

# UTILIZZO DI MODELLI NUMERICI A FONDO MOBILE PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI IDROMORFODINAMICI DOVUTI AD EVENTI DI PIENA PAROSSISTICI

Paolo Tamagnone <sup>1\*</sup>, Maurizio Rosso <sup>1</sup>

(1) DIATI - Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, Politecnico di Torino (Torino)

\*email: paolo.tamagnone@polito.it

## ASPETTI CHIAVE

- Modellistica numerica bidimensionale a fondo mobile.
- Trasporto solido.
- Idromorfodinamica fluviale.

## 1 PREMESSA

Attualmente la valutazione della pericolosità idraulica di un sito, potenzialmente strategico per la popolazione, e la progettazione di opere ingegneristiche ricadenti all'interno del dominio fluviale non può prescindere da una modellazione numerica delle dinamiche fluviali del corpo idrico interessato (Néelz & Pender, 2007, 2009).

Tale modellistica si rivela un utile strumento anche nella valutazione della vulnerabilità delle opere di difesa idraulica, in quanto il grado di pericolosità, e quindi di rischio dell'area oggetto di studio, è strettamente connesso all'integrità e stabilità delle opere ingegneristiche di difesa.

Nella progettazione delle nuove opere di difesa idraulica e nella valutazione dell'efficacia di quelle già esistenti occorre analizzare sia gli aspetti idraulici sia gli aspetti morfodinamici connessi all'evoluzione di un fenomeno alluvionale.

La compiuta conoscenza delle dinamiche di erosione, trasporto e deposito è necessaria in particolar modo per i torrenti montani che sono caratterizzati da una grande disponibilità di materiale solido e da un'elevata energia della corrente liquida (Kammerlander *et al.*, 2017). La corretta progettazione delle opere ricadenti nell'area fluviale non può prescindere da tale conoscenza.

Nell'analisi idromorfodinamica di un corso d'acqua si compie uno studio completo sul sistema bifase solido-liquido. Trascurare una delle due componenti porta ad una sensibile diminuzione del numero di incognite del problema, riducendo quindi l'onere dell'analisi, a fronte però di una perdita di informazioni e una visione incompleta del problema.

Tali analisi possono essere svolte utilizzando modelli numerici che accoppiano alla risoluzione delle equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto della fase liquida, le equazioni di trasporto solido per la valutazione dell'evoluzione morfologica dell'alveo.

Questa memoria riporta i risultati ottenuti mediante la costruzione e l'utilizzo di un modello bidimensionale a fondo mobile della piana alluvionale adiacente al comune di Masera (VB), importante nodo idraulico per la presenza, a breve distanza l'una dall'altra, delle confluenze di 4 importanti tributari del fiume Toce (Tamagnone, 2016).

Per la realizzazione del modello bidimensionale si è ricorso all'utilizzo accoppiato di due differenti software:

- **BASEMENT**<sup>®</sup>: sviluppato dal VAW (Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology), del ETH (Swiss Federal Institute of Technology) di Zurigo, a cui è demandata la fase di processing;
- **SMS**<sup>®</sup>: sviluppato dalla Engineering Computer Graphics Laboratory, della Brigham Young University di Provo, utilizzato in fase di pre e post-processing.

## 2 METODOLOGIA

L'analisi accoppiata solido-liquido è stata condotta grazie ad un modello numerico bidimensionale ai volumi finiti (FVM). La griglia computazionale (mesh) è stata costruita mediante la trasformazione della topografia reale, basata su DTM ottenuto tramite rilievo LiDAR, in una griglia di calcolo che fornisce l'unità spaziale sulla quale risolvere le equazioni che governano la fisica del fenomeno (Zhang *et al.*, 2014).

Il campo di moto è calcolato assumendo una distribuzione idrostatica delle pressioni e trascurando la componente verticale del flusso, questo si traduce matematicamente nella risoluzione delle Shallow Water Equation (SWE), equazioni che forniscono risultati accurati sull'andamento del livello idrico e delle velocità in un piano orizzontale (Teng *et al.*, 2017).

