



Pierluigi Claps, Daniele Ganora\*

# AGGIORNAMENTO DELLE STIME IDROLOGICHE PER LA RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA IDRAULICA DELLE GRANDI DIGHE ITALIANE

## UPDATING OF HYDROLOGICAL ESTIMATES FOR THE REVALUATION OF THE HYDRAULIC SAFETY OF LARGE ITALIAN DAMS

In ambito di sicurezza idraulica degli sbarramenti, ma anche in generale dei territori, i contributi scientifici degli ultimi anni tendono a consolidare le conoscenze e ad accrescere le sinergie tra metodi esistenti e nuovi dati piuttosto che a creare nuove metodologie. Si ricercano, da un lato, criteri per rendere concretamente applicabili le nozioni accreditate sull'incertezza delle stime statistiche puntando sul concetto di robustezza delle stime mentre, dall'altro, le indicazioni che si vanno consolidando sui trend climatici degli estremi impongono nuovi livelli di cautela sulle stime in regime stazionario precedentemente acquisite. Nello stesso tempo non viene trascurata la necessità di estrarre, dalle tante nuove informazioni derivanti dai sistemi automatici di misura, conoscenze (ad esempio su grandezze quali i volumi di piena ed i nubifragi estremi) finora dalla difficoltà di reperimento di cospicue basi di dati. Il quadro che viene offerto in questo lavoro è quindi ad un tempo incoraggiante, per i tanti nuovi dati a disposizione, e sfidante, per il gravoso impegno metodologico necessario affinché questi portino a nuove consapevolezze, tecnicamente fondate, sui livelli di sicurezza attualmente garantiti dalle opere idrauliche.

### 1. INTRODUZIONE

Nel processo di valutazione della sicurezza idraulica, sia essa relativa alle grandi opere idrauliche o a grandi porzioni di territorio, diversi fattori possono entrare in gioco con rilevanti effetti, prevalentemente legati al periodo in cui viene svolta la valutazione: la scelta delle metodologie di analisi, i dati disponibili in prossimità o sull'opera ed i dati disponibili su aree idrologicamente affini a, quella di interesse. Questo porta a dover considerare con molta attenzione le tempistiche di aggiornamento delle grandezze idrologiche di progetto. Lungi dal dover essere viste come onerose incombenze, soprattutto per le implicazioni amministrative, queste possono influenzare in modo decisivo la gestione delle opere. La Direttiva Europea 2007/60 indica in 6 anni la lunghezza di un ciclo completo di pianificazione. Sappiamo però che in Italia sono numerosissimi i casi in cui le stime di piene estreme al colmo vengono rivalutate con intervalli anche molto superiori ai 20 anni. In questa memoria si forniscono elementi che sono ritenuti utili a stimolare iniziative di rivalutazione delle stime più frequenti e caratterizzate da elevati livelli di standardizzazione, certamente necessari a garantire corrette transizioni amministrative tra valori di progetto vecchi e nuovi.

### 2. AGGIORNAMENTI SUI METODI SULLA ROBUSTEZZA DELLE STIME

Le stime di portate di progetto con periodi di ritorno elevati (es. superiori a 100 anni) sono inevitabilmente affette da elevati livelli di incertezza, riconducibili in particolare alla necessità di ottenere, dalle curve di distribuzione di probabilità, quantili relativi a probabilità di non superamento (da 0.99 in su) difficilmente riscontrabili tramite osservazioni dirette. In moltissimi casi le osservazioni sono del tutto assenti. Ne deriva una pletora di metodi di stima statistica riconducibili a diversi paradigmi metodologici, ma ognuno con fondamento teorico potenzialmente valido. Risulta pertanto improbabile pensare di poter selezionare un singolo metodo di stima "ottimale", da utilizzare in ogni situazione pratica. In questo ambito la letteratura scientifica sta evolvendo in maniera chiara verso una visione in cui si predilige l'utilizzo simultaneo di diversi modelli idrologici di stima piuttosto che la selezione del singolo 'miglior' modello (equipinalità dei modelli idrologici, v. Okoli et al, 2018). L'esito prevalente di questi approcci è quello di prediligere una stima ottenuta come valor medio (*model average*) tra quelle ottenute con i diversi modelli.

Nell'ambito di un'attività di collaborazione tra alcuni gruppi di ricerca e la Direzione Generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, uno degli orientamenti emersi è descritto nel contributo di Claps et al., (2016a). Si è suggerita una procedura indirizzata a "misurare" la qualità

\*Politecnico di Torino - pierluigi.claps@polito.it



delle stime delle portate di progetto tramite l'attribuzione di un punteggio (compreso tra 0 ed 1) ad ogni metodologia utilizzata, ed all'intera procedura quando la stima sia basata sull'uso di più metodi e relativa combinazione dei loro risultati. Punteggi bassi sono attribuiti a metodi a cui si associano alti livelli di incertezza, ad esempio perché i dati utilizzati sono poco numerosi, o perché i parametri, specie quelli locali, sono stimati in maniera inadeguata. Una conseguenza resa possibile dalla metrica di qualità così definita è quella di poter differenziare i livelli di incertezza commisurati al progetto idrologico in aree caratterizzate da una diversa densità di dati, consentendo di assumere possibili atteggiamenti prudenziali in regioni dove anche l'applicazione di metodi di elevata qualità non consente di ottenere stime affidabili, a causa della ridotta disponibilità di dati idrologici di partenza. Un criterio prudenziale potrebbe essere quello di assumere come valore di progetto il massimo (e non la media) tra le stime ottenute con diversi modelli, quando il punteggio non riesca a superare una soglia minima predefinita. Anche se la procedura è stata pensata per valutare la qualità di stime connesse alla valutazione della sicurezza idrologica delle dighe, con opportuni adattamenti può applicarsi a casi più generali ed a periodi di ritorno inferiori al valore standard di 1000 anni utilizzato nel citato lavoro di Claps et al. (2016a).

