

# INNESCO E PROPAGAZIONE DI UNA COLATA CON MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI A FONDO MOBILE: IL CASO DEL RIO VAL MOLINARA (TN)

Daniel Zugliani<sup>1</sup>, Manuela Stenghel<sup>1</sup> & Giorgio Rosatti<sup>1</sup>

(1) Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica, Università di Trento

## ASPETTI CHIAVE:

- L'uso di un modello afflussi-deflussi a fondo mobile per la descrizione della formazione e della propagazione di una colata a scala di bacino richiede la definizione di un criterio di innesco del fenomeno
- Il criterio per colate dovute ad erosione di fondo è stato derivato da una generalizzazione dell'approccio a pendio infinito e moto uniforme di Takahashi, riformulato in termini di parametro di Shields
- La ricostruzione dell'evento di colata del rio Val Molinara (TN) tramite il modello TRENT2D<sup>MBRR</sup> ha permesso una valutazione preliminare della validità dell'approccio

## 1 INTRODUZIONE

Il modello TRENT2D<sup>MBRR</sup>, recentemente sviluppato da alcuni degli autori della presente memoria (Rosatti et al., 2023), è un innovativo modello distribuito afflussi-deflussi dove la dinamica della formazione del deflusso liquido è completamente accoppiata a quella della formazione del deflusso solido ad alta concentrazione. Questo modello è particolarmente adatto allo studio delle colate di detriti in piccoli bacini dove le scale caratteristiche dei fenomeni idrologici estremi e quelle della formazione e propagazione della colata sono comparabili e pertanto non possono essere ben rappresentate dal classico approccio modellistico disaccoppiato "in cascata". A partire da una pioggia distribuita sul bacino, il modello considera quindi in maniera accoppiata la formazione del deflusso superficiale, quello subsuperficiale e le dinamiche di erosione-deposito associate alla movimentazione del materiale solido nel liquido.

Per quanto riguarda la descrizione della dinamica della mistura, il modello mutua l'approccio bifase isocinetico caratteristico del modello originario TRENT2D (Amaddii et al., 2022, Armanini et al., 2009), in cui la concentrazione del solido nella mistura viene determinata tramite una relazione di chiusura di tipo quadratico, tipica di un trasporto di massa di tipo collisionale:

$$c = \beta F_r^2 \quad (1)$$

dove  $F_r = |\mathbf{u}|/\sqrt{(gh)}$  è il numero di Froude locale,  $\mathbf{u}$  è il vettore velocità e  $h$  il tirante della mistura. Risulta chiaro come questo tipo di relazione non prevede un valore di soglia, per cui da sola non è adatta a descrivere meccanismi di innesco del trasporto in massa. Pertanto, nella prima versione del modello, in similitudine al criterio di Shields per il trasporto solido, si considera che la colata avvenga quando il parametro di Shields  $\theta$  locale supera un valore limite  $\theta_{lim}$ , dove questo valore limite dipende dalla tipologia di innesco e va determinato in maniera opportuna tramite un processo di taratura.

Tuttavia, per avere un modello con capacità predittiva, è necessario lo sviluppo di un approccio teorico ed una sua successiva validazione sulla base di dati di campo. Ed è proprio questo l'oggetto della presente memoria che verrà illustrato nelle seguenti sezioni.

## 2 UN POSSIBILE CRITERIO DI INNESCO PER COLATE DOVUTE AD EROSIONE DI FONDO

Tra i possibili meccanismi di innesco di una colata citati da Takahashi (2014), quello che probabilmente è più diffuso nell'arco alpino è associato alla erosione di fondo di materiale granulare sciolto (stony debris flow initiation). Per tali condizioni l'autore propone il seguente criterio di innesco descritto nella sezione 2.1, di cui nella sezione 2.2 se ne propone una generalizzazione.

