

# L'IMPORTANZA DEL CONTENUTO INFORMATIVO NELL'AREA DI STUDIO PER LA REGIONALIZZAZIONE DI MODELLI AFFLUSSI DEFLUSSI

*Mattia Neri<sup>1\*</sup>, Juraj Parajka<sup>2</sup> & Elena Toth<sup>1</sup>*

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

*(2) Institute for Hydraulic and Water Resources Engineering, Vienna University of Technology, Austria*

*\*email: mattia.neri5@unibo.it*

## ASPETTI CHIAVE

- *Regionalizzazione di modelli afflussi/deflussi*
- *Contenuto informativo dei bacini "donatori"*
- *Impatto della presenza di bacini annidati della densità delle stazioni idrometriche sull'efficienza dei metodi di regionalizzazione dei parametri*

## 1 MOTIVAZIONI E OBIETTIVI DELLO STUDIO

L'utilizzo di modelli afflussi-deflussi permette di ottenere preziose informazioni sui bacini privi di lunghe serie di misure di portata, o *non strumentati* (che nella pratica idrologica sono la maggioranza, dato l'esiguo numero di stazioni idrometriche e la scarsa disponibilità di scale di deflusso affidabili), soprattutto quando sia necessario conoscere le caratteristiche della successione temporale dei deflussi. Poiché, in assenza di misure di portata, i modelli non possono essere calibrati, è necessario procedere alla regionalizzazione dei loro parametri sfruttando le misure idrometriche raccolte per bacini idrologicamente simili nell'area di studio. Le tecniche di regionalizzazione utilizzabili sono diverse e negli ultimi anni sono stati presentati in letteratura studi che analizzano le relative prestazioni in funzione dei casi studio e della tipologia di modello (si vedano per esempio le revisioni di *Parajka et al.*, 2013; *Razavi & Coulibaly*, 2013).

Il contenuto informativo delle misure di portata disponibili nell'area di studio, in termini di posizione e relazione topologica delle sezioni strumentate, gioca un ruolo fondamentale nella determinazione della tecnica di regionalizzazione più adeguata: la presenza tra i bacini donatori di sezioni idrografiche di monte o di valle sullo stesso corso d'acqua e/o un'elevata densità di stazioni idrometriche può pesantemente influenzare la valutazione delle prestazioni della tecnica proposta, che potrebbero essere molto diverse se il medesimo metodo fosse applicato ad un differente caso di studio. Malgrado l'importanza di tali aspetti, ci sono pochi esempi in letteratura di studi sull'impatto, in merito alla regionalizzazione dei parametri, della presenza di bacini annidati (e.g., *Merz & Blöschl*, 2004; *Parajka et al.*, 2005; *Oudin et al.*, 2008) o della densità delle stazioni idrometriche (*Oudin et al.*, 2008; *Lebecherel et al.*, 2016); tali studi inoltre si limitano alla verifica di una o due delle tecniche proposte, senza un'analisi accurata delle differenze tra gli effetti ottenuti sulle diverse metodologie. In particolare, i metodi per considerare l'influenza dei bacini 'annidati' in genere si riferiscono solo alle prime stazioni subito a monte o valle di quella di studio, senza considerare il ruolo dell'entità della superficie drenante in comune tra i bacini, determinante nel rappresentare quanto i bacini donatori siano effettivamente simili a quello non strumentato.

Il presente studio si focalizza sull'analisi dell'impatto di i) densità di misure idrometriche e ii) presenza di bacini annidati strumentati sulle performance di diverse tecniche di regionalizzazione per un ampio data set di 209 bacini austriaci. L'effetto della diversa disponibilità di bacini donatori è testato per un set di approcci di regionalizzazione, applicate a due modelli afflussi deflussi per la simulazione in continuo della portata giornaliera: il 'TUW model' (*Parajka & Viglione*, 2019) e il modello 'GR6J' (*Pushpalatha et al.*, 2011) accoppiato al modulo neve Cemaneige (*Valery et al.*, 2014).

Riteniamo che questa analisi possa fornire informazioni aggiuntive per la scelta dell'approccio di regionalizzazione più efficace in funzione delle specifiche caratteristiche della regione di studio, tenendo conto della ricchezza del contenuto informativo del data set.

