

# VALIDAZIONE DI UNA METODOLOGIA BASATA SU BIAS-CORRECTION DI SCENARI CLIMATICI A SCALA ORARIA E TRASFORMAZIONE AFFLUSSI—DEFLUSSI PER LA SIMULAZIONE DI EVENTI DI PIENA PASSATI E FUTURI

Elena Toth <sup>1\*</sup>, Mattia Neri <sup>1</sup>, Alfredo Reder <sup>2</sup> & Guido Rianna <sup>2</sup>

(1) Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali, Università di Bologna

(2) Regional Model and geo-Hydrological Impacts (REMHI) Division, Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, Caserta

\*email: elena.toth@unibo.it

## ASPETTI CHIAVE

- Bias-correction di proiezioni climatiche EURO-CORDEX a scala oraria.
- Propagazione di scenari climatici orari tramite modellazione afflussi-deflussi.
- Simulazione degli eventi di piena: validazione sul periodo storico e proiezioni future.

## 1 OBIETTIVI DELLO STUDIO

I metodi per la previsione dell'evoluzione dell'intensità e della frequenza degli eventi di piena sui decenni futuri rappresentano un tema di ricerca di grande rilievo e molto dibattuto, e la loro valutazione è estremamente ardua, anche a causa della frequente carenza di lunghe serie di osservazioni, necessarie per meglio comprendere i regimi di lungo periodo delle variabili meteorologiche e idrometriche di interesse (e.g. Ranzi et al., 2018, 2021).

Nonostante i recenti sviluppi nel downscaling dinamico, ottenuto innestando i RCM (Regional Climate Models) nei GCM (Global Climate Models), permettano prestazioni in costante miglioramento, i limiti nella riproduzione dell'orografia e dei processi sub-grid, che richiederebbero una parametrizzazione fisica, inducono spesso ad una rappresentazione limitata dei fenomeni atmosferici. Un primo limite di tali catene modellistiche climatiche è quello della bassa risoluzione spaziale, che sui bacini di dimensione limitata ha un forte impatto sulla rappresentazione dei fenomeni idrologici, e che potrebbe risolversi con utilizzo di metodi di downscaling statistico (e.g. Mamalakis et al., 2017; Perra et al., 2020). Ma anche ove la dimensione del bacino attenui l'impatto della ridotta risoluzione spaziale, le catene modellistiche climatiche sono spesso affette da errori consistenti, in particolar modo nella riproduzione della precipitazione, e tale criticità è di particolare importanza nel caso di simulazioni a scala oraria (e.g. Berg et al., 2019), indispensabili per la modellazione dei fenomeni di piena sulla maggior parte dei bacini italiani.

Al fine di ridurre il bias delle simulazioni climatiche “grezze”, la comunità scientifica si è concentrata soprattutto sullo sviluppo di tecniche statistiche, definite di “bias-correction”, focalizzandosi prevalentemente sulle simulazioni climatiche giornaliere, maggiormente diffuse e per le quali sono generalmente disponibili più osservazioni per la calibrazione. D'altro canto, negli ultimi anni, è stato reso disponibile un numero sempre maggiore di simulazioni GCM-RCM anche a scala sub-giornaliera o addirittura oraria (Faghih et al. 2021).

Quando si considerano dinamiche con modesta dipendenza dalle condizioni idrologiche precedenti l'evento, come per esempio le piene pluviali in ambito urbano, la bias correction può essere applicata direttamente alle curve di possibilità pluviometrica (o intensità-durata-frequenza) oppure su soglie prefissate (e.g. Padulano et al., 2019). Per valutare, invece, variazioni del regime delle piene fluviali, dove è fondamentale tenere in considerazione anche le condizioni antecedenti sul bacino, risulta fondamentale la simulazione in continuo dell'input climatico. Ad oggi, gli studi applicativi sugli approcci di correzione del bias sulle intere serie delle variabili atmosferiche a scala sub-giornaliera sono estremamente limitati in letteratura (Faghih et al. 2021), sia perché la disponibilità di simulazioni climatiche a tale scala è recente, sia per la frequente carenza di lunghe serie di misure subgiornaliere, che permettano di valutare efficacemente la variabilità storica inter-annuale sui periodi di controllo, di estensione tipicamente trentennale.

