

# LO “STRANO CASO” DEL TORRENTE CHALAMY (AO): COLATA DETRITICA IMPULSIVA O TRASPORTO SOLIDO INTENSO CON APPORTO DA MONTE LIMITATO?

Daniel Zugliani <sup>1</sup>, Jessica Bontempi <sup>1</sup> & Giorgio Rosatti <sup>1</sup>

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

## ASPETTI CHIAVE:

- Le variazioni morfologiche avvenute durante un evento di tipologia incerta sul torrente Chalamy (AO) sono state riprodotte con una modellazione sia a colata detritica sia a trasporto solido
- L'identificazione del tipo di fenomeno ha richiesto un'analisi sui parametri modellistici utilizzati: solo il fenomeno a trasporto solido intenso utilizza ipotesi e parametri fisicamente accettabili
- Le assunzioni fatte per la ricostruzione dell'evento sono state validate in maniera qualitativa sulla base di altri eventi pregressi

## 1 INTRODUZIONE

Il torrente Chalamy nasce dalle pendici del Mont Glacier e confluisce in destra idrografica nella Dora Baltea. Il suo bacino, di circa 47 km<sup>2</sup>, è localizzato nella zona sud-orientale della Valle d'Aosta e ricade interamente nei comuni di Champdepraz e Issogne (AO) (Figura 1(a)). Negli ultimi 5 km, il torrente presenta una successione di tre distinte zone omogenee (Figura 1(b)): in un primo tratto il torrente scorre su un alveo naturale costituito da ghiaia e grossi massi la cui numerosità cresce col crescere della pendenza dal 14% al 20%; in un secondo tratto, di circa 1 km, il torrente scorre in una stretta forra rocciosa dove la pendenza media raggiunge pendenze superiori al 20%, per poi arrivare al terzo tratto, in prossimità del conoide, dove l'alveo risulta fortemente regimato grazie ad una sistemazione costituita da 21 vasche di deposito delimitate da briglie chiuse di altezza di pari a circa 5m. In quest'ultimo tratto la pendenza cala drasticamente passando dal 12% in apice al conoide, al 4% a valle delle vasche.

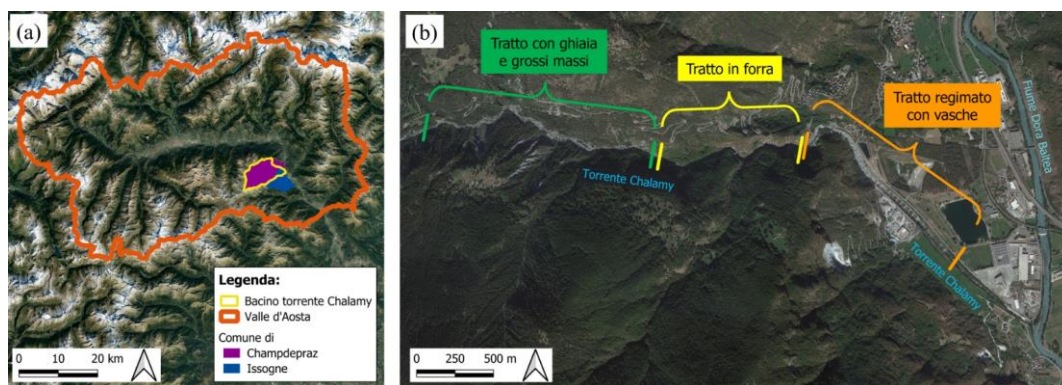


Figura 1. (a) Inquadramento geografico del bacino del torrente Chalamy, (b) dettaglio del torrente Chalamy nella zona di studio.

Nella notte tra il 2 e il 3 ottobre 2020, a seguito di intense precipitazioni, nel tratto di alveo in prossimità del conoide si sono depositati circa 31000 m<sup>3</sup> di materiale (stimati come differenza tra rilievi post- e pre-evento) e che hanno riempito le prime 13 vasche a partire da monte. Il materiale depositatosi presenta una notevole variabilità granulometrica, passando da un diametro caratteristico di circa 40-50 cm nella prima vasca a meno di 10 cm a valle della tredicesima vasca, evidenziando come questa tipologia di sistemazione generi un'importante selezione granulometrica nell'arco di circa 500 metri. Da una modellazione idrologica dell'evento, svolta tramite il modello Peakflow (Rigon et al., 2011) adeguatamente calibrato, si è ricavato l'idrogramma di figura 2(a), dove si nota come la fase intensa dell'evento duri per più di 12 ore, raggiungendo un picco di portata che si attesta sui 55 m<sup>3</sup>/s.

