MAPPATURA DELL'EVOLUZIONE DEGLI SCENARI DI PIENA MEDIANTE MODELLI IDROLOGICI-IDRAULICI CALIBRATI E VALIDATI UTILIZZANDO DATI DI EVENTI STORICI RILEVATI IN-SITU E SATELLITARI

Raffaele Albano [1], Carmine Limongi [1], Leonardo Mancusi [2], Aurelia Sole [1]

(1) Scuola di Ingegneria, Università degli Studi della Basilicata, Via dell'Ateneo Lucano 10, 85100 (Potenza)
(2) Dipartimento sviluppo sostenibile e Fonti Energetiche (SFE), Ricerca sul Sistema Energetico RSE S.p.A. (Milano)

ASPETTI CHIAVE

- *La combinazione ottimale dei valori dei parametri del modello afflussi-deflussi è stata definita mediante la tecnica degli algoritmi genetici a partire da un range di valori ottenuto da mappe di uso e tipo di suolo;*
- *L'utilizzo di mappe di inondazione ottenute da immagini multi-temporali SAR ha permesso la calibrazione della scabrezza idraulica utilizzata nel modello idraulico;*
- *L'utilizzo in cascata del modello idrologico e idraulico ha permesso di caratterizzare l'evoluzione spazio-temporale degli scenari di piena per diversi tempi di ritorno, rivelandosi di grande utilità per scopi di allertamento e/o di stima dei danni economici.*

1 INTRODUZIONE

La modellazione idrologica-idraulica a supporto, da un lato, della definizione degli scenari di pericolosità e rischio alluvionale utili a testare ipotesi di progetto o per valutare futuri cambiamenti e, dall'altro, della previsione e l'allertamento a breve termine degli eventi alluvionali e delle loro conseguenze, rappresenta un essenziale strumento per prevenire e/o limitare l'entità dei danni causati dagli eventi di precipitazione estrema fornendo informazioni sulla propagazione del fenomeno alluvionale, sulle sue caratteristiche e sulle criticità riscontrabili sul territorio in esame. Lo scopo di questo lavoro di ricerca è la valutazione di scenari di evento alluvionale e della loro evoluzione spazio-temporale alla foce del Bacino del Basento in Basilicata (Italia), dove si sono verificati diversi eventi calamitosi i cui danni hanno interessato severamente le aree golenali. La definizione delle mappe relative agli scenari di evento viene realizzata mediante modelli idrologici e idraulici, opportunamente calibrati e validati utilizzando dati storici in combinazione con un processo di ottimizzazione basato su algoritmi genetici e adoperando dati multi-temporali SAR relativi ad eventi passati. In particolare, l'utilizzo in cascata di un modello idrologico afflussi-deflussi fisicamente basato e a parametri concentrati chiamato AD2 (*Manfreda et al.*, 2018) per la stima degli idrogrammi di piena e di un modello idraulico bidimensionale chiamato FLORA2D *Cantisani et al.*, 2014) ha permesso la stima delle caratteristiche idrauliche, come, ad esempio, l'estensione della piena e l'inviluppo dei tiranti idrici.

2 CASO STUDIO

Il caso di studio è il bacino idrografico del fiume Basento che nasce nell'Appennino Lucano settentrionale e, scorrendo da nord-ovest a sud-est nelle province di Potenza e Matera, sfocia nel Golfo di Taranto. L'estensione del bacino imbrifero è di circa 1535 km^2, con oltre il 70% della superficie totale coperta da aree agricole e la restante parte caratterizzata da foreste costiere e da una vegetazione tipica di alcune aree mediterranee. A nord-ovest presenta morfologia montuosa per poi diventare collinare e degradare in modo graduale verso la piana costiera del metapontino, a est. Il presente studio mira a stimare le portate di piena con determinati tempi di ritorno alla sezione fluviale "SS 106 Jonica" ed utilizzare questi dati per la mappatura di scenari di evento alluvionale simulati mediante modelli idrodinamici in un'area test di circa 124 km^2 che si estende per 7.5 km a monte della foce del fiume Basento (Figura 1).

