

# ANALISI DEI SUPERAMENTI DI SOGLIA PER PIOGGE E DEFLUSSI GIORNALIERI A SUPPORTO DELL'ANALISI REGIONALE DELLE PIENE

Pierluigi Claps(\*) e Paolo Villani(\*\*)

(\*) Dipartimento di Idraulica, Trasporti ed Infrastrutture Civili, Politecnico di Torino,  
C.so Duca degli Abruzzi, 10129 Torino

(\*\*) Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno,  
Via Ponte don Melillo, 84084 Salerno

## Sommario

*Nell'ambito dell'analisi statistica delle piene a scala regionale, le tecniche tradizionali di suddivisione in regioni idrologiche omogenee si basano su criteri geografici oppure geomorfologici. Questi ultimi sono più diffusi, in quanto sembrano permettere una classificazione oggettiva su base fisica, poiché tengono conto, implicitamente o esplicitamente, dei processi che determinano le caratteristiche degli eventi di piena. In realtà, è possibile mostrare che l'omogeneità geografica si poggia sulla base di una omogeneità climatica, in relazione alla quale è spesso possibile evidenziare esplicitamente l'influenza degli stessi fattori morfologici. In aree montane e pedemontane, ad esempio, la rilevanza del fattore morfologico sul clima è evidente, a causa delle precipitazioni nevose e del conseguente scioglimento di nevi e ghiacciai in estate, così come, con rilievi di notevole altezza e valli spesso molto strette, l'esposizione delle valli rispetto alle direzioni dominanti di provenienza delle perturbazioni si può riflettere in particolari situazioni climatiche.*

*Allo scopo di valutare esplicitamente l'influenza degli aspetti climatici sulle caratteristiche statisticamente rilevanti della formazione delle piene, in questo lavoro si sono analizzate precipitazioni e portate medie, alla scala giornaliera, con riferimento ad eventi che superano una soglia. Si sono esaminate le serie storiche disponibili per oltre 30 stazioni idrometriche del SIMN operanti in Piemonte e si sono determinate le stagioni di massima frequenza (regnanti) e quelle di massima intensità (dominanti) delle grandezze esaminate. L'analisi comparata delle stagioni 'regnanti' e 'dominanti' di precipitazioni e piene ha consentito di individuare con un buon dettaglio aree nelle quali i bacini presentano lo stesso meccanismo di formazione delle piene, sia esso generalmente conseguente a scioglimento nivale o a precipitazioni intense o alla concomitanza di entrambi i fattori. Una verifica diretta della bontà della suddivisione ottenuta viene mostrata con alcuni esempi riguardanti all'analisi statistica dei massimi annuali delle portate al colmo di piena.*

## 1. Introduzione

Nelle diverse regioni italiane non è raro che si verificano eventi di piena di valore eccezionale, cioè di gran lunga superiore ai valori massimi mai osservati in precedenza (*outlier events*). Tali eventi si presentano con una frequenza non trascurabile nell'ambito di una regione, ma sono molto rari se ci si riferisce ad un sito specifico. La loro probabilità di

occorrenza è essenzialmente una caratteristica climatica della regione: ad esempio, la probabilità che il massimo annuale delle portate al colmo di piena sia un evento eccezionale è, mediamente per l'intera dorsale Appenninica, intorno al 26% (Fiorentino *et al.*, 1987) mentre in Gran Bretagna tale probabilità è intorno al 3% (Rossi *et al.*, 1986).

A causa della rarità di questi eventi estremi, essi possono essere trattati adeguatamente solo attraverso un'analisi statistica regionale: possono così essere effettuate valutazioni in siti senza misure, ma si può anche valutare correttamente l'incidenza di eventi estremi in stazioni di misura in cui non se ne sono osservati nel passato. A questo scopo la procedura di regionalizzazione adottata dal progetto VAPI (Valutazione delle Piene in Italia) del CNR-GNDICI, fa riferimento ad un modello probabilistico puntuale, noto come distribuzione a doppia componente, o TCEV (Rossi *et al.* 1984) che tiene conto esplicitamente della presenza di *outliers*.

Alla scelta del modello probabilistico puntuale si associa quella di una procedura di regionalizzazione, che fa uso del concetto di similitudine idrologica tra bacini associando caratteristiche della distribuzione delle piene a fattori geomorfologici e climatici. Poiché solo alcune di queste caratteristiche sono usate come variabili esplicative, si considerano implicitamente gli altri fattori come costanti: in questo senso i bacini in una regione singola sono definiti idrologicamente simili. Il caso particolare in cui nessun fattore del bacino influenza un parametro della distribuzione delle piene è definito omogeneità regionale, almeno nei riguardi della caratteristica considerata, che è così considerata costante nella regione.

In assenza di una procedura oggettiva per l'identificazione di una regione omogenea basata sull'analisi della variabilità spaziale delle caratteristiche climatiche che influenzano maggiormente il fenomeno delle piene, si può pervenire ad identificare le regioni omogenee in maniera errata, interpretando come variabilità campionaria anche la variabilità spaziale tra i parametri di siti appartenenti a regioni che invece sarebbero idrologicamente differenti. Per questo motivo, un'analisi climatica preliminare può consentire di evidenziare zone con differenti caratteristiche di produzione del deflusso superficiale che, come vedremo nel seguito, possono derivare direttamente da fattori relativi alla distribuzione all'interno dell'anno di variabili climatiche.

In questo lavoro si farà riferimento all'analisi di stagionalità di serie storiche delle piogge e delle portate medie giornaliere relative a bacini della regione Piemonte. I caratteri di stagionalità di questi dati verranno esaminati mediante analisi dei superamenti di soglia. Nel paragrafo che segue, gli aspetti specifici di questa procedura verranno riferiti ad un più ampio quadro di analisi climatiche esplorative di supporto all'analisi regionale delle piene, tenendo conto di quanto finora proposto nella letteratura tecnica.

