

## STIME REGIONALI DI IDROGRAMMI DI PIENA DA UNA NUOVA BANCA DATI NEL NORD OVEST ITALIANO

Giulia Evangelista <sup>1\*</sup>, Daniele Ganora <sup>1</sup>, Silvia Cordero <sup>2</sup> & Pierluigi Claps <sup>1</sup>

(1) Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, Politecnico di Torino

(2) Agenzia Interregionale Po, Ufficio periferico di Torino, Moncalieri (Torino)

\*email: giulia.evangelista@polito.it

### ASPETTI CHIAVE

- Costruzione di un nuovo data-set dei volumi transitati durante le piene in Piemonte e Valle d'Aosta.
- Regionalizzazione delle curve di riduzione dei colmi di piena.
- Analisi statistica di regressione multipla tra volumi e descrittori geomorfoclimatici di bacino.

### 1 PREMESSA

In analogia con gli studi di regionalizzazione dei colmi di piena, già ampiamente affrontati nella letteratura scientifica, il presente lavoro documenta un'attività finalizzata alla stima di volumi di piena di progetto in siti privi di osservazioni. Il tema risulta essere di interesse finì della gestione del rischio alluvionale, come dimostrato dai diversi approcci proposti in letteratura negli ultimi vent'anni (Yue *et al.*, 2002; Tomirotti & Mignosa, 2017; Brunner *et al.*, 2017).

I lavori citati sono per lo più indirizzati alla determinazione di un idrogramma di progetto; in questa memoria viene proposta una procedura di stima regionalizzata dei volumi (e poi degli idrogrammi) di piena mediante l'utilizzo della curva di riduzione dei colmi di piena (CRCP). La rappresentazione analitica di curva CRCP usata in questo lavoro è quella proposta in NERC (1975) e descritta da una curva a due parametri.

La base di partenza necessaria allo sviluppo di un lavoro del genere è rappresentata dalla realizzazione di una nuova e cospicua banca dati relativa ai volumi transitati durante le piene fluviali in numerose sezioni idrometriche storiche delle regioni Piemonte e Valle d'Aosta. In corrispondenza dei bacini sottesi da tali sezioni, come descritto nel seguito, si sono allo stesso tempo acquisite cospicue informazioni relative alle caratteristiche fisiche e climatiche, sulla base delle quali si sono potuti costruire metodi per il trasferimento dell'informazione idrologica.

### 2 COSTRUZIONE DEL DATA-SET

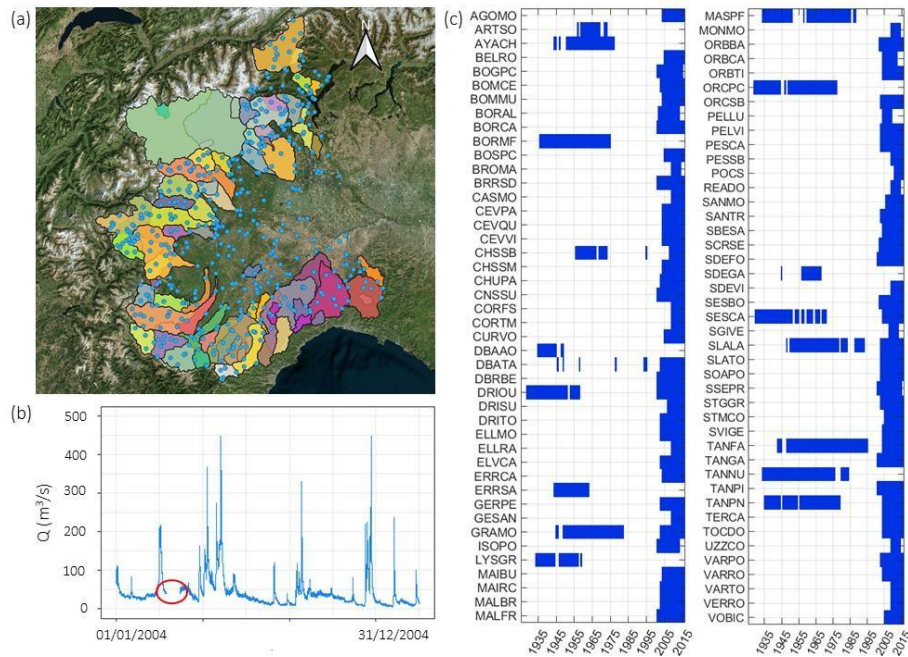
L'area oggetto di studio copre una superficie di circa 25.000 km<sup>2</sup> nel Nord-Ovest italiano. La base dati prodotta deriva dall'elaborazione dell'informazione idrometrica per 87 stazioni di misura delle portate gestite da Arpa Piemonte, per le quali fossero disponibili almeno 6 anni di serie di osservazioni nel periodo compreso tra il 1928 e il 2015. Diverse sono le fonti di provenienza dei dati:

