

UN SISTEMA MODELLISTICO INTEGRATO PER LA PREVISIONE IN TEMPO REALE DELLE PIENE DEL MUSON DEI SASSI (PD)

Daniele Pietro Viero¹, Giulia Passadore¹, Silvia Garbin¹, Bruno Matticchio², Francesco Visentin³, Ivano Brunet³, Roberto Lago⁴, Federico Facco⁴, Gianluca Botter¹ & Luca Carniello¹

(1) Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Università di Padova; (2) IPROS s.r.l. Ingegneria Ambientale, Padova; (3) Studio Tecnico Associato Vertex, Padova; (4) Provincia di Padova, settore Protezione Civile.

ASPETTI CHIAVE

- È stato sviluppato un sistema modellistico che acquisisce dati meteo misurati e previsti, esegue in cascata la modellazione idrologica e idrodinamica, pubblica i risultati su piattaforma WebGIS
- L'approccio spazialmente esplicito lavora in sinergia con l'ambiente GIS, con riferimento sia i dati di input, sia alla gestione e pubblicazione dei risultati modellistici
- L'applicazione è stata sviluppata nell'ambito del progetto europeo S.M.A.R.T. Water, coordinato dalla Provincia di Padova, ed è operativa presso il Centro Funzionale Decentrato della Regione Veneto.

1 PREMESSA

Le emergenze idrogeologiche che hanno recentemente colpito il Nord-Est dell'Italia hanno portato al centro del dibattito pubblico il problema delle inondazioni e dei piani di protezione civile. Con lo scopo di integrare le conoscenze, le potenzialità e le risorse legate alla gestione delle emergenze, la Provincia di Padova ha guidato il progetto europeo S.M.A.R.T. Water (“*Simple Management of Risk Through a Web Accessibile Tool for Eu Regions*”). In questo ambito, come progetto pilota, è stata sviluppata una applicazione modellistica che, elaborando dati meteo misurati e previsti, è in grado di fornire una previsione in tempo reale delle piene e delle eventuali aree allagate nel Muson dei Sassi tra Castelfranco Veneto e la confluenza nel fiume Brenta, a nord di Padova. Si tratta di una zona sensibile e fortemente urbanizzata, nella quale la pericolosità idraulica è legata alla generazione e propagazione di onde di piena nella rete fluviale in esame e alla possibilità che si verifichino esondazioni a causa di sormonti e rotte arginali. I risultati modellistici sono caricati su piattaforma WebGIS, garantendone l'accessibilità in tempo reale. L'intera catena modellistica è operativa e in fase di test presso il Centro Funzionale Decentrato della Regione Veneto.

2 IL SISTEMA DI PREVISIONE IN TEMPO REALE

L'intero sistema di previsione è composto da diversi moduli, ideati e realizzati ad-hoc per consentire all'operatore di gestire l'intera procedura in modo agevole durante le fasi di emergenza, ma anche di poter esercitare un controllo approfondito dei dati utilizzati e dei risultati ottenuti qualora fosse necessario.

2.1 Modello idrologico

La modellazione idrologica del bacino chiuso a Castelfranco Veneto è effettuata secondo l'approccio geomorfologico. Usando serie temporali di dati climatici spazializzati, si stimano le componenti efficaci della precipitazione mediante la scrittura di opportune equazioni di bilancio idrologico (Benettin *et al.*, 2013) che simulano l'evoluzione del contenuto d'acqua del suolo e delle dinamiche della portata nel bacino. 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 cruciale svolto dall'evapotraspirazione per quanto riguarda l'evoluzione del contenuto d'acqua nel suolo in aree a copertura vegetale. La risposta idrologica del bacino è calcolata sulla base della convoluzione tra la pioggia efficace ed un idrogramma istantaneo unitario di tipo geomorfologico. Tale idrogramma è calcolato tenendo in conto 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 (Rinaldo *et al.*, 2006).

La caratterizzazione della rete e della geometria del bacino chiuso a Castelfranco Veneto (Fig. 1a), in termini di reticolo idrografico, sottobacini e loro connettività, è stata ottenuta a partire da mappe digitali del

terreno e da strumenti di analisi del territorio implementati in ArcGIS. Sono stati acquisiti tutti i dati necessari alla corretta descrizione del ciclo idrologico: dati pedologici per le caratteristiche dei terreni; immagini satellitari, opportunamente classificate con algoritmi spettrali, per la copertura del suolo; dati di pioggia, temperatura, umidità, radiazione solare e velocità del vento relative a 12 stazioni di misura gestite da ARPAV (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale) e dati di livello e portata registrati nella sezione di Castelfranco (periodo 2000-2013) per la caratterizzazione della forzante idro-climatica. La posizione delle principali stazioni meteorologiche di misura è indicata in blu in Fig. 1a.