La procedura di attribuzione del punteggio a metodi di stima utilizzati in un progetto idrologico si basa sulla classificazione dei metodi e sulla quantità di dati in essi utilizzati. I punteggi specifici dei modelli sono assegnati sulla base dell'analisi di un gran numero di studi di analisi regionale delle piene realizzati in aree con bacini di montagna e, in particolare, con bacini chiusi da invasi artificiali. Lo schema di attribuzione dei punteggi è riportato nella *Figura 1*, nella quale si può rilevare come, qualora all'interno di un progetto siano utilizzati più metodi, a ciascuno di essi può essere attribuito separatamente un punteggio, utile a pervenire ad un'unica valutazione globale. Il punteggio può essere attribuito solo se i metodi utilizzati sono esaurientemente descritti, con descrizione approfondita ed esaustivi riferimenti bibliografici, in modo da rendere le stime ripetibili.

Il punteggio attribuito ad ogni metodo deriva dalla composizione di due valori parziali, denominati  $S_Q$  e  $S_K$ , che dipendono dalle metodologie utilizzate per la stima della piena indice e della curva di crescita. Utilizzando il criterio standard di suddivisione della stima in due fasi (metodo indice) si ha infatti:  $Q_T = Q_{ind} K_Q(T)$ , dove  $Q_{ind}$  è la portata indice e  $K_Q(T)$  è il valore del quantile adimensionalizzato (coefficiente di crescita) relativo al periodo di ritorno  $T$ . Inizialmente proposto per supportare il confronto tra studi finalizzati alla rivalutazione della sicurezza idraulica delle dighe, lo schema di classificazione può essere usato come base per costruire linee guida per stime di pericolosità idrologica in generale, in quanto consente facilmente di auto-valutare la rappresentatività dei metodi utilizzati.

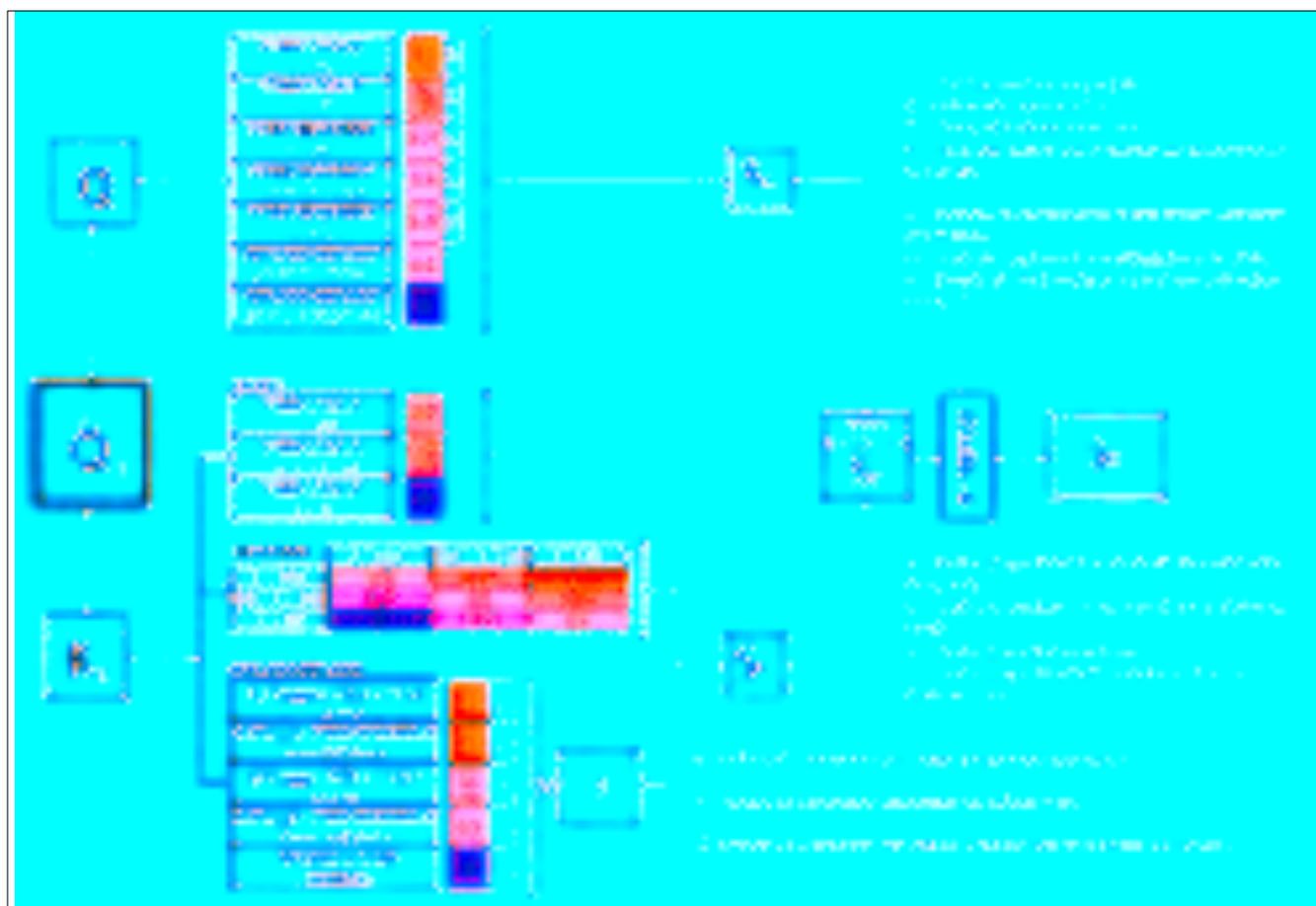


Figura 1 - Esempio di griglia per l'attribuzione dei punteggi parziali per piena indice e fattore di crescita.

