

# INTERVENTI DI LAMINAZIONE E MODELLISTICA IDROLOGICA DISTRIBUITA

Michele CEDDIA (\*), Laura FILIPPINI (\*), Marco MANCINI (\*), Giovanni RAVAZZANI (\*)

(\*) Politecnico di Milano, Piazza L. Da Vinci 32 – 20133 Milano, *michele.ceddia@polimi.it*

Il lavoro presenta l'implementazione in un modello idrologico distribuito di un modulo di laminazione per la simulazione di invasi in linea e in derivazione lungo il reticolo idrografico. L'inserimento di sistemi di laminazione in un tale schema permette il controllo dell'efficienza di laminazione sia in prossimità dell'intervento stesso che per diverse sezioni idrografiche vallive, rendendo possibile quantificare gli effetti delle opere sull'incremento dei tempi caratteristici e sul volume dell'idrogramma di piena laminato.

Il modello, così implementato, è stato utilizzato come strumento per il calcolo delle nuove soglie pluviometriche di allerta di piena per l'alta Val d'Arno, cardine del modello di preannuncio di piena MIMI (Modello Integrato Meteo-Idrologico) attivo presso il Centro Funzionale della Regione Toscana.

## Introduzione

Negli ultimi decenni il territorio italiano è stato interessato da una serie di eventi alluvionali di natura catastrofica, con conseguenze devastanti, non solo in termini di danni economici arrecati, ma soprattutto in termini di vite umane perse. Da qui la necessità di ridurre il rischio di inondazione attraverso misure di difesa mirate al contenimento e all'abbattimento dei colmi di piena (interventi strutturali) e alla limitazione dei danni derivanti dall'evento stesso (interventi non strutturali). In relazione, in particolar modo, al primo tipo di interventi, e con carattere di supporto alla definizione dei secondi si posiziona il modello idrologico proposto. Atto alla modellazione a parametri spazialmente distribuiti della trasformazione afflussi – deflussi e basato su Modello Digitale del Terreno (DTM) georeferenziato, il FEST (acronimo di *Flash – flood Event – based Spatially – distributed rainfall – runoff Transformation*), sviluppato presso il DIAR del Politecnico di Milano, consente la modellazione dei fenomeni di formazione e propagazione delle piene. In particolare il modulo qui presentato prevede la simulazione di opere di laminazione, quali casse d'espansione in linea e in derivazione (interventi strutturali), in modo da consentire una valutazione degli effetti di tali interventi alla scala dell'intero bacino idrografico in termini di variazione della forma degli idrogrammi di piena e del valore della portata al colmo. Nell'applicazione proposta il modello viene impiegato per la determinazione delle soglie pluviometriche di allerta idrologica, uno strumento utilizzato dai modelli di previsione e preannuncio degli stati di allerta di piena (interventi non strutturali) per la messa in sicurezza della popolazione e dei beni.

La possibilità di considerare la presenza di opere di laminazione in uno schema modellistico del genere permette la valutazione del effetto dell'intervento non solo localmente ma anche alla scala dell'intero reticolo. Questa possibilità assume maggiore valenza allorché la difesa idraulica del territorio preveda un sistema di opere dislocate lungo diversi tratti del reticolo idrografico.

Con la possibilità di trasferire le evidenze della modellazione su qualunque strato informativo

territoriale, in quanto georeferenziato, e in sinergia con altri moduli già disponibili, ad esempio per la valutazione del trasporto solido nel reticolo idrografico (Bordonaro e Casiraghi, 2005) il modello si configura come uno strumento valido al supporto alla pianificazione e gestione della difesa idraulica del territorio.

### Rappresentazione delle opere di laminazione e schema di calcolo

A partire dai dati di pioggia, come forzante del sistema, dalla geolitologia, dall'uso del suolo e dalla topografia del bacino idrografico il modello idrologico distribuito FEST simula la formazione e la propagazione dei deflussi superficiali schematizzando il bacino e le informazioni ad esso connesse per mezzo di un reticolo (GRID) di maglie quadrate (Figura 1), così come nel modello digitale del terreno (Mancini, 1990, Mancini et al., 1998, Costa et al., 1994). Così facendo le equazioni del modello idrologico vengono risolte per ognuna delle celle del dominio di calcolo.

