

## RICHIESTA DI ATTRIBUZIONE DI UN ASSEGNO DI COLLABORAZIONE ALLA RICERCA

- Richiesta di nuovo assegno di ricerca -

Sviluppo e sperimentazione di approcci regionali all'analisi di frequenza multivariata e non-stazionaria degli estremi idrologici

### **Descrizione del Progetto di Ricerca:**

Negli ultimi decenni, i danni economici e sociali conseguenti al verificarsi di eventi idrologici estremi sono stati in costante crescita in Europa e nel mondo. Tra le principali cause, vengono annoverati i cambiamenti climatici (Persiano et al., 2020) che in numerose aree portano all'amplificazione di tali eventi, ma molteplici studi evidenziano anche l'influenza di fenomeni di tipo antropico (ad es., Domeneghetti et al., 2015). Un esempio è costituito dai cambiamenti di uso e copertura del suolo, che hanno determinato un incremento del rischio idraulico in vaste aree urbane. La valutazione e gestione del rischio da allagamento, sia esso legato ad esondazioni fluviali o piogge intense, risulta pertanto di estrema importanza per la realizzazione di comunità più sicure e resilienti (Mediero et al., 2022; Samela et al., 2020).

Tra i principali interventi di gestione del rischio si annovera la realizzazione di opere di protezione idraulica, per la quale è necessario conoscere le variabili di progetto, ovvero le grandezze che descrivono l'entità del fenomeno estremo in relazione ad una certa probabilità di accadimento. Ad esempio, nel contesto di esondazioni fluviali, la costruzione di arginature richiede una portata di progetto, mentre per il dimensionamento di vasche di prima di laminazione si fa riferimento ad eventi di precipitazione di progetto in assegnata durata e frequenza. L'analisi di frequenza degli estremi è uno dei metodi più comunemente adottati per ottenere le variabili idrologiche di progetto. Quando nella località di interesse è presente una serie storica abbastanza lunga di misurazioni della variabile scelta (ad esempio, una serie di massimi annuali dell'altezza di pioggia associata ad una certa scala di aggregazione temporale, o durata), è possibile effettuare un'analisi di frequenza locale. Accade tuttavia molto spesso di disporre di serie storiche di misurazioni molto brevi o frammentate, per le quali si deve ricorrere a tecniche di analisi di frequenza regionale (v. ad es. Di Baldassarre et al., 2006). Tali metodologie mirano a combinare le osservazioni presenti in una certa regione per ottenere una legge che governi la modellazione della frequenza della variabile d'interesse in tutte le località appartenenti a quella regione. Esistono numerose metodologie di analisi di frequenza locale e regionale proposte in letteratura a partire dai primi anni '60 del secolo scorso (v. ad es. Dalrymple, 1960). Tra le metodologie proposte nel periodo più recente, risultano particolarmente interessanti quelle di tipo multivariato, che indagano e sfruttano la relazione di dipendenza tra le statistiche della variabile d'interesse ed altre grandezze, dette anche covariate (Claps et al., 2022; Msilini et al., 2022).

Classicamente, la modellazione statistica di fenomeni idrologici si basa sull'assunzione di stazionarietà, ovvero che le statistiche di tali eventi (ad esempio, media, varianza, tipo di distribuzione) rimangano costanti nel tempo. Negli ultimi decenni sta invece crescendo l'interesse verso modelli di tipo non stazionario (Cheng et