### 3. STRUMENTI DI SUPPORTO ALLE STIME IDROLOGICHE MULTI-MODELLO

Nell'ambito delle problematiche appena evidenziate, le attività svolte nell'ambito di un progetto di ricerca del Politecnico di Torino (Grasso *et al.*, 2019) possono risultare di particolare interesse nelle applicazioni pratiche, in quanto hanno portato alla costruzione di uno strumento informatico in grado di fornire una restituzione di stime regionali delle precipitazioni estreme sul territorio italiano. Queste sono ottenibili mediante applicazione di diverse metodologie, ma con interfaccia unica che fornisce informazione continua su tutto il territorio nazionale, superando le discontinuità insite nei confini regionali.

Ad oggi, di pari passo con l'aggiornamento delle osservazioni pluviometriche, in alcune regioni italiane sono disponibili strumenti metodologici aggiornati per la costruzione delle curve intensità-durata-frequenza (IDF) delle piogge estreme in siti senza osservazioni. Riguardo alle piogge estreme si possono rilevare oggi le maggiori differenze tra le conoscenze ed i metodi riportati negli studi VAPI e quelli attualmente disponibili (v. Claps *et al.*, 2016b).

Il tool informatico descritto in Grasso *et al.* (2019) offre la possibilità di applicare insieme metodi, nuovi e meno recenti, sia a fini di confronto che di irrobustimento delle stime mediante l'applicazione del criterio di stima 'model averaging' sopra richiamato. Lo schema tecnologico proposto, in questo caso, prevede la gestione delle richieste dell'utente tramite un geoservizio WPS (Web Processing Service) che consente di visualizzare e interrogare dati spaziali situati su server remoto. Una serie di procedure anch'esse residenti sul server consentono di ottenere in modalità interattiva:

- la stima della pioggia di progetto tramite le curve IDF in un generico punto del territorio italiano derivanti dalle procedure VAPI e da altre più recenti esistenti in un certo territorio (v. Claps *et al.*, 2016b);
- un confronto diretto o l'applicazione della media alle stime fornite dalle diverse metodologie disponibili;
- l'applicazione degli stessi risultati alla stima di pioggia areale, tramite inserimento di un file vettoriale dell'area di interesse (tipicamente un perimetro di bacino idrografico).

Le mappe dei parametri dei diversi modelli di regionalizzazione disponibili sul territorio italiano sono memorizzate in un geo-database e servono come base di partenza per determinare le due componenti necessarie a costruire le stime, ovvero la pioggia indice e la curva di crescita  $K_T$ . In Figura 2 vengono rappresentati l'interfaccia grafica attraverso la quale si effettuano le richieste di esecuzione delle procedure geospaziali, mappe di coefficienti

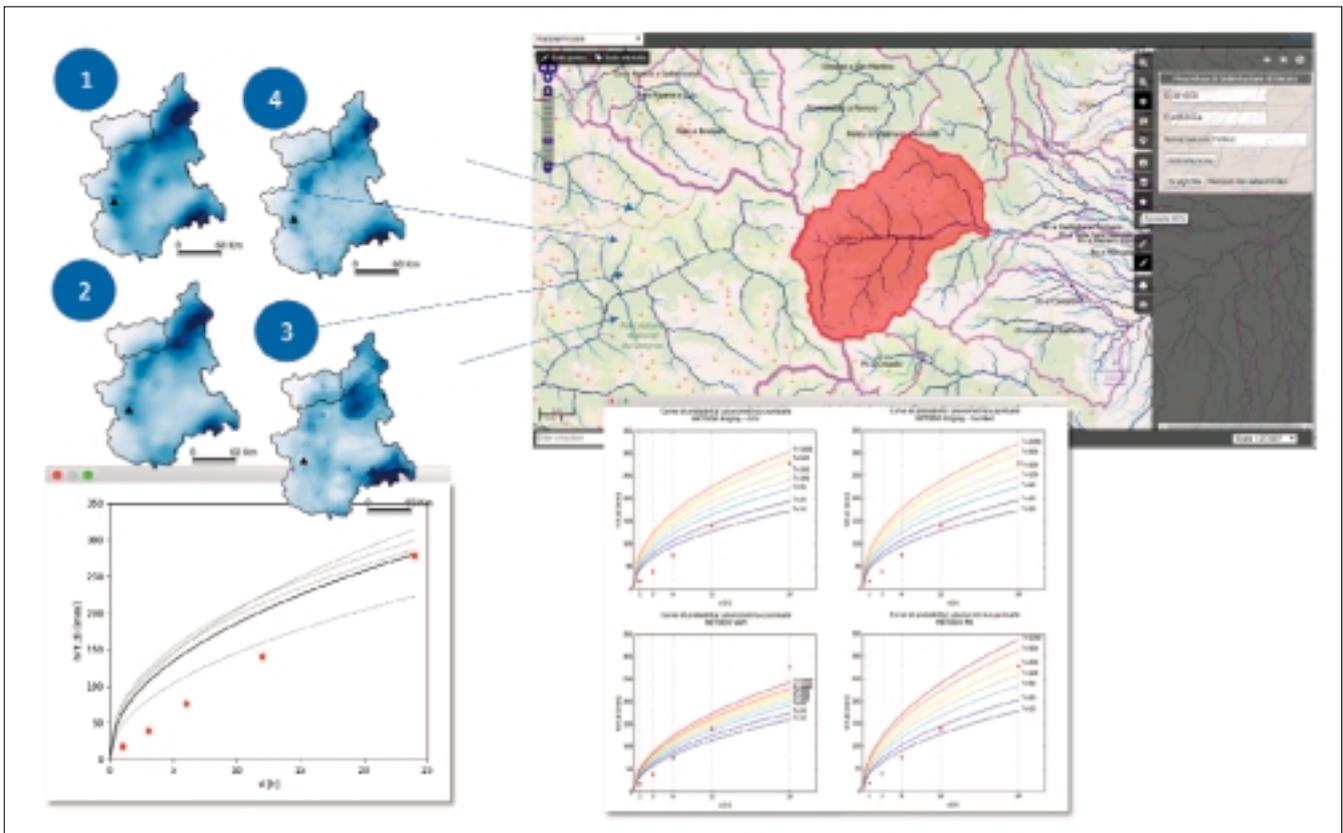


Figura 2 - Dall'angolo in alto a sinistra in senso orario: mappe di coefficienti di crescita  $K_{100}$  sul Piemonte derivanti da 4 metodi, l'interfaccia grafica di interrogazione del sistema, rappresentazione di massimi di evento (pallini rossi) sulle curve di possibilità pluviometrica dei 4 metodi e costruzione della curva media (linea spessa) a partire dalle curve a  $T=200$  dei 4 metodi nella stazione di prova per confronto con i massimi di evento.