Il processo che ha movimentato il materiale solido risulta incerto in quanto con una pendenza del 20%, granulometrie importanti e una portata idrologica di picco abbastanza elevata, ci si potrebbe aspettare un

fenomeno di colata detritica generato da erosione diffusa dell'alveo nel tratto a monte della zona in forra. Tuttavia, vista la durata dell'idrogramma, non si può nemmeno escludere a priori che la movimentazione del materiale sia stata generata tramite processi di trasporto solido intenso nel tratto con le vasche ma con alimentazione da monte limitata.

L'obiettivo di questo lavoro è stato quello di ricostruire, tramite l'applicazione del modello matematico-numerico TRENT2D, l'evento accaduto andando a discriminare quale delle tipologie di fenomeno descritto sopra possa aver effettivamente prodotto la distribuzione di materiale rilevato nel post evento.

## 2 METODOLOGIA

In questo lavoro, si è utilizzato il modello bidimensionale, bifasico TRENT2D (Armanini et al., 2009) che, nella sua versione più recente (Rosatti & Zugliani, 2015), riesce a gestire sia zone con fondo mobile, sia zone con fondo inerosibile ma depositabile. Il modello è fisicamente basato, i parametri risultano stimabili a priori conoscendo le caratteristiche della zona di studio, ed è in grado di simulare sia fenomeni di colata detritica sia fenomeni di trasporto solido. La validità delle formule per la stima a priori dei parametri è stata più volte verificata, come ad esempio nel caso analizzato da Amaddii et al. (2022). Infine, la forzante esterna al modello è costituita dalle portate di mistura e solida la cui stima è descritta nelle sezioni 2.1.

Nota la batimetria iniziale della zona di studio (nel caso in esame comprende la parte finale del tratto in forra e l'intero tratto regimato con vasche), la procedura di ricostruzione utilizzata prevede i seguenti passaggi:

1. stima delle portate in ingresso;
2. stima a priori dei parametri modellistici tramite formule fisicamente basate;
3. esecuzione della simulazione;
4. confronto tra dati modellati e misurati
5. eventuale modifica dei parametri modellistici e successiva nuova simulazione.

L'ultimo passaggio della precedente procedura viene reiterato fintantoché il modellato riproduce in maniera soddisfacente l'evoluzione morfologia rilevata post-evento.

### 2.1 Stima delle portate di mistura e solida

La stima delle portate di mistura e solida avviene ipotizzando una condizione di moto uniforme istantaneo e locale nella zona di immissione. Quest'assunzione permette di utilizzare le formule di letteratura per la valutazione della concentrazione  $c$  di equilibrio: la formulazione proposta da Takahashi (1978) nel caso di colata detritica e quella proposta da Smart (1984) nel caso di trasporto solido. Successivamente, viene valutata la portata di mistura  $Q_{mix}$  e quella solida  $Q_s$  tramite le seguenti espressioni:

$$Q_{mix} = \frac{c_b}{c_b - c} Q_{idro} \quad (1)$$

$$Q_s = c Q_{mix} \quad (2)$$

dove  $Q_{idro}$  è la portata idrologica ottenuta preliminarmente e  $c_b$  la concentrazione di sedimenti sul fondo. Per semplicità di lettura non si riporta la dipendenza dal tempo delle variabili.

Tuttavia, nel caso di disponibilità di sedimento limitata o, come nel caso oggetto di studio, di volumi solidi movimentati noti che risultano pari al volume depositato nel tratto regimato con vasche, la procedura di stima delle portate in ingresso viene rivista, in quanto si deve rispettare il seguente vincolo:

$$V_s^{mov} = \int_{t_1}^{t_2} Q_s dt \quad (3)$$

dove  $V_s^{mov}$  è il volume solido che viene movimentato che risulta noto, mentre  $t_1$  e  $t_2$  sono gli istanti temporali entro cui si ipotizza ci sia significativa alimentazione di materiale solido.