### 2.1 L'approccio originale di Takahashi

L'approccio proposto da Takahashi considera un pendio infinito saturo, composto da sedimenti omogenei di diametro  $d$  senza coesione, sopra il quale scorre una lama d'acqua  $h_0$  in moto uniforme. In tali condizioni, considerando un piano parallelo al fondo e distante una quantità  $a_c$ , le tensioni tangenziali motrici, derivanti dalla componente parallela al fondo del peso della lama d'acqua e del terreno saturo, diventano:

$$\tau_m = g \sin \psi [\rho h_0 + a_c \rho (1 - c_b) + a_c \rho_s c_b] \quad (2)$$

dove  $\rho$  è la densità dell'acqua,  $\rho_s$  la densità dei sedimenti,  $c_b$  la concentrazione volumetrica del solido sul fondo,  $\psi$  l'angolo del pendio rispetto all'orizzontale e  $g$  l'accelerazione di gravità; le tensioni resistenti, derivanti da un comportamento Coulombiano della fase solida immersa senza possibili effetti dovuti a filtrazione, diventano invece:

$$\tau_r = (\rho_s - \rho) c_b a_c g \cos \psi \tan \phi \quad (3)$$

dove  $\phi$  è l'angolo di attrito del materiale di fondo. L'equilibrio tra tensioni motrici e resistenti avviene ad una profondità limite  $a_c$ , a cui vale la seguente espressione:

$$\tan \psi = \frac{c_b \Delta}{(c_b \Delta + 1) + (h_0/a_c)} \tan \phi \quad (4)$$

dove  $\Delta = (\rho_s - \rho)/\rho$ . Per avere un trasporto di massa, l'autore pone la condizione che il piano instabile includa almeno uno strato di sedimenti, per cui  $a_c \simeq d$ , e la condizione che  $h_0/d$  debba essere pressoché unitario per avere una colata matura. Tramite l'eq. (4) è possibile quindi verificare se vi sono le condizioni di innesco di una colata, verificate che siano le altre ipotesi di base.

## 2.2 Estensione a condizioni di moto non uniforme

Nelle applicazioni modellistiche, le condizioni di applicabilità della equazione (4) non sono praticamente mai verificate, in quanto il terreno presenta pendenze variabili ed il moto che si instaura sopra esso è marcatamente variabile nello spazio e nel tempo. Per tenere conto di queste condizioni, si è riscritta l'espressione della tensione motrice andando ad evidenziare la tensione  $\tau_0$  esercitata dal fluido in movimento sul fondo:

$$\tau_m = \tau_0 + a_c (1 + c_b \Delta) \rho g \sin \psi \quad (5)$$

dove il valore di  $\tau_0$  è calcolabile localmente dal modello numerico.

Uguagliando questa espressione con la (2), che rimane invariata, si ottiene la condizione limite, esprimibile come valore del parametro di Shields limite  $\theta_{lim}$  in funzione di altri parametri:

$$\theta_{lim} = \frac{\sin \psi a_c}{\Delta d} \left[ c_b \Delta \left( \frac{\tan \phi}{\tan \psi} - 1 \right) - 1 \right] \quad (6)$$

Tenendo conto delle due ulteriori condizioni poste da Takahashi, si ottiene l'espressione finale:

$$\theta_{lim} = \frac{\sin \psi}{\Delta} \left[ c_b \Delta \left( \frac{\tan \phi}{\tan \psi} - 1 \right) - 1 \right] \cup \frac{h}{d} = 1 \quad (7)$$