I 12 parametri di calibrazione del modello idrologico riguardano il suolo e la produzione del deflusso, inclusi gli effetti legati alle aree urbane, alla propagazione dell'onda di piena nella rete di canali e nei versanti e alla vegetazione per la stima dell'evapotraspirazione. Il modello è stato tarato usando i dati misurati nel periodo 1 settembre – 31 dicembre 2010 e validato sul periodo 2004 – 2014. Per i maggiori eventi di piena, l'efficienza secondo Nash-Sutcliffe è superiore a 0.90.

È stata infine analizzata l'adeguatezza di due diversi modelli meteo, da utilizzarsi in fase operativa per estendere l'orizzonte temporale della previsione a 72 ore: il COSMO-LAMI con griglia di 7 km e risoluzione temporale di 3 h e il modello ECMWF con griglia di 12.5 km e risoluzione temporale di 6 h. Mediante una tecnica di disaggregazione temporale (*downscaling*) delle previsioni di pioggia, il modello idrologico ha restituito diversi idrogrammi generati da ietogrammi diversi, ma "compatibili" con le previsioni utilizzate. Le risoluzioni spaziale e temporale del modello ECMWF si sono rivelate del tutto inadeguate, mentre quelle del modello LAMI sono tali da produrre incertezze del 15% negli idrogrammi previsti.

2.2 Modello idrodinamico

Per simulare la propagazione delle onde di piena lungo il reticolo idrografico del Muson nel tratto compreso tra Castelfranco Veneto e la confluenza in Brenta, e per prevedere anche gli eventuali allagamenti delle aree limitrofe, è stato predisposto e utilizzato un modello idrodinamico accoppiato 2D-1D (*Defina*, 2000; *Viero et al.*, 2013, *Viero et al.*, 2014).

