POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Sintesi di modelli regionali di frequenza delle piene nel Distretto del Fiume Po

Original
Sintesi di modelli regionali di frequenza delle piene nel Distretto del Fiume Po / Viglione, A., Cafiero, L., Castellarin, A., Claps, P., Colombo, A., De Michele, C., Ganora, D., Laio, F., Martinengo, M., Mazzoglio, P., Spadoni, A., Valtancoli, E.. - ELETTRONICO. - (2024), pp. 161-164. (XXXIX Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche - IDRA2024 Parma (IT) 15-18 September 2024) [10.5281/zenodo.13584918].

Availability:
This version is available at: 11583/2992947 since: 2024-09-30T17:52:37Z

Publisher:
Università degli Studi di Parma - Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Published
DOI:10.5281/zenodo.13584918

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

16 November 2026

SINTESI DI MODELLI REGIONALI DI FREQUENZA DELLE PIENE NEL DISTRETTO DEL FIUME PO

Alberto Viglione [1], Luigi Cafiero [1], Attilio Castellarin [2], Pierluigi Claps [1], Andrea Colombo [3], Carlo De Michele [4], Daniele Ganora [1], Francesco Laio [1], Marta Martinengo [3], Paola Mazzoglio [1], Alan Spadoni [2] & Elena Valtancoli [2]

(1) Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, Politecnico di Torino, Torino; (2) Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, Bologna; (3) Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po, Parma; (4) Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Politecnico di Milano, Milano.

ASPETTI CHIAVE

- *Tre metodi sono applicati allo stesso set di dati di portate massime annue al colmo e di diverse caratteristiche climatiche e fisiografiche di 226 bacini idrografici nel Distretto del fiume Po*
- *I risultati dei tre metodi vengono combinati tenendo conto delle rispettive incertezze di stima*
- *I tre distinti modelli regionali ed il modello combinato sono caratterizzati da distorsioni molto modeste*

1 INTRODUZIONE

I metodi regionali di analisi della frequenza delle piene utilizzano le informazioni idrologiche provenienti da più siti per stimare in modo affidabile e robusto i quantili delle portate di piena in siti scarsamente o affatto strumentati (v. ad es. *Hosking & Wallis*, 1997; *Blöschl et al.*, 2013). Diversi modelli regionali sono stati sviluppati e testati in passato da diversi gruppi di ricerca e sono ora operativi in diverse aree del bacino del fiume Po. In questo lavoro, tre metodi sono applicati allo stesso set di dati di portate massime annue al colmo e di diverse caratteristiche climatiche e fisiografiche dei bacini idrografici nel distretto. I risultati dei tre metodi vengono combinati, tenendo conto delle rispettive incertezze di stima, per fornire stime di piena di progetto aggiornate.

2 DATI

Il dataset delle serie di portate al colmo di piena sul Distretto del Po predisposto per l'applicazione delle tecniche di regionalizzazione è il risultato di revisioni critiche a scala d'asta fluviale condotte in collaborazione all'Autorità di Bacino del Fiume Po e alle ARPA regionali. Il dataset comprende 226 bacini idrografici, la cui collocazione geografica e consistenza campionaria è riportata in Figura 1.

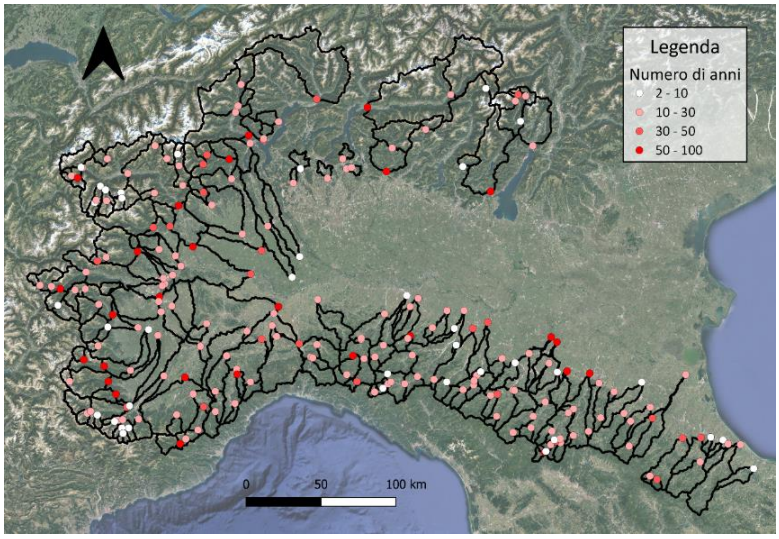


Figura 1. Stazioni idrometriche utilizzate nell'analisi regionale delle portate di piena e corrispondenti contorni di bacino. Il colore dei cerchi è indicativo della numerosità campionaria.