## **2. Analisi climatiche e di stagionalità per i bacini idrografici**

In anni recenti si è fatta strada in misura crescente la convinzione che grandezze di tipo climatico potessero direttamente (e non più indirettamente) influire sulle caratteristiche della distribuzione di probabilità delle piene. Gran parte delle proposte presentate in questa direzione si basano sullo schema elaborato da Bayliss and Jones (1993), che hanno definito indici di stagionalità nell'occorrenza di picchi oltre una soglia o di piene massime annue. Questi indici e le loro modalità di uso hanno costituito la base di successive proposte metodologiche, formulate ad es. da Burn (1997), Jacob *et al.* (1999) e Merz *et al.* (1999).

Applicazioni in ambito nazionale basate su questo schema sono state inoltre proposte da *Brath et al.* (2000) e *De Michele e Rosso* (2001).

Tra i vari approcci citati, si può prendere a riferimento, in via esemplificativa, lo schema usato da *Merz et al.* (1999), nel quale si perviene, tramite indici di stagionalità delle piene e dei regimi idrometrico e pluviometrico, alla determinazione di aree con caratteristiche 'omogenee' dal punto di vista della formazione delle piene. L'applicazione effettuata dagli autori citati su quasi 700 stazioni idrometriche austriache mostra che il metodo usato risulta piuttosto efficiente rispetto alla capacità di discriminare zone che presentano diverse tipologie di formazione delle piene. La suddivisione da essi effettuata viene anche supportata da uno schema basato su indici numerici che consentono di *clusterizzare* i bacini simili (*Piock-Ellena et al.*, 1999).

In effetti, l'Austria, così come le regioni italiane contornate dall'arco alpino, presenta situazioni climatiche fortemente connotate dalla morfologia delle catene montuose, nel senso che le caratteristiche stagionali relative alla pluviometria sono fortemente influenzate dall'esposizione delle aree montane dei bacini, mentre quelle relative all'idrometria sono spesso dominate dall'influenza che le forzanti termometriche esercitano sul manto nevoso e sui ghiacciai. Sono infatti i fattori stagionali legati alla temperatura che si interpongono tra precipitazioni e portate nel determinare svariate configurazioni del quadro di occorrenza stagionale di queste ultime due grandezze.

Laddove manca, o risulta trascurabile, il ruolo chiave della temperatura nei riguardi dei cambiamenti di stato dell'acqua, come ad es. nell'Italia appenninica, la capacità di discriminazione degli indici stagionali si riduce di molto. In queste zone diventano invece determinanti altri fattori, legati ad esempio al rapporto tra piovosità ed evapotraspirazione, come si evidenzia nell'analisi effettuata da *Iacobellis et al.* (1998). Nel lavoro citato viene valutata la capacità discriminante di un indice climatico riguardo ad un parametro caratteristico delle distribuzioni di probabilità derivate dal meccanismo di occorrenza poissoniano. L'indice climatico determina quantitativamente la prevalenza della precipitazione o dell'evapotraspirazione nel definire l'umidità media del suolo di una zona e la sua conseguente attitudine a tramutare in piene precipitazioni di entità variabile.

Avendo in mente possibilità e limiti offerti dall'uso di indicatori climatici in generale, e stagionali in particolare, in questo lavoro vengono analizzate le serie giornaliere di afflussi e deflussi per 33 bacini della regione Piemonte. Lo scopo è quello di sostenere, con giustificazioni adeguate e riferite ai fattori del clima, la suddivisione del territorio in aree a comportamento omogeneo riguardo alla formazione delle piene.

L'analisi qui effettuata si differenzia da quelli precedentemente citate per i seguenti aspetti:

- in luogo dei massimi annui delle portate al colmo vengono esaminati i picchi superiori ad una soglia, il che comporta l'impiego di serie storiche giornaliere;
- sui dati di cui sopra viene effettuata un'analisi di frequenza delle date di occorrenza (direzioni *regnanti*) e vengono determinate le direzioni risultanti in base all'entità dei valori compresi nelle finestre temporali di massima frequenza (direzioni *dominanti*).
- lo schema usato prevede la possibilità di evidenziare comportamenti bimodali, sia in termini di frequenza che di intensità, cosa che risulta utile in particolare per i regimi climatici alpini.

Lo schema interpretativo utilizzato per la suddivisione dei bacini in gruppi simili non considera indici numerici ma si basa sulle analogie dei caratteri di occorrenza e di concomitanza dei processi di precipitazione e deflusso.

### 3. Analisi di stagionalità degli eventi superiori ad una prefissata soglia

#### 3.1. individuazione dei picchi e scelta delle soglie

La verifica delle condizioni stagionali di occorrenza delle piene è qui effettuata relativamente ai picchi di portata e precipitazione giornalieri che superano una prefissata soglia. I picchi devono essere identificati nell'ambito delle serie giornaliere in modo da consentire la separazione di eventi differenti (possibilmente indipendenti in senso statistico). A questo fine è stata adottata una procedura standard, mutuata dalla biblioteca di base del software Matlab<sup>®</sup> (*The Mathworks*), che si basa sulla funzione *findpeaks*. Le prestazioni di questa procedura nell'ambito di un'analisi teorica dei superamenti di soglia sono discussi in *Claps e Villani* (2000).

Per le elaborazioni relative alla stagionalità si è considerata in ogni bacino una soglia per gli afflussi ed una per i deflussi, in quanto si è deciso di evidenziare un numero 'significativo' di eventi in base ai quali trarre indicazioni valide per l'intera serie. Ciò ha comportato che le soglie relative ai deflussi sono nettamente più basse di quelle relative agli afflussi e, di conseguenza, il numero di eventi di deflusso considerati è di norma superiore al numero di massimi annuali, mentre l'opposto avviene per le piogge. Va anche aggiunto che la lunghezza delle serie di portata media giornaliera è di solito molto inferiore a quella delle serie di pioggia. Di conseguenza, differenziando le soglie si mettono più chiaramente in luce analogie e differenze tra piogge e portate, in quanto per le due variabili risulta un numero di eventi dello stesso ordine di grandezza.