Il sistema di equazioni che permette di calcolare le incognite idrauliche d'interesse può essere scritto in forma conservativa come:

$$U_t + \nabla \cdot (F, G) + S = 0 \quad (1)$$

con

$$U = \begin{pmatrix} h \\ uh \\ vh \end{pmatrix} \quad F = \begin{pmatrix} uh \\ u^2h + \frac{1}{2}gh^2 - vh \frac{\partial u}{\partial x} \\ uvh - vh \frac{\partial u}{\partial y} \end{pmatrix} \quad G = \begin{pmatrix} vh \\ uvh - vh \frac{\partial v}{\partial x} \\ v^2h + \frac{1}{2}gh^2 - vh \frac{\partial v}{\partial y} \end{pmatrix} \quad S = \begin{pmatrix} 0 \\ gh(S_{fx} - S_{Bx}) \\ gh(S_{fy} - S_{By}) \end{pmatrix}$$

Le equazioni che governano il moto del materiale solido sono strettamente legate alle caratteristiche idrodinamiche della corrente, in quanto vi è un continuo trasferimento di forze tra le due fasi. La legge di conservazione della massa della fase solida è rappresentata dall'equazione di Exner:

$$(1 - p) \frac{\partial z_B}{\partial t} + \sum_{g=1}^{ng} \left( \frac{\partial q_{Bg,x}}{\partial x} + \frac{\partial q_{Bg,y}}{\partial y} \right) = \sum_{g=1}^{ng} (sl_g - s_g) \quad (2)$$

L'utilizzo accoppiato di queste equazioni, con l'impiego di opportune condizioni di chiusura e al contorno, permette di descrivere l'andamento spaziale e temporale delle incognite idromorfodinamiche in ogni punto del dominio di calcolo (Volz *et al.*, 2012).

## 3 CASO STUDIO

L'area oggetto di studio è contraddistinta dalla presenza di un'importante infrastruttura pubblica, l'aviosuperficie del comune Masera, che si estende a ridosso della sponda sinistra idrografica tra la confluenza del torrente Isorno e quella del torrente Melezio nel Toce (SRIA, 2016).

Tale zona è esposta ai fenomeni di erosione e trasporto solido del fiume Toce così come sono fortemente sollecitate le opere idrauliche a difesa del rilevato su cui sorge l'aviosuperficie.

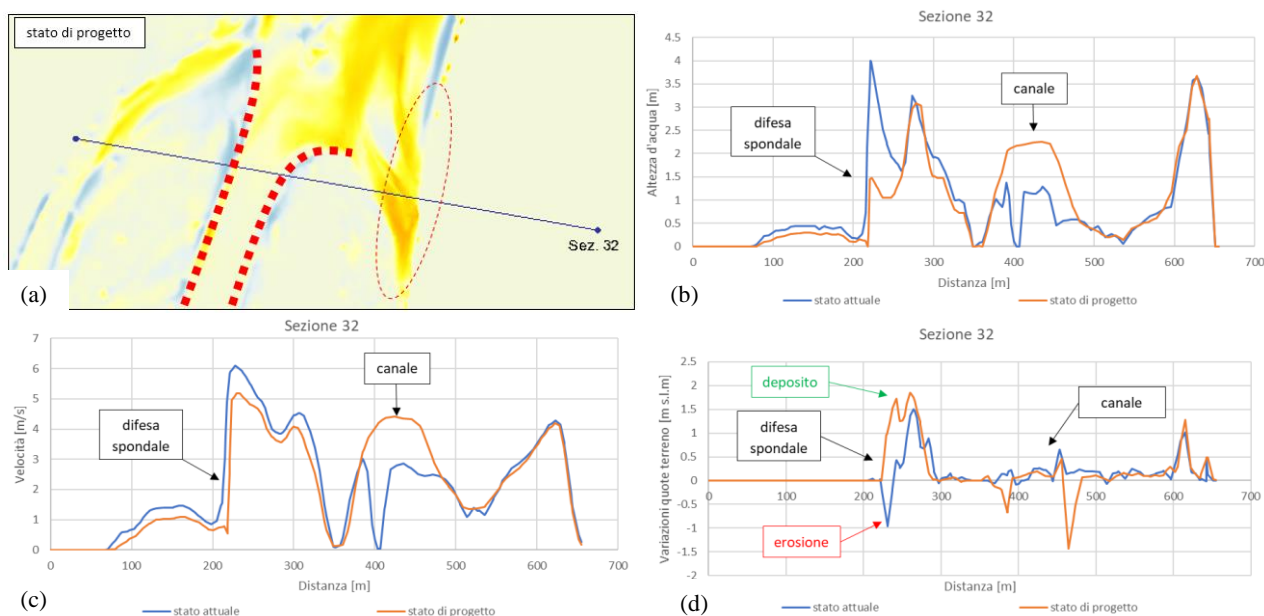
Importanza è stata data al confronto fra il comportamento del fiume allo stato attuale e nella configurazione di "progetto" che vede l'apertura di una savanella, con lo scopo di ridurre l'aliquota di portata insistente sulle difese spondali e indirizzando parte dei deflussi nel nuovo ramo realizzato nella zona centrale della sezione d'alveo.