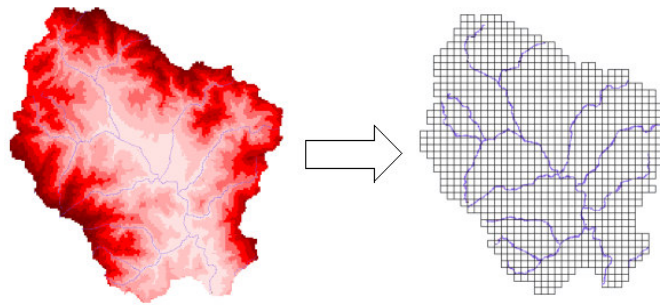


Figura 1. Schematizzazione di un bacino idrografico nel modello idrologico distribuito FEST secondo lo standard ASCII-GRID.

Quanto alla rappresentazione delle opere di laminazione previste o presenti nel bacino idrografico si è adottata una convenzione per cui l'opera viene schematicamente rappresentata da un'unica cella alla quale vengono associate le caratteristiche geometriche e idrauliche di progetto nonché la tipologia stessa dell'invaso, "in linea" o "in derivazione". Nel primo caso la cella rappresentativa individua lo sbarramento a servizio dello stesso mentre nel secondo caso si fa coincidere con la cella l'ubicazione dell'opera di presa (tipicamente uno sfioratore laterale o un canale di derivazione) e dell'opera di restituzione (Figura 2).

Il funzionamento degli invasi di laminazione è caratterizzato dalla seguente equazione (equazione dell'invaso)

$$\frac{dW}{dt} = Q_{IN}(t) - Q_{OUT}(h). \quad [1]$$

Essa esprime il legame esistente tra la variazione di volume  $dW$  [m<sup>3</sup>] nell'intervallo di tempo  $dt$  [s] e la differenza tra la portata entrante nell'invaso,  $Q_{IN}$  [m<sup>3</sup>/s], al tempo  $t$  e la portata  $Q_{OUT}$  [m<sup>3</sup>/s] da esso uscente allo stesso istante di calcolo. La portata uscente è direttamente funzione del livello idrico  $h(t)$  presente nell'invaso.

Ipotizzando che, durante il passo temporale  $dt$ , l'area della superficie idrica  $A$  [m<sup>2</sup>] si mantenga costante e pari al valore in corrispondenza del livello  $h$  presente all'inizio dell'intervallo temporale, la variazione di volume  $dW$  può essere espressa dal prodotto  $Adh$  che, introdotto nella (1), modifica l'equazione di continuità nel seguente modo:

$$\frac{Adh}{dt} = Q_{IN}(t) - Q_{OUT}(h) \Rightarrow h' = \frac{Q_{IN}(t) - Q_{OUT}(h)}{A(h)} \quad [2]$$

La [2] è un'equazione differenziale ordinaria del primo ordine che può essere risolta mediante

l'applicazione dei metodi Runge-Kutta (Carnahan B. et al., 1969; Hairer E. et al., 1994; Peruginelli A., 1991; Quarteroni A. et al., 2000), convenzionalmente indicati con il simbolo RK. Essa vale generalmente per gli invasi in linea ma è facilmente estendibile al caso di invasi in derivazione, con l'accorgimento di considerare come portata entrante  $Q_{IN}(t)$  la portata sfiorata dall'opera di presa.

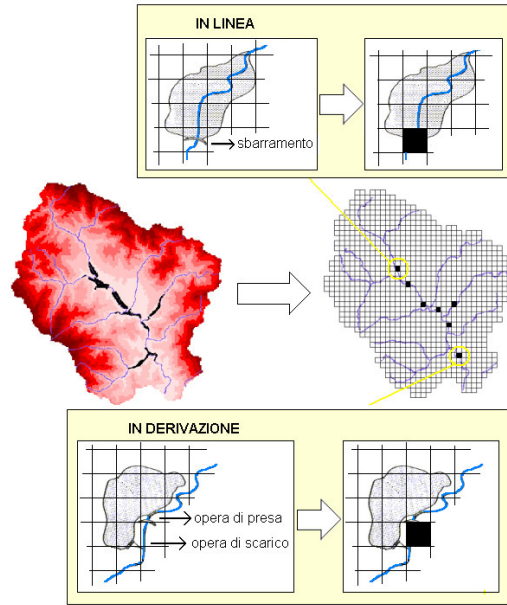


Figura 2. Schematizzazione degli invasi di laminazione nel modello FEST, secondo le modalità “in linea” e “in derivazione”