Nel dataset non sono state considerate le sezioni idrometriche poste a valle di grandi volumi di invaso, o sottendenti aree contribuenti aventi estensione superiore a 15000 km^2 il cui comportamento in caso di piena non è puramente "idrologico", nel senso che aspetti prettamente idraulici quali la regolazione degli efflussi da laghi naturali o artificiali e la laminazione causata da esondazioni in aree pianeggianti diventano determinanti. In secondo luogo, alcune ulteriori serie temporali, o singole osservazioni, dei massimi annuali di portata al colmo di piena sono state scartate a valle di una attenta analisi critica del dataset sviluppata in stretta collaborazione con l'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po e con le ARPA regionali, anche a valle delle risultanze ottenute in base ad una prima applicazione dei modelli regionali proposti.

3 TRE METODI REGIONALI DI STIMA DELLE PORTATE DI PIENA DI PROGETTO

Il Politecnico di Milano ha aggiornato le stime di portata per il bacino padano utilizzando il Metodo VAPI Nord-occidentale (*De Michele & Rosso*, 2001). Questo metodo si basa sulla portata indice e fornisce la portata al colmo (Q_T) come prodotto di due fattori: il fattore di crescita (K_T) valutato a livello regionale e la portata indice (Q_{ind}) caratteristica locale. Il K_T è modellato attraverso una distribuzione GEV a parametri costanti su regioni omogenee fisse. I parametri regionali sono stati ricavati utilizzando il metodo degli L-momenti (*Hosking & Wallis*, 1997). L'incertezza nelle stime dei quantili di portata è rappresentata tramite intervalli di confidenza. La varianza della stima del quantile di portata è determinata assumendo indipendenti Q_{ind} e K_T. La varianza di K_T è valutata utilizzando la formula proposta da *De Michele & Rosso* (2001, 2002) e l'incertezza è rappresentata da una distribuzione normale per ogni quantile di interesse.

L'Università di Bologna ha utilizzato un modello regionale basato sul metodo della piena indice, usando l'approccio della Regione di Influenza (RoI, si veda ad esempio *Castellarin et al.*, 2001) per raggruppare bacini idrologicamente simili. Questo metodo consente di stimare il fattore di crescita (K_T) nel sito di interesse trasferendo l'informazione da bacini strumentati. La piena indice (Q_{ind}) è definita come il valore medio delle portate massime annuali e può essere stimata con dati osservati per almeno 5 ÷ 10 anni. Il metodo RoI identifica i bacini affini in base a caratteristiche geomorfologiche e climatiche tramite una distanza idrologica pesata. La scelta della distribuzione teorica si basa sugli L-momenti adimensionali. L'incertezza nella stima della portata al colmo è quantificata attraverso tecniche di ricampionamento Monte Carlo. I risultati sono rappresentati attraverso una distribuzione Log-Normale a 3 parametri (v. ad es. *Grimaldi et al.*, 2011).

Il metodo SSEM (Spatially Smooth Estimation Method) sviluppato al Politecnico di Torino (*Laio et al.*, 2011) permette di trasferire l'informazione da siti strumentati a non strumentati compensando la mancanza di dati temporali. La procedura si basa su modelli di regressione per stimare la portata al colmo di piena (Q_{ind}), e gli indicatori di variabilità e asimmetria (LCV e LCA). Questi modelli considerano parametri morfometrici, climatici e di uso del suolo. Sono stati identificati 3 modelli validi per la regione del Distretto del fiume Po, considerando criteri di accuratezza e validità delle ipotesi. Il metodo tiene conto dell'incertezza delle stime locali, che può essere alta per LCV e LCA, il che determina una variabilità spaziale ridotta della loro stima regionale. Dalle stime si possono ottenere i parametri della distribuzione Log-Normale a tre parametri per calcolare la portata di progetto e il fattore di crescita (*Laio et al.*, 2011). La metodologia consente di stimare i quantili associati a periodi di ritorno specifici e l'incertezza ad essi associata (anch'essa considerata Log-Normale), sia per sezioni strumentate che non strumentate. L'integrazione dei dati locali può rendere la stima più robusta. La distribuzione tra stime puramente locali, puramente regionali e miste varia nei siti, con la stima mista dominante in molti casi.