Lo scopo del presente studio è proporre e testare l'efficacia di una metodologia mirata alla simulazione di eventi di piena futuri, che combina i) una procedura di bias-correction di scenari climatici regionali (GCM-RCM) a scala oraria e ii) la simulazione afflussi-deflussi in continuo. Il caso studio per la validazione del metodo è la porzione montana del bacino del fiume Panaro (uno degli OpenAir Laboratories del progetto europeo H2020 OPERANDUM).

La procedura include una preliminare raccolta, validazione e spazializzazione di dati meteorologici storici (inclusi quelli di banche dati a scala europea), utili sia per la calibrazione dei modelli afflussi-deflussi sia come riferimento per la bias-correction degli scenari climatici. La seconda fase prevede la bias-correction di catene modellistiche orarie, scelte fra quelle disponibili nell'ensemble EURO-CORDEX. Infine, due modelli afflussi-deflussi sono applicati per la simulazione della portata alla sezione di Spilamberto, fornendo come input in alternativa i) forzanti derivate da dati storici, ii) scenari climatici, corretti e non, sul periodo di controllo e iii) scenari climatici corretti sui decenni futuri.

La procedura proposta permette di valutare l'efficacia della procedura di bias-correction per la simulazione della portata sul periodo di controllo (con particolare attenzione alla riproduzione di frequenza e magnitudo delle piene) e poi di analizzare le caratteristiche degli eventi di piena dalle simulazioni future, per valutare eventuali cambiamenti di tendenza dei regimi attesi.

## 2 RACCOLTA E SELEZIONE DEI DATI STORICI DI RIFERIMENTO

Come anticipato, la prima fase della procedura prevede la raccolta e la validazione di dati meteorologici storici sull'area di studio: in particolare, data la natura dello studio, ci si concentra sulla disponibilità di dati di precipitazione e temperatura a scala oraria.

Per quanto riguarda i sensori al suolo, la cui gestione è affidata al Servizio Idro-Meteo-Clima dell'Agenzia Regionale per l'Ambiente e l'Energia dell'Emilia-Romagna (SIMC-ARPAE), la rete di pluviometri sull'area di studio è piuttosto densa e sono disponibili dati orari da un totale di 62 sensori, sebbene non tutti in funzione contemporaneamente: le misure disponibili consentono di stimare in maniera ritenuta affidabile i campi di precipitazione a scala oraria sul bacino dal 1995 ad oggi. Al contrario le misure di temperatura al suolo sono meno numerose (23 termometri in totale) e consentono stime spaziali affidabili soltanto dall'anno 2003.

Sebbene il periodo di disponibilità di dati al suolo sia sufficiente per la calibrazione di modelli afflussi deflussi, esso copre solamente una porzione del cosiddetto "periodo di controllo" (1981-2010) usato generalmente nelle procedure di bias-correction. Perciò, con lo scopo di estendere il periodo storico di osservazione, vengono presi in considerazione anche data set meteorologici a scala Europea, testando la capacità di riprodurre il clima passato sul caso studio. In particolare, nell'elaborazione del presente lavoro, sono stati ottenuti risultati soddisfacenti dalla validazione del data set *E-OBS* (Haylock et al., 2008), che è basato su osservazioni al suolo della rete del progetto European Climate Assessment & Dataset (ECA&D), a risoluzione orizzontale di  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  e a partire dal 1980, anche se relativo alla sola scala giornaliera. Il confronto rispetto ai dati al suolo (non mostrato qui per ragioni di brevità) ha mostrato una buona corrispondenza sia per quanto riguarda le piogge che le temperature giornaliere. In base a tali risultati, per le stime dei campi di precipitazione si è scelto di utilizzare i dati dei pluviometri al suolo (unici disponibili a scala oraria, anche se solo per 16 anni del periodo di controllo). Per le temperature, data la minore variabilità infra-giornaliera e la minore disponibilità di dati orari al suolo, si è optato per l'utilizzo delle massime e minime temperature giornaliere del set E-OBS; la modellazione afflussi deflussi l'interpolazione oraria viene successivamente eseguita seguendo il metodo proposto da Linvill (1990).