di crescita  $K_T$  sul Piemonte, derivanti dall'applicazione di quattro diversi metodi, e grafici di confronto tra stime effettuate con metodi diversi.

#### 4. AGGIORNAMENTI SULLE TENDENZE TEMPORALI DI PIENE E NUBIFRAGI

Un recente studio internazionale di larga scala (Bloeschl et al., 2019) pubblicato sulla rivista 'Nature' ha mostrato che i cambiamenti nell'entità delle piene fluviali osservati in Europa negli ultimi decenni possono essere chiaramente attribuiti ai cambiamenti climatici. Lo studio, al quale hanno partecipato 35 gruppi di ricerca di varie nazioni coinvolti nell'ambito del progetto europeo "FloodChange", ha visto la partecipazione di una consistente comunità italiana ed ha evidenziato che gli eventi di piena stanno diventando sempre più intensi nell'Europa nord-occidentale, mentre in altre aree dell'Europa meridionale ed orientale le intensità sono generalmente diminuite, per azione mitigante dell'anticipato scioglimento nivale o per la riduzione dell'umidità media del suolo.

Lo studio ha analizzato i dati provenienti da 3738 stazioni di misura di portate fluviali in tutta Europa, nel periodo 1960 - 2010. L'entità delle variazioni nelle portate di piena rilevate è notevole: esse vanno da una riduzione del 23% ad un aumento dell'11% per decennio (rispetto alle medie di lungo termine).

Sul territorio italiano lo studio evidenzia come le entità delle alluvioni dei corsi d'acqua di dimensione medio-grande siano in media diminuite negli ultimi 50 anni, coerentemente con quanto è accaduto in tutti i paesi del Mediterraneo. Questa tendenza tuttavia non trova riscontro nell'ambito dei bacini dell'arco alpino che, invece, generalmente mostrano una tendenza all'aumento delle portate di piena, oltre tutto con entità degli incrementi tra i più importanti tra quelli osservati. Sempre in Italia, per mancanza di osservazioni disponibili sui corsi d'acqua di ridotte dimensioni e sui tratti urbani dei corsi d'acqua, non vi sono elementi sufficienti a confermare o smentire il trend sui piccoli bacini, ovvero quelli dove si sono verificati i maggiori problemi recenti nel nostro Paese. Per questi ultimi, sensibili a piogge intense di breve durata, ci si aspetta un quadro decisamente più complesso del rischio alluvionale a causa dei trend degli eventi temporaleschi, recentemente oggetto di elaborazioni a scala nazionale in una ricerca del Politecnico di Torino (Libertino et al., 2019). Su questo aspetto è quindi importante soffermarsi adeguatamente.

Il lavoro di Libertino et al. (2019) è stato basato sull'analisi di osservazioni delle massime precipitazioni annue di breve durata (sub-giornaliere) registrate in 1346 stazioni italiane, selezionate in base ad una numerosità minima di 30 anni tra le circa 5000 presenti nel database a copertura nazionale completa denominato "I-RED" (Libertino et al., 2018). Quest'ultimo comprende tutte le piogge estreme orarie italiane comprese tra il 1915 ed il 2015. Il periodo di analisi dei trend è stato solo di poco più ridotto (1928-2015).

Nel lavoro di Libertino et al. (2019) si prova a verificare se i nubifragi stiano effettivamente aumentando in frequenza ed intensità in Italia. Prendendo in considerazione l'intero patrimonio storico di dati italiani dei nubifragi fino a 24 ore di durata, l'analisi si presta anche a rispondere a domande inerenti la presenza ed aumento, in Italia, dei cosiddetti 'Medicanes' ovvero eventi più simili ad uragani che a piogge convettive, pur molto intense.

I risultati dell'analisi svolta mostrano che l'intensità dei nubifragi è in evoluzione nel tempo, ovvero che in alcune aree del paese gruppi di stazioni mostrano trend crescenti significativi (v. Figura 3). Non si può però affermare che ciò sia vero in tutte le regioni italiane. Infatti, in alcune aree non si evidenzia un aumento ma piuttosto una diminuzione nel tempo delle intensità estreme. Queste tendenze risultano particolarmente evidenti laddove i trend mostrati da singole stazioni sono correlati spazialmente in modo significativo, cosa che richiama l'attenzione su alcune aree nelle quali l'aumento delle in-