Grazie all'utilizzo della modellistica è stato possibile simulare l'effetto del deflusso di un evento di piena, con tempo di ritorno di 200 anni, sulla morfologia dell'alveo. In una seconda fase sono state eseguite ulteriori simulazioni imponendo come condizione idraulica in ingresso una portata costante ai vari corsi d'acqua. Questo ha permesso di osservare il comportamento del fiume a seguito delle modificazioni plano-

altimetriche a cui è stato sottoposto l'alveo durante il passaggio di una piena con tempo di ritorno duecentennale.

#### 4 RISULTATI

Le due configurazioni forniscono una risposta localmente differente al passaggio dell'onda di piena; risposta che può essere valutata in termini di battenti idrici, velocità e variazioni altimetriche della morfologia dell'alveo.



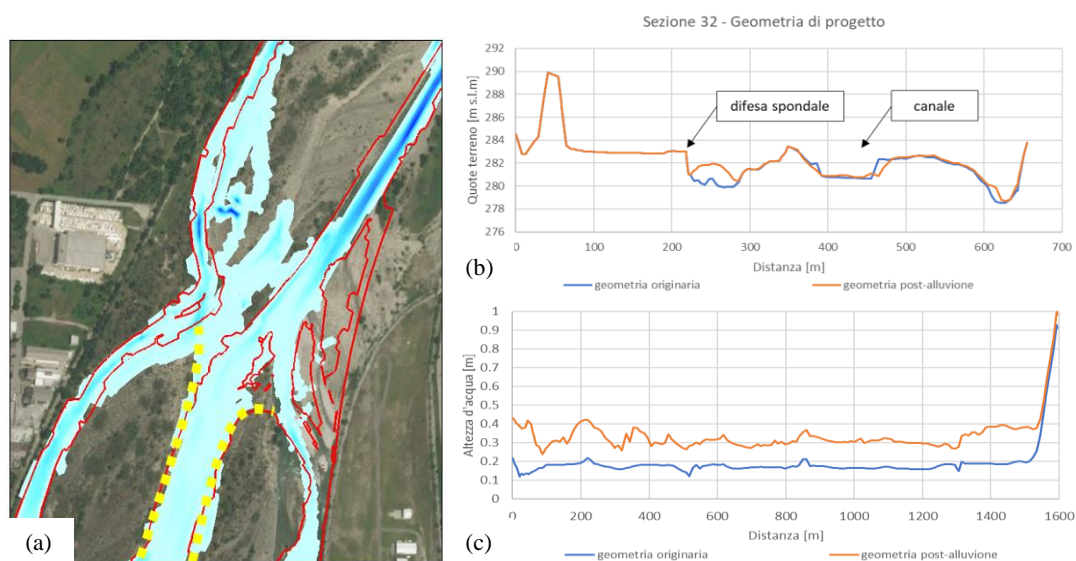
**Figura 1.** Nel pannello (a) è riportata l'ubicazione della sezione 32, il pannello (b) illustra l'andamento dei tiranti idrici in corrispondenza del picco di piena, il pannello (c) riporta l'andamento delle velocità in corrispondenza del picco di piena e il pannello (d) rappresenta la variazione delle quote del terreno a seguito dell'evento alluvionale simulato.

Esaminando la sezione 32, posta all'imbocco del canale, si osserva come l'opera in progetto sia in grado di convogliare gran parte della portata di piena riducendo in questo modo sensibilmente sia i tiranti idrici che le velocità lungo la sponda sinistra idrografica. Tale accorgimento progettuale è in buon accordo con le direttive europee che suggeriscono di considerare interventi che siano positivi anche in termini di evoluzione morfologica del corso d'acqua.