## 3 PROCEDURA DI BIAS-CORRECTION DEGLI SCENARI CLIMATICI A SCALA ORARIA

Si sono considerate sei catene modellistiche orarie dell'ensemble EURO-CORDEX caratterizzate dallo stesso RCM (Regional Climate Model), in particolare SMHI-RCA4, e con la stessa parametrizzazione (*r1i1p1*) ma innestato in sei differenti GCM (Global Climate Model). La scelta di più modelli GCM ha lo scopo di identificare diversi possibili climi per i decenni futuri e valutarne la variabilità. Come scenario di emissioni future, si considera esclusivamente il Representative Concentration Pathway (RCP) 8.5, che è quello più

pessimista.

Per la bias-correction si propone di utilizzare la procedura chiamata “scaled distribution mapping” (SDM, Switanek et al., 2017), che ha la capacità di non distorcere le variazioni future (rispetto alla simulazione su clima presente) previste dalla simulazione originale, evitando assunzioni di stazionarietà nelle correzioni.

Nel caso della pioggia, la procedura di correzione è applicata direttamente a scala oraria e si assume una distribuzione lognormale delle osservazioni, mentre per la temperatura la procedura viene applicata ai valori massimi e minimi giornalieri (da cui poi si interpolano le serie orarie).

La Figura 1 mostra i risultati ottenuti dalla procedura di bias-correction della precipitazione oraria per le sei catene climatiche. Si noti come la procedura SDM sia in grado di riallineare la stagionalità della precipitazione mensile della simulazione bias-corretta (BC) ai valori osservati (Fig. 1a). La procedura, applicata ai decenni futuri, permette di preservare le variazioni future attese per la portata media sui prossimi decenni (Fig. 1b), che rimangono pressoché invariate fra simulazione raw e bias-corretta, e indica una progressiva tendenza alla diminuzione delle precipitazioni attese per la stagione primaverile-estiva.

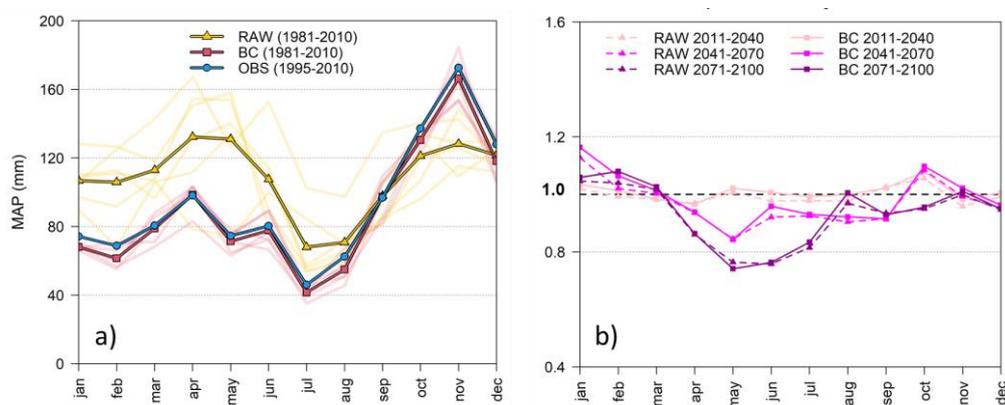


Figura 1. Bias-correzione della precipitazione media areale (MAP) media a scala mensile. (1a): Precipitazione media mensile osservata (OBS, in blu), simulata dai modelli originali (RAW, in giallo) e dai modelli bias-corretti (BC, in rosso), con valore ensemble (media dei 6 modelli) in grassetto. (1b): Media sui sei modelli della variazione futura attesa (rapporto rispetto ai valori sul periodo di controllo) per la precipitazione mensile per simulazioni raw e bias-corrette sui trentenni 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100.

