

# LA COLATA DI FANGO DI SAN FELICE A CANCELLO (CE): RICOSTRUZIONE CON LA VERSIONE MONOFASE DEL MODELLO TRENT2D E VALIDAZIONE DEI PARAMETRI MODELLISTICI

Daniel Zugliani <sup>1\*</sup>, Marta Martinengo <sup>1</sup>, Giorgio Rosatti <sup>1</sup> & Vittorio Chiessi <sup>2</sup>

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

(2) Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) – Servizio Geologico d'Italia (Ancona)

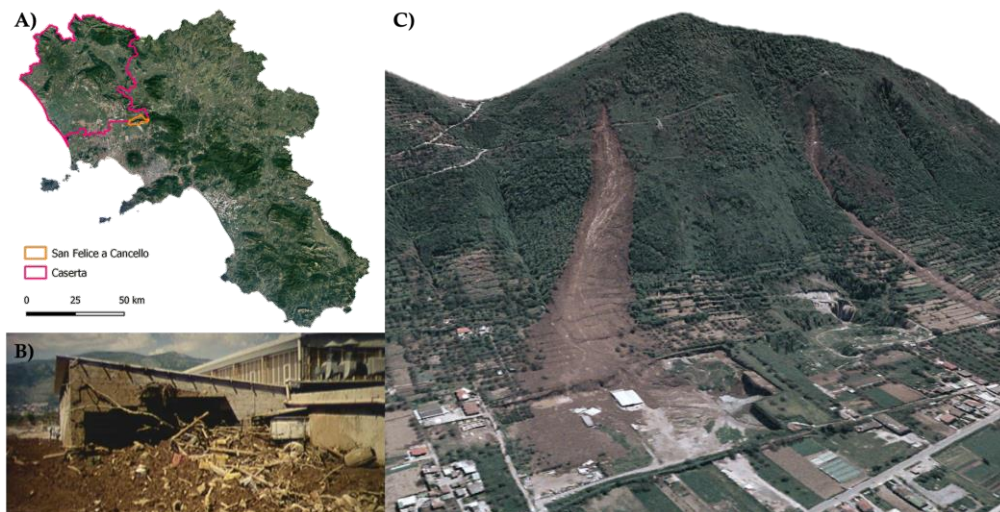
\*email: daniel.zugliani@unitn.it

## ASPETTI CHIAVE

- Ricostruzione di una colata di fango con il modello TRENT2D nella versione monofase.
- Calibrazione dei parametri e confronto tra risultati del modello TRENT2D e dati di campo.
- Validazione dei parametri calibrati su una colata con caratteristiche simili.

## 1 INTRODUZIONE

Le colate di fango sono fenomeni di smottamento di versante particolarmente intensi e rapidi, generalmente causati da abbondanti precipitazioni e spesso caratterizzati da un moto assimilabile a quello di un fluido omogeneo. Viste le potenziali ripercussioni economiche e sociali di questi eventi, risulta fondamentale valutare l'affidabilità dei modelli matematico-numeriche che vengono utilizzati in questi casi. In generale, lo studio di eventi storici risulta uno strumento molto utile per verificarne e validarne l'affidabilità. In questo contesto, si è voluto analizzare le capacità del modello TRENT2D, nella sua versione monofasica, di descrivere colate di fango attraverso la ricostruzione di due eventi.



**Figura 1.** Inquadramento dell'area di studio e dell'evento. A) Localizzazione del comune di San Felice a Cancellò. B) Effetti della colata di fango su uno degli edifici presenti nella zona di arresto. C) Vista aerea dell'area interessata: in primo piano la colata di fango principale, mentre sulla destra si nota una seconda colata di fango di dimensioni più ridotte.