#### 3.2. Distribuzioni di frequenza adimensionali e direzioni risultanti

L'analisi è stata condotta utilizzando diagrammi polari (0-360°), con lo 0° coincidente con il 1 Ottobre (anno idrologico) ed il valore 360° corrispondente al 30 Settembre. Le date sono riferite agli angoli in misura proporzionale al rapporto  $d/365*360$ , dove  $d$  è il giorno corrente a partire dal 1 Ottobre. I valori di precipitazione e deflusso giornalieri sono espressi in *mm* e riportati lungo i raggi della circonferenza. Le soglie adoperate sono evidenti sui diagrammi per il fatto che al disotto di esse non si ritrovano dati relativi alla grandezza in questione.

Per ogni stazione sono stati realizzati dei diagrammi di frequenza in coordinate polari dei valori superiori alla soglia prescelta, onde individuare le *direzioni regnanti* di afflusso e di deflusso per i diversi bacini considerati. Queste ultime corrispondono ai settori angolari entro i quali si ravvisano elevate frequenze di accadimento degli eventi, che corrispondono a valori modali della stagionalità. Nella suddivisione in classi di data di accadimento si è operato con settori di ampiezza minima pari a 30°.

Per definire più precisamente la stagione nella quale si hanno gli eventi più intensi e per quantificare l'intensità di questi, si è inoltre proceduto al calcolo della risultante delle intensità degli eventi superiori alla soglia innanzi assegnata e compresi nella finestra temporale (di 30°) caratterizzata dalla frequenza massima (o dalle 2 frequenze nei casi bimodali). L'angolo assunto dal vettore risultante dalla composizione vettoriale dei vettori degli eventi di cui sopra (con modulo pari alla media dei moduli) è stato denominato *direzione dominante*.

Le entità delle frequenze relative modali, le direzioni e i moduli dei vettori risultanti costituiscono l'insieme dei dati numerici che vengono usati per le ipotesi di raggruppamento dei bacini simili.

#### 4. Applicazione delle analisi di stagionalità ai bacini piemontesi

Le analisi sopra citate sono state applicate a 33 bacini compresi nella regione Piemonte, i cui dati salienti sono riportati in Tab. 1. Accanto alla ricostruzione degli aspetti di stagionalità dei picchi giornalieri si è considerata l'informazione derivante dai valori medi mensili di precipitazione e deflusso nell'ambito dei bacini considerati, di cui si discute nel paragrafo successivo.

##### 4.1 Analisi preliminare dei regimi idro-pluviometrici

Per una più ampia considerazione del quadro climatico nel quale si determinano i picchi di precipitazione e di piena, si è ritenuta utile una disamina dell'andamento stagionale dei valori medi delle suddette grandezze, concordando con l'orientamento adottato da *Mertz et al.* (1999). Nell'analisi riferita al caso di studio si è pertanto proceduto ad individuare i periodi contraddistinti da maggiori valori complessivi di afflusso e di deflusso attraverso i regimi pluviometrico ed idrometrico, definiti "coefficienti di Pardé" in *Mertz et al.* (1999). La valutazione dei dati così ottenuti è servita a formulare una preliminare classificazione dei regimi disponibili, basata anche sul numero di picchi da essi mostrati.

L'analisi dei regimi idrometrici consente di rendersi conto che la quota media del bacino e la sua collocazione geografica concorrono a determinare significativamente andamenti differenti delle curve annuali. Si rilevano, infatti, regimi di tipo unimodale ed altri di tipo bimodale: la presenza di un secondo valore modale va riferita al clima continentale-alpino per le precipitazioni ed all'effetto delle nevi e dei ghiacciai per la componente idrometrica, mentre i casi di valore modale unico è relativo alla predominanza del clima marittimo-appenninico per le precipitazioni ed all'assenza di componenti importanti di scioglimento nivale.

I corsi d'acqua appartenenti ai bacini alpini settentrionali ed occidentali con quote medie elevate (superiori ai 2000 m) mostrano per lo più un regime idrometrico dipendente da scioglimenti nivali, con valori minimi della portata nei mesi invernali e massimi di portata centrati intorno a giugno. A quote medie inferiori ed a latitudini decrescenti, procedendo verso i bacini tipicamente appenninici, quali ad es. il Borbera a Baracche, la situazione si modifica sostanzialmente, con regimi pluviometrici unimodali e regimi idrometrici che presentano un picco invernale ed un minimo estivo.

Il regime pluviometrico mostra un andamento non molto diversificato lungo i bacini dell'arco alpino occidentale fino ai margini dell'appennino ligure: le precipitazioni si concentrano soprattutto nei mesi primaverili ed autunnali e questo fa sì che anche nel resto del territorio piemontese si osservi mediamente un comportamento piuttosto omogeneo nella distribuzione delle precipitazioni durante l'anno. Da quest'andamento si discostano i soli bacini del Ticino e del Toce, che presentano precipitazioni elevate anche nei mesi estivi, verosimilmente a causa dell'influenza dei grandi laghi alpini, ed in particolare dalla presenza del Lago Maggiore.

Il regime idrometrico mostra in maniera netta la rilevanza, ed in alcuni casi la predominanza, delle componenti derivanti da scioglimento nivale e glaciale, sotto forma di picchi della portata media in mesi variabili tra Maggio ed Agosto, a seconda della quota media del bacino. Le valutazioni appena esposte sono servite essenzialmente a confermare le indicazioni emerse dall'analisi relativa ai picchi al disopra di una soglia, che sono esposte nel paragrafo che segue.

