



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

*Università degli Studi di Padova*

*Padua Research Archive - Institutional Repository*

Un sistema modellistico integrato per la previsione in tempo reale delle piene del Muson dei Sassi (Pd)

*Original Citation:*

*Availability:*

This version is available at: 11577/3210451 since: 2016-11-17T22:00:45Z

*Publisher:*

*Published version:*

DOI: 10.6092/unibo/amsacta/5400

*Terms of use:*

Open Access

This article is made available under terms and conditions applicable to Open Access Guidelines, as described at <http://www.unipd.it/download/file/fid/55401> (Italian only)

(Article begins on next page)

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

**Daniele Pietro Viero<sup>1</sup>, Giulia Passadore<sup>1</sup>, Silvia Garbin<sup>1</sup>, Bruno Matticchio<sup>2</sup>, Francesco Visentin<sup>3</sup>, Ivano Brunet<sup>3</sup>, Roberto Lago<sup>4</sup>, Federico Facco<sup>4</sup>, Gianluca Botter<sup>1</sup> & Luca Carniello<sup>1</sup>**

(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

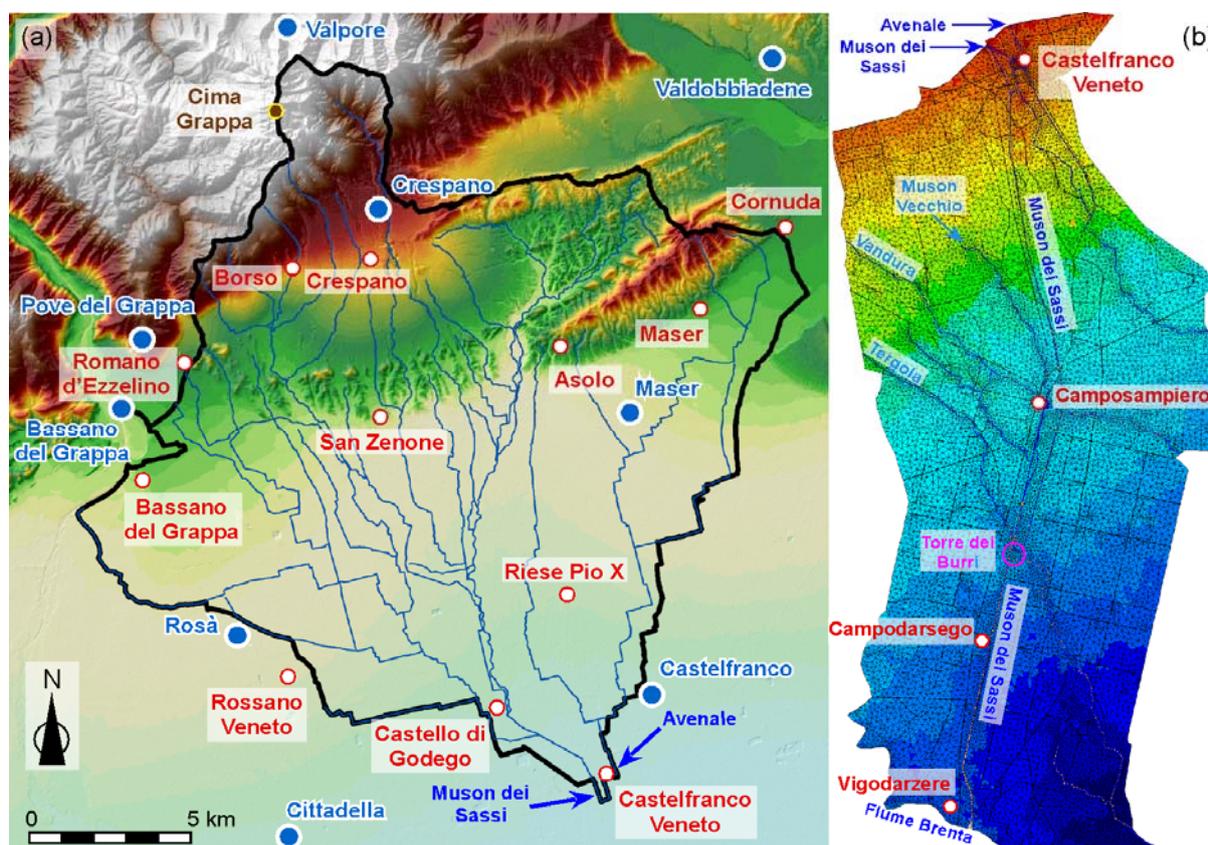
terreno e da strumenti di analisi del territorio implementati in ArcGIS. Sono stati acquisiti tutti i dati necessari alla corretta descrizione del ciclo idrologico: dati pedologici per le caratteristiche dei terreni; immagini satellitari, opportunamente classificate con algoritmi spettrali, per la copertura 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