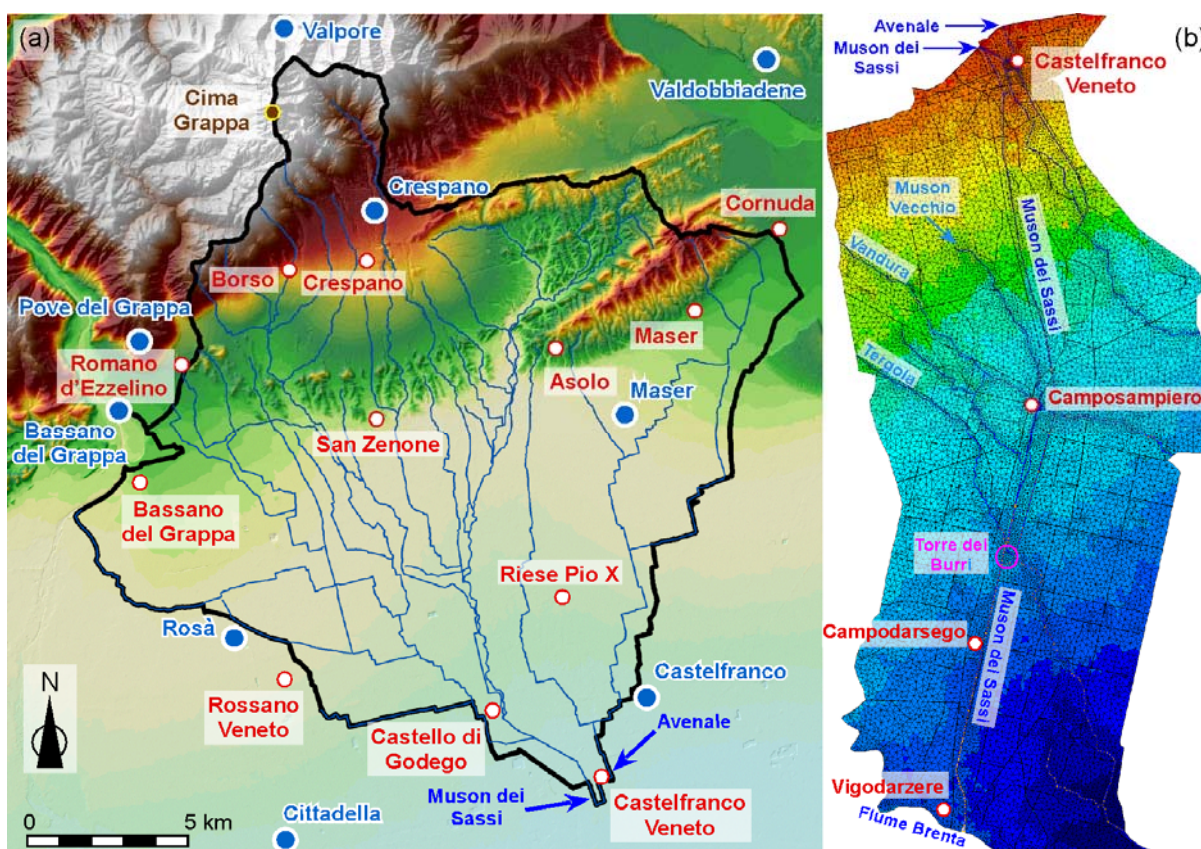


Figura 1. Il Muson dei Sassi: (a) bacino idrografico chiuso a Castelfranco Veneto; (b) griglia di calcolo 2D-1D per la propagazione delle onde di piena da Castelfranco Veneto fino alla confluenza col Fiume Brenta e per la stima delle eventuali aree allagate.

Particolare attenzione è stata posta sulla caratterizzazione della rete idrografica, in particolare sull'interazione fra il Muson e altri corsi d'acqua minori, che forma un reticolo estremamente complesso, ricco di manufatti idraulici che controllano e influenzano il naturale deflusso delle acque. Vanno citati il nodo di Castelfranco Veneto dove confluiscono Muson dei Sassi e Avenale e quello di Torre dei Burri nel comune di Camposampiero (connessione con sistema del Tergola/Vandura). È stata svolta una vasta campagna di raccolta dati per descrivere dettagliatamente le entità morfologiche significative (rete idrografica, rilevati stradali e ferroviari, centri abitati, ecc.). Sono stati utilizzati i dati di più di 800 sezioni rilevate, i dati Lidar del Ministero dell'Ambiente (fascia larga 2 km a cavallo del Muson) e la Carta Tecnica Regionale al 5000. Numerosi sopralluoghi hanno permesso, infine, di chiarire la geometria ed il funzionamento idraulico dei molti manufatti presenti (paratoie, salti fondo, mulini, ponti, tombotti ecc.).

È stato predisposto un reticolo di calcolo per il modello idrodinamico in grado di descrivere tutta la rete idraulica e le aree pianeggianti ad essa adiacenti e potenzialmente allagabili (Fig. 1b). In esso sono accoppiati elementi bidimensionali e monodimensionali al fine di descrivere nel modo più corretto ed efficiente possibile il funzionamento della rete e degli organi di regolazione idraulica presenti, nonché la propagazione di eventuali onde di sommersione del territorio limitrofo.