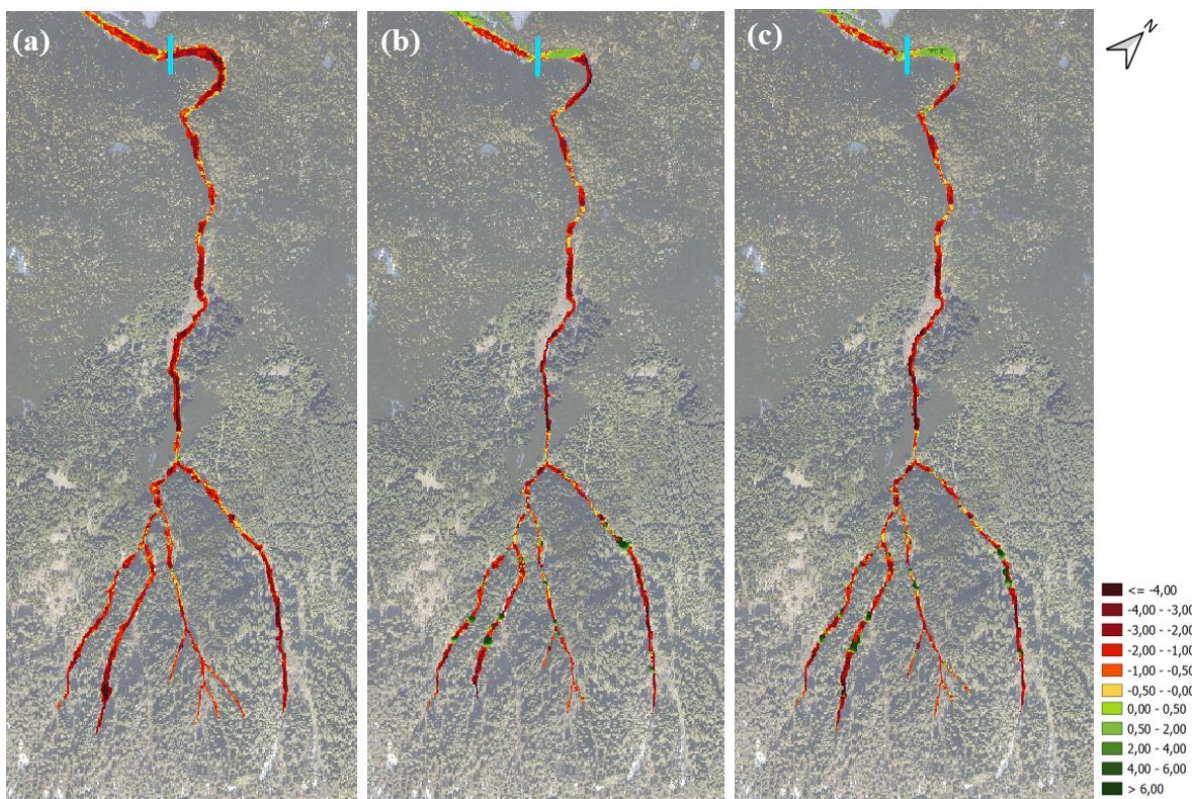
Si può notare come questa espressione presenti una condizione "geometrica" indipendente dalla dinamica del deflusso superficiale ( $\theta_{lim}$ ) che può essere calcolata a priori, ed una "dinamica" ( $h/d$ ) che deve essere valutata durante la simulazione stessa.

## 3 APPLICAZIONE AL CASO DELLA COLATA DEL RIO VAL MOLINARA

Al fine di validare l'espressione (7), si è considerato l'evento di colata detritica che ha interessato il rio Val Molinara (TN) nella notte tra il 14 e il 15 agosto 2010 e si cercato di riprodurlo con il modello TRENT2D<sup>MBRR</sup>. In una prima fase, si è considerato il fondo completamente inerodibile e si è andati a stimare il valore di  $\theta_{lim}$  come valore medio di  $\theta$  valutato nelle celle di calcolo interessate da deflusso superficiale nell'intorno dell'istante di innesco della colata (noto da testimonianze dirette). Il valore ottenuto da questa procedura è

stato pari a 0.102. La successiva simulazione a fondo mobile, realizzata considerando  $\theta_{lim} = 0.102$  su tutto il dominio di calcolo, ha prodotto un buon risultato sia in termini di distribuzione di zone di scavo e deposito (Figura 1(b)) che di volumetrie scavate, confrontabili con i valori derivanti da stime di campo, sia in termini di tempistica di impulsi di portata, che risultano congruenti con quanto riportato dalle testimonianze.