Codice	Bacino	Stazione	Quota media (m s.m.m.)	Quota sez. chiusura (m s.m.m.)	Area (Km <sup>2</sup> )
1	Ticino	Bellinzona	1615	219	1515
2	Toce	Candoglia	1641	198	1532
3	Ticino	Sesto Calende (Miorina)	1283	193	6599
4	Mastallone	Ponte Folle	1350	440	149
5	Sesia	Campertogno	2120	802	170
6	Sesia	Ponte Aranco	1480	336	695
7	Rutor	Promise	2616	1483	50
8	Dora Baltea	Aosta	2270	553	1840
9	Artanavaz	St. Oyen	2206	1316	69
10	Ayasse	Champorcher	2392	1420	42
11	Lys	Gressonay St. Jean	2615	1397	91
12	Dora Baltea	Tavagnasco	2080	265	3313
13	Orco	Ponte Canavese	1930	430	617
14	Stura Lanzo	Lanzo	1751	447	582
15	Dora Riparia	Oulx (Ulzio)	2169	1071	262
16	Dora Riparia	S. Antonino di Susa	1613	385	1048
17	Chisone	Soucheres	2233	1460	94
18	Chisone	Fenestrelle	2169	1137	155
19	Chisone	S. Martino	1751	400	580
20	Po	Crissolo	2235	1250	37
21	Grana	Monterosso	1540	710	102
22	Rio Bagni	Bagni Vinadio	2124	1230	63
23	Stura di Demonte	Pianche	2070	958	181
24	Stura di Demonte	Gaiola	1817	644	562
25	Corsaglia	Presa C. Molline	1530	620	89
26	Tanaro	Ponte Nava	1623	804	148
27	Tanaro	Nucetto	1227	444	375
28	Tanaro	Farigliano	938	235	1522
29	Tanaro	Montecastello	663	79	7985
30	Erro	Sassello	591	310	96
31	Bormida	Cassine	493	120	1483
32	Borbera	Baracche	880	335	202
33	Scivia	Serravalle	695	196	605

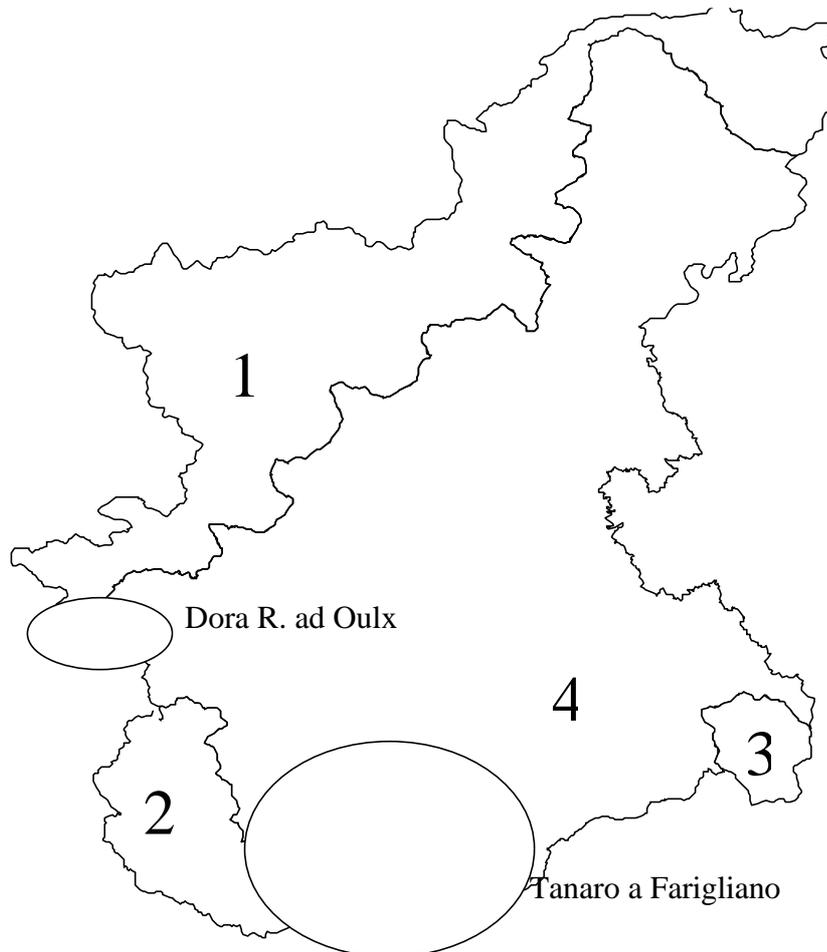
**Tabella 1.** Dati caratteristici dei bacini considerati nell'ambito del territorio piemontese

#### 4.2 Analisi di stagionalità dei picchi

La fase di analisi di stagionalità dei picchi di piena è consistita, come detto in precedenza, nella costruzione dei diagrammi polari di frequenza relativa e di intensità media risultante dei picchi al disopra di assegnate soglie. L'applicazione ai 33 bacini in esame ha fornito indicazioni abbastanza oggettive su similitudini e differenze che si evidenziano tra di essi nelle modalità di trasformazione delle piogge intense in piene, indicazioni che hanno condotto

ad un'ipotesi di suddivisione della regione in aree in cui sono compresi bacini idrologicamente simili (Fig. 1).

In Fig. 1 sono identificate le aree in cui ricadono i bacini aventi componente dominante simile, ed in particolare si evidenzia l'area cui la produzione di eventi di piena eccezionali si fa corrispondere ad un prevalente o concomitante scioglimento nivale (zone 1-2).



**Figura 1.** Corografia schematica della regione in studio. Le aree omogenee sono numerate secondo quanto specificato nel testo. Le due aree evidenziate con ellissi indicano i bacini per i quali sono state effettuate le analisi di frequenza di cui al par. 4.

In dettaglio, dall'analisi risulta una sola componente stagionale di deflussi di piena, dovuta a scioglimento nivale, nei bacini che hanno una quota media elevata, quali ad es. la Dora Baltea ad Aosta (regime nivale, zona 1), mentre nei bacini con quota media compresa tra 1000 e 1500 m s.m.m. è presente una doppia componente, con piene nei mesi di maggio-giugno e ottobre-novembre (regime misto, zona 2). Netamente diverso è l'aspetto dei diagrammi (e la componente dominante) nei bacini Appenninici, che hanno quote medie inferiori a 1000 m s.m.m. come il Borbera a Baracche, in cui le piene sono conseguenza dei massimi di precipitazione mentre i regimi che vi si trovano presentano precipitazioni massime e piene

d'inverno, e valori minimi d'estate (regime pluviale, zona 3). E' stata poi individuata una consistente area che comprende bacini in cui è presente un comportamento di transizione tra le caratteristiche del tipo Alpino e quelle del tipo Appenninico (zona 4).