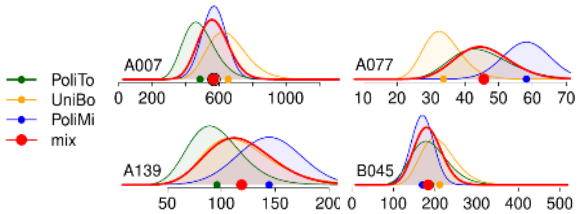


Figura 2. Combinazione del risultato dei tre modelli per la stima del quantile associato al tempo di ritorno di 200 anni. I punti sull'asse delle ascisse corrispondono alla stima media. I siti sono: Agogna a Novara (A007), Lys a d'Ejola (A077), Savara a Fenille (A139) e Tassobbio a Compiano (B045).

4 COMBINAZIONE DELLE TRE STIME REGIONALI

Dato che i processi idrologici sono intrinsecamente complessi e soggetti a notevoli variazioni, risulta arduo ottenere risultati precisi e affidabili in tutte le circostanze mediante l'utilizzo di un unico approccio metodologico. Per superare questa difficoltà, l'approccio della combinazione dei modelli si è affermato come una prospettiva promettente per ottenere risultati più solidi e coerenti (*Okoli et al.*, 2018). Tale tecnica prevede l'aggregazione dei risultati provenienti da diversi modelli statistici, tenendo debitamente conto delle rispettive incertezze associate. Visto che ciascuno dei tre metodi impiegati per la stima della frequenza delle piene nel territorio del Distretto del Bacino del Po fornisce stime dell'incertezza relative ai quantili di progetto per diversi tempi di ritorno, tali risultati vengono combinati nel seguente modo. Le portate per assegnati tempi di ritorno, ottenute dalle 3 università vengono combinate tramite il raggruppamento geometrico (logaritmico) delle funzioni densità di probabilità associate a ogni quantile (*Genest & Zidek*, 1986). In altre parole, la densità di probabilità della combinazione *f(x)* è ottenuta come:

$$f(x) = \frac{p_1(x)^{w_1} \cdot p_2(x)^{w_2} \cdot p_3(x)^{w_3}}{\int p_1(x)^{w_1} \cdot p_2(x)^{w_2} \cdot p_3(x)^{w_3} dx}$$

dove p_1 sono le densità di probabilità normali ottenute per ogni quantile dal Politecnico di Milano, e p_2 e p_3 sono le due densità di probabilità Log-Normali a 3 parametri dei quantili stimati con i metodi dell'Università di Bologna e del Politecnico di Torino. I pesi w_i sono assunti uguali a 1/3, il che equivale a non dare una preferenza a una metodologia rispetto alle altre. La distribuzione *f(x)* non è esprimibile in forma analitica ma si è riscontrato il fatto che può essere adeguatamente approssimata da una distribuzione Log-Normale a 3 parametri. Figura 2 mostra alcuni esempi di combinazione del risultato dei tre modelli per la stima del quantile associato al tempo di ritorno di 200 anni.

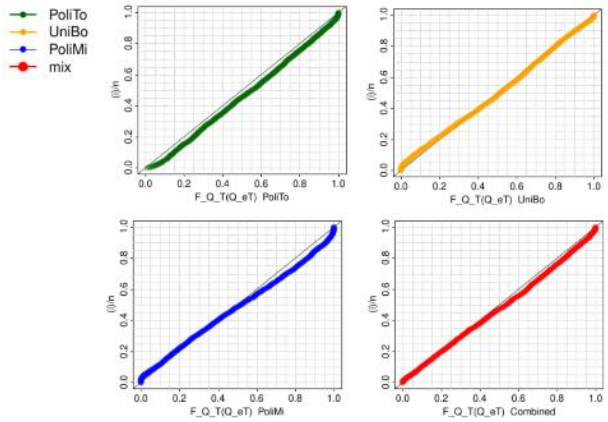


Figura 3. Grafici unitari di probabilità per tutti i picchi di piena, di tutti i siti strumentati, con tempo di ritorno superiore a 2 anni (i.e., 50% dei dati). Si veda *Laio & Tamea* (2007, Fig. 2) per l'interpretazione dei grafici.