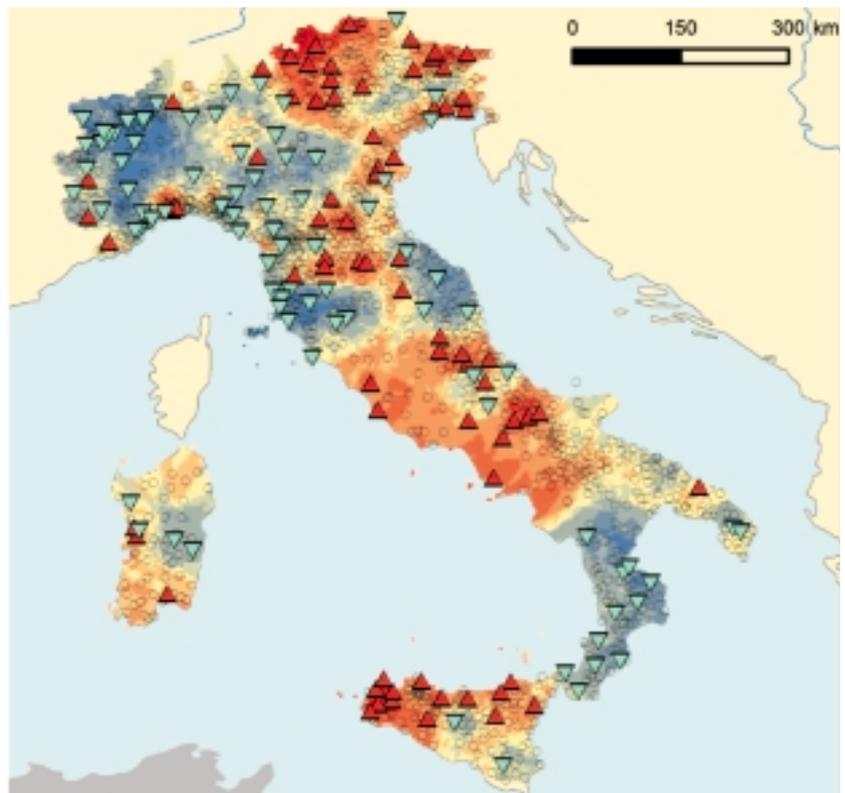
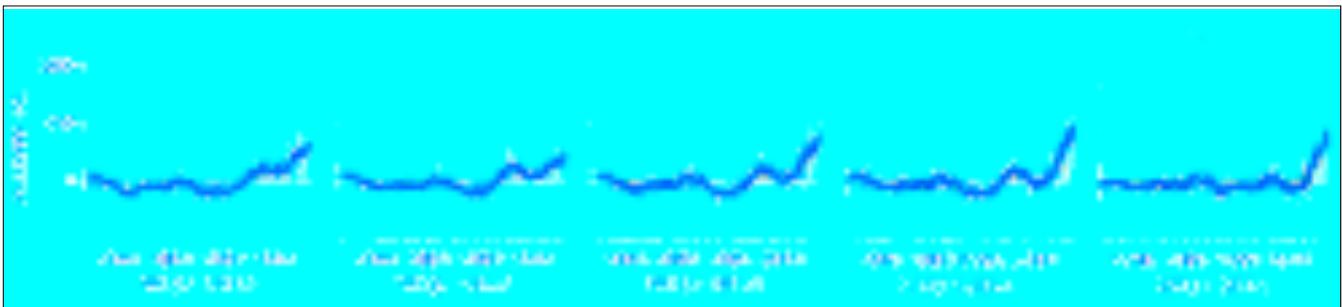


Figura 3 - Intensità di nubifragi di 1 ora. Stazioni ed aree con aumenti significativi nel tempo (rosso) o con diminuzione (celeste-blu).

tensità si mostra con notevole chiarezza. Al variare della durata degli estremi annui considerati (da 1 a 24 ore) emergono alcune differenze nei risultati (v. *Libertino et al.*, 2019) che dipendono dalla diversa genesi degli eventi e possono anche essere ricondotte al differente peso assunto dalle caratteristiche orografiche nello sviluppo di varie tipologie di evento di pioggia.

Con riferimento alla frequenza degli eventi il citato lavoro ha anche esaminato l'andamento temporale dei superamenti di record (**record-break**). Questi avvengono quando viene superato il valore di massimo storico di una serie di osservazioni sull'intero territorio italiano a partire dall'inizio delle misure, ovvero quando si verifica un valore di pioggia in X ore mai osservato prima su tutta la nazione. Eventi del genere propongono una diretta relazione con i fenomeni di Medicanes, i quali tendono a portare significativi innalzamenti della soglia massima di precipitazione rilevata fino a quel momento per la data durata. Le elaborazioni effettuate (*Figura 4*) mostrano che le anomalie, ovvero le percentuali di record-break osservati rispetto a quelli attesi a livello nazionale, sono in crescita negli ultimi decenni. La tendenza è avvertibile nella regolarità di crescita delle curve nel tempo, ma non è ancora confermata in senso statistico, in quanto le curve rimangono all'interno degli intervalli di confidenza compatibili con l'assenza di variazione significativa nel tempo.



**Figura 4 - Curve delle percentuali dei record di nubifragi osservati rispetto a quelli attesi in Italia. Le barre celesti indicano i valori assoluti annuali.**

## 5. AGGIORNAMENTI SULLE STIME DEI VOLUMI DI PIENA

L'importanza dei piani di laminazione, proposti dalla Direttiva PCM 27/2/2004, e della gestione degli scarichi delle dighe volta ad applicare procedure di "laminazione attiva", è legata al fatto che, se correttamente pianificati, essi producono una diminuzione del rischio nei territori a valle e sull'opera stessa senza penalizzare la gestione dell'impianto. Strettamente legato a queste procedure è l'aspetto della valutazione probabilistica dei volumi di piena, poiché l'efficacia di una diga ai fini della laminazione non è funzione solo delle caratteristiche geometriche dell'invaso e dello sbarramento, ma anche e soprattutto del volume di piena che sarà temporaneamente immagazzinato dal lago.

Numerosi sono ad oggi i metodi per la stima della portata di progetto in siti non strumentati, ma assai pochi sono i lavori incentrati sulla stima regionalizzata del volume dell'idrogramma di progetto. Quest'ultimo viene di norma derivato attraverso la costruzione della Curva di Riduzione del Colmo di Piena con la durata (CRCP) che, per un generico anno, lega la generica durata  $D$  al rapporto tra la portata media massima ( $Q_D$ ) in una finestra di durata  $D$  e la portata massima istantanea di quell'anno ( $Q_p$ ). Nell'ambito di una serie storica è naturale ricercare la curva media calcolata su tutte le durate:  $\varepsilon_D = \bar{Q}_D / \bar{Q}_p$ .