La metodologia proposta per l'analisi dell'impatto di bacini annidati e densità di misure idrometriche sulle performance delle tecniche di regionalizzazione consiste in quattro fasi: i) calibrazione dei modelli idrologici su tutti i bacini (considerandoli strumentati), ii) applicazione degli approcci di regionalizzazione proposti con approccio leave-one-out (in cui, a turno, ogni bacino è considerato non strumentato), utilizzando l'intero set di bacini donatori disponibili, iii) ripetizione dell'applicazione delle tecniche escludendo dall'insieme dei donatori i bacini considerati annidati rispetto alla sezione non strumentata di riferimento ed infine iv) applicazione delle tecniche di regionalizzazione per valori decrescenti di densità idrometrica delle stazioni donatrici.

## 2 CALIBRAZIONE DEI MODELLI AFFLUSSI-DEFLUSSI

I parametri dei modelli TUW e Cemaneige-GR6J sono calibrati utilizzando come funzione obbiettivo l'efficienza di Kling-Gupta (KGE, Gupta *et al.*, 2009), l'algoritmo di ottimizzazione Dynamically Dimensioned Search (DDS) ed un warm-up di un anno. Il periodo di osservazione disponibile di 33 anni (1976-2008) è diviso in un due sotto-periodi: il primo (1976-1992) è utilizzato per la calibrazione, mentre il secondo (1992-2008) per la validazione dei modelli. Le performance dei modelli "at site", ovvero utilizzando i parametri calibrati, sono eccellenti per entrambi i modelli, con KGE superiore al 0.7 e NSE superiore al 0.6 per il 75% dei bacini.

## 3 APPROCCI DI REGIONALIZZAZIONE

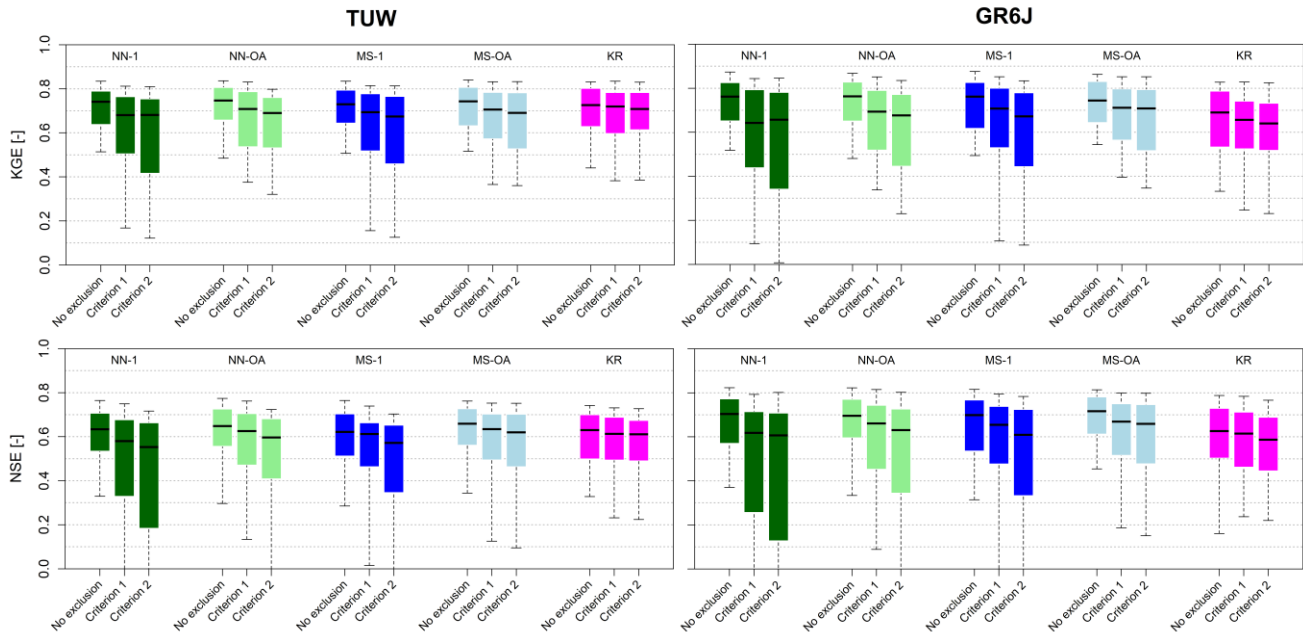
Gli approcci di regionalizzazione sono selezionati fra quelli più consolidati in letteratura. La prima tecnica è basata su approccio di kriging ordinario (denominata in seguito KR), dove i parametri dei modelli sono regionalizzati indipendentemente fra loro in base alla propria correlazione spaziale. Il secondo è un metodo di tipo 'Nearest-Neighbour' (NN-1), dove l'intero set dei parametri è mutuato dal bacino donatore più vicino geograficamente. Nella terza tecnica ('Most-Similar', MS) il bacino donatore viene scelto non in base alla distanza geografica ma in base alla similarità, in riferimento a cinque attributi geomorfo-climatici (MS-1). Le due tecniche Nearest Neighbour e "Most Similar" sono implementate anche utilizzando più di un donatore (in questo studio, tre donatori, rispettivamente i più vicini o i più simili a seconda del metodo), nella versione output-averaging, denominate qui NN-OA e MS-OA: il modello viene applicato ripetutamente sul bacino non strumentato (con il rispettivo input meteorologico) utilizzando l'intero insieme di parametri di ognuno dei bacini donatori, mediando infine gli output ottenuti, pesati rispetto alla loro distanza (geografica oppure nello spazio degli attributi). Le tecniche sono applicate ad entrambi i modelli, inizialmente utilizzando l'intero data set dei bacini donatori e valutando quindi la performance "originale" delle tecniche, rispetto a cui poi confrontare il deterioramento quando si vadano ad escludere alcuni donatori: le efficienze ottenute, non riportate qui per brevità, sono buone (KGE superiore a 0.5/0.6 per il 75% dei bacini) e simili per le diverse tecniche. Il kriging ordinario (KR) si dimostra la tecnica meno efficiente, mentre l'utilizzo dell'output-averaging (NN-OA e MS-OA) porta ai migliori risultati.