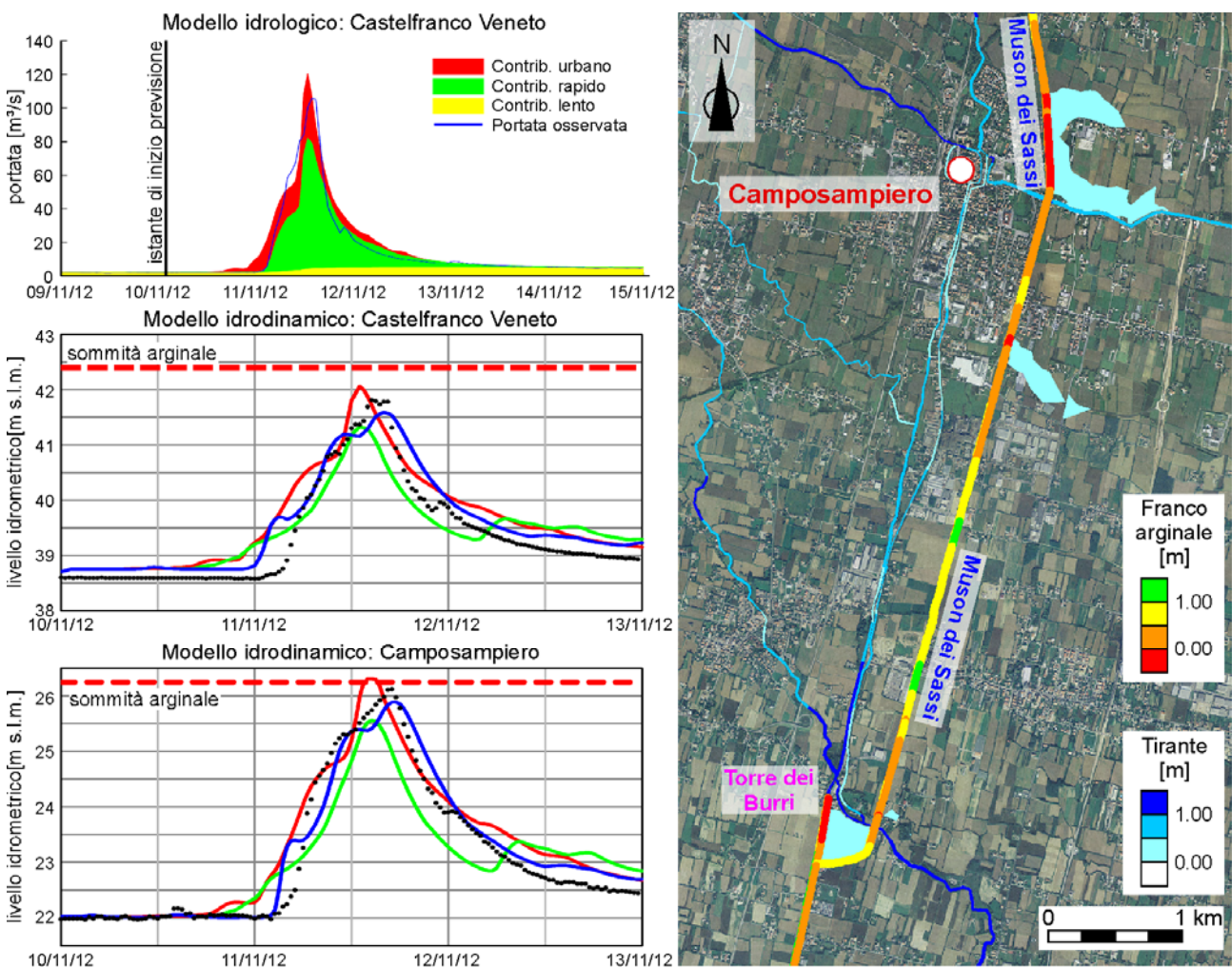


Figura 2. Risultati della catena modellistica per l'evento del novembre 2012, forzata da piogge LAMI. Modellazione idrologica con distinzione dei diversi contributi al deflusso (alto a sinistra), modellazione idrodinamica di scenari previsti con tre successive previsioni LAMI (basso a sinistra, la linea rossa si riferisce alla simulazione riportata anche in alto a sinistra). Franchi arginali minimi e aree allagate relative allo scenario riportato in alto a sinistra.

Simulando i maggiori eventi di piena degli ultimi anni, con portate misurate a Castelfranco come input, il modello idrodinamico si è rivelato in grado di riprodurre con estrema fedeltà la propagazione delle onde di piena lungo l'asta del Muson. Si è visto inoltre che la gestione del nodo di Torre dei Burri, nel quale

avvengono scambi di portata tra il sistema Tergola/Vandura e il Muson nei due sensi a seconda dei livelli idrometrici e delle manovre del manufatto, influenza significativamente il regime idrometrico nel tratto compreso tra il nodo stesso e la confluenza col Brenta. In fase operativa, come scenario cautelativo, il modello simula la disconnessione tra i due sistemi.

2.3 Interfaccia grafica

L'intera catena modellistica è gestita da una interfaccia grafica realizzata ad-hoc. Essa consente di acquisire e visualizzare dati meteorologici della rete di misura al suolo (che spazializza con interpolatori geostatistici e archivia in un database dedicato) e dati di precipitazione prevista (LAMI). Esegue in cascata il modello idrologico e il modello idrodinamico. Infine, elabora e carica su WebGIS grafici con andamento temporale di livelli e portate in sezioni significative e mappe con franchi arginali e aree allagate sull'intero dominio. La corsa dei modelli richiede un intervento minimo da parte dell'utente. D'altra parte, data la complessità dei modelli utilizzati e la conseguente ricchezza di informazioni che possono essere visionate e analizzate, l'interfaccia consente anche una completa esplorazione e visualizzazione dei risultati.