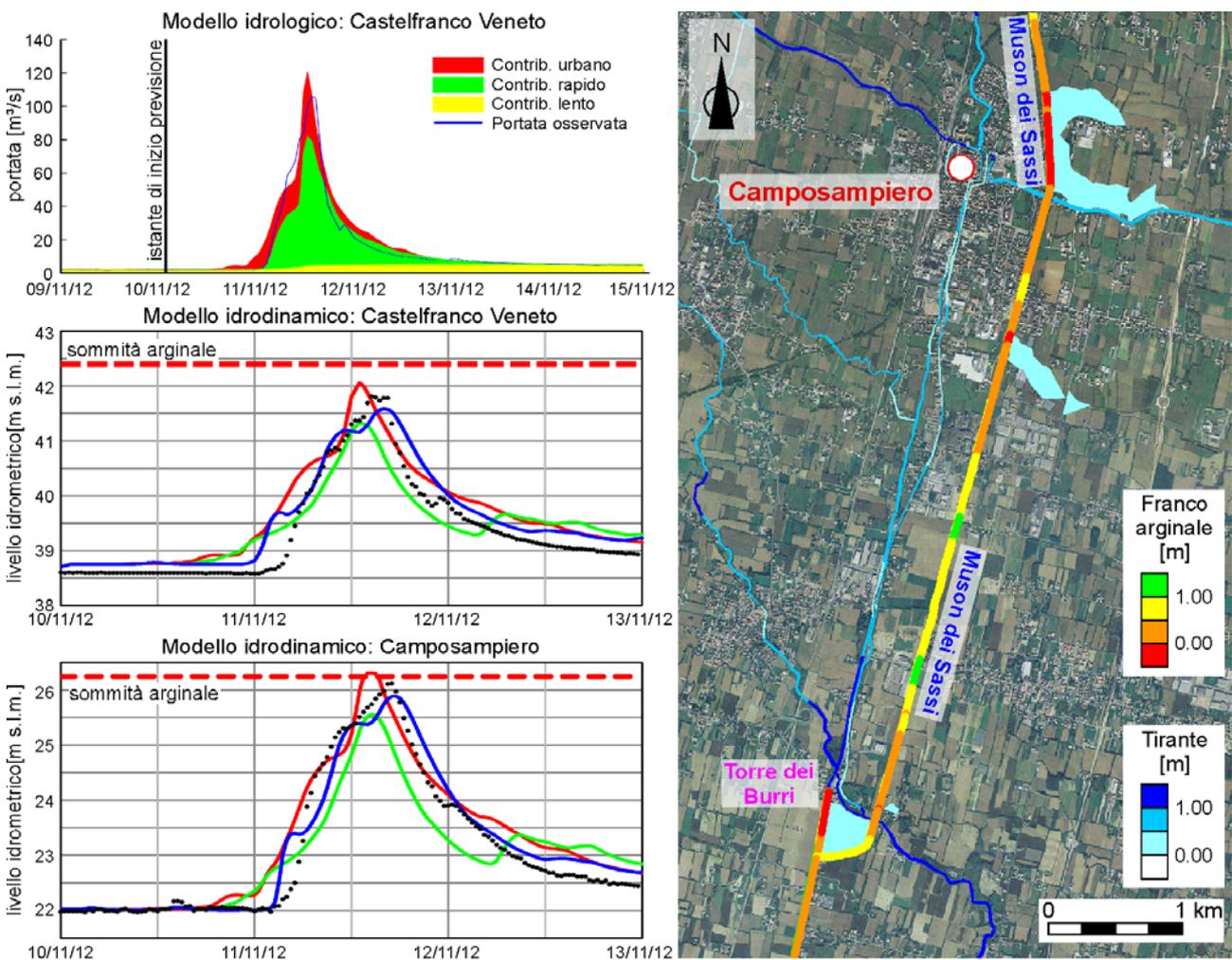
Per simulare la propagazione delle onde di piena lungo il reticolo idrografico del Muson nel tratto compreso tra Castelfranco Veneto e la confluenza in Brenta, e per prevedere anche gli eventuali allagamenti delle aree limitrofe, è stato predisposto e utilizzato un modello idrodinamico accoppiato 2D-1D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