- idrogrammi registrati a scansione di 10 e 30 minuti tra il 2000 e il 2015 e forniti da Arpa Piemonte;
- serie temporali di livelli idrometrici, a scansione di 5 e 15 minuti per gli anni dal 1928 al 1994, trasformate in idrogrammi nell'ambito del progetto GADI;
- dati raccolti da Rossi & Villani (1987) e forniti in forma di portata media transitata su intervalli di diversa durata, relativi agli anni 1928-1994.

Essendo i dati raccolti non necessariamente completi sui 12 mesi dell'anno, le onde di piena disponibili sono state convalidate quali 'piene massime annue' analizzando le precipitazioni registrate dai pluviometri interni agli 87 bacini considerati (Figure 1a e 1b). In questo modo è stato possibile decidere se mantenere valori come rappresentativi di alcuni anni incompleti, o eliminarli. In particolare, da un lato si sono direttamente eliminate le osservazioni in anni con percentuale di dati mancanti superiore al 30%, dall'altro si

è confrontato il fattore di crescita delle piogge nei giorni di assenza del dato idrometrico con quello corrispondente ai giorni in cui si fossero identificati i volumi massimi. In questo modo sono stati in alcuni casi identificati periodi dell'anno (privi di osservazioni idrometriche) in cui l'evento pluviometrico potrebbe aver causato portate (e volumi) superiori a quelli registrati per l'anno considerato. In questi casi si è escluso l'anno di osservazione dal database. La Figura 1c riporta, per ciascuna stazione, il numero di anni di osservazione disponibili a seguito dei controlli effettuati, per un totale di 763 anni-stazione.

Le serie idrometriche così validate sono state rielaborate in forma di *curve medie dei massimi volumi transitati in diverse durate*, note come *Curve di Riduzione dei Colmi di Piena* (nel seguito CRCP).



**Figura 1.** Il riquadro (a) riporta le stazioni pluviometriche della rete di monitoraggio della Regione Piemonte insieme agli 87 bacini oggetto di analisi. Nel riquadro (b) si riporta un esempio di idrogramma incompleto, relativo alla sezione del Cervo chiuso a Quinto Vercellese nell'anno 2004. Il riquadro (c) mostra la disponibilità di anni di osservazione per ciascuna stazione. Il significato dei codici di stazione è reperibile nell'Atlante dei Bacini Imbriferi Piemontesi (Gallo et al., 2013).

Data una serie annuale di portate a scansione sub-oraria, la procedura di derivazione delle CRCP prevede il calcolo della portata media su un intervallo di durata  $D$  facendo scorrere una finestra mobile di ampiezza  $D$  lungo tutta la serie annuale di dati e considerandone il massimo. Le coppie  $(D, Q_D)$  così ottenute definiscono la curva di riduzione dei colmi di piena per l'anno considerato. La curva viene adimensionalizzata, dividendo ciascuna  $Q_D$  per il valore di portata al colmo  $Q_P$  del medesimo anno. Tale rapporto è noto come rapporto  $\varepsilon_D$  di riduzione dei colmi con la durata  $D$ :

$$\varepsilon_D = \frac{Q_D}{Q_P} = \frac{1}{Q_P} \max \left( \frac{1}{D} \int_t^{t+D} Q(\tau) d\tau \right) \quad (1)$$

Considerando i dati degli 87 bacini considerati, le CRCP empiriche sono state calcolate per ogni anno e, successivamente, mediate (Figura 2a) al fine di ottenere una curva media rappresentativa per la stazione. Il volume  $V_D$  riferito alla durata  $D$  è quindi definito dalla relazione:

$$V_D = \varepsilon_D Q_P D \quad (2)$$

Tali informazioni, sotto forma di portate  $Q_D$  per le durate di 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 18, 24 e 48 ore consecutive, sono reperibili come tabelle all'interno di un Web-GIS, raggiungibile a partire dal sito [www.resba.it](http://www.resba.it). Qui sono contenuti anche i dati geomorfoclimatici relativi ai bacini sottesi dalle sezioni di misura di portata (circa 100 variabili per ogni bacino) estratti dall'Atlante dei Bacini Imbriferi Piemontesi, lavoro prodotto nell'ambito