#### 4 MODELLAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI E ANALISI DELLE PIENE

L’ultima fase dell’approccio è la modellazione afflussi-deflussi. Con lo scopo di garantire maggior generalità alla validazione della metodologia proposta, si è optato per l’utilizzo di due diversi modelli idrologici: il TUW model (Viglione and Parajka, 2018), versione semi-distribuita del modello HBV a 13 parametri, e il Cemaneige-GR4H (Coron et al., 2017), uno dei modelli concentrati della famiglia GR, a 6 parametri.

Le forzanti in input ai modelli sono precipitazione e temperatura orarie medie areali su fasce altimetriche di ampiezza 200 m per il TUW e sull’intero bacino per il Cemaneige-GR4H.

I modelli sono parametrizzati fornendo in input le forzanti storiche sugli anni 2007-2015, per i quali è disponibile la portata oraria alla sezione di chiusura del bacino. La calibrazione è eseguita con l’algoritmo automatico DDS (Tolson and Shoemaker, 2007) utilizzando come funzione obiettivo l’efficienza di Kling-Gupta fra portata osservata e simulata.

Al fine di validare l’efficacia della procedura di bias-correction per la riproduzione della risposta del bacino, i modelli calibrati sono successivamente utilizzati per la simulazione sul periodo di controllo storico (1981-2010, col primo anno utilizzato come warm-up), fornendo in input sia le forzanti derivate da i) dati storici (disponibili solo a partire dal 1995), sia quelle derivate da ii) scenari climatici raw iii) e scenari climatici bias-corretti (BC). I pannelli a) e b) di Figura 2 mostrano i risultati della simulazione afflussi-deflussi attraverso modello TUW sul periodo storico di controllo. Si nota come la bias-correction delle forzanti permetta un sensibile miglioramento, rispetto alle simulazioni “raw” nella riproduzione delle portate medie mensili (Fig. 2a), seppure con una sottostima nei mesi invernali, dovuta probabilmente a una tendenza alla sottostima delle

portate più elevate, come indicato dall'andamento, mostrato in Figura 2b), dei volumi di piena ottenuti forzando i modelli afflussi-deflussi con le serie climatiche bias-corrette sul clima attuale.

Infine, i modelli afflussi-deflussi sono forzati con gli input climatici futuri previsti dai modelli GCM-RCM bias-corretti, per simulare la risposta del bacino nei prossimi decenni. Il pannello c) di Figura 2 riporta i valori medi stagionali dei volumi di piena simulati dal modello TUV, per i tre trentenni futuri.

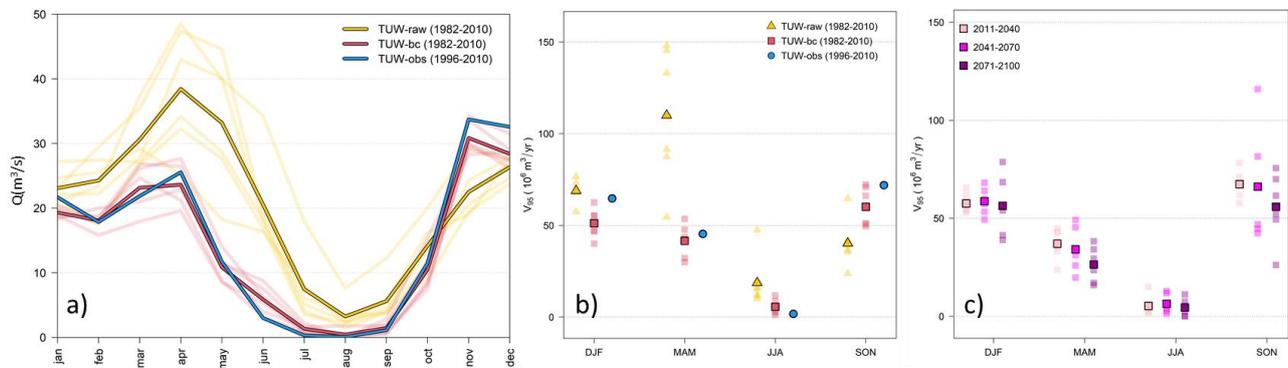


Figura 2. Risultati della simulazione afflussi-deflussi con modello TUV. (2a): portata media mensile simulata su periodo di controllo con input da osservazioni storiche (TUV-obs), input derivato da scenario non corretto (TUV-raw) e corretto (TUV-bc), (2b) volumi stagionali delle portate di piena (superiori al quantile 95% portata osservata) per le stesse tre simulazioni sul periodo di controllo. (2c) volumi stagionali delle portate di piena sui trentenni futuri, simulati per gli scenari climatici bias-corretti.