## 4 IMPATTO DELL'ESCLUSIONE DAI DONATORI DEI BACINI ANNIDATI

Al fine di valutare l'effetto della presenza tra i bacini donatori di sezioni poste sullo stesso corso d'acqua, le tecniche di regionalizzazione vengono ripetute, sempre in leave-one-out, escludendo ogni volta dal set dei bacini donatori disponibili quelli "annidati" rispetto alla sezione non strumentata di riferimento. Nel considerare un bacino come "annidato" vengono proposti due diversi criteri: nel primo (Criterion 1) vengono escluse le sezioni immediatamente a valle o a monte, mentre nel secondo (Criterion 2) vengono esclusi tutti i bacini che condividono più del 10% di area drenata con il bacino non strumentato. L'analisi viene limitata ai soli bacini (137 su 209) che risultano avere donatori annidati secondo entrambi i criteri di esclusione (circa il 65%).

I risultati (mostrati in Figura 1) sono simili per i due modelli. Sebbene risulti il metodo peggiore quando i bacini annidati sono disponibili, il kriging ordinario (KR) è la tecnica meno influenzata dalla loro esclusione:

ciò è dovuto alla natura dell'approccio, che non si basa sull'identificazione dei migliori donatori. Al contrario, il modello basato sul singolo donatore più vicino (NN-1) è il metodo in cui l'effetto dei donatori annidati è più marcato: infatti per più del 60% dei bacini, il bacino più vicino è anche annidato. Anche l'altra tecnica basata sull'uso di un singolo bacino, MS-1, deteriora sostanzialmente (seppur meno di NN-1), quando si escludano i bacini annidati. L'utilizzo di più bacini donatori nell'output-averaging (NN-OA e MS-OA), oltre a portare ai migliori risultati in presenza di tutti i donatori (vd sez. 3), si dimostra anche in grado di limitare il deterioramento delle performance dovuto all'esclusione dei bacini annidati.



**Figure 1.** Effetto dell'esclusione dei bacini annidati per il sottoinsieme di 137 bacini classificati come nested: KGE (riquadri superiori) e NSE (riquadri inferiori) relativi alla regionalizzazione dei parametri del TUW model (riquadri a sinistra) e del GR6J (riquadri a destra). I colori fanno riferimento alle diverse tecniche. In ciascun gruppo di boxplot, il primo fa riferimento alla performance originale delle tecniche mentre il secondo ed il terzo alle performance ottenute con l'esclusione dei donatori annidati, seguendo rispettivamente il Criterion 1 o 2.