Nel caso di colata detritica si aggiungono le seguenti ipotesi:

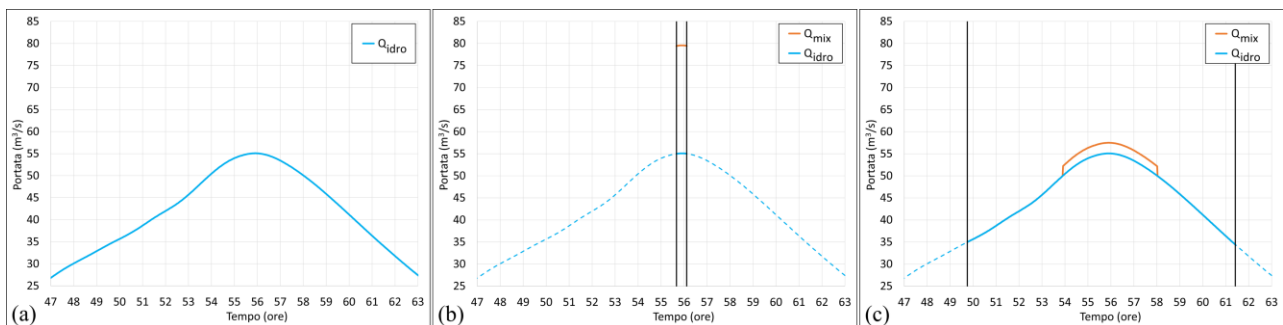
- la colata avviene attorno al picco dell'idrogramma per una durata pari a  $2\delta t$  (Rosatti et al., 2019), pertanto  $t_{1,2} = t_p \mp \delta t$ , dove  $t_p$  indica il tempo di picco;
- la concentrazione è paria quella valutata in condizione di equilibrio istantaneo e locale nei pressi della sezione di immissione;

così, tramite l'eq. (3) è possibile valutare la durata dell'evento di colata e dalle eq. (1) e (2) le portate di misura e solida.

Nel caso di trasporto solido, invece, la durata è fissata a priori in quanto l'alimentazione solida è vincolata dalla quantità di materiale solido che proviene dalle zone di produzione di sedimento. In tale zona si valuta pertanto un'opportuna portata idrologica critica che supera il valore di Shields critico. Questo fa sì che nell'eq. (3) l'incognita sia la portata solida. Tuttavia, usando le equazioni (1) e (2), essa può essere riscritta in funzione di  $Q_{idro}$ , quantità nota, e  $c$  che risulta la nuova incognita. A sua volta questa può essere espressa in funzione della concentrazione di equilibrio, nota in quanto calcolabile, divisa per un fattore incognito  $K_c$ , che risulta l'incognita finale. Una volta ricavato per tentativi il valore di  $K_c$  si valuta in cascata la concentrazione e, tramite le equazioni (1) e (2) le portate di mistura e solida.

### 3 RISULTATI E DISCUSSIONE

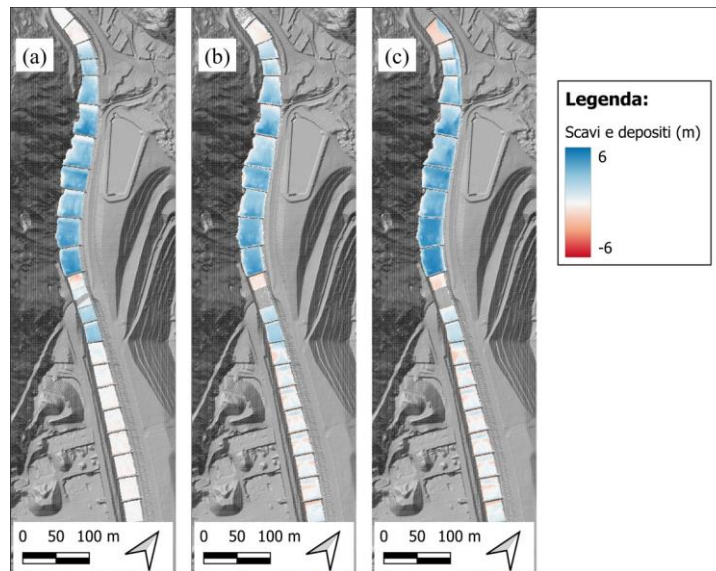
Le portate di mistura e solida, ricavate utilizzando la procedura descritta nella sezione 2.1, sono illustrate in figura 2(b) e (c) per il caso di colata detritica e di trasporto solido rispettivamente. Analizzando gli idrogrammi si può notare come il fenomeno di colata detritica sia poco ragionevole. Infatti, se per una colata detritica una durata che risulta pari a circa 30 minuti ( $\delta t \sim 15$  minuti) risulta realistica, ciò che la rende poco ragionevole è il contesto idrologico in cui è inserita. Infatti, l'idrogramma idrologico presenta portate prossime a quella di picco per un paio di ore e, per lo scenario a colata detritica, in questo lasso di tempo non si dovrebbero più registrare variazioni morfologiche. Del tutto opposto risulta essere l'idrogramma per il caso di trasporto solido, il quale presenta un'alimentazione solida da monte che perdura per 4 ore (ovvero per portate idrologiche che superano i  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , portata per la quale si supera il valore limite di Shields nella zona di produzione di sedimento). Siccome nel tratto regimato con vasche si è osservata un'importante selezione granulometrica, la mobilità dei sedimenti cambia notevolmente e, nella parte centrale di questo tratto il parametro mobilità critico di Shield si supera con portate attorno ai  $35 \text{ m}^3/\text{s}$ . Per tale motivo, nell'idrogramma utilizzato nella simulazione a trasporto solido, sono state aggiunte all'incirca 4 ore prima e altrettante dopo la fase con alimentazione solida, con portata solida nulla.



