

IMPLEMENTAZIONE DI UN SISTEMA DI PREVISIONE PER LA GESTIONE DELLE PIENE IN TEMPO REALE: IL BACCHIGLIONE NEL VICENTINO

Paolo Ronco, Elena Crestani, Giulia Passadore, Daniele Pietro Viero, Luca Carniello, Gianluca Botter, Luigi D'Alpaos & Andrea Rinaldo

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Università degli Studi di Padova.

ASPETTI CHIAVE

- *La nota descrive l'implementazione di una metodologia operativa per l'accoppiamento di modelli climatici idrologici ed idrodinamici, finalizzata allo studio della risposta idrologica del fiume Bacchiglione.*
- *Nel complesso, viene confermata l'affidabilità del sistema previsionale: i valori di portata al picco sono descritti con buona precisione, nonostante l'incertezza degli input meteorologici.*
- *La catena modellistica è supportata da un'interfaccia grafica GIS che facilita l'esecuzione delle simulazioni e la visualizzazione degli output, e la rende funzionale per la gestione delle emergenze idrauliche.*

1 PREMESSA

I tragici eventi che hanno interessato il Nord-Est nel 2010 e negli anni successivi hanno drammaticamente dimostrato come il Veneto, e la città di Vicenza in particolare, sia particolarmente esposto al rischio idraulico, anche in ragione delle trasformazioni più o meno recenti nell'uso del suolo in relazione alla pianificazione territoriale e agli adattamenti (o alla loro mancanza) nelle opere idrauliche di difesa e utilizzazione. Il presente studio è finalizzato all'implementazione di modelli accoppiati climatico-idrologico-idrodinamico, fisicamente basati e spazialmente espliciti, in grado di monitorare e prevedere in tempo reale l'evoluzione di eventi di piena e le conseguenze prodotte sul territorio circostante, con riferimento ai principali corsi d'acqua del territorio veneto. In particolare, il sistema integrato descritto in questa nota si propone come strumento funzionale alla previsione e al monitoraggio degli eventi di piena in tempo reale, nonché alla descrizione dei regimi idrologici anche in tempi di morbida e di magra, del fiume Bacchiglione chiuso a Montegalda (Figura 1), in provincia di Vicenza.

2 MODELLAZIONE IDROLOGICA E CLIMATICA

Il modello idrologico geomorfologico implementato stima l'evoluzione temporale del contenuto d'acqua del suolo e della portata in transito alla sezione di chiusura dei 3 principali bacini idrografici che alimentano il Bacchiglione, chiuso alla sezione di Montegalda (1400 km²): il Bacchiglione chiuso alla sezione di Vicenza - Ponte degli Angeli (400 km²), il Retrone chiuso alla sezione di S. Agostino (120 km²) e il Tesina chiuso alla sezione di Bolzano Vicentino (750 km²). Il codice di calcolo utilizza la forzante di precipitazione che insiste sul bacino in modo spazialmente e temporalmente distribuito, attraverso l'utilizzo di interpolatori geostatistici. Per lo studio degli eventi storici, sono stati utilizzati i dati di precipitazione registrati nelle stazioni meteorologiche ARPAV. Per le simulazioni volte a prevedere l'andamento delle portate e dei livelli idrometrici futuri, il modello è in grado di incorporare i dati di pioggia previsti da un modello climatico regionale (LAMI). Il modello stima le componenti efficaci della precipitazione attraverso la scrittura di opportune equazioni di bilancio idrologico. In particolare, ogni sottobacino è stato scomposto in una frazione vegetata ed in una frazione urbana, per le quali sono stati valutati separatamente i rispettivi contributi in termini di deflusso (tenendo conto del ruolo svolto dall'evapotraspirazione per quanto riguarda l'evoluzione del contenuto d'acqua nel suolo in aree a copertura vegetale). La risposta idrologica viene calcolata sulla base della convoluzione tra la pioggia efficace ed un idrogramma istantaneo unitario di tipo geomorfologico. Tale idrogramma tiene in conto dell'eterogeneità dei percorsi di drenaggio all'interno di un bacino caratterizzato da una rete di drenaggio complessa, includendo in modo esplicito i processi di dispersione all'interno del suolo e il contributo alla dispersione relativo al reticolo idrografico ed alla sua morfologia (Rinaldo et al., 1996, 2005). I parametri di calibrazione del modello sono 13, e si possono suddividere in: i) parametri riguardanti il suolo e la produzione del deflusso, inclusa la caratterizzazione della risposta idrologica delle aree urbane; ii) parametri dinamici riguardanti la propagazione dell'onda di piena nella rete