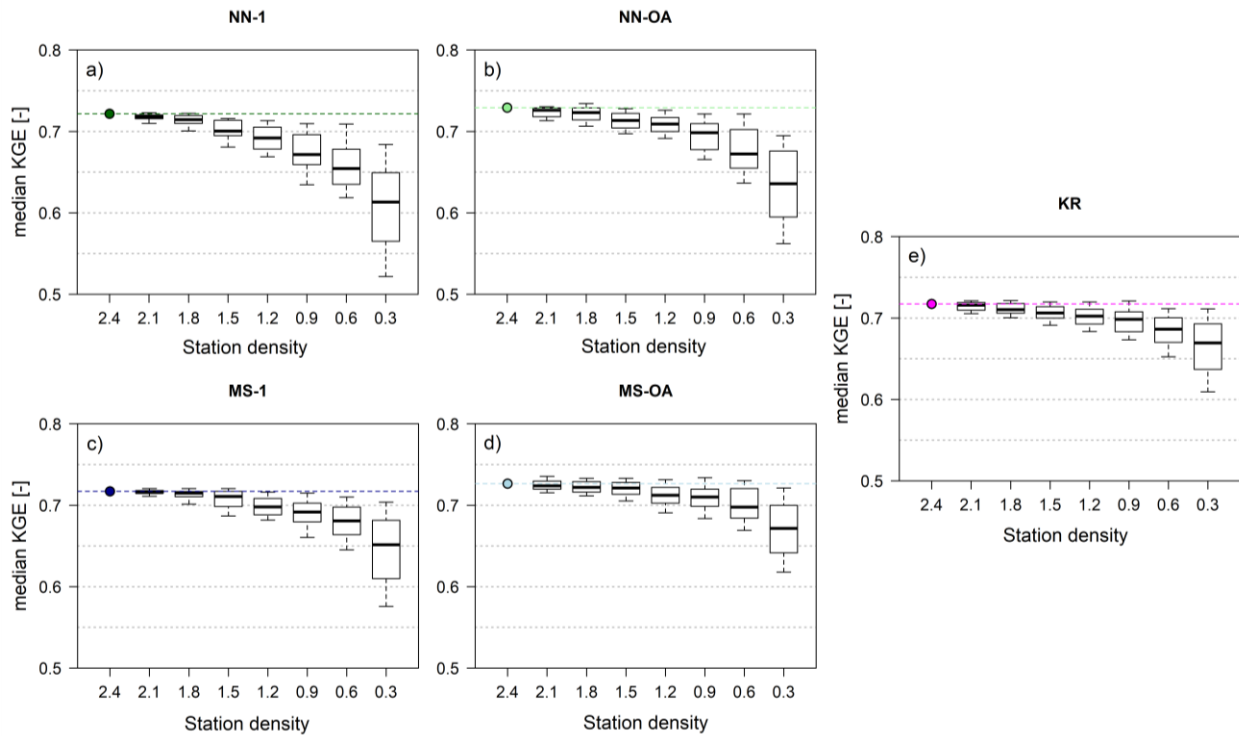
## 5 IMPATTO DELLA DENSITÀ DELLE STAZIONI DONATRICI

La seconda analisi sulla robustezza delle tecniche di regionalizzazione rispetto al contenuto informativo del caso di studio riguarda l'impatto della densità spaziale dei potenziali bacini donatori.

La densità idrometrica del data set austriaco è di 2.4 stazioni ogni 1000 km<sup>2</sup> (209 stazioni su un territorio complessivo di 84000 km<sup>2</sup> circa). Gli approcci di regionalizzazione sono ripetuti per valori decrescenti del numero di stazioni di misura. Per valori di densità variabili tra 2.4 (data set originario) e 0.3 (25 bacini su tutta l'area) più sottoinsiemi di donatori, in numero corrispondente a quella densità, vengono selezionati in modo casuale, e gli approcci di regionalizzazione sono applicati a ognuno di tali sottoinsiemi (data set di donatori), sempre tramite leave-one-out cross-validation. Per ciascun valore di densità, a cui corrisponde una dimensione del sottoinsieme di donatori, si applica la seguente procedura: i) si estraggono 100 differenti campioni (ovvero 100 diversi sottoinsiemi) composti dallo stesso numero di bacini; ii) per ciascun sottoinsieme, si applicano gli approcci di regionalizzazione e si valuta il deterioramento delle performance degli stessi per valori di densità decrescenti