L'attendibilità delle distribuzioni stimate viene valutata tramite grafici unitari di probabilità, dove i valori ideali si dispongono sulla diagonale (*Laio & Tamea*, 2007). L'analisi dei grafici (Figura 3) mostra che i tre distinti modelli regionali presentano distorsioni molto modeste, e tale distorsione rimane modesta anche nel modello complessivo. Si è comunque ritenuto preferibile l'utilizzo della combinazione dei risultati dei tre metodi piuttosto che la selezione di uno dei tre, data la maggiore robustezza generalmente associata alla combinazione di più metodi (v. p.es. *Okoli et al.*, 2018).

5 CONCLUSIONI

In conclusione, i tre distinti modelli regionali sono caratterizzati da distorsioni molto modeste, come pure risulta necessariamente molto modesta anche la distorsione del modello complessivo. Lo studio dimostra che, quando l'incertezza di ciascun approccio di regionalizzazione è correttamente considerata, l'adozione di una pluralità di approcci regionali si traduce in previsioni affidabili. Anche nel contesto dell'idrologia

ingegneristica pratica è quindi fondamentale stimare l'incertezza dei modelli, senza la quale non sarebbe possibile una combinazione affidabile degli stessi.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Blöschl, G., Sivapalan, M., Wagener, T., Viglione, A. & Savenije H. Synthesis across Processes, Places and Scales. 2013, 490 pp., Cambridge University Press, ISBN: 978-1107028180.

Castellarin, A., Burn D.H. & Brath, A. Assessing the effectiveness of hydrological similarity measures for flood frequency analysis, Journal of Hydrology, 2001, 241(3-4), pp. 270-285, doi:10.1016/S0022-1694(00)00383-8.

De Michele, C. & Rosso, R. Rapporto sulla valutazione delle piene nell'Italia Nord-occidentale, in: Progetto Vapi, Valutazione delle Piene in Italia, 2001, Pubbl. CNR- GNDCI, Roma.

De Michele, C. & Rosso, R. A multi-level approach to flood frequency regionalization, Hydrology and Earth System Sciences, 2002, 6(2), 185-194, doi.org/10.5194/hess-6-185-2002.

Genest, C. & Zidek, J. V. Combining Probability Distributions: A Critique and an Annotated Bibliography. Statistical Science, 1986, 1(1), 114-135. http://www.jstor.org/stable/2245510.

Grimaldi, S., Kao, S.-C., Castellarin, A., Papalexiou, S.-M., Viglione, A., Laio, F., Aksoy, H. & Gedikli A. Statistical Hydrology. In: Peter Wilderer (ed.) Treatise on Water Science, 2011, Vol. 2, pp. 479-517 Oxford: Academic Press, doi:10.1016/B978-0-444-53199-5.00046-4

Hosking, J.R.M. & Wallis, J.R. Regional frequency analysis – An Approach Based on L-Moments, 1997, 242 pp., Cambridge University Press.

Laio, F., Ganora, D., Claps, P. & Galeati G. Spatially smooth regional estimation of the flood frequency curve (with uncertainty), Journal of Hydrology, 2011, 408, 67-77, doi:10.1016/j.jhydrol.2011.07.022.

Laio, F. & Tamea, S. Verification tools for probabilistic forecasts of continuous hydrological variables, Hydrol. Earth Syst. Sci., 2007, 11, 1267-1277, doi:10.5194/hess-11-1267-2007.

Okoli, K., Breinl, K., Brandimarte, L., Botto, A., Volpi, E. & Di Baldassarre, G. Model averaging versus model selection: estimating design floods with uncertain river flow data, Hydrological Sciences Journal, 2018, 63:13-14,1913-1926, doi: 10.1080/02626667.2018.1546389.