In conclusione, la validazione della procedura ha riportato risultati incoraggianti per le simulazioni delle portate sul periodo di controllo; i risultati completi, che includono anche l'analisi delle temperature e delle precipitazioni massime e la loro interpretazione in relazione alla formazione dei deflussi di piena, non riportati qui per ragioni di brevità, sono in corso di pubblicazione su rivista internazionale.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Berg, P., Christensen, O.B., Klehmet, K., Lenderink, G., Olsson, J., Teichmann, C., Yang, W., 2019. Summertime precipitation extremes in a EURO-CORDEX 0.11° ensemble at an hourly resolution. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 19, 957–971.
- Cannon, A.J., 2018. Multivariate quantile mapping bias correction: an N-dimensional probability density function transform for climate model simulations of multiple variables. *Clim Dyn* 50, 31–49.
- Coron, L., Thirel, G., Delaigue, O., Perrin, C., Andréassian, V., 2017. The suite of lumped GR hydrological models in an R package. *Environmental Modelling & Software* 94, 166–171.
- Faghih, M., Brissette, F., Sabeti, P., 2021. Impact of correcting sub-daily climate model biases for hydrological studies (preprint). *Hydrometeorology/Modelling approaches*.
- Haylock, M.R., Hofstra, N., Klein Tank, A.M.G., Klok, E.J., Jones, P.D., New, M., 2008. A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *J. Geophys. Res.* 113, D20119.
- Linville, D.E., 1990. Calculating Chilling Hours and Chill Units from Daily Maximum and Minimum Temperature Observations. *HortSci* 25, 14–16.
- Mamalakis, A., Langousis, A., Deidda, R., Marrocu M., 2017. A parametric approach for simultaneous bias correction and high-resolution downscaling of climate model rainfall. *Water Resour. Res.*, 53, 2149–2170, doi:10.1002/2016WR019578.
- Padulano, R., Reder, A., Rianna, G., 2019. An ensemble approach for the analysis of extreme rainfall under climate change in Naples (Italy). *Hydrological Processes* 33, 2020–2036.
- Perra, E., Viola, F., Deidda, R., Caracciolo, D., Paniconi, C., Langousis, A., 2020. Hydrologic impacts of surface elevation and spatial resolution in statistical correction approaches: Case study of Flumendosa Basin, Italy. *Journal of Hydrologic Engineering*, 25(9), 05020032.
- Ranzi, R., Bacchi, B., Tomirotti, M., Castioni, C., Brunetti, M., Crespi, A., Maugeri, M., 2018. Analisi delle tendenze di lungo termine nel regime degli afflussi meteorici e dei deflussi dell'Adda a Lecco (1845-2014). *L'Acqua* 2, 51–60.
- Ranzi, R., Michailidi, E., Tomirotti, M., Crespi, A., Brunetti, M., Maugeri, M., 2021. A multi-century meteo-hydrological analysis for the Adda river basin (Central Alps). Part II: Daily runoff (1845–2016) at different scales. *International Journal of Climatology*, 41(1), 181-199.
- Switanek, M.B., Troch, P.A., Castro, C.L., Leuprecht, A., Chang, H.-I., Mukherjee, R., Demaria, E.M.C., 2017. Scaled distribution mapping: a bias correction method that preserves raw climate model projected changes. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 21, 2649–2666.
- Tolson, B.A., Shoemaker, C.A., 2007. Dynamically dimensioned search algorithm for computationally efficient watershed model calibration. *Water Resources Research* 43.
- Viglione, A., Parajka, J., 2018. TUVmodel: Lumped Hydrological Model for Education Purposes.