A ulteriore conferma dei risultati ottenuti, nel seguito si farà riferimento all'analisi statistica diretta dei massimi annuali delle piene al colmo. Si mostrerà come le informazioni a priori ottenute dall'analisi della stagionalità permettano di discriminare eventi e modalità di formazione delle piene che altrimenti apparirebbero sostanzialmente simili se viste nell'ambito delle tradizionali tecniche di regionalizzazione delle piene.

#### 4. Analisi delle serie dei massimi annuali delle portate al colmo

Per una verifica 'sul campo' dell'utilità delle analisi fin qui effettuate viene proposta, a scopo esemplificativo, l'analisi diretta dei massimi annuali delle portate al colmo di piena con riferimento alle registrazioni di due stazioni di misura idrometriche, appartenenti a due differenti zone tra quelle precedentemente identificate. Nella mappa di fig. 1 relativa alla Regione Piemonte, sono evidenziate con due ellissi le aree in cui ricadono il bacino della Dora Riparia ad Oulx e quello del Tanaro a Farigliano. Le caratteristiche salienti dei due bacini, e delle relative serie storiche dei massimi annui della portata al colmo di piena, sono riportate in Tab. 2.

Stazione	Area (km <sup>2</sup> )	Quota media (m s.l.m.)	Lungh. Serie (anni)	$m(Q)$ (m <sup>3</sup> /s)	$m(Q)/A$ (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	$Q^*$	$L^*$	$L_1$	$\frac{Max(Q)}{m(Q)}$
Dora Riparia ad Oulx	231	2169	30	54.3	0.235	3.31	0.111	4.01	5.63
Tanaro a Farigliano	1522	938	53	728	0.478	2.84	0.734	5.07	4.67

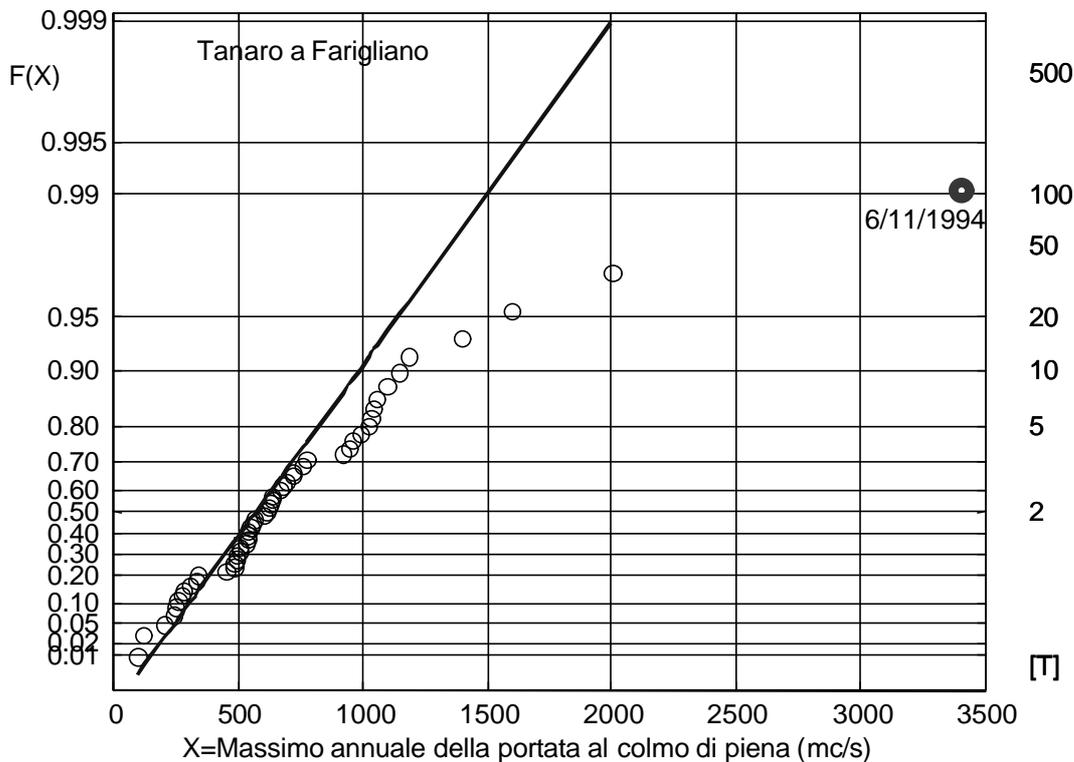
**Tabella 2.** Principali caratteristiche delle stazioni di misura idrometriche considerate. La media della serie è indicata con  $m(Q)$ .  $Q^*$ ,  $L^*$  e  $L_1$  sono parametri della distribuzione TCEV (v. Fiorentino et al., 1987)

L'andamento in carta probabilistica di Gumbel dei valori osservati è riportato nelle Figg. 2 e 3, dove sono anche evidenziati gli eventi più elevati delle rispettive serie, indicati in Tab. 2 come  $Max(Q)$ .

Ad un primo esame, è evidente che queste stazioni presentino entrambe un meccanismo di generazione degli eventi *outliers*, soprattutto se si guarda al rapporto  $Max(Q)/m(Q)$ , che è per entrambe le stazioni molto al di sopra di qualche ci si dovrebbe attendere da una variabile di Gumbel con le numerosità campionarie indicate in Tab. 2.

