

SISTEMA INTEGRATO DI PREVISIONE DELLE PIENE IN TEMPO REALE NEL BACINO IDROGRAFICO BRENTA-BACCHIGLIONE

Elena Crestani^{1}, Riccardo Mel¹, Giulia Passadore¹, Daniele Viero¹, Luca Carniello¹, Bruno Maticchio², Paolo Boscolo³, Silvia Cremonese³, Italo Saccardo³, Barbara De Fanti⁴, Marco Puiatti⁴, Luigi D'Alpaos¹ & Andrea Rinaldo^{1,5}*

(1) Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Università di Padova

(2) Ipros Ingegneria Ambientale srl, Padova

(3) A.R.P.A.V. Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio, Servizio Idrologico Regionale

(4) Direzione Difesa del Suolo - Regione Veneto

(5) Laboratory of Echohydrology (ECHO/IIIE/ENAC), École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland

*email: elena.crestani@dicea.unipd.it

ASPETTI CHIAVE

- Modello idrologico-idrodinamico per la previsione delle piene in tempo reale nel Brenta-Bacchiglione.
- Interfaccia grafica GIS funzionale alla gestione delle emergenze in corso di evento.
- Limitazione dell'incertezza delle condizioni iniziali forzando il modello con misure di precipitazione e di livello.
- Buona precisione e affidabilità del sistema confermate dalle simulazioni di eventi passati.

1 PREMESSA

Il territorio del Veneto è stato interessato nel 2010 e negli anni seguenti da episodi alluvionali, talora tragici, che ne hanno dimostrato la vulnerabilità in termini di rischio idraulico e che hanno evidenziato, oltre al bisogno di intervenire sul territorio con opere idrauliche di difesa e utilizzazione (come la cassa di espansione sul torrente Timonchio a Caldogno, già completata), anche la necessità di sviluppare un sistema di previsione, monitoraggio e gestione degli eventi di piena.

Il presente studio è relativo all'implementazione di un sistema modellistico integrato climatico-idrologico-idrodinamico, fisicamente basato e spazialmente distribuito, che descrive esplicitamente i processi di trasformazione afflussi-deflussi e i fenomeni idrodinamici legati alla propagazione delle onde di piena. Questo sistema permette di monitorare e prevedere in tempo reale l'evoluzione di eventi di piena e le relative conseguenze prodotte sul territorio posto in adiacenza ai corsi d'acqua principali. In particolare, la catena modellistica e l'interfaccia sviluppati riguardano il sistema idrografico del Brenta-Bacchiglione, dalle sezioni di chiusura dei bacini montani sino alla foce (Figura 1). La nota mostra quindi l'evoluzione, i miglioramenti e gli sviluppi di quanto già descritto in *Ronco et al.* (2016).

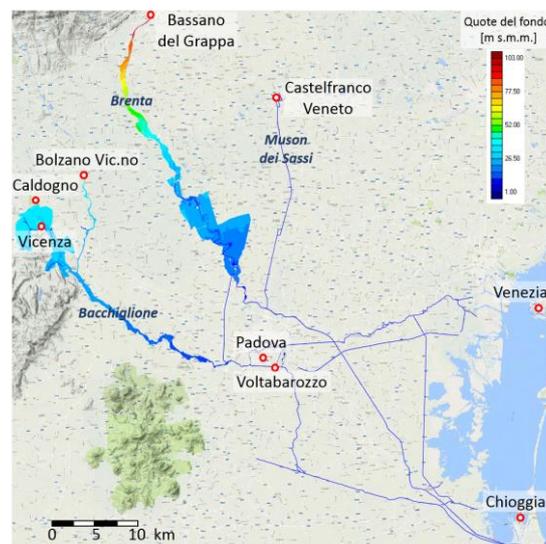


Figura 1. Dominio di calcolo del modello idrodinamico. I colori indicano le quote del fondo.