di canali e nei versanti (include le aree urbane); e iii) parametri riguardanti la vegetazione, necessari a stimare il flusso di evapotraspirazione (la quantità di acqua infiltrata che viene restituita all'atmosfera nel lungo periodo sotto forma di vapore acqueo). La calibrazione dei modelli idrologici è stata effettuata sulla base dell'andamento della portata (stimata indirettamente dai corrispondenti livelli idrometrici) in corrispondenza delle sezioni di chiusura fornite da ARPA Veneto. Particolare attenzione è stata dedicata agli eventi di piena (picco e volume) degli ultimi 5 anni (2010 - 2014), che sono stati riprodotti con adeguata accuratezza dal modello (Figura 1b).

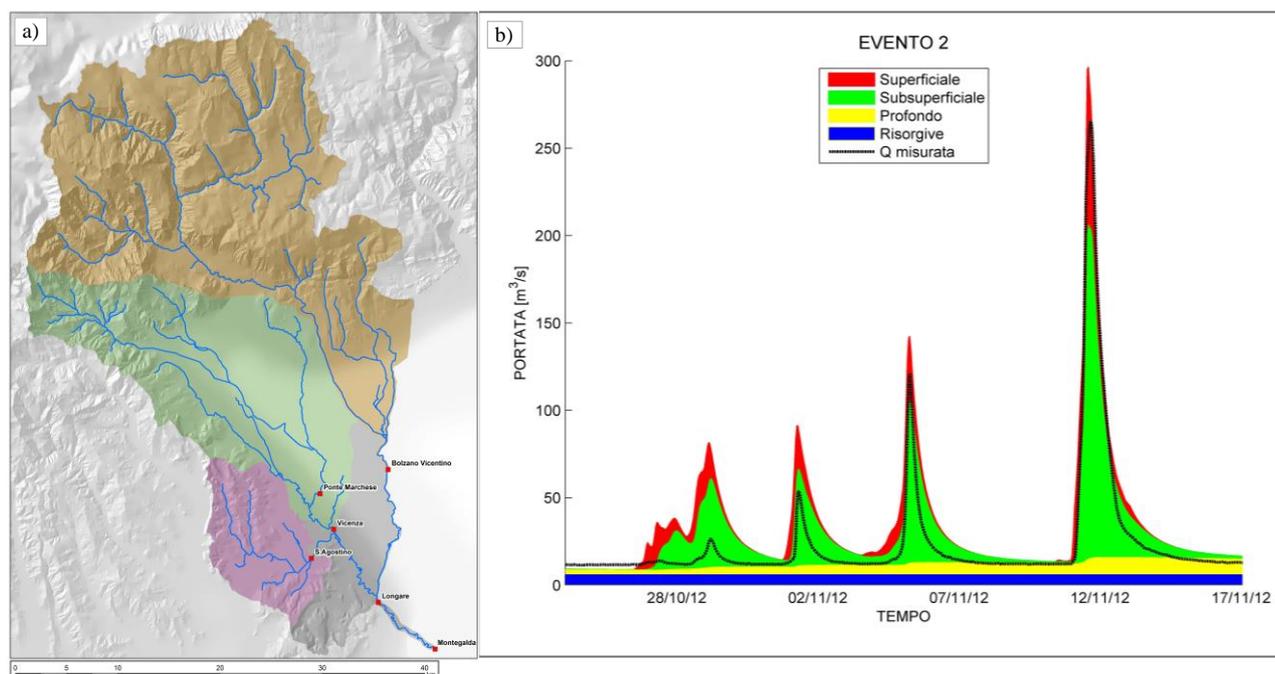


Figura 1. a) Bacino del Bacchiglione chiuso a Montegalda; bacino del Bacchiglione chiuso a Vicenza - Ponte degli Angeli (in verde); bacino del Retrone chiuso a S. Agostino (in rosa); bacino del Tesina chiuso a Bolzano Vicentino (in marrone); b) Bacchiglione a Vicenza, Ponte degli Angeli, calibrazione del modello idrologico rispetto all'evento del dicembre 2012.