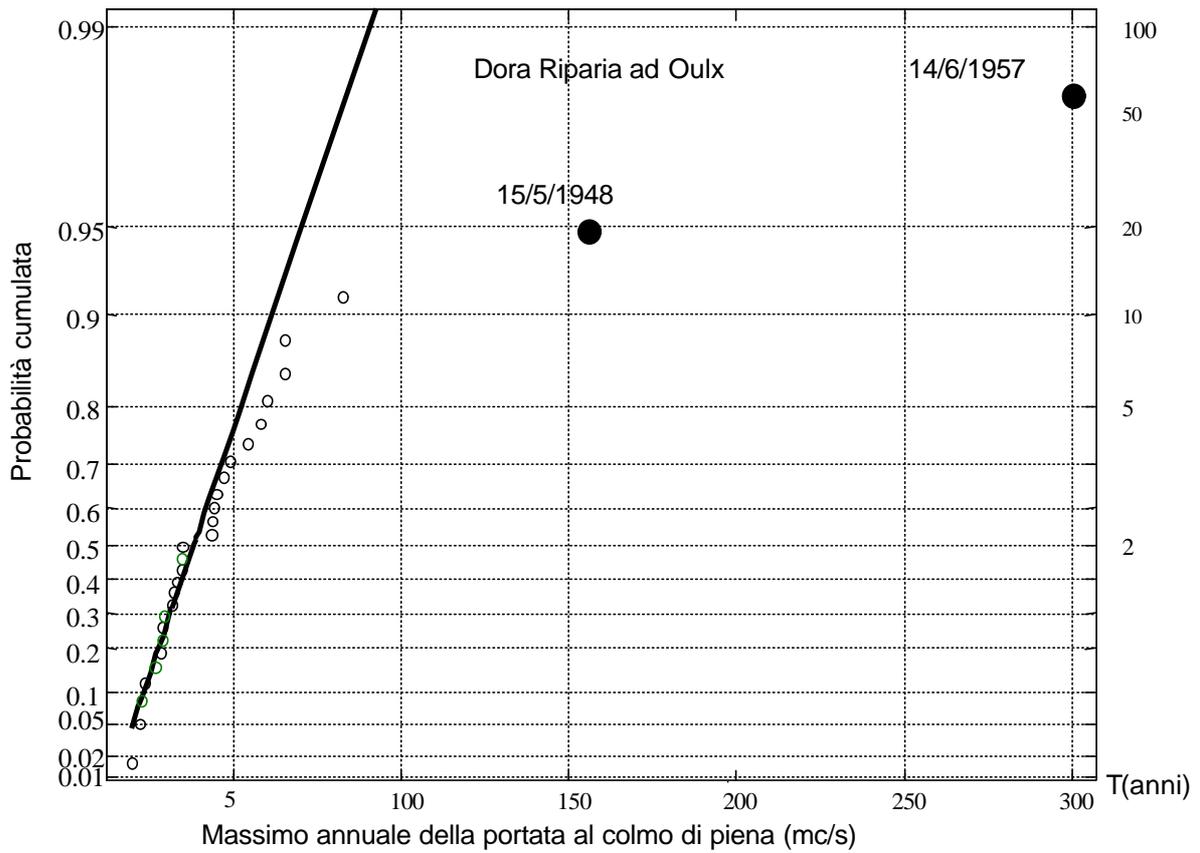
Esaminando le date in cui si sono verificati tali eventi straordinari, riportate nelle Figg. 2 e 3, è altrettanto evidente come per il Tanaro a Farigliano l'evento massimo si sia verificato in conseguenza di una prolungata ed intensa pioggia autunnale, come può essere riscontrato anche dall'analisi delle massime precipitazioni annue. Infatti, in corrispondenza dell'evento di piena del 5/6 Novembre 1994 si è registrato uno dei più intensi nubifragi nella regione. Per la Dora Riparia ad Oulx, invece, i due eventi evidenziati in Fig. 3 sono entrambi tardo-

primaverili, corrispondenti a precipitazioni di intensità medio-alta, ma in situazioni di zero termico a quote più elevate di quella media del periodo. In queste condizioni il bacino risulta in gran parte contribuente e si ha un apporto di volumi d'acqua causati anche dallo scioglimento nivale. Per esemplificare questo meccanismo, si può tenere presente che nell'anno 2000 le massime precipitazioni sul bacino si sono verificate in corrispondenza dell'evento del 14/16 Ottobre, che ha prodotto un'onda di piena il cui picco è stato stimato intorno ai 120 mc/s. Questa, tuttavia, non è stata la massima portata annuale al picco, che si è invece verificata nel Giugno dello stesso anno, con oltre 140 mc/s. E' da notare che il valore autunnale è risultato pur sempre elevato rispetto ai valori tipici del bacino in quella stagione, a causa di una concomitante elevata quota dello zero termico, non usuale in autunno, anche se non infrequente.



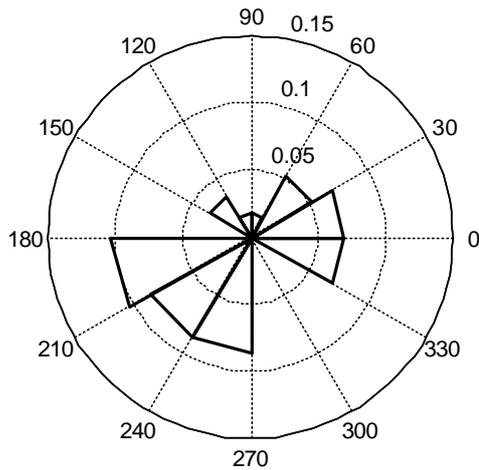
**Figura 2.** Tanaro a Farigliano: Distribuzione di probabilità cumulata del massimo annuale della portata al colmo di piena, osservata (cerchi) e teorica di Gumbel (linea).

Le considerazioni espresse riguardo agli specifici eventi di entità eccezionale, possono ribadirsi con maggiore generalità esaminando i diagrammi polari delle precipitazioni e delle portate per i due bacini. Nelle Figg. 4-7 sono infatti riportate le frequenze relative e le direzioni dominanti per i due bacini in questione, informazioni che specificano in modo evidente come per la Dora Riparia, la causa prima di piene è lo scioglimento nivale, mentre per il Tanaro il meccanismo di formazione delle piene è di tipo misto, potendosi però riscontrare una maggiore incidenza di precipitazioni autunnali, sia in frequenza che in intensità.