2 MODELLAZIONE IDROLOGICO-IDRODINAMICA

La catena modellistica predisposta stima gli idrogrammi di piena a partire dalle piogge, con un modello idrologico di trasformazione afflussi-deflussi. Le portate ottenute vengono propagate lungo l'asta fluviale, mediante un modello idrodinamico che stima i livelli e i possibili allagamenti nel dominio di interesse.

2.1 Modellazione idrologica

Il modello idrologico sviluppato elabora, attraverso l'utilizzo di interpolatori geostatistici, la distribuzione spaziale e temporale della precipitazione che insiste sul bacino e stima le componenti efficaci della pioggia mediante opportune equazioni di bilancio idrologico. Dopo aver valutato il contributo di ciascun sottobacino in termini di deflusso, la risposta idrologica viene calcolata sulla base della convoluzione tra la pioggia efficace ed un idrogramma istantaneo unitario di tipo geomorfologico. Tale idrogramma considera l'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 (es., *Rinaldo et al.*, 1996). Nello studio presentato, gli idrogrammi di piena sono calcolati dal modello geomorfologico per i seguenti bacini:

- Bacchiglione chiuso alla sezione di Vicenza-Ponte degli Angeli (400 km²), Retrone chiuso alla sezione di S. Agostino (120 km²) e Tesina Vicentino chiuso alla sezione di Bolzano Vicentino (750 km²). Per descrivere con la necessaria accuratezza l'evoluzione della portata nella critica sezione di Ponte degli Angeli, si sono utilizzati oltre ai dati dell'idrometro nella sezione corrispondente anche i dati forniti da due stazioni interne al bacino (Ponte Marchese e Torrebelvicino). Inoltre, sono stati tenuti in conto i deflussi di risorgiva che interessano l'area considerata (zona nordest di Vicenza) con contributi anche significativi.
- Brenta chiuso alla sezione di Barzizza (1600 km²) e Muson dei Sassi chiuso alla sezione di Castelfranco Veneto (310 km²). L'accurata riproduzione delle portate a Barzizza ha reso necessaria la modellazione numerica del bacino del Corlo, serbatoio artificiale localizzato nel bacino montano del Cismon, affluente del Brenta, ad uso misto idroelettrico/irriguo, cui oggi è assegnata anche una funzione di laminazione antipiena. Per poter prevedere le portate scaricate dal serbatoio, si è quindi dovuto implementare nel modello una regola di funzionamento degli scarichi che riproduca le manovre codificate e realizzate dall'Ente gestore.

Per la successiva calibrazione del modello si sono utilizzate le misure di portata (stimata dai corrispondenti livelli idrometrici a mezzo di opportune scale di deflusso) fornite da ARPA Veneto, durante gli eventi di piena accorsi negli anni 2010 – 2014, in corrispondenza delle sezioni definite. I confronti effettuati evidenziano una buona corrispondenza tra portate simulate e misurate, sia nel lungo termine (modellazione in continuo), sia per singoli eventi di piena, come mostra l'esempio di Figura 2. Per le simulazioni in tempo reale, il modello è in grado di incorporare i dati di pioggia previsti dal modello climatico regionale LAMI.