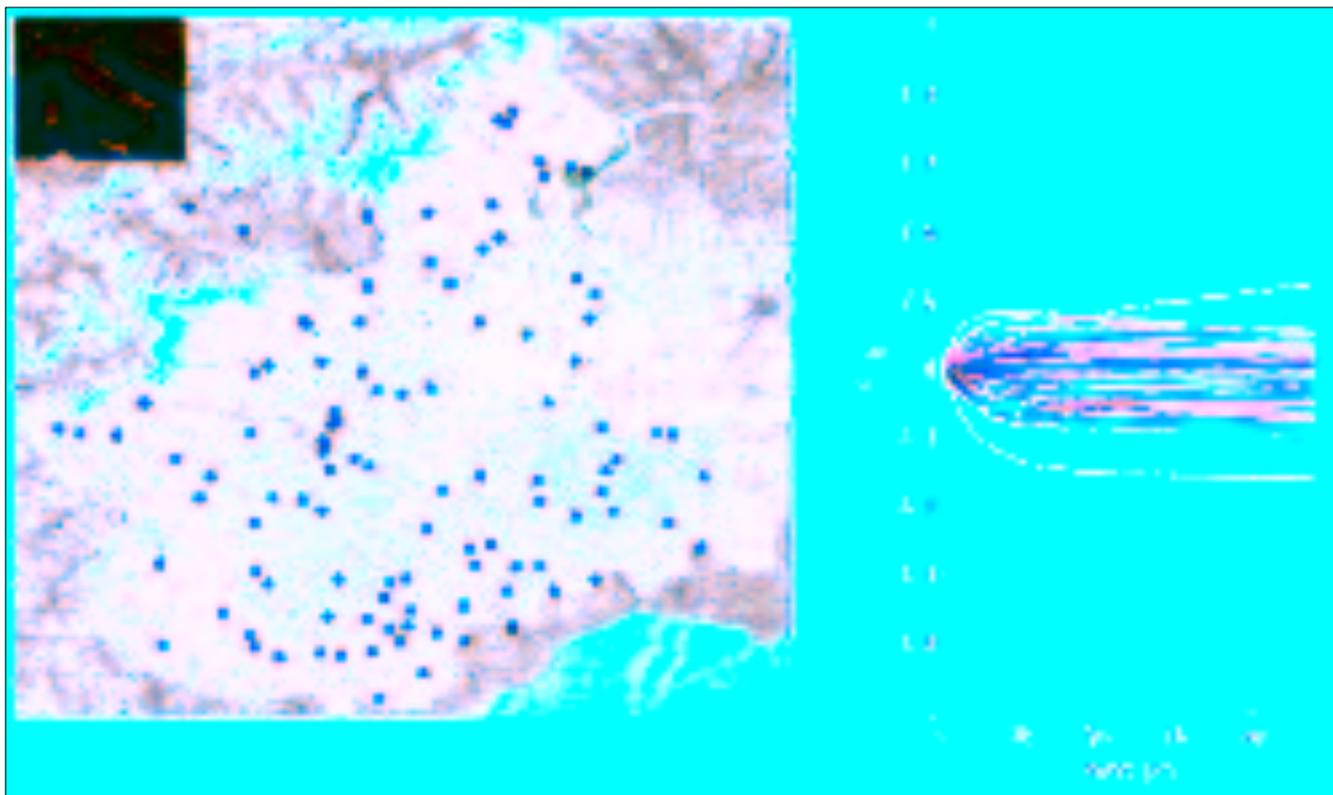
In Cordero (2019) e Cordero et al. (2019) è stata condotta un'analisi statistica dei volumi di piena mediante studio delle serie storiche di portate semi-orarie relative a 87 bacini di Piemonte e Valle d'Aosta. In analogia con gli studi di regionalizzazione delle piogge e dei picchi di piena nel citato lavoro si è affrontato il problema della stima della curva di riduzione dei colmi di piena in sezioni non strumentate. La curva CRCP è stata rappresentata attraverso una consolidata relazione a due parametri (NERC, 1975):

$$\varepsilon_D = \frac{Q_D}{Q_p} = (1 + b \cdot D)^{-c},$$

i cui parametri  $b$  e  $c$  sono stati studiati mediante analisi regionale mediante modelli di regressione lineare multipla. I modelli di regressione definiscono relazioni tra i parametri della CRCP e alcuni descrittori geomorfoclimatici di bacino. Considerati inizialmente in numero molto elevato (92) i descrittori 'utili' sono successivamente passati a 34 tramite applicazione di una funzione di "potatura" (*pruning*), che preserva quelli di più semplice determinazione a parità di correlazione mostrata con i parametri da stimare. Tutte le possibili combinazioni di 2 e 3 descrittori estratti dai 34 sono state considerate per costruire i migliori modelli di regressione multipla lineare. In aggiunta a questi si sono anche applicati metodi nonparametrici (ACE – Alternating Conditional Expectation algorithm) e multivariati (CCA – Canonical Correlation Analysis) che tuttavia non hanno prodotti stime migliori delle regressioni lineari.