Nel modello numerico FEST ogni singolo invaso di laminazione può essere simulato mediante l'applicazione di un metodo di Runge-Kutta del terzo o del quarto ordine. Esiste inoltre la possibilità di definire l'intervallo temporale a cui applicare il metodo suddetto, come sottomultiplo del passo di discretizzazione utilizzato per la simulazione della propagazione dell'onda di piena. Tale scelta, assieme al passo temporale di discretizzazione utilizzato, è finalizzata alla riduzione e, ove possibile, eliminazione delle oscillazioni che si presentano nella soluzione dell'equazione di continuità (Filippini, 2004).

### Effetto delle opere di laminazione sulle soglie pluviometriche di allerta idrologica

Le soglie pluviometriche di allerta idrologica definiscono la quantità di precipitazione lorda che, per assegnata durata, genera una portata di guardia in una prefissata sezione fluviale; ci si riferisce alla portata di guardia come a quella portata che, nella sezione considerata, transita con un livello idrico avente franco pari a un metro. In questo modo tutti gli eventi meteorici, registrati o previsti, rappresentati da punti che si posizionano al di sopra della soglia pluviometrica, sono da ritenersi critici, poiché potrebbero dar luogo a valori di picco dell'idrogramma di piena che riducono o annullano il franco di riferimento (Figura 3).

Nel modello utilizzato il valore di soglia della pioggia  $h$ , relativo ad una prefissata durata  $d$ , dipende dall'evoluzione temporale della precipitazione (forma dello ietogramma) e dalle condizioni di imbibimento del terreno precedente all'evento di pioggia (AMC, Antecedent Moisture Condition); allora considerando tre ietotipi e tre possibili valori di AMC, si avranno per ogni sezione di riferimento nove soglie, rappresentate sul piano ( $h-d$ ).

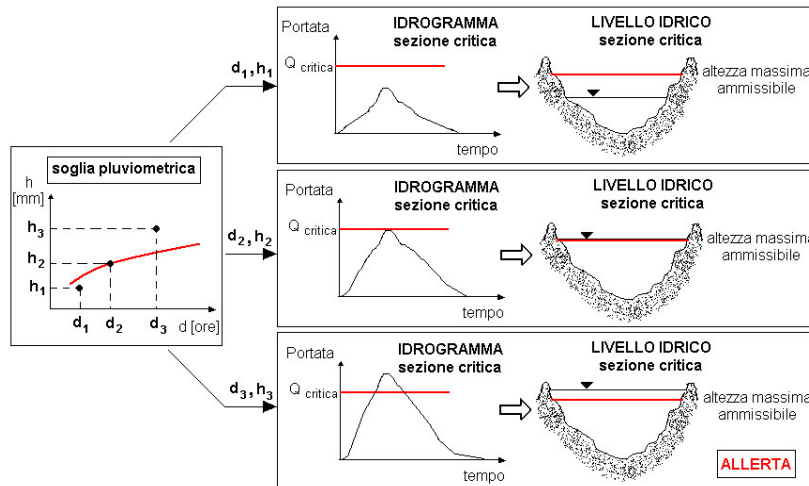


Figura 3. Significato di una soglia pluviometrica: gli eventi meteorici al di sopra della soglia danno origine a livelli idrici che superano il livello massimo ammissibile per la sezione critica corrispondente (es. evento  $d_3, h_3$ ), instaurando pertanto condizioni di allerta.

Il calcolo delle soglie è basato sulla ricerca della soluzione inversa della trasformazione afflussi-deflussi e viene risolto utilizzando in modo iterativo il modello idrologico distribuito FEST (Carpenter et al, 1999, Mancini e Rosso, 2000).

### Il caso di studio

Il caso di studio è quello del bacino del fiume Arno, più precisamente il sottobacino del Casentino (Figura 4), per il quale sono state rideterminate le soglie pluviometriche per la sezione critica di Subbiano, in presenza degli invasi previsti dal Piano di Bacino, Stralcio Rischio Idraulico (Autorità di Bacino dell'Arno, 1999) per essere messe in relazione alle soglie calcolate senza gli invasi a cui fa riferimento attualmente il sistema di preannuncio di piena in forze al Centro Funzionale della Regione Toscana.