La Figura 2 mostra un esempio dei risultati relativi al modello TUW (coerente con quanto ottenuto per il modello GR6J). L'andamento delle prestazioni delle diverse tecniche per valori di densità decrescente è in linea con il deterioramento osservato per l'esclusione dei bacini annidati: il kriging ordinario, sebbene parta da un'efficienza peggiore a densità "piena", mostra un deterioramento più limitato. Gli approcci di tipo Nearest-Neighbour sono maggiormente influenzati dalla riduzione di densità, mentre la scelta di bacini

donatori idrologicamente simili (MS), garantisce maggior robustezza poiché, sebbene al diminuire del numero di stazioni disponibili la probabilità che il bacino più simile sia ancora parte del sottoinsieme diminuisca, è anche probabile che più di un bacino nel data set originario sia sufficientemente simile al target. Anche in questo caso, considerare più di un donatore (NN-OA e MS-OA) migliora le prestazioni per entrambi gli approcci, e il metodo che utilizza più donatori, identificati in base alla similarità idrologica e non alla distanza geografica, MS-OA, si dimostra quello da preferire anche per regioni con minor contenuto informativo, in termini di stazioni idrometriche disponibili, rispetto all'area austriaca.



**Figure 2.** Efficienza di Kling-Gupta mediana dei 100 sottoinsiemi campionati per diversi valori di densità idrometrica (numero di stazioni per 1000 km<sup>2</sup>) per il modello TUV relativi alle diverse tecniche di regionalizzazione: NN-1 (riquadro a), NN-OA (riquadro b), MS-1 (riquadro c), MS-OA (riquadro d) e KR (riquadro e). Il punto colorato corrisponde all'efficienza mediana originale degli approcci in caso di disponibilità dell'intero set di donatori (quindi relativa alla reale densità del data set di 2.4 stazioni/1000 km<sup>2</sup>).

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., & Martinez, G.F.: Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling, *J. Hydrol.*, 377, 1–2, 80–91, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.003>, 2009.
- Lebecherel, L., Andréassian, V., & Perrin, C.: On evaluating the robustness of spatial-proximity-based regionalisation methods, *J. Hydrol.*, 539, 196–203, 2016.
- Merz, R., & Blöschl, G.: Regionalisation of catchment model parameters, *J. Hydrol.*, 287, 1–4, 95–123, 2004.
- Oudin, L., Andréassian, V., Perrin, C., Michel, C., & Le Moine, N.: Spatial proximity, physical similarity, regression and ungauged catchments: A comparison of regionalization approaches based on 913 French catchments, *Water Resour. Res.*, 44, 3, 1–15, 2008.
- Parajka, J., Merz, R., & Blöschl, G.: A comparison of regionalisation methods for catchment model parameters, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 9, 157–171, 2005.
- Parajka, J., Viglione, A., Rogger, M., Salinas, J. L., Sivapalan, M., & Blöschl, G.: Comparative assessment of predictions in ungauged basins – Part 1: Runoff-hydrograph studies, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 1783–1795, 2013.
- Pushpalatha, R., Perrin, C., Le Moine, N., Mathevet, T., & Andréassian, V.: A downward structural sensitivity analysis of hydrological models to improve low-flow simulation, *J. Hydrol.*, 411, 1–2, 66–76, 2011.
- Razavi T., & Coulibaly, P.: Streamflow Prediction in Ungauged Basins: Review of Regionalization Methods, *J. Hydrol. Eng.*, 18, 8, 958–975, 2013.
- Valéry, A., Andréassian, V., & Perrin, C.: ‘As simple as possible but not simpler’: What is useful in a temperature-based snow-accounting routine? Part 2 - Sensitivity analysis of the Cemaneige snow accounting routine on 380 catchments, *J. Hydrol.*, vol. 517, pp. 1176–1187, 2014.
- Viglione A., & Parajka J.: TUVmodel: Lumped/Semi-Distributed Hydrological Model for Education Purposes. R package version 1.1-0, <https://CRAN.R-project.org/package=TUVmodel>, 2019.