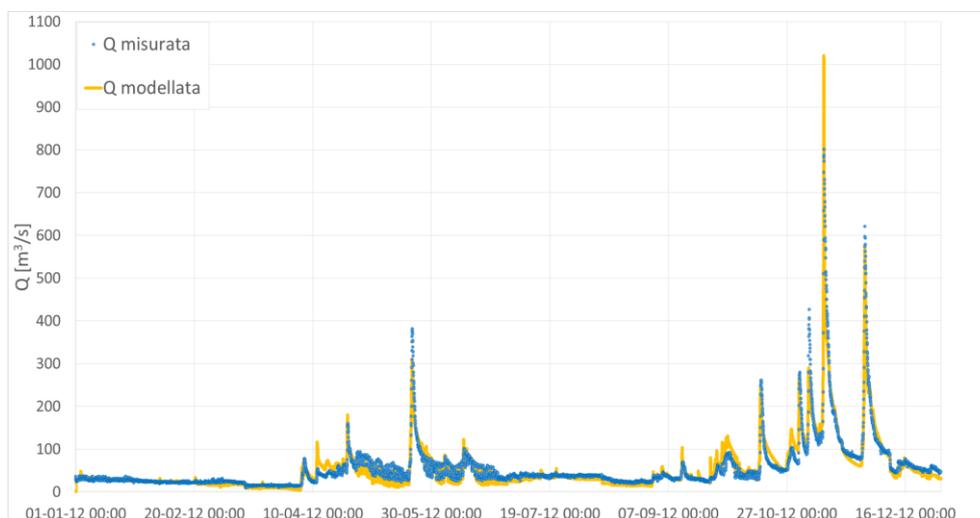


Figura 2. Confronto tra i risultati del modello idrologico e i dati misurati a Bassano del Grappa per l'anno 2012.

2.2 Modellazione idrodinamica

Il modello idrodinamico utilizzato, dettagliatamente descritto in numerosi contributi scientifici e applicazioni (es., *D'Alpaos & Defina*, 1993; *Defina*, 2000, 2003; *Viero et al.*, 2013), si basa sulla soluzione delle equazioni di De Saint Venant che descrivono il moto bidimensionale di una corrente a superficie libera nelle ipotesi di: distribuzione idrostatica delle pressioni, velocità uniformemente distribuite lungo la verticale, fondo inderodabile. Tali equazioni, opportunamente modificate per descrivere in modo efficiente la transizione asciutto-bagnato, fondamentale nei fenomeni di esondazione, vengono risolte adottando uno schema numerico agli elementi finiti su di una griglia a elementi triangolari (*Defina*, 2000), con la quale si schematizza l'area di studio. Il modello consente inoltre l'impiego accoppiato di elementi bidimensionali ed unidimensionali, dove questi ultimi descrivono il comportamento dei canali della rete minore o dei manufatti presenti all'interno del reticolo idrografico (traverse, paratoie, idrovore, ecc.).

Il reticolo di calcolo bidimensionale oggetto dello studio (Figura 1) comprende: il Tesina da Bolzano Vic.no, il Retrone da S. Agostino, il Bacchiglione da Viale Diaz, il Brenta da Barzizza, il Muson dei Sassi da Castelfranco Veneto e si estende fino alla foce del Brenta nei pressi di Brondolo. La quotatura degli elementi del reticolo di calcolo ha utilizzato principalmente i dati derivanti da rilievi effettuati dal Genio Civile (quotature arginali e sezioni fluviali) e i dati LIDAR e MultiBeam del Ministero dell'Ambiente. La griglia di calcolo, ottimizzata in modo da ridurre quanto più possibile i tempi di calcolo mantenendo accuratezza nei risultati, utilizza elementi speciali bidimensionali per la schematizzazione del centro urbano di Vicenza, che consentono una precisa descrizione della propagazione di eventuali fronti di allagamento. Il dominio comprende anche il complesso nodo idraulico di Voltabarozzo, che regola la circolazione delle acque nella rete di Padova permettendo di scaricare parte delle acque del Bacchiglione nel fiume Brenta. L'analisi dei dati storici e il confronto con il Genio Civile di Padova, che gestisce i manufatti del nodo, ha permesso di implementare una regola di movimentazione delle paratoie che, anche nelle analisi in previsione, fornisce una simulazione del tutto realistica del funzionamento del manufatto.

Il modello idrodinamico è stato calibrato considerando i dati registrati nel corso di alcuni eventi di piena del recente passato. La Figura 3 riporta un esempio di confronto tra i risultati del modello e i dati misurati e conferma la capacità del modello di riprodurre sia i livelli idrometrici sia, qualora disponibili, le portate. Nelle applicazioni in tempo reale, per ridurre l'incertezza del risultato, vengono propagate, finché disponibili, le portate misurate alle sezioni di ingresso del dominio di calcolo e, solo in previsione, le portate simulate dal modello idrologico. Particolare attenzione è stata rivolta all'allineamento, in suddette sezioni, tra le forzanti misurate e quelle calcolate con il modello idrologico.