[RSE n. 24002627 - 2024/03/22]

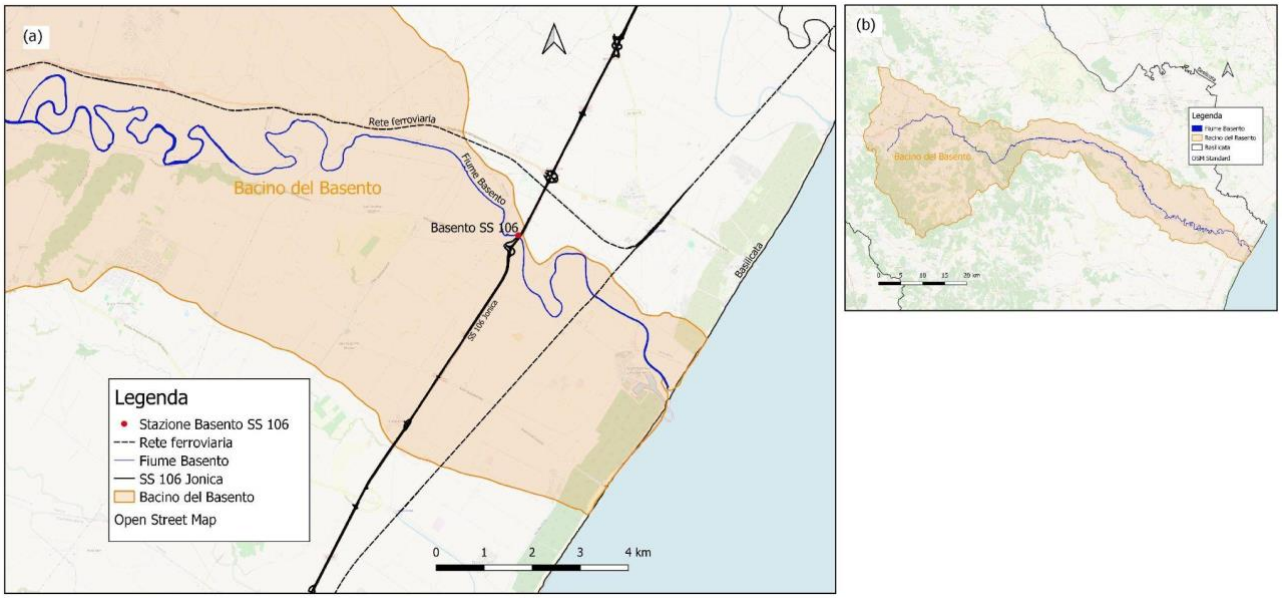

Figura 1. Foce del fiume Basento (a) nonché area di studio e bacino del Basento (b)

3 MATERIALI E METODI

Il modello idrologico afflussi-deflussi AD2 di tipo concettuale a parametri concentrati fisicamente basati è capace di interpretare e descrivere il processo idrologico a scala d'evento ed è stato utilizzato per stimare le condizioni al contorno (ovvero l'idrogramma di piena) degli scenari di allagamento simulati con il modello bidimensionale FLORA2D. Quest'ultimo si basa sulle equazioni di De Saint-Venant ("shallow water equations") ed è adatto a simulare la propagazione delle piene in aree pianeggianti e fociali a topografia complessa. Una fase di calibrazione e validazione dei suddetti modelli è essenziale per ottimizzare le prestazioni dei modelli stessi, sia nella valutazione di scenari di evento sia nel supportare la previsione e il monitoraggio delle inondazioni. La calibrazione e la validazione del modello idrologico sono state realizzate mediante l'utilizzo dei dati storici idro-pluviometrici; il modello idraulico è stato calibrato e validato utilizzando le mappe delle aree inondate, rispettivamente per l'evento del 1 e 2 Dicembre 2013 e del 1 Marzo 2011, ricavate da immagini satellitari multi-temporali SAR (Radar ad Apertura Sintetica). Nel primo caso la calibrazione è avvenuta ottimizzando, sulla base di una serie temporale di valori di portata rilevata alla sezione "SS106 Jonica" del fiume Basento, i valori dei parametri di input del modello AD2 mediante tecnica basata su algoritmi genetici utilizzando come funzione obiettivo quella di *NSE - Coefficiente di Efficienza di Nash-Sutcliffe* (1970); il range di ricerca dei valori ottimali dei parametri del modello è stato ricavato da mappe di uso e tipologia di suolo. Inoltre, effettuando un confronto tra le mappe delle aree inondate generate dal modello FLORA2D e le mappe delle aree inondate derivate dalle immagini SAR, acquisite prima e dopo la fase di picco dell'evento, è stata stimata la distribuzione spaziale delle scabrezze idrauliche minimizzando gli errori di sottostima e sovrastima del modello idraulico, ovvero il tasso di falsi positivi r_{fp} e il tasso di falsi negativi r_{fn} mediante l'utilizzo della cosiddetta matrice di contingenza (*Scarpino et al.*, 2018).