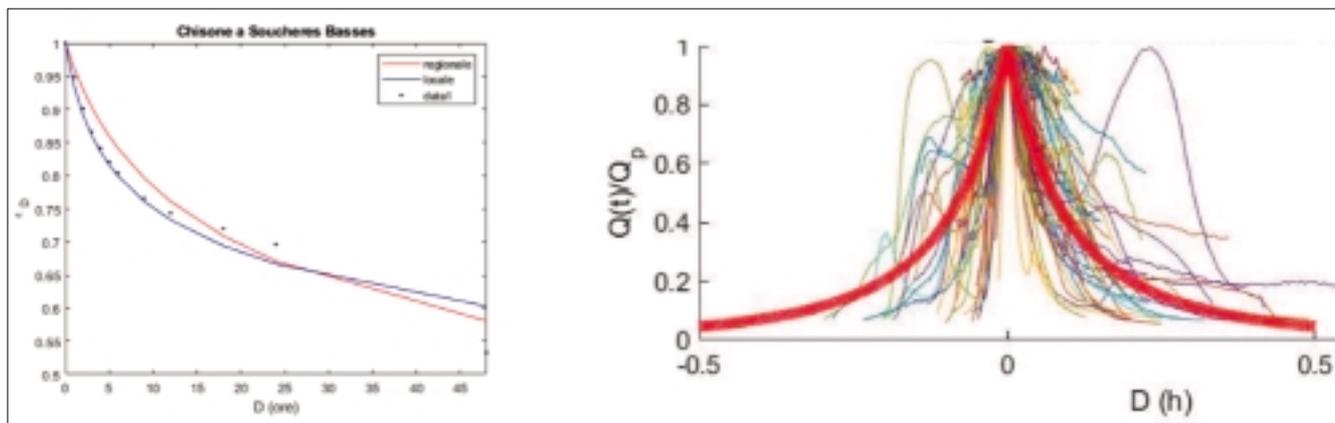


Applicando le migliori configurazioni dei modelli sopra descritti si sono ottenuti errori di ricostruzione dell'ordine del 20% ma i risultati rappresentano una base di valutazione oggettiva da utilizzare per la scelta dell'idrogramma di progetto. Il permanere di una forte incertezza è dovuto all'elevata variabilità delle curve CRCP annuali di ogni bacino rispetto alla curva media. La *Figura 5*, ad es., mostra come dalle procedure di stima regionale si ottengano deviazioni consistenti e, come intuibile, crescenti con la durata, anche se regolari e con bassa distorsione in funzione delle durate considerate.



**Figura 5 - Stazioni idrometriche utilizzate per la calibrazione del modello regionale delle CRCP (sinistra) ed errori nella ricostruzione delle CRCP regionali per le stesse sezioni (destra).**

La finalità principale per cui è di interesse stimare una curva CRCP è quella di consentire la costruzione di idrogrammi sintetici ('di progetto'). In una sezione con dati, la rappresentazione analitica adottata è efficace se gli idrogrammi sintetici sono compatibili con quelli osservati. In assenza di dati non si sarebbe modo di effettuare questa verifica a meno che se la sezione di interesse non venisse fittiziamente considerata priva di osservazioni. Questo è il caso mostrato in *Figura 6*, nella quale si valuta prima (a sinistra) l'efficacia del modello regionale di stima della CRCP, mediante sovrapposizione della curva 'regionale', cioè stimata senza utilizzare i dati della sezione di interesse. Successivamente si confronta un idrogramma sintetico (a destra) costruito senza usare i dati



**Figura 6 - A sinistra: esempio di CRCP empirica (punti) sovrapposta alla forma analitica NERC locale e regionale. A destra: idrogramma sintetico normalizzato ricostruito mediante CRCP regionale (NERC) sovrapposto con gli idrogrammi empirici normalizzati osservati nella stessa sezione.**

con gli idrogrammi effettivamente osservati, dopo averli normalizzati rispetto al tempo mediano dell'evento ed all'entità del picco di piena. I risultati ottenuti sono incoraggianti e stimolano all'ulteriore arricchimento della banca dati degli idrogrammi prodotta nell'ambito del progetto Europeo RESBA-Alcotra.