In una seconda fase, si è andati a valutare in maniera distribuita su tutte le celle del dominio di calcolo il valore di  $\theta_{lim}$  espresso nella relazione (7). Non essendo ancora implementata nel modello la condizione “dinamica”, si è analizzata la simulazione a fondo inerodibile fatta in precedenza e si sono determinate le zone in cui il valore massimo del tirante registrato in tutta la simulazione è risultato maggiore del diametro dei sedimenti. In tale zona si sono considerati i valori locali di  $\theta_{lim}$ , mentre all'esterno si è considerato il fondo inerodibile per tutta la simulazione. I risultati in termini di scavo e deposito sono riportati in Figura 1(c). Come si può notare dal confronto con i valori di scavo e deposito ottenuti dal DOD (differenza tra DTM pre e post evento), la concordanza è significativa su tutto il reticolo idrografico escluso sulla parte alta delle immagini dove il DOD risente degli interventi di sistemazione dell'alveo eseguiti nell'immediato post-evento e pertanto in tale zona non è affidabile. Si può notare inoltre come l'estensione delle erosioni nella parte apicale del reticolo (parte bassa dei pannelli di Figura 1) sia colta meglio dalla simulazione con  $\theta_{lim}$  teorico che da quella con  $\theta_{lim}$  calibrato (Figura 1(b)).

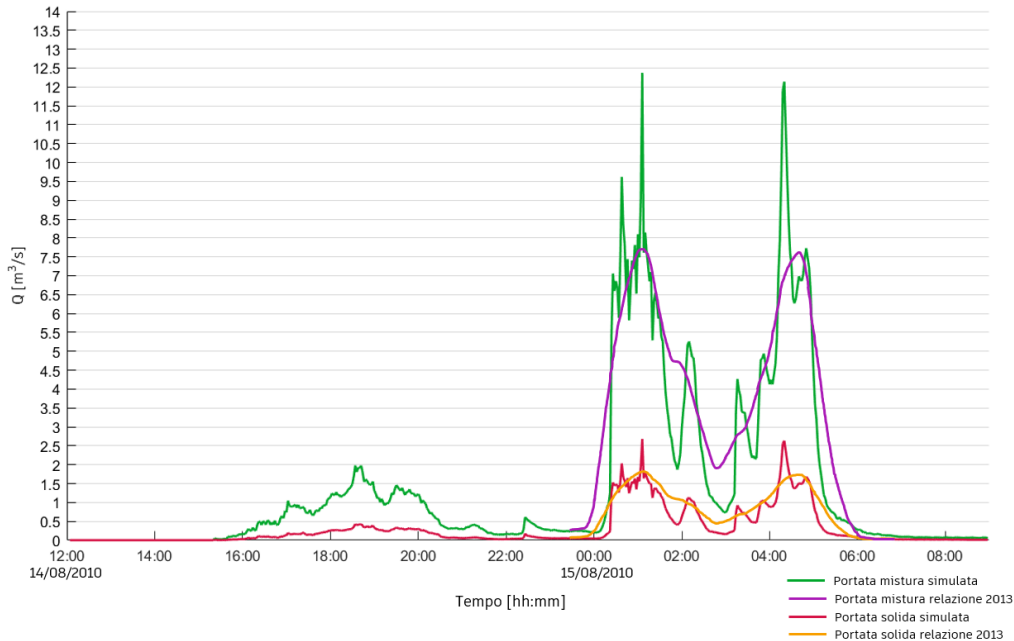


**Figura 1.** Confronto tra: (a) DOD pre-post evento; (b) scavi e depositi a fine simulazione utilizzando il valore tarato di  $\theta_{lim} = 0.102$ ; (c) scavi e depositi a fine simulazione con valori spazialmente distribuiti ottenuti dalla applicazione della relazione (7). Quantità espresse in m. La line azzurra indica la sezione su cui sono state valutate le portate.