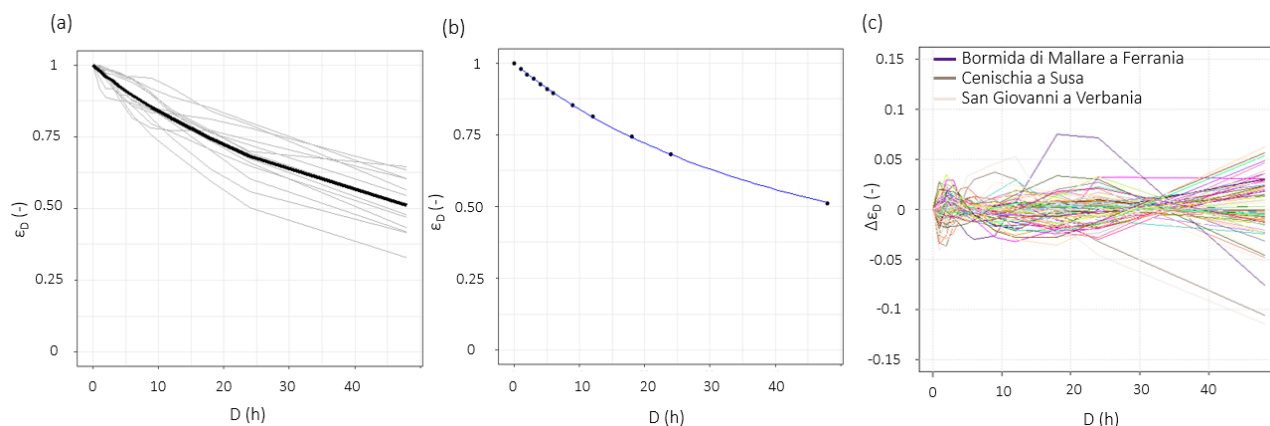
del progetto Interreg Renerfor (Gallo et al., 2013). Tra questi, i descrittori più promettenti sono stati definiti a valle di una procedura di *pruning*, che esclude quelli tra loro correlati e di più difficile determinazione.

### 3 REGIONALIZZAZIONE DELLE CURVE DI RIDUZIONE DEI COLMI DI PIENA

Per impostare il metodo di regionalizzazione è necessario identificare delle variabili da regionalizzare che possano consentire la ricostruzione della curva CRCP. In tal senso si è ricercata una formulazione analitica che ben descrivesse le CRCP medie empiriche. Tra le varie formulazioni disponibili in letteratura (NERC, 1975, Fiorentino et al., 1987; Bacchi et al., 1992), le cui caratteristiche sono state confrontate da Franchini & Galeati (2000), si è qui adottata la formulazione proposta dal NERC (1975), secondo cui la CRCP media può essere rappresentata da una curva a due parametri:

$$\varepsilon_D = \frac{Q_D}{Q_P} = (1 + bD)^{-c} \quad (3)$$

Il modello analitico NERC è stato quindi adattato alle curve medie empiriche, imponendo che entrambi i parametri  $b$  e  $c$ , fossero non negativi (v. Figura 2b). La Figura 2c consente di apprezzare la qualità dell'adattamento della curva NERC a due parametri alle CRCP empiriche. Tutti i bacini risultano essere ben rappresentati, con un coefficiente  $R^2_{adj}$  medio pari a 0.995 ed un errore  $\Delta\varepsilon_D$  globalmente compreso nel  $\pm 10\%$ .



**Figura 2.** (Riquadro a) CRCP annuali empiriche (curve grigie) e CRCP media (curva nera) per la sezione del Cervo a Quinto Vercellese. (Riquadro b) adattamento della curva NERC (blu), con parametri  $b=0.01715$  e  $c=1.1121$ , ai dati empirici per la medesima sezione. (Riquadro c) differenza tra le CRCP da stima locale e osservate, ovvero  $\Delta\varepsilon_D = (\varepsilon_{D,locale} - \varepsilon_{D,empirico})/\varepsilon_{D,empirico}$ . Valori elevati di  $\Delta\varepsilon_D$  si registrano per le sezioni del Bormida di Mallare a Ferrania (38 anni di osservazione), Cenischia a Susa (14 anni di osservazione) e San Giovanni a Verbania (6 anni di osservazione).