## 2 L'EVENTO DI SAN FELICE A CANCELLO (CE)

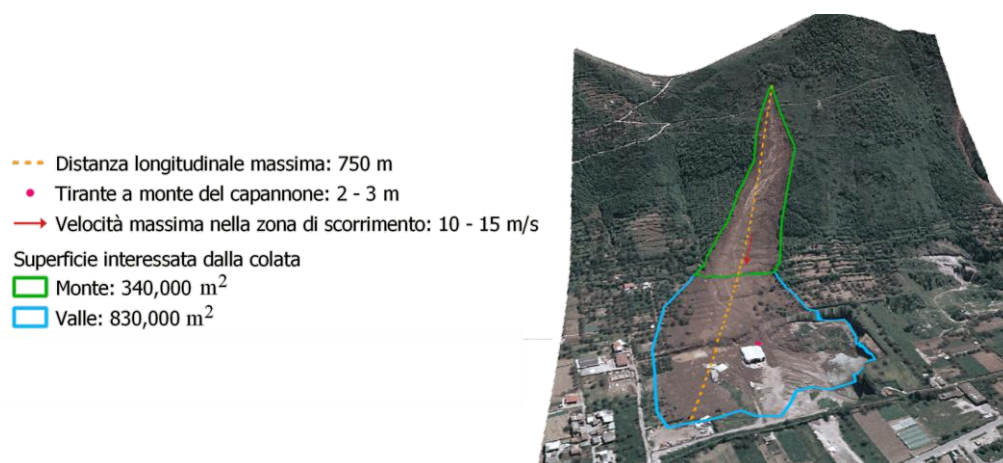
Durante l'evento meteorico del 4-5 maggio 1998, il comune di San Felice a Cancellò (provincia di Caserta, Campania) è stato interessato da una serie di colate distaccatesi dal monte Sant'Angelo Palomba. La principale di queste (Figura 1) si è distaccata ad una quota di circa 330 m s.l.m. e, scorrendo lungo il pendio del monte, ha distrutto una serie di terrazzamenti con aree agricole di pregio. Dopo aver percorso circa

750m, la colata si è arrestata in una area industriale danneggiando una serie di edifici (Chiessi et al., 2003a). La colata è risultata composta principalmente di materiale vulcanoclastico con la presenza di clasti carbonatici. Il materiale solido ricade prevalentemente nella classe granulometria dei limi con una buona percentuale di materiale molto fino composto, fino al 10% in peso, da diametri inferiori a  $2\mu\text{m}$  (Chiessi et al., 2003b). La presenza di quest'elevata quantità di granulometrie limo-argilloso suggerisce la possibilità di descrivere il moto della relativa miscela acqua-sedimenti come un fluido omogeneo e di definire tale fenomeno come colata di fango. Infine, il volume complessivo distaccatosi e movimentato si attestava attorno ai  $60000\text{ m}^3$  (Chiessi et al., 2003a,b).

### 3 METODO

Le modellazioni volte alla ricostruzione dell'evento occorso a San Felice a Canello sono state eseguite utilizzando il modello TRENT2D, nella sua versione monofasica, che si basa sulle stesse equazioni differenziali del modello TRENT2D\* utilizzato per descrivere la dinamica e dell'arresto di valanghe di neve densa (Zugliani & Rosatti, 2021). Il modello si basa sulle equazioni bi-dimensionali alle acque basse derivate per un sistema di riferimento globale e, come relazione di chiusura, viene utilizzato uno sforzo al fondo di tipo Voellmy che risulta costituito da una parte Coulombiana (indipendente quindi dalla velocità) e da una parte proporzionale alla velocità al quadrato. Queste due componenti dello sforzo al fondo sono associate ad altrettanti parametri che risultano gli elementi di calibrazione del modello.

Il metodo utilizzato per la ricostruzione è stato basato su due fasi in sequenza. La prima è consistita in un'analisi di sensitività di massima della dinamica e dell'arresto della colata al variare dei due parametri della relazione dello sforzo al fondo. Sono stati quindi ipotizzati diversi valori dei parametri, considerati costanti sull'intero dominio di calcolo, a partire da valori di riferimento di letteratura (O'Brien et al., 1993) nonché possibili spazializzazioni che tenessero in considerazione i diversi usi del suolo e le caratteristiche morfologiche della zona. Partendo dai risultati di questa prima analisi, è stata quindi effettuata una calibrazione di dettaglio, consistita nella ricerca sistematica della distribuzione di parametri che minimizzasse la differenza tra i dati rilevati o stimati da osservazioni in campo e i risultati delle simulazioni numeriche. In particolare, le grandezze considerate per valutare la differenza sono state la distanza longitudinale totale percorsa a partire dalla zona di distacco, l'area occupata nella zona a monte dei terrazzamenti, l'area occupata nella zona a valle dei terrazzamenti, la velocità media massima nella zona di scorrimento e il deposito a ridosso del capannone (Figura 2). La calibrazione si è ritenuta soddisfacente quando la somma dell'errore relativo tra i valori stimati/rilevati e quelli simulati per tutte le grandezze di riferimento ha raggiunto un valore minimo.