Dopo aver calibrato e validato i modelli sugli eventi storici, si è passati alla valutazione sia degli idrogrammi di piena che alle mappe di inondazione per gli scenari di evento con Tempo di Ritorno 30, 200 e 500 anni. In particolare, la stima degli idrogrammi di piena mediante modello AD2 per i vari scenari di evento è stata realizzata a partire dalle precipitazioni per definiti tempi di ritorno, utilizzando le serie storiche di pioggia per la stima delle curve di possibilità pluviometrica, (come indicato da *Ippolito* (1995) per una durata pari al tempo di corrivazione del bacino), e il metodo di regionalizzazione VAPI Basilicata e successivi aggiornamenti, come riportato da *Manfreda et al.*, (2015), per la sua estrapolazione ad elevati tempi di ritorno; infine, la distribuzione temporale della precipitazione è ricavata mediante il metodo "Chicago". Si ricorda che le curve di probabilità pluviometrica esprimono la relazione tra l'altezza di precipitazione e la sua durata per un assegnato periodo di ritorno.

Per verificare la rappresentatività dei risultati del modello idrologico per scenari di evento, si è dapprima

stimato il tempo di ritorno dell'evento di Dicembre 2013, su cui è stato calibrato il modello idrologico, quindi, si è confrontato il picco di piena di questo evento storico con quello dell'idrogramma ottenuto dallo ietogramma sintetico Chicago di pari tempo di ritorno. Considerando i buoni risultati ottenuti da questo confronto, si è proceduto, utilizzando la metodologia sopra proposta, a definire gli idrogrammi di piena per gli eventi con T_R= 30, 200 e 500 anni e alla realizzazione, mediante l'uso del modello idrodinamico, delle mappe della distribuzione dei tiranti idrici e delle velocità della corrente.

4 RISULTATI

Considerando gli ottimi risultati del modello idrologico AD2 in fase di calibrazione e validazione, rispettivamente NSE pari a 0.91 e 0.86, nella stima degli idrogrammi di piena degli eventi storici e la validità nella scelta di una scabrezza variabile nello spazio in funzione del tipo di uso del suolo che, grazie alla calibrazione con le immagini SAR degli eventi storici analizzati ha comportato, rispetto all'uso di valori medi di letteratura, una riduzione dei falsi positivi al 32% e di falsi negativi al 25%, si è proceduto alla simulazione di scenari di evento degli idrogrammi di piena e delle mappe di inondazione. Di seguito si riportano le mappe della distribuzione spaziale degli inviluppi dei massimi tiranti idrici per gli scenari con tempo di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni.

L'estensione delle zone interessate dall'esondazione sono risultate pari a 20.62, 31.87 e 36.35 km^2 rispettivamente per gli scenari con T_R di 30, 200 e 500 anni. Queste valutazioni sono di supporto alla stima del danno economico diretto che è stata realizzata utilizzando le curve di danno proposte dal Joint Research Center e i valori economici unitari regionali per i vari usi del suolo disponibili per il prodotto interno lordo pro capite allineato sugli standard di potere d'acquisto (*Huizinga*, 2007). A titolo di esempio, per lo scenario con T_R 30 anni la stima ammonta a circa 38 Milioni di € per le aree urbane e 8M€ per le aree agricole,