La procedura di regionalizzazione proposta in questo lavoro, così come la scelta della rappresentazione analitica della CRCP adottata, muove dall'interpretazione concettuale della curva NERC proposta da Silvagni (1984), secondo cui i parametri  $b$  e  $c$  nell'equazione (3) dipendono dal tempo di corruzione del bacino e dall'esponente  $n$  della curva di possibilità pluviometrica media areale del bacino, espressa in forma  $h_d = ad^n$ . Nel seguito non si farà in realtà riferimento al parametro  $b$ , ma piuttosto al suo reciproco, essendo quest'ultimo espresso in ore e quindi più rappresentativo di un tempo critico della risposta idrologica di bacino.

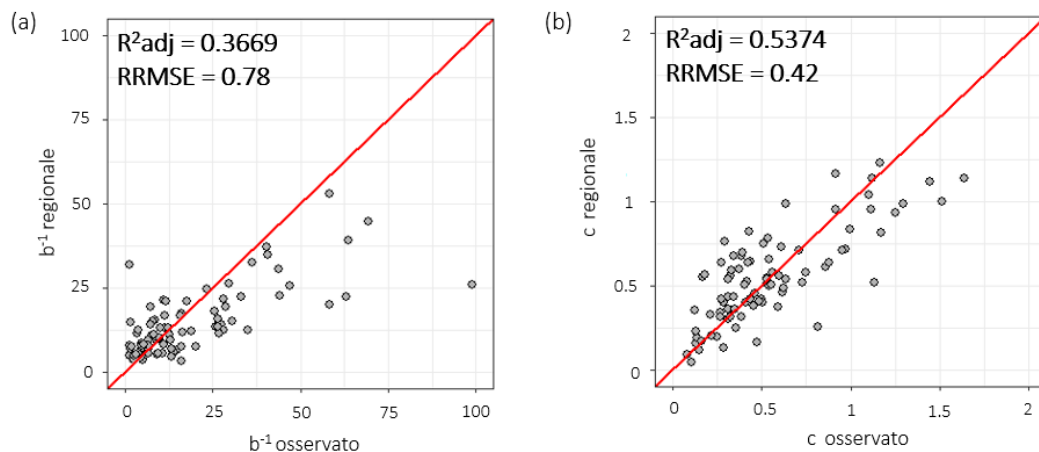
Per la regionalizzazione dei parametri  $1/b$  e  $c$  sono stati usati tre diversi metodi, descritti in Ganora et al. (2022), tutti basati su formulazioni che legano i parametri ai descrittori di bacino precedentemente citati. A differenti modelli corrispondono differenti sottoinsiemi di descrittori. I modelli più significativi sono stati poi validati mediante cross-validazione.

I risultati ottenuti mostrano come la regressione lineare multipla sia il modello preferibile, in quanto produce errori di poco maggiori a quelli ottenuti con altri modelli ma si caratterizza per una notevole facilità di utilizzo, anche in bacini per i quali i descrittori risultino al di fuori dell'intervallo di definizione del campione di partenza. Il modello operativo proposto risulta pertanto essere riassunto nelle relazioni (4) e (5):

$$\ln\left(\frac{1}{b}\right) = 3.7285 - 2.0775 \cdot \ln(ku_{fa}) + 0.5006 \cdot \ln(LDP) - 0.7715 \cdot \ln(LDP_s) \quad (4)$$

$$c = 4.8403 - 0.58869 \cdot \ln(H_{media}) + 0.13813 \cdot \ln(LDP) + 0.80202 \cdot \ln(n) \quad (5)$$

dove  $ku_{fa}$  è il coefficiente di kurtosi della funzione di ampiezza di bacino,  $LDP$  è la lunghezza del percorso di drenaggio più lungo,  $LDP_s$  è la pendenza media del LDP,  $H_{media}$  è la quota media del bacino e  $n$  è l'esponente della curva di possibilità pluviometrica. Per maggiori dettagli sul significato di ciascun termine si rimanda al lavoro di Gallo et al. (2013). Una rappresentazione grafica dell'efficacia del modello è riportata in Figura 3, insieme agli indicatori  $R^2_{adj}$  e RRMSE ottenuti in seguito alla procedura di cross-validazione.