al., 2014; Leclerc and Ouarda, 2007; Renard et al., 2022). Il clima infatti segue naturali oscillazioni, le cui periodicità possono essere anche molto lunghe (ad esempio, qualche decina di anni). Tali oscillazioni delle forzanti climatiche di scala globale si sovrappongono ai segnali di cambiamento climatico, rendendo spesso complessa ed incerta l'analisi di serie temporali (ad es., Hamdi et al., 2021). La variabilità del clima può essere descritta attraverso numerosi indici climatici (ad es., Criado-Aldeanueva and Soto-Navarro, 2020), serie temporali di grandezze (ad esempio, la differenza di pressione tra due precisi punti dell'Oceano Atlantico) che descrivono la circolazione di grandi correnti oceaniche ed atmosferiche, e che negli studi di numerosi autori si sono rivelati fortemente correlati a diversi fenomeni climatici ed idrologici locali (ad esempio, la temperatura massima o il numero di giorni piovosi annuale). L'utilizzo di tali indici climatici nella modellazione statistica di variabili idrologiche sembra essere altamente strategico, poiché permette di cogliere la non stazionarietà, o la ciclo-stazionarietà, del clima e migliorare sensibilmente la modellazione degli estremi idrologici (v. ad es., Hesarkazzazi et al., 2021). Inoltre, alcuni fenomeni idrologici sono influenzati da indici climatici che si riferiscono ad un periodo di tempo precedente (da qualche mese a pochi anni): tale sfasamento temporale consente di migliorare l'affidabilità di previsione degli eventi con uno strategico anticipo. Infine, in un contesto di cambiamento climatico disporre di modelli non stazionari consente l'adozione di politiche di gestione delle risorse più efficaci e versatili.

Il presente Progetto di Ricerca si propone di indagare la non stazionarietà degli estremi idropluviometrici in Italia settentrionale. In particolare, le analisi si concentreranno sui valori massimi annuali di precipitazione in assegnata durata e di portata al colmo di piena, sfruttando dataset aggiornati e particolarmente dettagliati sviluppati nell'ambito di recenti collaborazioni con l'Autorità Distrettuale del Fiume Po e le diverse ARPA regionali competenti sul Distretto. Verranno considerati ed analizzati gli indici climatici più influenti in Italia, Europa e nell'area mediterranea, al fine di trovare correlazioni robuste con gli estremi di precipitazione e pattern spaziali. Il focus iniziale sarà sull'analisi di frequenza locale, al fine di individuare modelli non stazionari che siano localmente promettenti. Qualora i risultati ed i tempi lo consentiranno, saranno sviluppati modelli regionali.

I risultati delle attività di ricerca condotte risulteranno di grande interesse per la comunità scientifica internazionale ed italiana, per cui costituiranno un utile punto di riferimento sulla modellazione non stazionaria degli estremi idrologici. Tali metodologie di analisi degli estremi saranno settore strategico nei prossimi anni per l'elaborazione di piani di adattamento ai cambiamenti climatici e riduzione del rischio.

### **Piano delle attività:**

Le indagini condotte nell'ambito del presente Progetto di Ricerca seguiranno le seguenti fasi:

- 1) Studio di non stazionarietà delle serie locali di precipitazione estrema di durata sub-giornaliera nell'area scelta: fase preliminare dello studio consiste nel distinguere con ragionevole certezza la naturale variabilità del clima dal cambiamento climatico.
- 2) Selezione dei principali indici climatici globali di interesse per l'area di studio ed analisi della correlazione tra precipitazione estrema ed indici climatici. La ricerca di aree con segnale omogeneo di

correlazione significativa costituisce uno dei principali risultati attesi, di grande utilità alla comunità scientifica italiana ed internazionale. La definizione di tali aree potrebbe richiedere lo studio e messa a punto di un modello che consideri anche selezionate caratteristiche morfo-climatiche (ad esempio, la quota e la precipitazione media annuale di ogni stazione).

- 3) Analisi di frequenza locale all'interno di singole aree omogenee: la ricerca di modelli non stazionari efficaci richiede la risoluzione non banale del problema congiunto di massimizzazione dell'accuratezza e minimizzazione dell'incertezza.
- 4) Sviluppo di modelli di analisi di frequenza regionale: la fattibilità e difficoltà di tale fase dipende in massima parte dai risultati raggiunti nell'analisi di frequenza locale. Tra le metodologie possibili di modellazione statistica multivariata, alcune tecniche di apprendimento automatico (ad esempio, copule e modelli additivi generalizzati) sembrano avere un interessante potenziale.

In contemporanea alle analisi descritte sopra, riguardanti gli estremi di precipitazione, simili metodologie verranno applicate agli estremi di portate fluviali, con gli opportuni adattamenti. I risultati osservati per le precipitazioni, dalle quali le piene inevitabilmente dipendono, costituiranno un utile strumento per l'efficienza di questa seconda fase di analisi. Anche in questo secondo caso, l'area di studio sarà situata in Italia, ma estensione e precisa ubicazione dipenderanno dalla natura dei dati disponibili.