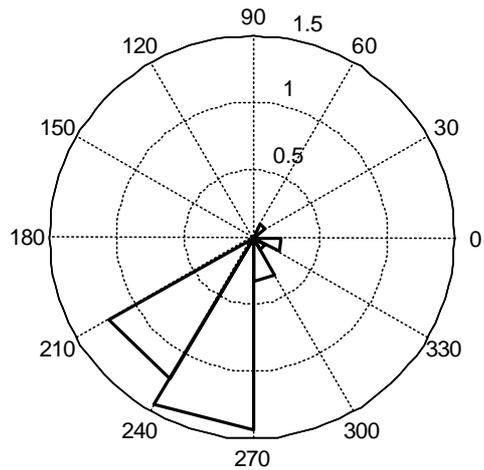
**Figura 3.** Dora Riparia ad Oulx: Distribuzione di probabilità cumulata del massimo annuale della portata al colmo di piena, osservata (cerchi) e teorica di Gumbel (linea).

Direzioni Regnanti per le precipitazioni (Dora R. ad Oulx)



(A)

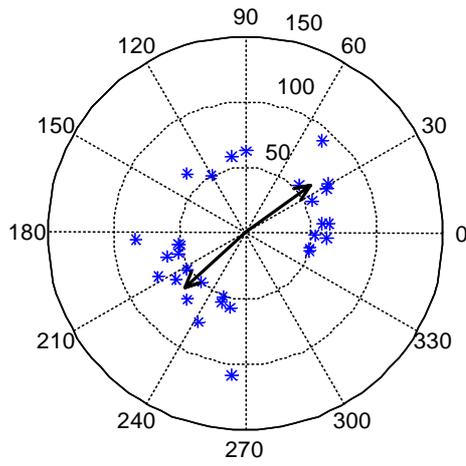
Direzioni Regnanti per le portate (Dora R. ad Oulx)



(B)

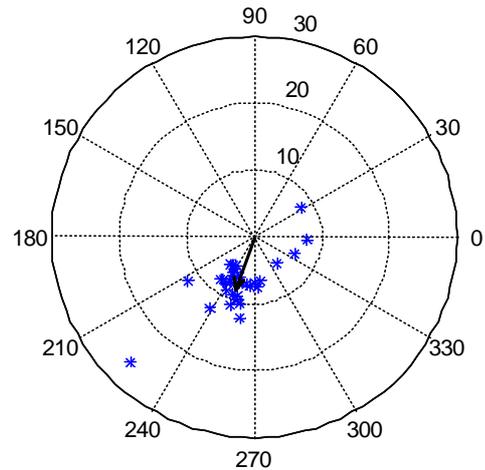
**Figura 4.** Dora Riparia ad Oulx: diagrammi polari delle frequenze relative, per classi, di stagionalità degli eventi di precipitazione (a) e di portata (b) superiori a due distinte soglie (v. fig. 5).

Direzioni dominanti per le precipitazioni (Dora R. ad Oulx)



(A)

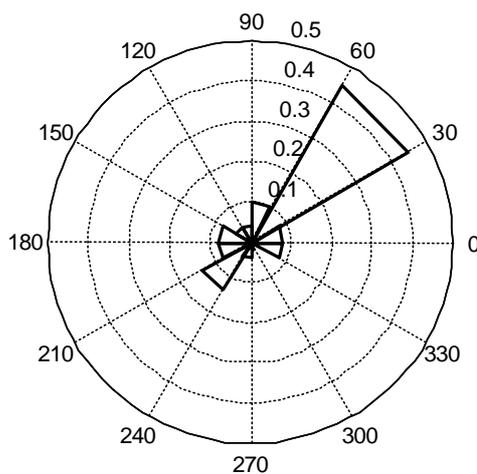
Direzioni dominanti per le portate (Dora R. ad Oulx)



(B)

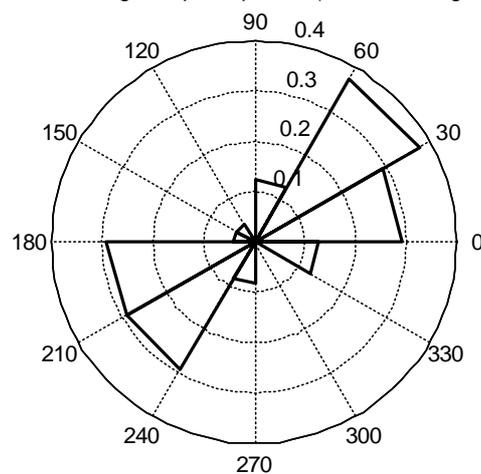
**Figura 5.** Dora Riparia ad Oulx: diagrammi polari riferiti a eventi di precipitazione (a) e di portata (b), espressi in *mm*, superiori a due distinte soglie (individuabili come raggi delle circonferenze interne ai dati diagrammati). Le frecce indicano le direzioni dominanti

Direzioni Regnanti per le precipitazioni (Tanaro a Farigliano)



(A)

Direzioni Regnanti per le portate (Tanaro a Farigliano)



(B)

**Figura 6.** Tanaro a Farigliano: diagrammi polari delle frequenze relative, per classi, di stagionalità degli eventi di precipitazione (a) e di portata (b) superiori a due distinte soglie (v. fig. 5).

In base alle osservazioni di cui sopra, nell'ambito di un'analisi regionale dei massimi annuali delle portate al colmo i due bacini non possono essere accorpati poiché, pur producendo serie storiche delle piene con statistiche molto simili, presentano meccanismi di generazione degli eventi estremi nettamente differenti, per cui non ci si può aspettare di inferire informazioni utili da un caso verso l'altro.



idrologica si identificano comportamenti diversi delle stazioni esaminate in funzione della concordanza o meno delle stagioni dominanti pluviometriche ed idrometriche.