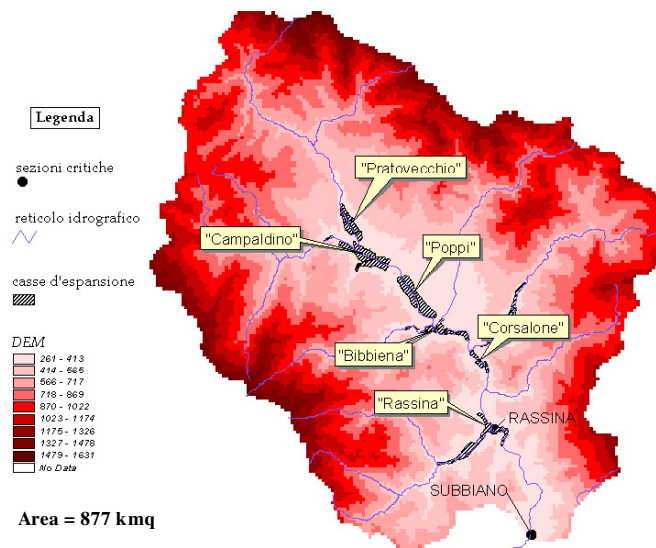


Figura 4. Bacino del Casentino chiuso alle sezione di Subbiano, in presenza delle casse d'espansione previste dal Piano di Bacino del fiume Arno.

Com'è auspicabile, in corrispondenza della sezione di Subbiano l'andamento delle portate defluenti risente notevolmente dell'effetto indotto dalla presenza lungo l'asta principale delle casse d'espansione. Simulando infatti uno stesso evento di piena, inizialmente in assenza di invasi e, successivamente, aumentando il numero degli stessi fino al numero totale previsto si ottengono, per la sezione di Subbiano, gli idrogrammi riportati in Figura 5

Considerando il funzionamento di tutte le casse del Casentino previste nel Piano Stralcio "Rischio Idraulico", sono state rideterminate le soglie pluviometriche di allerta per la sezione di Subbiano, le quali sono state messe a confronto con quelle ottenute in assenza di invasi (Figura 6). Il loro innalzamento, sul piano h-d, evidenzia il maggiore margine di sicurezza di cui beneficia il territorio a valle degli interventi in riferimento ad eventi di piena.

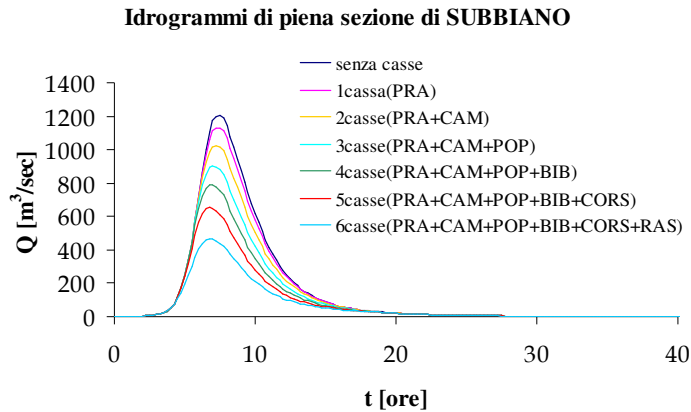


Figura 5. Idrogrammi prodotti dal modello di calcolo per la sezione di Subbiano, al variare del numero di invasi considerati, a parità di evento meteorico.

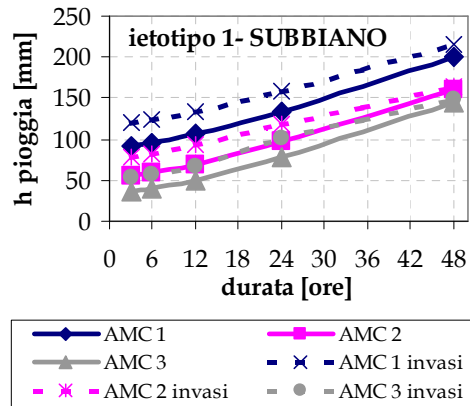


Figura 6. Soglie pluviometriche (ietotipo 1) a confronto, in presenza e in assenza di invasi