Per quanto riguarda le portate solide e di mistura simulate in una sezione in prossimità dell'imbocco del conoide (la sezione è indicata con una linea azzurra nei pannelli di Figura 1), nella Figura 2 viene riportato il loro andamento in funzione del tempo come ottenuto dalla simulazione con  $\theta_{lim}$  teorico e da uno studio pregresso svolto dall'Università di Trento (Armanini et al., 2013) in cui sono stati ricostruiti su base modellistica (a partire da una ricostruzione idrologica ottenuta con il modello TOPMODEL di Beven & Kirkby, 1979) per il solo periodo in cui è stato registrato significativo trasporto solido. Si può notare come l'andamento temporale e l'entità dei valori sia significativamente simile, ma il modello TRENT2D<sup>MBRR</sup> presenta degli andamenti molto più irregolari rispetto a quanto ricostruito tramite TOPMODEL, a causa della sua natura distribuita che risente in maniera molto più significativa della geometria del bacino e della dinamica



dell'erosione rispetto a quello che si può ottenere a partire da un modello sintetico, che risulta molto più liscio. Altro elemento particolarmente importante è il fatto che il criterio di innesco introdotto riproduce in maniera decisa il comportamento impulsivo sia dell'innesco della colata poco dopo le ore 00:00 del 15/08/2010, che i picchi di portata massima, i quali risultano del tutto compatibili con i tempi in cui sono stati registrati gli impulsi di colata più significativi.



**Figura 2.** Confronto tra i valori della portata di mistura e di quella solida valutati all'imbocco del conoide ottenuto nello studio pregresso di Armanini et al. (2010) e dalla applicazione del modello TRENT2D<sup>MBRR</sup> con  $\theta_{lim}$  ottenuto dalla applicazione distribuita della metodologia sviluppata in questo lavoro.

#### 4 CONCLUSIONI

Il criterio di innesco teorico per colate detritiche causate da erosione diffusa proposto in questa memoria ha dato risultati particolarmente incoraggianti nella sua applicazione alla colata del rio Val Molinara. Si ritiene quindi opportuna la sua implementazione nel modello TRENT2D<sup>MBRR</sup> in modo tale da poterlo applicare in maniera sistematica ad altri casi di colata ben documentati al fine di validare in maniera estensiva la sua efficacia. Se confermato dal lavoro futuro, questo criterio fisicamente basato potrebbe conferire al modello una buona capacità predittiva, particolarmente utile negli studi su piccoli bacini in cui non è possibile effettuare una taratura.

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Amaddii, M., Rosatti, G., Zugliani, D., Marzini, L. & Disperati, L. Back-Analysis of the Abbadia San Salvatore (Mt. Amiata, Italy) Debris Flow of 27–28 July 2019: An Integrated Multidisciplinary Approach to a Challenging Case Study. *Geosciences*, 2022, 12(10), 385.
- Armanini, A., Begnudelli, L., Rosatti, G. & Zorzi, N. Studio dei fenomeni torrentizi avvenuti nel 2010 sul versante pinetano di Costalta compreso tra la Val Regnana ed il Rio le Giare. Ricostruzione degli eventi. Università degli studi di Trento, 2013.
- Armanini, A., Fraccarollo, L. & Rosatti, G. Two-dimensional simulation of debris flows in erodible channels. *Computers & Geosciences*, 2009, 35(5), 993-1006.
- Beven, K. & Kirkby, M. A physically based variable contributing area model of catchment hydrology, *Hydrological Science Bulletin*, 1979, 24, 43-69.
- Rosatti, G., Zugliani D. & Fraccarollo, L. The debris flow event of 29 October 2018 in the Rio Rotiano (Italy) and its challenges for the mathematical and numerical modelling. *Proceedings of DFHM8, E3S Web of Conferences*, 2023, 415, 05022.
- Takahashi, T. Debris flow: mechanics, prediction and countermeasures. 2nd Edition. London: Taylor Francis Group, 2014, pp.121-128.