## 6. CONCLUSIONI

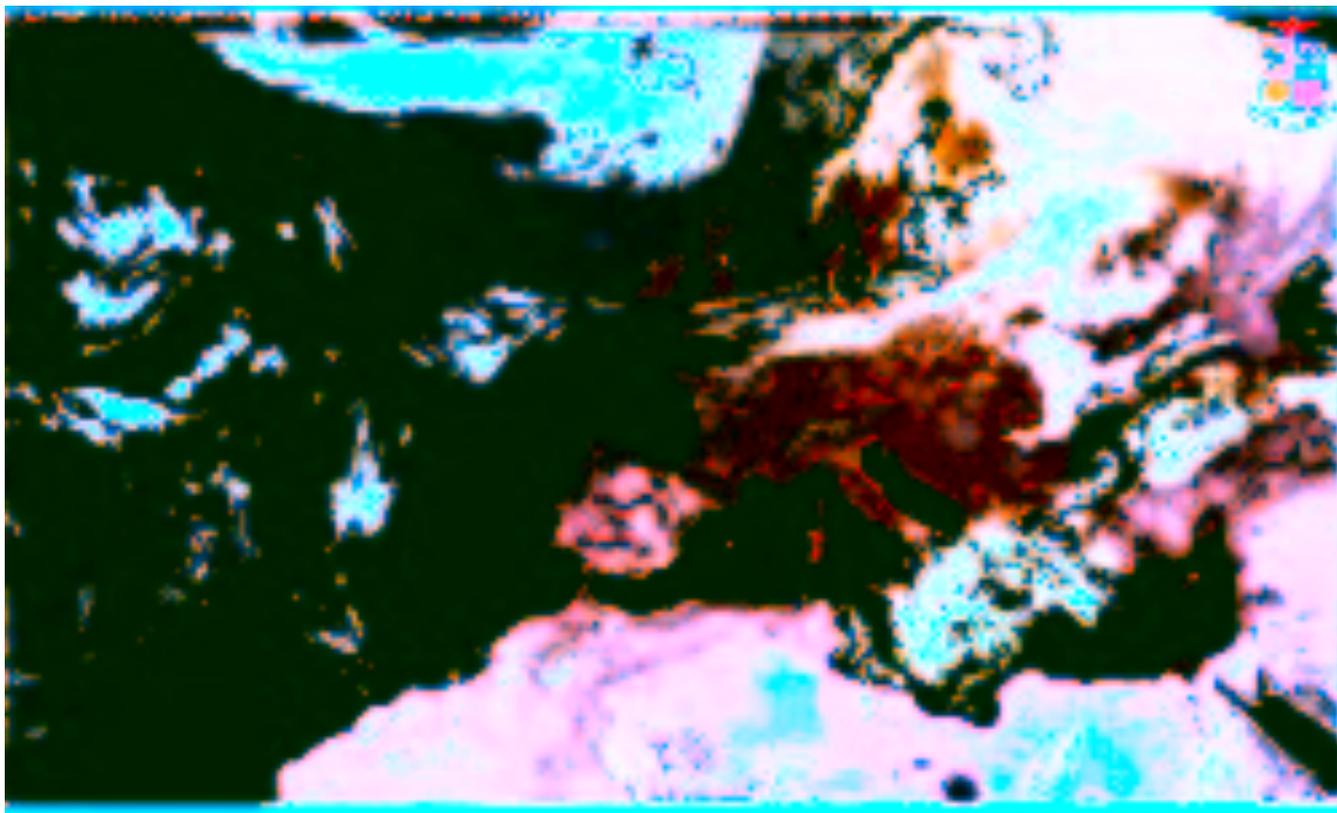
Le incombenze degli organismi pubblici responsabili della sicurezza degli sbarramenti fluviali e dei territori sono rese pressanti dal succedersi di eventi che presentano caratteri apparentemente inediti con frequenza crescente. Iniziative di ricerca di enti ed università tendono a verificare, grazie a crescenti disponibilità di osservazioni, quanto tali preoccupanti tendenze siano frutto di variazioni nelle forzanti climatiche e quanto dipendenti dai cambiamenti strutturali nei sistemi fluviali. Un corretto approccio alla revisione delle stime di grandezze di progetto, per la sicurezza sia degli sbarramenti fluviali che dei territori, richiede tuttavia un consistente impegno in direzione di una standardizzazione delle procedure. In questo lavoro si discute di come questo sia possibile senza necessità di rivedere in modo sostanziale le metodologie ma tenendo conto in maniera accurata della effettiva consistenza delle informazioni a supporto delle stime stesse. A partire da una base comune di procedure, certamente va tenuto conto dei risultati che emergono dagli studi di trend sulle precipitazioni estreme e sulle piene. Di fronte a questi fenomeni il territorio italiano si mostra ancora una volta estremamente disuniforme e di difficile caratterizzazione. Questo suggerisce da un lato di operare in via prudenziale nelle aree più critiche e, dall'altro, di intensificare in modo consistente le azioni di ricerca operando, per quanto possibile, almeno su aree a dimensione macro-regionale.

## RINGRAZIAMENTI

Parte dei risultati presentati in questo lavoro è stata finanziata dai progetti "Accordo Istituzionale con la Direzione Generale Dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche del Ministero Infrastrutture e Trasporti" e Interreg-Alcotra "RESilienza degli Sbarramenti" (RESBA).

## BIBLIOGRAFIA

- Blöschl G., Hall J., Viglione A., Perdigão R., Parajka J.; Merz B.; Lun D., Berit A.; Aronica G., Bilibashi A., Boháč M., Bonacci O., Borga M.; Čanjevac I., Castellarin A., Chirico G.B., P. Claps P. et al., 2019.** *Changing climate both increases and decreases European river floods.* NATURE. Volume: 573, Issue: 7772 Pages: 108-+, DOI: 10.1038/s41586-019-1495-6 (2019)
- Claps P., Ganora D., Laio F., 2016°.** *Portate di progetto per la sicurezza idrologica delle dighe: una procedura per valutare la qualità delle stime.* In Atti del XXXV Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche – DOI:10.6092/unibo/amsacta/5400. pp.513-516. ISBN:9788898010400.
- Claps P., E. Caporali, V. Chiarello, R. Deidda, D. De Luca, L. Giuzio, A. Libertino, F. Lo Conti, S. Manfreda, L. Noto, and P. Versace, 2016b.** *Stima operativa delle piogge estreme sul territorio nazionale: nuovi metodi e possibili sinergie.* In: Atti del XXXV Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche – DOI:10.6092/unibo/amsacta/5400. pp.549-552. ISBN:9788898010400. 2016.
- Cordero S., 2019.** Metodologie statistiche e sperimentali per il supporto ai piani di emergenza in presenza di invasi artificiali. *Tesi di Dottorato di Ricerca*, Politecnico di Torino.
- Cordero S., Ganora D., Claps P., 2019.** *Volume of design hydrograph: a regionalisation method based on flow reduction function.* In preparation
- Grasso S., Libertino A., Claps P., 2019.** *MULTIRAIN: A GIS-based tool for multi-model estimation of regional design rainfall for scientists and practitioners.* Journal of Hydroinformatics, doi: doi.org/10.2166/hydro.2019.016.
- Libertino A., Ganora D., P. Claps P., 2018.** *Technical note: Space-time analysis of rainfall extremes in Italy: clues from a reconciled dataset.* Hydrology and Earth System Sciences, 22, 2705-2715; doi: 10.5194/hess-22-2705-2018
- Libertino A., Ganora D., Claps P., 2019.** *Evidence for increasing rainfall extremes remains elusive at large spatial scales: the case of Italy.* Geophysical Research Letters, 46, DOI:10.1029/2019GL083371.
- Okoli K., Breinl K., Brandimarte L., Botto A., Volpi E., Di Baldassarre G., 2018.** *Model averaging versus model selection: estimating design floods with uncertain river flow data,* Hydrological Sciences Journal, 63:13-14, 1913-1926, DOI:10.1080/02626667.2018.1546389
- NERC, 1975.** *Estimation of flood volumes over different duration.* Flood Studies Report I, 352-373.



Sistema depressionario del tipo a “ciclogenesi esplosiva” del 28 settembre 2018.