## Conclusioni

Lo strumento presentato consente la modellazione della trasformazione afflussi-deflussi a scala di bacino idrografico mediante una caratterizzazione spazialmente distribuita della topografia (DTM) e dei parametri necessari al modello. L'implementazione di un modulo per la simulazione di invasi per la laminazione di piena in linea e in derivazione lungo il reticolo idrografico permette di avere un controllo dell'efficienza di laminazione sia in prossimità dell'intervento stesso che in diverse sezione idrografiche di valle, in modo da rendere possibile quantificare gli effetti delle opere sulla

variazione dei tempi caratteristici e sul volume degli idrogrammi di piena. L'applicazione del modello nella determinazione delle soglie pluviometriche di allerta idrologica per il bacino idrografico del Casentino (Fiume Arno) dimostra la validità di questo strumento nel supporto alla pianificazione e gestione della difesa idraulica del territorio.

### Riferimenti bibliografici

- Amadio P. (2002), "Soglie pluviometriche di allerta idrometrica applicazione ed affidabilità", *Tesi di laurea, Politecnico di Milano*.
- Autorità di Bacino del Fiume Arno, (2004). "Piano di Bacino del Fiume Arno - Stralcio Assetto Idrogeologico".
- Beven, K. J. (1996), "A discussion of distributed hydrological modelling", in *Distributed hydrological modelling edited by M. B. Abbott and J. C. Refsgaard, Kluwer Academic Publishers, Olanda, pp. 255 – 278*.
- Bordonaro, S., Casiraghi, A. M. (2005), "Un modello idrologico distribuito per la valutazione del trasporto solido di fondo nel reticolo idrografico", *Tesi di Laurea – Politecnico di Milano*.
- Bruneau, P., Gascuel – Odoux, C., Robin, P., Merot, P., and Beven K. (1995), "Sensitivity to space and time resolution of a hydrological model using digital elevation data", *Hydrol. Proc.*, 9, 69–81.
- Carnahan B., Luther H.A., Wilkes J.O., (1969). "Applied numerical methods". *Wiley, New York*.
- Carpenter T. M., Sperflage J. A., Georgakakos K. P., Sweeney T., Fread D. L. (1999), "National threshold runoff estimation utilizing GIS in support of operational flash flood warning systems", *Journal of Hydrology*, 21-44.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., and Mays, L. W. (1988), "Applied hydrology", *McGraw-Hill*.
- Costa – Cabral, M. and Burges, S. J. (1994), "Digital elevation model networks (DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas", *Water Resour. Res.*, 30(6), 1681 – 1692.
- Cunge, J.A. (1969), "On the Subject of a Flood propagation computation method", *J. of Hydraulic Research*, vol 7, n2, pp 205-230.
- DIAR Politecnico di Milano, (2002) "MIMI – Modello Integrato Meteo – Idrologico", *Milano*
- Mancini, M. (1990), "La modellazione distribuita della risposta idrologica: effetti della variabilità spaziale e della scala di rappresentazione del fenomeno dell'assorbimento", *Tesi di dottorato, Politecnico di Milano*.
- Mancini M., Montaldo N., Rosso R. (1998), "Modellazione distribuita degli eventi di piena in presenza di invasi artificiali nel bacino del fiume Toce", *proc. XXVI Conv. di Idraulica e Costruzioni idrauliche, vol. II, Catania (Italy)*, pp. 237 – 248.
- Mancini M., Rosso R. (2000), "Valutazione delle soglie idrometeorologiche di preallarme delle piene fluviali nel bacino dell' Arno- Relazione finale", *Politecnico di Milano*.
- Montaldo, M., Mancini, R. Rosso (2003), "Flood Hydrograph Attenuation Induced by a reservoir system: analysis with a distributed rainfall-runoff model", *Hydrological Processes*, 17.
- Oliveira, F., and Maidment, D. (1999), "Geographic information systems (GIS)-based spatially distributed model for runoff routing", *Water Resour. Res.*, 35 (4), 1155 – 1164.
- Peruginelli A., (1991). "Idraulica e analisi numerica : teoria e programmi applicativi", *Libreria D. Flaccovio editrice, Palermo*.
- Ponce V. M. (1989), "Engineering Hydrology principles and practices", *Prentice Hall, Englewood Cliff, NJ*.
- Quarteroni A., Saleri F., Sacco R., (2000). " Numerical mathematics". *Springer, New York*.