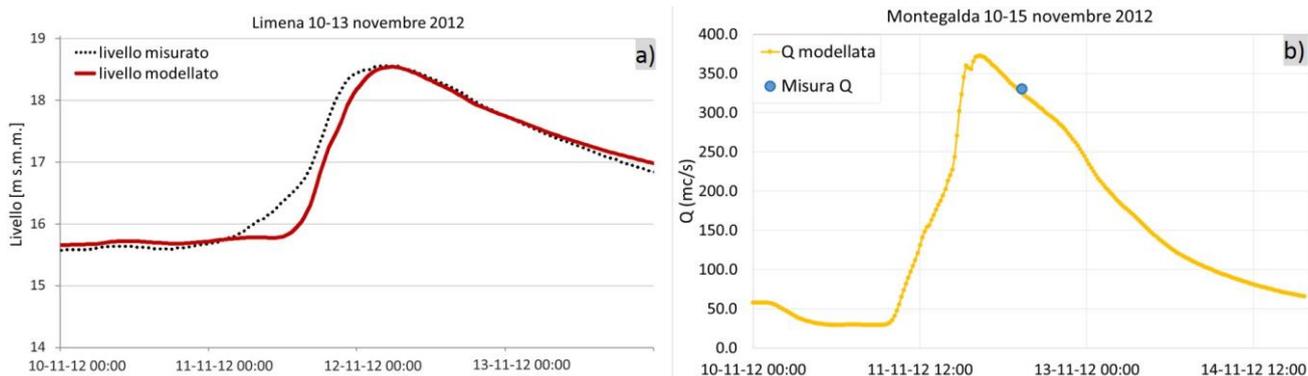


Figura 3. Confronto tra a) livello misurati e modellati dal modello idrodinamico a Limena e b) tra la portata misurata e modellata dal modello idrodinamico a Montegalda, durante l'evento di piena del 12 novembre 2012.

3 IL SISTEMA INTEGRATO PER LA PREVISIONE DELLE PIENE IN TEMPO REALE I.M.A.Ge

La catena modellistica è stata sviluppata per essere operativa presso il Centro Funzionale Decentrato della Protezione Civile del Veneto con sede a Marghera (VE). Per garantirne la gestione operativa si è sviluppata un'interfaccia, che completa il sistema integrato denominato I.M.A.Ge (Interfaccia e Modello per

l'Allerta e la GESTione delle piene), che permette alle autorità regionali competenti di monitorare e gestire le emergenze in tempo reale. I.M.A.Ge, in circa 9 minuti, si occupa, nell'ordine, di: elaborare le misure provenienti dalla rete di telerilevamento RT SIRAV e le previsioni del modello meteorologico LAMI; realizzare la corsa del modello idrologico e, in cascata, la corsa del modello idrodinamico; analizzare e post-processare i risultati del sistema mediante rappresentazioni grafiche dei parametri idraulici calcolati quali livelli e portate ma anche mappe delle aree allagate e franchi arginali. Questi risultati, disponibili in formato compatibile con sistemi GIS, vengono anche sinteticamente raccolti in report creati dall'interfaccia, utilizzabili dalle Autorità competenti per diramare eventuali allerte. La Figura 4 riporta un esempio dei livelli che I.M.A.Ge avrebbe fornito durante l'evento del novembre 2012. Si osservi come l'errore nella previsione delle piogge influenzi in modo non trascurabile la riproduzione dei livelli.