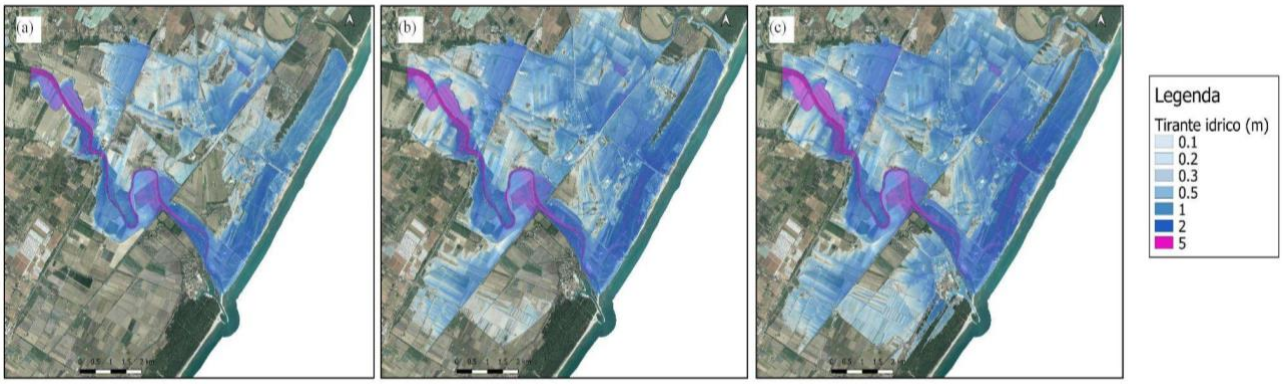

Figura 2. Inviluppo dei massimi tiranti idrici per gli scenari con tempi di ritorno 30 (a), 200 (b) e 500 anni (c)

5 CONCLUSIONI

In conclusione si può affermare che la modellistica idrodinamica assume un ruolo decisivo nella previsione delle inondazioni. Negli ultimi anni, infatti, è diventata sempre più forte la necessità di disporre di un sistema predittivo in grado di fornire degli scenari di pericolosità a seguito di eventi di pioggia che via via stanno diventando sempre più estremi producendo danni sempre più ingenti, tanto per il territorio quanto per la vita e la sicurezza delle persone. In questa ottica disporre di metodi di calibrazione dei modelli risulta di fondamentale importanza al fine di migliorare l'accuratezza della mappatura delle piene. L'utilizzo di questi modelli per la realizzazione di mappe di pericolosità e di rischio idraulico, infatti, può essere di supporto nella valutazione di polizze assicurative, nella pianificazione degli interventi di mitigazione e nella definizione delle priorità, nella definizione dei piani di manutenzione degli alvei fluviali e delle infrastrutture di difesa del territorio, nella scelta e gestione delle strategie di emergenza o di protezione civile e nel favorire la sensibilizzazione alla problematica di cittadini e di stakeholders permettendo un'adeguata risposta individuale in caso di evento mediante l'utilizzo di comportamenti salvavita come riportato da *Albano et al.*, (2015). Inoltre i modelli utilizzati permettono di valutare l'evoluzione spazio-temporale della piena in modo da fornire agli

operatori di protezione civile, ad esempio, indicazioni sui tempi della fase di regressione delle piene al fine di valutare quali aree saranno accessibili per prime e quali strade necessitano un ripristino più urgente e, quindi, in quali aree il ritiro delle acque deve essere accelerato artificialmente attraverso operazioni di pompaggio (*Scarpino et al.*, 2018).

Gli sviluppi futuri prevedono l'implementazione di un sistema previsionale a cascata con assimilazione in near real-time (o comunque ogni volta i quali risultino disponibili) dei dati provenienti dalle precipitazioni e dalle portate e dall'utilizzo di immagini SAR al fine di migliorare la calibrazione dei modelli idrologici-idraulici e realizzare previsioni a breve termine che siano in grado di valutare l'evoluzione spazio-temporale di differenti tipologie di eventi caratterizzati da diversa intensità.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Albano, R., Sole, A., and Adamowski, J.: READY: a web-based geographical information system for enhanced flood resilience through raising awareness in citizens, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 15, 1645–1658, https://doi.org/10.5194/nhess-15-1645-2015, 2015.

Cantisani, A., Giosa, L., Mancusi, L. & Sole, A., 2014, FLORA-2D: a new model to simulate the inundation in areas covered by flexible and rigid vegetation. Int J Eng Innov Technol 3(8):179–186.

Huizinga HJ. 2007. Flood damage functions for EU member states. HKV Consultants, Implemented in the frameworkof the contract #382442-F1SC awarded by the European Commission –Joint Research Centre

Ippolito, G., 1995, Appunti di Costruzioni Idrauliche, Liguori Editore.

Manfreda, S., Aurelia, S. & De Costanzo, G., Le precipitazioni estreme in Basilicata, Universosud, pp.146, (ISBN: 978-88-99432-03-4), 2015.

Manfreda, S., Mita, L., Dal Sasso, F., Samela, C. & Mancusi, S., Exploiting the use of physical information for the calibration of a lumped hydrological model. Hydrological Processes 2018, Volume 32 Issue 10.

Nash, J. E. & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I-A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10(3), 282– 290.

Scarpino, S., Albano, R., Cantisani, A., Mancusi, L., Sole, A. & Milillo, G., 2018, Multitemporal SAR Data and 2D Hydrodynamic Model Flood Scenario Dynamics Assessment, ISPRS Int. J. Geo-Inf., 7 (3), 105