Applicando tali metodologie ad un caso di studio rappresentato dai bacini idrografici della regione Piemonte, si rilevano differenti zone climaticamente omogenee al loro interno, a cui corrispondono sostanzialmente due diverse tipologie di produzione degli eventi di piena estremi. Le tipologie estreme corrispondono a quella di tipo Appenninico, nella quale la causa degli eventi idrometrici estremi sono le precipitazioni estreme autunnali, ed a quella di tipo Alpino, in cui gli eventi idrometrici estremi sono essenzialmente il prodotto della concomitanza di precipitazioni intense (non necessariamente eccezionali) e di temperature elevate in quota, che determinano precipitazione piovosa, anziché nevosa, e favoriscono lo scioglimento nivale.

Le elaborazioni qui presentate sono basate sull'analisi dei processi continui (filtrati da una soglia) di precipitazione e deflusso e sull'esame dell'intera distribuzione di frequenza delle occorrenze stagionali. Queste caratteristiche conferiscono maggiore generalità all'analisi stagionale rispetto a quanto si rileva dalle recenti applicazioni citate nel par. 2, e consentono una più completa disamina ed una più affidabile differenziazione dei processi di trasformazione delle precipitazioni in piene estreme.

Rispetto ai metodi qui utilizzati, ulteriori sviluppi possono condurre ad una più netta standardizzazione della procedura, con indici numerici che determinino chiaramente la presenza e la posizione di due componenti e che evidenzino numericamente lo sfasamento tra precipitazioni e portate estreme. Rimane altresì da investigare tutto il campo dell'interazione dei meccanismi in precedenza evidenziati con le caratteristiche della risposta dei bacini, che influenzano soprattutto la stima del valor medio della piena annua.

Va infine ribadito che l'analisi climatica di supporto alla regionalizzazione delle piene può ridursi all'esame delle stagionalità solo laddove i fattori tipicamente stagionali (ad es. la temperatura) riescono a determinare una differenziazione di comportamenti dei bacini (ad es. prevalente o trascurabile cambiamento di stato dell'acqua). In un'accezione più generale, tale analisi dovrebbe riferirsi all'azione dei fattori climatici sullo stato prevalente del bacino in corrispondenza dei più importanti eventi idrometrici, approfondendo lo studio della dinamica interannuale dell'umidità del suolo in zone poco innevate ed investigando i processi di interazione tra precipitazione e manto nevoso, con il tramite della temperatura, nei bacini alpini.

## Riferimenti Bibliografici

- Bayliss, A.C., Jones, R.C., (1993) "Peaks-over-threshold flood data-base: summary statistics and seasonality". *Institute of Hydrology*, Report no. **121**. Wallingford, UK.
- Brath A, Burn, D.H. e Castellarin, A.(2000). "Verifica della capacità descrittiva di indici di similitudine idrologica per l'analisi di frequenza delle piene", *Atti XVII Conv. di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, **vol II**, 161-170, Dip. Ing. Ambientale - Università di Genova.
- Burn, D.H. (1997). "Regionalization of catchments for regional flood frequency analysis". *J. Hydrol. Engrg. ASCE*, **2** (2), 76-82.
- Claps, P. e Villani P. (2000) Analysis of peaks over threshold within daily data for flood frequency curve assessment in: Claps P and F. Siccardi (eds.) *Mediterranean Storms* (Proc. of the EGS Plinius Conference, Maratea, Italy, October 1999), 277-286, BIOS (Cosenza).

- Darlymple, T. (1960) "Flood Frequency Methods", *Water Supply Paper No. 1543-A*, U.S. Geological Survey, Washington D.C.
- De Michele, C. e Rosso, R. (2001). 'A Multilevel Approach to Flood Frequency Regimes in North-Western Italy', In: R. Rosso (ed.) *Final Report of FRAMEWORK*, Milano, 2001.
- Fiorentino, M., Gabriele, S., Rossi, F. and Versace, P. (1987) Hierarchical approach for regional flood frequency analysis, in *Regional Flood Frequency Analysis*, (V.P. Singh ed), 35-49, D. Reidel, Dordrecht, Holland.
- Iacobellis, V., Claps, P., e Fiorentino, M. (1998) "Sulla dipendenza dal clima dei parametri della distribuzione di probabilità delle piene", *Atti XVI Conv. di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, vol II, 213-224, CUECM - Catania.
- Jakob, D., Reed, D.W., Robson, A.J. (1999). "Choosing a pooling group". *Flood Estimation Handbook*, vol. 3. Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
- Merz, R., Piock-Ellena, U., Bloschl, G., Gutknecht, D. (1999). "Seasonality of flood processes in Austria". In: "*Hydrological Extremes: Understanding, Predicting, Mitigating*". *Proceedings of the IUGG 99 Symposium*, Birmingham. IAHS Publ. No. 255, pp. 273-278.
- Piock-Ellena, U., Merz, R., Bloschl, G., Gutknecht, D. (1999). "On the regionalisation of flood frequencies - catchment similarity based on seasonality measures". *Proceedings of the XXVIII IAHR Congress, 22-27 August. Graz, Austria. Papers on CD-ROM: paper 434.htm*.
- Rossi, F., Fiorentino, M., Versace, P. (1984) Two-Component Extreme Value distribution for flood frequency analysis, in *Water Resour. Res.*, 20 (2), 847-856.
- Rossi, F., Fiorentino, M., Versace, P., (1986) Reply to the Comment on "Two-Component Extreme Value distribution for flood frequency analysis", *Water Resour. Res.*, 22 (2), 267-269.
- The MathWorks, Natick, MA (<http://www.mathworks.com>).

### ***Ringraziamenti***

Questo studio é stato realizzato con il contributo finanziario del CNR-GNDICI e della Regione Piemonte (nell'ambito di una convenzione con il CUGRI per la valutazione delle piene in Piemonte).