Questo tipo di intervento porta ad un'inversione di tendenza (figura 1(d)), in quanto nello:

- **stato attuale:** la forte azione erosiva della corrente va ad incidere il fondo alveo al piede della scogliera esistente minacciandone la stabilità;
- **stato di progetto:** la corrente raggiunge il limite di capacità di trasporto solido ed è costretta a depositare il sedimento trasportato, scongiurando così lo scalzamento e fornendo un'ulteriore protezione "naturale" dell'opera di difesa.

Questo risultato mostra come attraverso una modellazione matematica che contenga tutti gli elementi e le informazioni che costituiscono il quadro globale del problema, si sia in grado di fornire una valutazione sulla pericolosità, non solo in termini di aree allagate e velocità di flusso, ma anche attraverso una valutazione sulla evoluzione morfologica di fondo alveo e quindi sulla vulnerabilità delle opere a difesa dei siti interessati. Un altro interessante risultato, ottenuto nella seconda fase di simulazione, è stato osservare come i fenomeni di deposito ed erosione abbiano modificato significativamente la morfologia iniziale dell'area fluviale, quindi il dominio di calcolo, indirizzando la portata verso nuove vie di deflusso preferenziali e delineando una nuova configurazione dell'alveo di magra.



**Figura 2.** Il pannello (a) mostra la perimetrazione dell'alveo di magra nella configurazione originaria (contorno rosso) e post-alluvione (campitura), il pannello (b) illustra la geometria della sezione 32 nella configurazione originaria e in quella post-alluvione e nel pannello (c) sono indicate le altezze idrometriche lungo la savanella nella configurazione originaria e in quella post-alluvione.

Dall'analisi delle sezioni d'alveo si osserva come l'azione erosiva della corrente abbia rimodellato la savanella, ottenendo così una geometria maggiormente assimilabile ad un ramo di deflusso naturale (figura 2(b)). Queste variazioni morfologiche portano anche ad un aumento dell'efficienza idraulica del ramo artificiale creato, il quale è in grado di convogliare in esso la frazione principale della portata defluente nella piana di Masera (figura 2(c)).

## 5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Alla luce dei risultati ottenuti si dimostra che il modello numerico allestito è in grado di simulare efficacemente l'idrodinamica e la morfodinamica del corso d'acqua, rispecchiando il comportamento reale del fenomeno fisico. Data la complessa configurazione idrografica della zona analizzata sono state scelte opportune condizioni al contorno per valutare quale fosse la portata solida, in ingresso al dominio di calcolo, fornita da ogni singolo corso d'acqua. I risultati ottenuti potrebbero essere ulteriormente affinati predisponendo opportune campagne di misura delle portate solide del fiume Toce e i suoi affluenti, per la valutazione dei volumi solidi trasportati da ogni singolo ramo.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Kammerlander, J., Gems, B., Kößler, D. & Aufleger, M. Effect of bed load supply on sediment transport in mountain streams, *International Journal of Sediment Research*, 2017, 32(2), 240–252.
- Néelz, S. & Pender, G. Use of Computer Models of Flood Inundation to Facilitate Communication in Flood Risk Management, *Environmental Hazards*, 2007, 7(2), 106–14.
- Néelz, S. & Pender, G. Desktop review of 2D hydraulic modelling packages, Science Report SC080035, Environment Agency, UK, 2009.
- SRIA S.r.l. Progettazione e studio di compatibilità idrogeomorfologica degli interventi di riassetto e difesa idraulica per lo sviluppo e l'attuazione di un programma di ampliamento e potenziamento dell'aviosuperficie di interesse provinciale denominata Chavez-Marini nel territorio del comune di Masera (VB), 2016.
- Tamagnone, P. Modelli numerici a fondo fisso e a fondo mobile in ambito fluviale. Applicazioni a casi di studio, Master's Thesis, Politecnico di Torino, Torino, 2016.
- Teng, J., Jakeman, A.J., Vaze, J., Croke, B. F. W., Dutta, D. & Kim, S. Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis, *Environmental Modelling & Software*, 2017, 90, 201–216.
- Volz, C., Rousselot, P., Vetsch, D. and Faeh, R. Numerical modelling of non-cohesive embankment breach with the dual-mesh approach, *Journal of Hydraulic Research*, 2012, 50(6), 587–598.
- Zhang, S., Wang, T. & Zhao, B. Calculation and visualization of flood inundation based on a topographic triangle network, 2014, *Journal of Hydrology*, 509, 406–415.