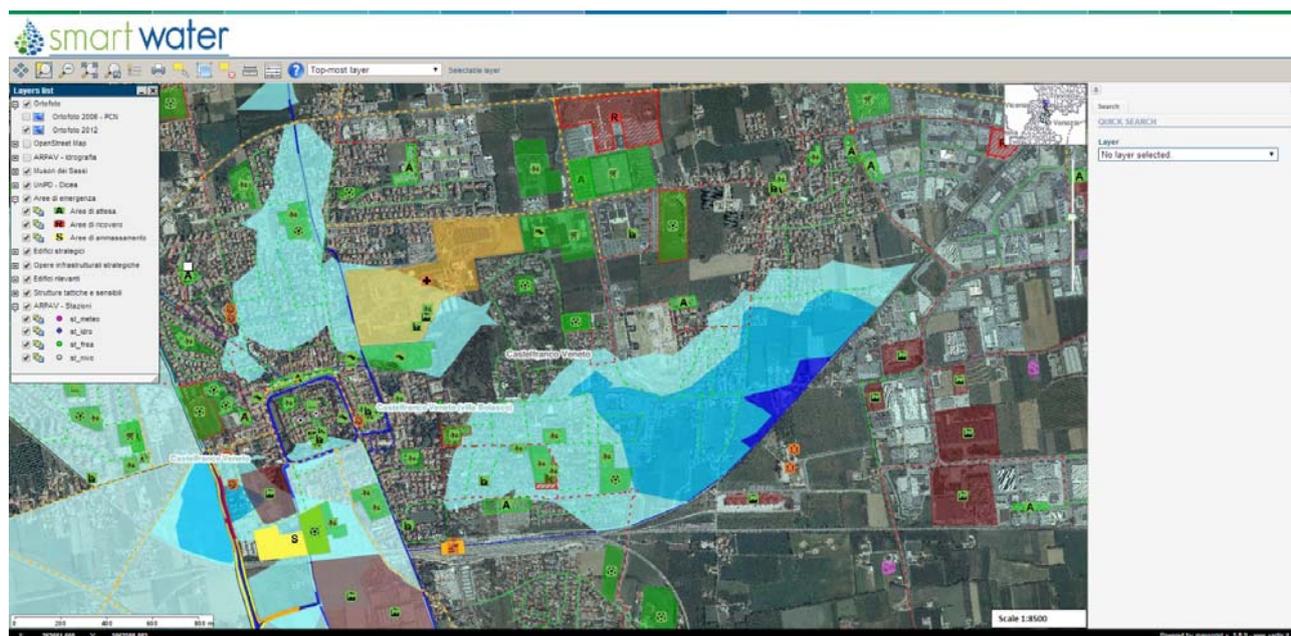
avvengono scambi di portata tra il sistema Tergola/Vandura e il Muson nei due sensi a seconda dei livelli idrometrici e delle manovre del manufatto, influenza significativamente il regime idrometrico nel tratto compreso tra il nodo stesso e la confluenza col Brenta. In fase operativa, come scenario cautelativo,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