3 MODELLAZIONE IDRODINAMICA

Il modello matematico utilizzato, ampiamente descritto in numerosi contributi scientifici (*D'Alpaos & Defina 1993, 1995; D'Alpaos et al., 1994, 2003; Defina 2000, 2003; Viero et al., 2013*) e che ha trovato in questi anni altrettanto numerose applicazioni, si basa sulla soluzione delle equazioni di De Saint Venant, che, come noto, descrivono il moto bidimensionale di una corrente a superficie libera nelle ipotesi di distribuzione idrostatica delle pressioni, di velocità uniformemente distribuite lungo la verticale e di fondo inderodabile. Tali equazioni, opportunamente modificate per descrivere in modo efficiente la transizione asciutto-bagnato particolarmente importante nei fenomeni di esondazione (*Defina 2000*), sono risolte adottando uno schema numerico agli elementi finiti su di una griglia triangolare, che viene utilizzata per schematizzare l'area oggetto dello studio. Il reticolo di calcolo bi-dimensionale comprende, a monte, l'Astico-Tesina da Bolzano Vicentino, il Retrone da Sant'Agostino, l'Astichello da viale Cricoli, l'Orolo da Isola Vicentina, il Timonchio dal ponte di Novoledo (a monte del costruendo bacino di laminazione di Caldogno) e l'igna da Novoledo. A valle, il dominio è stato esteso fino al manufatto di Voltabarozzo (Padova), così che il modello possa riprodurre in modo realistico, all'altezza di Montegalda, gli effetti legati al moto vario (cappio di piena). La calibrazione del modello è comunque da ritenersi limitata ai corsi d'acqua a monte di Montegalda. La quote del terreno sono state assegnate agli elementi del reticolo di calcolo utilizzando per lo più i dati derivanti da rilievi plano-altimetrici effettuati dal Genio Civile (quotature arginali e sezioni fluviali) e da campagne di quotatura LIDAR e MultiBeam effettuati dal Ministero dell'Ambiente.

La procedura di calibrazione è volta all'individuazione di una combinazione ottimale dei coefficienti di scabrezza degli elementi di calcolo in modo tale che il modello riproduca con la massima accuratezza la

propagazione delle onde di piena nel sistema considerato, sia in termini di livelli idrometrici (colmo di piena), sia in termini di velocità di propagazione. Si è scelto di basare la calibrazione del modello idrodinamico innanzitutto sui dati misurati disponibili, senza considerare in questa fase i dati forniti dal modello idrologico. Questo modo di procedere garantisce che la modellazione idrodinamica sia il più aderente possibile alla fisica reale del problema simulato, non viziata dalle inevitabili incertezze, né da eventuali errori sistematici, associati agli idrogrammi simulati con il modello idrologico.

Condizione necessaria per ottenere una buona taratura è la conoscenza delle portate che transitano nei tratti di fiume considerati, assieme alla capacità del modello di riprodurle. Per questo motivo, si è data la massima rilevanza a tutte le misure di portata effettuate. Coerentemente, anche le scale delle portate nelle sezioni significative del reticolo idrografico sono state aggiornate (Ponte degli Angeli, Astico-Tesina a Bolzano Vic.no e Montegalda) o definite ex-novo (Ponte Marchese, Retrone a S.Agostino).

Nella configurazione utilizzata tutte le sezioni di monte del modello coincidono con sezioni strumentate e, di conseguenza, la calibrazione congiunta sui livelli e sulle portate ha consentito di ridurre in modo drastico le incertezze sui dati in ingresso (forzanti) e di ottenere risultati robusti e accurati per tutti i tratti di fiume considerati, ed in particolare per le sezioni strumentate di valle (Longare e Montegalda). Gli eventi di piena recenti considerati per la calibrazione sono tre (22 - 27 dicembre 2010; 6 - 11 novembre 2011; 11 - 14 novembre 2012) mentre la verifica ha considerato due eventi significativi (15-20 marzo 2011; 15-20 maggio 2013). I valori di scabrezza sono stati assegnati dividendo gli elementi di calcolo in classi omogenee per tratto di fiume e per caratteristiche idrodinamiche. Sono state assegnate a diverse classi, rispettivamente, le maglie che riproducono l'alveo principale, le maglie di sponda tra alveo e gola (qualora presenti), le maglie golenali, gli elementi che riproducono elementi particolari quali, per esempio, i ponti. L'osservazione delle caratteristiche morfologiche dell'alveo nei vari tratti di fiume, desunte da sopralluoghi, materiale fotografico e da immagini satellitari, ha consentito di scegliere parametri di scabrezza di primo tentativo. Successivamente, procedendo per tentativi, si è giunti alla configurazione finale.