2.4 Piattaforma WebGIS

La piattaforma WebGIS è costituita da 3 elementi: una interfaccia di gestione dei tematismi cartografici, una interfaccia pubblica per visualizzare e interrogare i vari oggetti e una interfaccia di integrazione per il caricamento dei risultati delle simulazioni (Fig. 3). Rendendo accessibili i risultati modellistici, essa facilita l'organizzazione di interventi mirati di Protezione Civile, qualora si rendessero necessari.

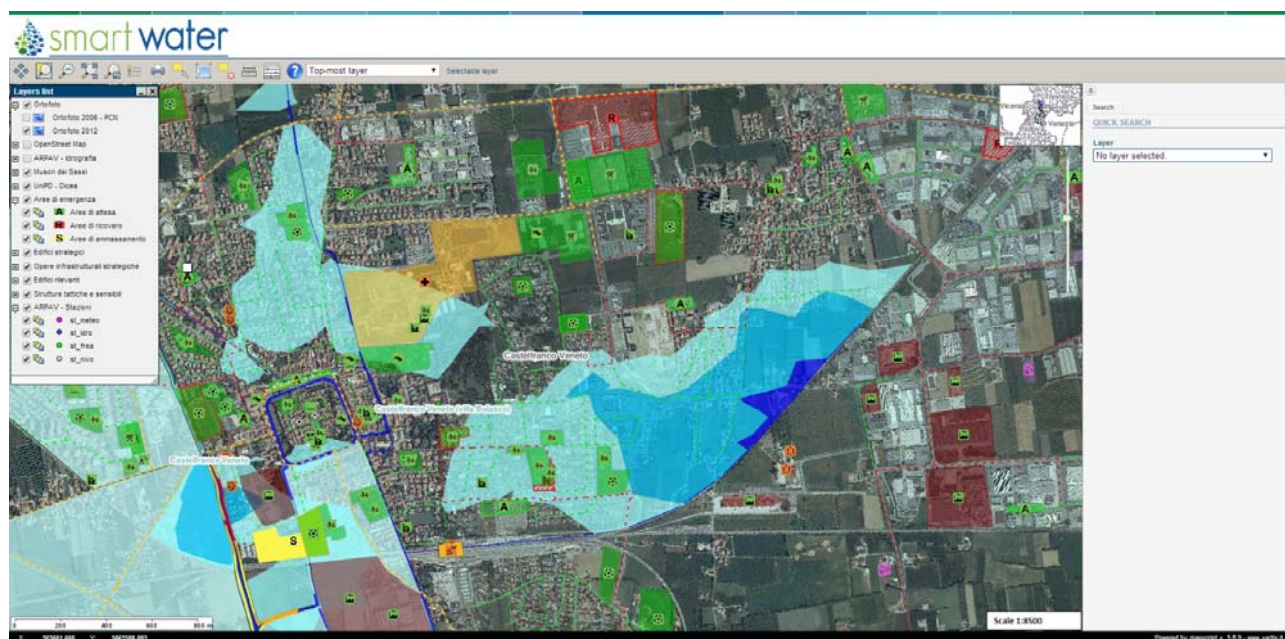


Figura 3. Applicazione WebGIS per la pubblicazione dei risultati in termini di franchi arginali e di aree allagate. Gli scenari previsti possono essere agevolmente incrociati con la presenza di elementi sensibili sul territorio.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Benettin, P., van der Velde, Y., van der Zee, S.E.A.T.M., Rinaldo, A., Botter, G. Chloride circulation in a lowland catchment and the formulation of transport by travel time distributions, *Water Resources Research*, 2013, 49, 4619-4632.
- Rinaldo, A., Botter, G., Bertuzzo, E., Uccelli, A., Settin, T., Marani, M. Transport at basin scales: 1. Theoretical framework, *Hydrology and Earth System Sciences*, 2006, 10, 19-29.
- Defina, A. Two dimensional shallow flow equations for partially dry areas, *Water Resources Research*, 2000, 36(11), 3251-3264.
- 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.
- Viero, D.P., Peruzzo, P., Carniello, L., Defina, A. Integrated mathematical modeling of hydrological and hydrodynamic response to rainfall events in rural lowland catchments, *Water Resources Research*, 2014, 50, 5941-5957.