**Figura 3.** Performance del modello per la stima regionale dei parametri  $b^{-1}$  (riquadro a) e  $c$  (riquadro b) della CRCP con regressione multipla lineare.

Come descritto in Ganora et al. (2022), il modello produce scostamenti sufficientemente indistorti sull'insieme delle durate delle curve CRCP medie e si mostra abbastanza efficace anche della determinazione della forma media degli idrogrammi osservati nelle diverse stazioni. A tal proposito, si fa riferimento alla procedura proposta in Laio et al. (2011) per la stima del colmo di piena. La posizione del picco può invece essere stimata in accordo con quanto mostrato in Ganora et al. (2022) dove, per tutte le stazioni indagate, viene calcolato il coefficiente di asimmetria del picco. Dal momento che esso assume valori pressoché costanti nell'area di studio si suggerisce, ai fini di un'applicazione regionale, l'utilizzo del valore empirico ricavato dalla sezione di misura più prossima.

Il modello proposto rappresenta quindi un utile strumento per la stima degli idrogrammi di piena in stazioni non strumentate del Nord Ovest italiano e utile a proseguire indagini regionali a scale più vaste.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Bacchi, B., Brath, A., & Kottegoda, N.T. Analysis of the Relationships Between Flood Peaks and Flood Volumes Based on Crossing Properties of River Flow Processes. *Water Resources Research*, 28(10), 1992, 2773–2782.
- Brunner, M.I., Viviroli, D., Sikorska, A.E., Vannier, O., Favre, A.-C., & Seibert, J. Flood type specific construction of synthetic design hydrographs. *Water Resources Research* 53(2), 2017, 1390–1406.
- Fiorentino, M., Rossi, F., & Villani, P. Effect of the basin geomorphoclimatic characteristics on the mean annual flood reduction curve, in: *Proceedings of the 18th Annual Pittsburgh IASTED International Conference*. p. Vol.18, part 5, 1987, pp.1777–1784.
- Franchini, M., & Galeati, G. Comparative analysis of some methods for deriving the expected flood reduction curve in the frequency domain. *Hydrology and Earth System Sciences* 4(1), 2000, 155–172.
- Gallo, E., Ganora, D., Laio, F., Masoero, A., & Claps, P. Atlante dei bacini imbriferi piemontesi. Progetto Renerfor-Alcotra, Regione Piemonte, 425 pp., 2013. [[http://www.idrologia.polito.it/web2/open-data/Renerfor/atlante\\_bacini\\_piemontesi\\_LR.pdf](http://www.idrologia.polito.it/web2/open-data/Renerfor/atlante_bacini_piemontesi_LR.pdf)].
- Ganora, D., Evangelista, G., Cordero, S., & Claps, P. Design flood hydrographs: a regional analysis based on flood reduction functions. In revisione. Preprint accessibile in ESSOAr [<https://www.essoar.org/doi/abs/10.1002/essoar.10510228.1>].
- Laio, F., Ganora, D., Claps, P., Galeati, G. Spatially smooth regional estimation of the flood frequency curve (with uncertainty). *Journal of Hydrology* 408, 2011, 67–77.
- Natural Environmental Research Council. Estimation of flood volumes over different duration. *Flood Studies Report* 1, 352–373, 1975.
- Rossi, F. & Villani, P. La valutazione della piena media annua istantanea e di assegnata durata attraverso le caratteristiche geomorfoclimatiche del bacino, *Rapporto annuale Linea 1. GNDICI-CNR*, 1987.
- Silvagni, G. Valutazione dei massimi deflussi di piena. *Pubb. n. 489, Pubb. Ist. Idraulica, Univ. di Napoli*, 1984.
- Tomirotti, M., & Mignosa, P. A methodology to derive Synthetic Design Hydrographs for river flood management. *Journal of Hydrology* 555, 2017, 736–743.
- Yue, S., Ouarda, T.B.M.J., Bobée, B., Legendre, P., & Bruneau, P. Approach for Describing Statistical Properties of Flood Hydrograph. *Journal of Hydrologic Engineering* 7(2), 2002, 147–153.