Il confronto tra risultati del modello e dati misurati, riportato a titolo di esempio in Figura 2, conferma il buon risultato ottenuto durante la fase di calibrazione, sia in termini di livelli che di portate.

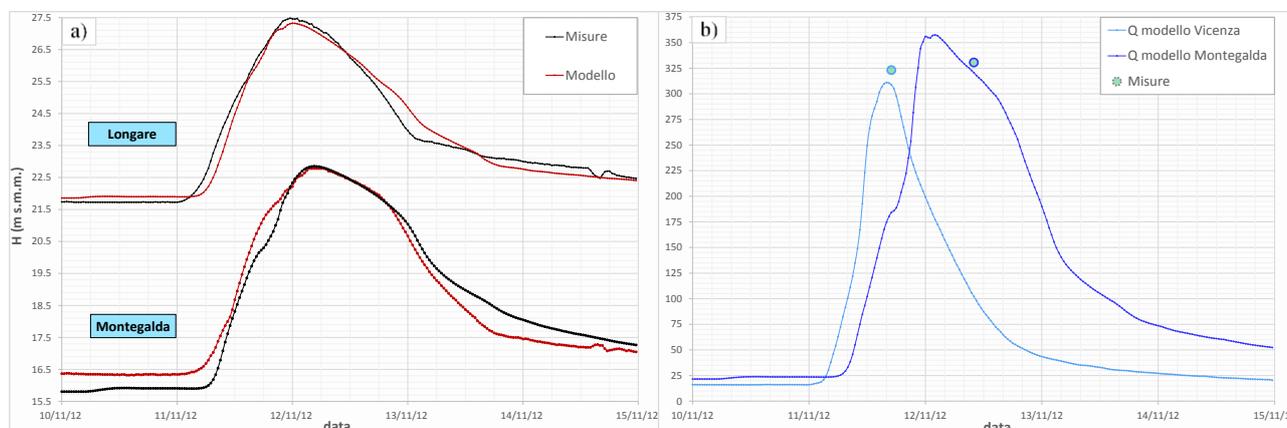


Figura 2. Confronto tra a) i livelli registrati e modellati a Longare (zero idrometrico a 21.39 m s.m.m.) e Montegalda (zero idrometrico a 16.18 m s.m.m.) e b) tra la portata misurata e modellata a Vicenza (presso il ponte dello Stadio) e a Montegalda, durante l'evento del 11-14 novembre 2012.

4 IL SISTEMA INTEGRATO PER LA PREVISIONE IN TEMPO REALE

Lo sviluppo di una interfaccia di gestione della catena modellistica di previsione si è reso necessario al fine di rendere lo strumento sviluppato più facilmente ed agilmente utilizzabile da parte delle autorità regionali responsabili per il monitoraggio e la gestione delle emergenze in tempo reale. L'interfaccia è costituita da un software interattivo a finestre che consente di visualizzare ed elaborare i risultati delle simulazioni mediante rappresentazioni grafiche dei parametri idraulici calcolati dal modello quali livelli, tiranti, portate, velocità della corrente, sforzi al fondo. Le rappresentazioni grafiche possibili includono strumenti pensati per scopi

operativi di protezione civile e difesa del suolo (e.g. andamenti temporali di parametri chiave, profili longitudinali con tracce di allarme, mappe a colori e sequenze animate).

Il sistema integrato permette 1) l'elaborazione dei dati delle misure provenienti dalla rete di telerilevamento (rete RT SIRAV, dati di livello e di pioggia) e dei dati provenienti dalle previsioni del modello meteorologico LAMI; 2) la costruzione dei file di input per la corsa del modello idrologico 3) la corsa del modello idrologico e restituzione dei risultati nelle sezioni significative (andamento delle portate nelle sezioni di ingresso del modello idrodinamico); 4) costruzione dei file di input per la corsa del modello idrodinamico e corsa del modello idrodinamico; 5) post processing dei risultati del modello idrodinamico, con possibilità di generare gli output in formato compatibile con sistemi di pubblicazione GIS. In particolare possono essere prodotte le mappe delle aree allagate, i franchi idraulici rispetto alle sommità arginali, nonché l'andamento nel tempo di livelli e portate in alcune sezioni significative.