**Figura 2.** Grandezze di riferimento utilizzate per valutare la bontà delle simulazioni numeriche di ricostruzione dell'evento.

A seguito della ricostruzione dell'evento, è stata effettuata un'ulteriore analisi per validare la bontà dei parametri calibrati che è consistita nella ricostruzione una seconda colata di fango, avvenuta il medesimo giorno della colata usata per la calibrazione e posta a 400 m a ovest dalla stessa (Figura 1). Il volume di

materiale coinvolto in questa seconda colata è stato stimato tra i 2000 e i 5000 m<sup>3</sup>.

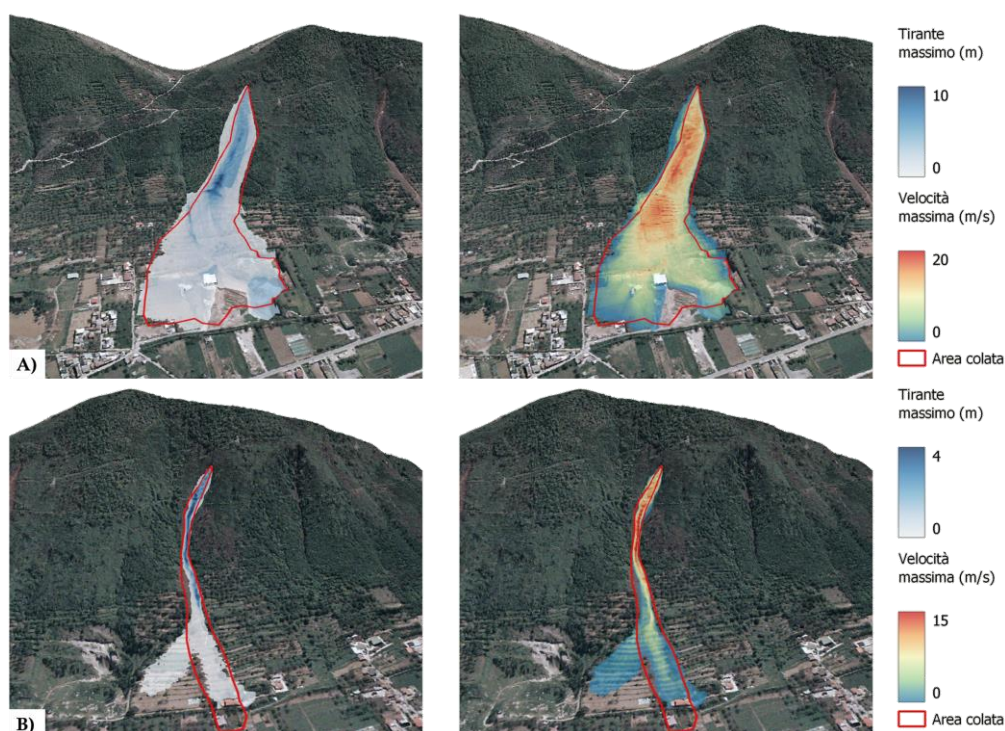
#### 4 RISULTATI

I risultati dell'analisi di sensitività hanno evidenziato che il parametro che influenza maggiormente la distanza di arresto della colata è coefficiente di attrito Coulombiano mentre il coefficiente di attrito (coefficiente legato al secondo termine dello sforzo al fondo) incide maggiormente sulla velocità massima raggiunta nella zona di scorrimento. Inoltre, i risultati di questa analisi hanno sottolineato l'importanza della spazializzazione dei valori dei parametri nell'area coinvolta della colata al fine di coglierne al meglio la dinamica e riprodurre il più fedelmente possibile l'evento occorso.

I risultati relativi alla simulazione finale della calibrazione di dettaglio sono riportati nella Tabella 1 in termini di confronto tra i valori delle grandezze di riferimento misurate o stimate (valore atteso) e quelle simulate (valore modellazione).