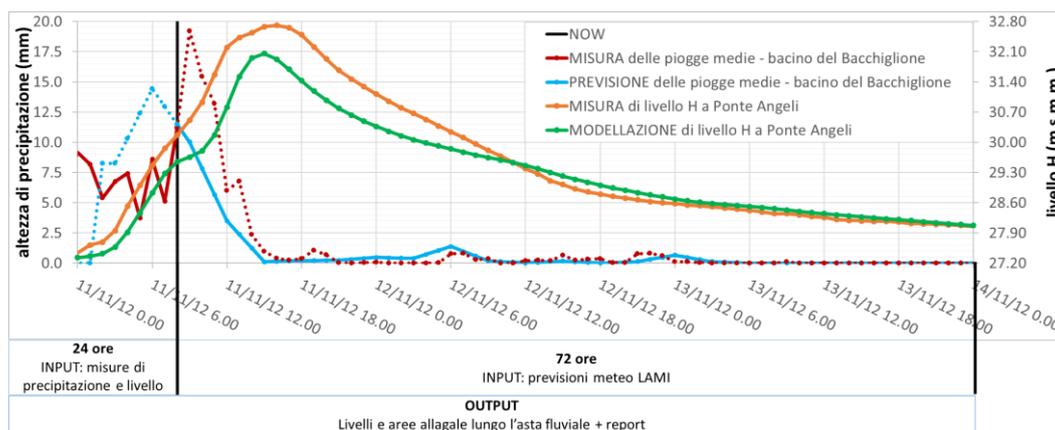


Figura 4. Esempio di prestazione della catena modellistica applicata in corso d'evento.

4 CONSIDERAZIONI FINALI E SVILUPPI FUTURI

Il sistema I.M.A.Ge, le cui capacità operative sono state ampiamente testate, monitora e prevede in tempo reale l'evoluzione di eventi di piena e le loro conseguenze sul territorio del sistema idrografico Brenta-Bacchiglione. I.M.A.Ge è diventato un affidabile strumento operativo presso il CFD della Protezione Civile del Veneto ed il suo sviluppo e aggiornamento continuo (come l'inserimento nel modello della cassa di espansione di Caldogno, appena divenuta operativa) rientra nell'ambito della collaborazione stipulata tra Regione Veneto e Dipartimento ICEA dell'Università di Padova, che prevede anche l'estensione di I.M.A.Ge a tutti i corsi d'acqua della Regione. Per migliorare ulteriormente le prestazioni del modello è già prevista l'applicazione di tecniche di data assimilation, per limitare gli errori che affliggono i campi di precipitazione previsti. Sarà anche approfondito il funzionamento in tempo reale del nodo idraulico di Voltabarozzo, la cui gestione ha un forte impatto sull'evoluzione delle piene.

Si ringrazia la Regione Veneto per l'interesse rivolto alla ricerca svolta dall'Università di Padova.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

D'Alpaos, L., & Defina, A. Venice lagoon hydrodynamics simulation by coupling 2D and 1D finite element models, Proceedings of the 8th Conference on Finite Elements in Fluids. New Trends and Applications, p.917–926, Barcelona, 20-24 September 1993.

Defina, A. Numerical experiments on bar growth, Water Resources Research, 2003, 39(4).

Defina, A. Two dimensional shallow flow equations for partially dry areas, Water Resource Research, 2000, 36(11):3251–3264.

Rinaldo, A., & Rodriguez-Iturbe, I. Geomorphological theory of the hydrological response, Hydrological processes, 1996, 10(6):803–829.

Rinaldo, A., Botter, G., Bertuzzo, E., Uccelli, A., Settin, T., & Marani, M. Transport at basin scales: 1. Theoretical framework, Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2005, 2.4: 1613-1640.

Ronco, P., Crestani, E., Passadore, G., Viero, D., Carniello, L., Botter, G., D'Alpaos, L. & Rinaldo, A. Implementazione di un sistema di previsione per la gestione delle piene in tempo reale: il Bacchiglione nel vicentino (2016), Atti del convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Bari, 2016.

Viero, D.P., D'Alpaos, A., Carniello, L., & Defina, A. Mathematical modeling of flooding due to river bank failure, Advances in Water Resources, 2013, 59:82–94.