unitario istantaneo valutato su basi geomorfologiche viene dato il nome di GIUH, dall'inglese Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph.

#### 1.5 Le scale di deflusso di piena dei corsi d'acqua naturali

Nella stima dei massimi annuali delle portate di piena negli alvei naturali, una delle fonti di incertezza di cui raramente si tiene conto deriva dal fatto che esse vengono derivate sulla base della misurazione di livelli idrometrici e del supporto costituito dalle scale di deflusso, generalmente tarate su valori di portata molto

minori.

La riduzione di tale incertezza richiede accurate indagini in sito, volte all'accertamento delle condizioni idrauliche sulle quali il moto si svolge, per un tratto di corso d'acqua di sufficiente lunghezza, a monte e a valle della sezione di interesse. Si tratta di determinare le caratteristiche geometriche, topografiche e di scabrezza dell'alveo e di pervenire alla costruzione di un modello idraulico che tenga conto dei fenomeni idrodinamici che coinvolgono sia il trasporto idrico che quello solido.

Tali indagini sono da un lato piuttosto onerose, dall'altro non attenuano l'incertezza della stima a causa della complessità intrinseca dei fenomeni idrodinamici implicati, soprattutto nei corsi d'acqua d'ambiente montano.

In attesa di un definitivo aggiornamento dei dati da parte del Servizio Idrografico e Mareografico Italiano, istituzionalmente preposto ad effettuare queste attività di misura e controllo, si può adottare l'ipotesi che la scala di deflusso sia, sotto precise condizioni, unica per ciascuna sezione di misura e fare riferimento ad una procedura di tipo statistico che conduce alla formulazione di un semplice modello per la stima delle incertezze connesse con detta ipotesi.

## 1.6 La valutazione dei volumi di piena

Oltre alla stima della massima portata di piena istantanea  $Q_T$ , per ogni fissato periodo di ritorno  $T$ , anche quella dei massimi volumi di piena che defluiscono in un intervallo  $D$ , per lo stesso periodo di ritorno, rappresenta un indispensabile momento d'indagine, sia sul campo della pianificazione del territorio che in quello della difesa e controllo delle piene tramite interventi di tipo attivo.

Ma, se è fuori discussione che la valutazione dei volumi idrici transitanti, con assegnata frequenza, intervenga in molti studi idrologici, in molti altri casi pratici la descrizione dell'evoluzione temporale del fenomeno di piena presenta scarso interesse. Allora la previsione dei volumi di piena può essere condotta con riguardo ai valori medi del deflusso e l'obiettivo dell'analisi diventa la valutazione della portata media defluente, con tempo di ritorno  $T$ , nella prefissata durata  $D$ . Si è dimostrato (Pianese e Rossi, 1986) che la conoscenza della legge con cui tale portata  $Q_{D,T}$  varia con la durata è sufficiente a definire la curva di possibilità di regolazione delle piene di un vaso, consentendo il progetto del tipo e delle dimensioni delle luci di scarico delle dighe, con il minimo errore sulla valutazione del rischio idrologico relativamente alle massime portate uscenti.

La valutazione per via diretta, tramite tecniche di analisi inferenziale, delle portate medie  $Q_{D,T}$  presenta in genere notevoli difficoltà, in quanto richiederebbe la conoscenza di lunghe serie campionarie dei massimi annuali delle portate medie in assegnata durata e tale informazione non è generalmente disponibile nel nostro



Paese. Si preferisce, allora, ricorrere ad impostazioni di tipo indiretto e, tra queste, alla valutazione delle leggi di riduzione dei colmi di piena con la durata, tramite l'uso di due modelli analitici recentemente introdotti in letteratura. Essi sono il modello di tipo stocastico, dovuto a Bacchi e Brath (1990) ed il modello di tipo geomorfoclimatico, proposto da Fiorentino *et al.* (1987b) e modificato da Rossi e Villani (1988).

## 1.7 Bibliografia

Bacchi B., Brath A., : Stima delle leggi di attenuazione delle massime portate in assegnata durata, *L'Energia Elettrica*, 4, 157-170. 1990

Fiorentino M., Gabriele S., Rossi F., Versace P. : Hierarchical approach for regional flood frequency analysis. *Regional Flood Frequency Analysis*, Ed. V.P. Singh, D. Reidel Publishing Company, Dordrech, Holland, 1987.

Fiorentino M., Rossi F., Villani P.: Effect of the basing geomorphoclimatic characteristics on the mean annual flood reduction curve. *Proc. 18th Annual Pittsburgh Mod. Simul. Conf.*, Volume 5, pp. 114-119, IASH Pubbl., 1987.

Gumbel J. : *Statistic of extremes*. Columbia University Press. 1958

Houghton, J.C.: Birth of a parent: The Wakeby distribution for modeling flood flows, *Water Resource. Res.*, 14(6), 1105-1109, 1978.

Maione U. : Regionalizzazione dell'informazione idrologica. Relazione Generale Tema A1. XXI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, L'Aquila, 1988.

Moisello U. : Grandezze e fenomeni idrologici, Ed. La Goliardica Pavese, 1989

Natale L. : Curve di possibilità di piena dei piccoli bacini italiani. *Idrotecnica*, 3, 1988

Natale L. : Idrologia tecnica, in *Manuale dell'Ingegnere Civile*, vol.1, Ed. Scient. Cremonese, 1987.

NERC: Estimations of flood volumes over different durations, in *Flood Studies Report*, Cap.5, Londra, 1975

Pianese D., Rossi F. : Curve di possibilità di laminazione delle piene. *Giornale del Genio Civile*. 1986

Rodriguez-Iturbe I., Valdes J.B.: The geomorphologic structure of hydrologic response. *Water Resources Research*, Volume 15, No.6, pp. 1409-1420, 1979.

Rossi F., Fiorentino M., Versace P.: Two component extreme value distribution for flood frequency analysis. *Water Resources Research*, Volume 20, No.7, pp.847-856, 1984.

Rossi F., Versace P. : Criteri e metodi per l'analisi statistica delle piene , in E. Marchi (ed.), *Valutazione delle Piene. Progetto Finalizzato Conservazione del suolo*, Publ.165, pp.B.1-B.68. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, 1982.

Rossi F., Villani P. : La regionalizzazione della piena annuale media attraverso un metodo analitico di tipo geomorfoclimatico. *Atti del XXI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, L'Aquila. 1988.