5 CONCLUSIONI

Le prestazioni del modello idrologico ottenuto con campi di precipitazione osservati sono state valutate con particolare attenzione nel periodo dal 2010 al 2014. I risultati indicano che modelli fisicamente basati opportunamente calibrati sono adeguati a riprodurre le dinamiche idrologiche osservate nel lungo termine (per la modellazione idrologica in continuo), e durante singoli eventi di piena. Questi ultimi sono ben riprodotti sia in termini di forma dell'idrogramma che di portate al colmo.

Il modello idrodinamico, calibrato e testato in diversi eventi di piena osservati nel recente passato, evidenzia buone prestazioni nella riproduzione della propagazione di onde di piena nell'intero sistema idraulico del Bacchiglione. In alcuni casi, la previsione fornita dal modello climatico si è dimostrata inaffidabile, con errori significativi nei campi di precipitazione previsti che, inevitabilmente, si propagano attraverso il modello idrologico e idrodinamico portando a significativi errori nelle portate previste. Come evidente, una tale circostanza evidenzia chiaramente che le buone prestazioni della catena modellistica idrologico-idraulica sono fortemente influenzate dall'affidabilità dei campi di precipitazione previsti dal modello climatico.

L'affidabilità complessiva del modello idrologico-idraulico e climatico potrà essere migliorata con l'approfondimento dei seguenti aspetti: 1) la caratterizzazione dei flussi in entrata e in uscita dal bacino (dispersione degli alvei nel loro tratto di pianura, sorgenti montane, risorgive, recapiti fuori bacino); 2) l'effettiva distribuzione spaziale delle piogge - in particolare nella dorsale tra Agno-Guà e Leogra dove effetti orografici sono particolarmente rilevanti; 3) la definitiva determinazione, e l'aggiornamento, della scala delle portate in corrispondenza delle sezioni di chiusura dei modelli; 4) l'osservazione delle portate (almeno per alcuni eventi significativi) in sezioni intermedie dei bacini meno indagati laddove le caratteristiche idrologiche sono da approfondirsi (con particolare riferimento agli apporti dell'Orolo, dell'Igna e del Timonchio); 5) il miglioramento dell'accuratezza dei campi di precipitazione prevista dagli strumenti attuali.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- D'Alpaos L. and Defina A. Venice lagoon hydrodynamics simulation by coupling 2D and 1D finite element models. In Proceedings of the 8th Conference on Finite Elements in Fluids. New Trends and Applications, p.917-926, Barcelona, 20-24 September 1993.
- D'Alpaos L., Defina A., and Matticchio B. A 2D finite element modelling of flooding due to a river bank collapse. In ASCE, editor, Proceedings of Modelling of Flood Propagation Over Initially Dry Areas, Milano, 1994.
- D'Alpaos L. and Defina A. Modellazione matematica del comportamento idrodinamico delle zone di barena solcate da una rete di canali minori. In Istituto Veneto di SS.LL.AA. - Rapporti e Studi, volume XII. Istituto Veneto di SS.LL.AA., 1995.
- D'Alpaos L., Martini P., Carniello L., and Avanzi C. Two dimensional modelling of flood flows and suspended sediment transport: the case of Brenta River. In EGS-AGU-EUG Joint Assembly 2003, Nizza, April 2003.
- Defina A. Two dimensional shallow flow equations for partially dry areas. Water Resource Research, 36(11):3251-3264, 2000.
- Defina A. Numerical experiments on bar growth. Water Resources Research, 39(4), 2003.
- Rinaldo A. and I. Rodriguez-Iturbe. Geomorphological theory of the hydrological response. Hydrological processes, 10(6):803-829, 1996.
- Rinaldo A., et al. "Transport at basin scales: 1. Theoretical framework." Hydrology and Earth System Sciences Discussions 2.4 1613-1640, 2005.
- Viero D.P., D'Alpaos A., Carniello L. and Defina A. Mathematical modeling of flooding due to river bank failure. Advances in Water Resources, 59:82-94, 2013.