L'obiettivo principale delle indagini è quello di contribuire a chiarire il potenziale di approcci regionali e multivariati non-stazionari o ciclo-stazionari all'analisi di frequenza degli estremi idro-pluviometrici nel Distretto del Fiume Po in relazione ad approcci classici. Si auspica che le attività di indagine producano 2 articoli su riviste internazionali di riferimento per la comunità scientifica.

### **Riferimenti Bibliografici**

- Cheng, L., AghaKouchak, A., Gilleland, E., Katz, R.W., 2014. Non-stationary extreme value analysis in a changing climate. *Clim. Change* 127, 353–369. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1254-5>
- Claps, P., Ganora, D., Mazzoglio, P., 2022. Rainfall regionalization techniques, in: *Rainfall*. Elsevier, pp. 327–350. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822544-8.00013-5>
- Criado-Aldeanueva, F., Soto-Navarro, J., 2020. Climatic Indices over the Mediterranean Sea: A Review. *Appl. Sci.* 10, 5790. <https://doi.org/10.3390/app10175790>
- Dalrymple Tate, 1960. Flood-frequency analyses, *Manual of Hydrology: Part 3*. <https://doi.org/10.3133/wsp1543A>
- Di Baldassarre, G., Castellarin, A., Brath, A., 2006. Relationships between statistics of rainfall extremes and mean annual precipitation: an application for design-storm estimation in northern central Italy. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 10, 589–601. <https://doi.org/10.5194/hess-10-589-2006>
- Domeneghetti, A., Carisi, F., Castellarin, A., Brath, A., 2015. Evolution of flood risk over large areas: Quantitative assessment for the Po river. *J. Hydrol.* 527, 809–823. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.043>
- Hamdi, Y., Charron, C., Ouarda, T.B.M.J., 2021. A Non-Stationary Heat Spell Frequency, Intensity, and Duration Model for France, Integrating Teleconnection Patterns and Climate Change. *Atmosphere* 12, 1387. <https://doi.org/10.3390/atmos12111387>
- Hesarkazzazi, S., Arabzadeh, R., Hajibabaei, M., Rauch, W., Kjeldsen, T.R., Prosdoci, I., Castellarin, A., Sitenfrei, R., 2021. Stationary vs non-stationary modelling of flood frequency distribution across northwest England. *Hydrol. Sci. J.* 66, 729–744. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1884685>

- Leclerc, M., Ouarda, T.B.M.J., 2007. Non-stationary regional flood frequency analysis at ungauged sites. *J. Hydrol.* 343, 254–265. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.06.021>
- Mediero, L., Soriano, E., Oria, P., Bagli, S., Castellarin, A., Garrote, L., Mazzoli, P., Mysiak, J., Pasetti, S., Persiano, S., Santillán, D., Schröter, K., 2022. Pluvial flooding: High-resolution stochastic hazard mapping in urban areas by using fast-processing DEM-based algorithms. *J. Hydrol.* 608, 127649. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127649>
- Msilini, A., Ouarda, T.B.M.J., Masselot, P., 2022. Evaluation of additional physiographical variables characterising drainage network systems in regional frequency analysis, a Quebec watersheds case-study. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* 36, 331–351. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02109-7>
- Persiano, S., Ferri, E., Antolini, G., Domeneghetti, A., Pavan, V., Castellarin, A., 2020. Changes in seasonality and magnitude of sub-daily rainfall extremes in Emilia-Romagna (Italy) and potential influence on regional rainfall frequency estimation. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 32, 100751. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100751>
- Renard, B., Thyer, M., McInerney, D., Kavetski, D., Leonard, M., Westra, S., 2022. A Hidden Climate Indices Modeling Framework for Multivariable Space-Time Data. *Water Resour. Res.* 58. <https://doi.org/10.1029/2021WR030007>
- Samela, C., Persiano, S., Bagli, S., Luzzi, V., Mazzoli, P., Humer, G., Reithofer, A., Essenfelder, A., Amadio, M., Mysiak, J., Castellarin, A., 2020. Safer\_RAIN: A DEM-Based Hierarchical Filling-&-Spilling Algorithm for Pluvial Flood Hazard Assessment and Mapping across Large Urban Areas. *Water* 12, 1514. <https://doi.org/10.3390/w12061514>