**Figura 2.** Idrogrammi (a) idrologico ricavato dall'applicazione del modello Peakflow e di mistura impiegato per la ricostruzione del fenomeno con l'ipotesi di (b) colata detritica e (c) trasporto solido inteso con alimentazione solida limitata. Le linee verticali indicano la durata della simulazione.

I risultati modellistici ricavati con l'ipotesi di colata detritica, alla fine del processo di calibrazione, sono riportati in figura 3(b) dove si illustrano scavi e depositi. Confrontando questa mappa con quanto rilevato nel post evento e riportato in figura 3(a), si osserva una buona congruenza, ritenendo pertanto la ricostruzione soddisfacente. Nonostante questa più che buona corrispondenza tra simulato e misurato, si deve sottolineare come il risultato sia stato ottenuto utilizzando dei parametri modellistici fuori del loro range fisico. Questo fatto, assieme a quanto descritto per l'idrogramma in ingresso utilizzato, permette di affermare con buona probabilità che l'evento accaduto non sia stato una colata detritica.

I risultati dell’evoluzione morfologica modellata assumendo un fenomeno di trasporto solido intenso, alla fine del processo di calibrazione dei parametri, sono ripostati in figura 3(c). Anche in questo caso, il processo di calibrazione produce risultati del tutto comparabili con quelli rilevati in campo (figura 3(a)). A differenza della modellazione svolta assumendo il fenomeno di colata detritica, in questo caso tutti i parametri calibrati si discostano di poco dal valore di primo tentativo rimanendo abbondantemente nel loro range di validità fisica. Questo permette di asserire, con un buon grado di affidabilità, che l’evento accaduto sia stato un caso di trasporto solido intenso in cui l’alimentazione solida da monte sia stata limitata.



**Figura 3.** Scavi e depositi nella zona con la sistemazione a vasche: (a) rilievo svolto un paio di mesi dopo l’evento, (b) risultati della modellazione a colata detritica e (c) risultati della modellazione a trasporto solido intenso con alimentazione solida limitata.

Infine, le assunzioni fatte per la ricostruzione dell’evento, ed in particolare valori di portata limite entro cui si ha la mobilitazione di materiale solido, sono state validate in maniera qualitativa sulla base di altri eventi pregressi che, per brevità, non sono riportate.

#### 4 CONCLUSIONI

Da questo lavoro si riesce a comprendere come, in alcuni casi, la ricostruzione di un fenomeno può non essere univoca e modelli ed ipotesi diverse possono portare a risultati finali comparabili. In questi casi l’analisi dei valori di taratura, ed in particolare la verifica della appartenenza ad intervalli fisicamente basati, può aiutare a discriminare quale tipologia di fenomeno possa essere effettivamente successo.

#### RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è stato tratto da uno studio sul torrente Chalamy, finanziato dal Comune di Champdepraz (AO).

#### 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.
- Rigon, R., D’Odorico, P. & Bertoldi G. The geomorphic structure of the runoff peak, *Hydrology and Earth System Sciences*, 2011, 15(6), 1853-1863.
- Rosatti, G., Zugliani, D., Pirulli, M. & Martinengo, M. A new method for evaluating stony debris flow rainfall thresholds: the Backward Dynamical Approach, *Heliyon*, 2019, 5(6), e01994.
- Rosatti, G. & Zugliani, D. Modelling the transition between fixed and mobile bed conditions in two-phase free-surface flows: The Composite Riemann Problem and its numerical solution, *Journal of Computational Physics*, 2015, 285, 226-250.
- Smart, G. M. Sediment Transport Formula for Steep Channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1984, 110(3), 267-276.
- Takahashi, T. Mechanical Characteristics of Debris Flow, *Journal of the Hydraulics Division*, 1978, 104(8), 1153-1169.