Grandezze di riferimento	Valore atteso	Valore modellazione
Distanza longitudinale totale percorsa a partire dalla zona di distacco	750 m	741 m
Area occupata nella zona a monte dei terrazzamenti	$3.4 \times 10^5 \text{ m}^2$	$4.2 \times 10^5 \text{ m}^2$
Area occupata nella zona a valle dei terrazzamenti	$8.3 \times 10^5 \text{ m}^2$	$8.1 \times 10^5 \text{ m}^2$
Velocità media massima nella zona di scorrimento	10 – 15 m/s	13.8 m/s
Deposito a ridosso del capannone	2 – 3 m	2.3 m

**Tabella 1.** Grandezze di riferimento utilizzate per valutare la bontà della ricostruzione, valori attesi e valori ottenuti nella simulazione finale della calibrazione di dettaglio.

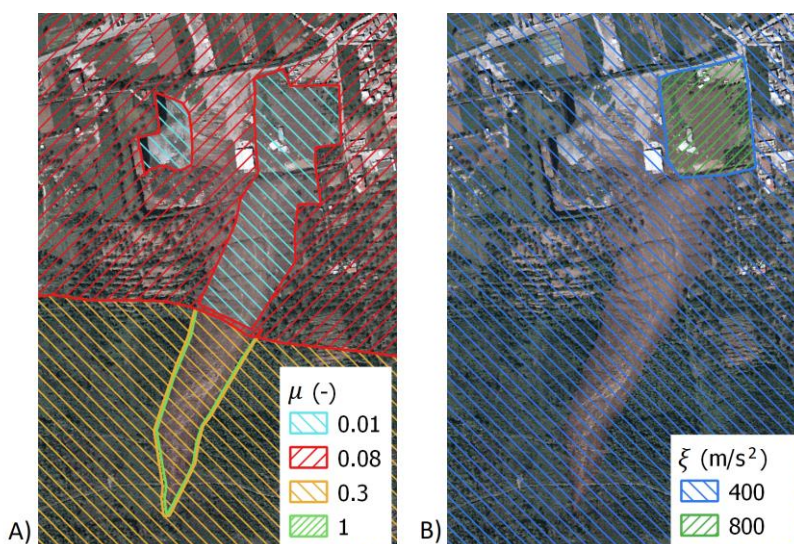


**Figura 3.** Modellazione delle colate di fango ottenute con i parametri spazializzati ottimali. A sinistra è riportato il tirante massimo, mentre a destra la velocità massima raggiunta durante la simulazione. A) Colata di fango principale. B) Colata di fango usata per la validazione dei parametri.

Tutti i valori simulati delle grandezze considerate sono coerenti con i rispettivi valori misurati/stimati evidenziando quindi una buona ricostruzione. Inoltre, in Figura 3A sono riportati i valori dei tiranti massimi

e delle velocità massime, ottenuti con la simulazione finale confrontati con l'estensione della colata ottenuta dall'ortofoto. Questi risultati confermano ulteriormente le indicazioni precedenti. La mappa con i valori dei parametri spazializzati e calibrati è riportata in Figura 4.

Infine, i risultati relativi alla simulazione di validazione della seconda colata detritica sono riportati in Figura 3B. Come evidente, la simulazione è in grado di cogliere l'andamento principale della colata e, tenendo anche in considerazione la scarsità dei dati disponibili, il risultato può considerarsi soddisfacente.



**Figura 4.** Spazializzazione dei parametri calibrati. A) Coefficiente di attrito Coulombiano. B) Coefficiente di attrito.

## 5 CONCLUSIONE

Complessivamente, i risultati ottenuti sia con la ricostruzione che con la successiva validazione dimostrano l'adeguatezza della versione monofasica del modello TRENT2D nel riprodurre le colate di fango avvenute a S. Felice a Canello. Inoltre, l'utilizzo di parametri riconducibili alle caratteristiche morfologiche e di uso del suolo evidenzia la potenziale applicabilità del modello monofasico in modalità previsionale per questo tipo di colate. In prospettiva, si intende estendere la verifica delle capacità di riprodurre fenomeni di colata da parte del modello TRENT2D monofasico introducendo anche leggi di resistenza più articolate rispetto a quanto usato in questo lavoro in vista di un possibile utilizzo previsionale ad ampio spettro.

## RINGRAZIAMENTI

Il lavoro è stato finanziato dalla Fondazione CARITRO - Cassa di Risparmio di Trento e Rovereto tramite il progetto "Progetto WEEZARD: un sistema integrato di modellazione matematica a servizio della sicurezza nei confronti di pericoli idrogeologici in ambiente montano".

Si ringrazia inoltre la dott.ssa Alessia Campedel per il prezioso lavoro svolto.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Chiessi, V., D'Orefice, M. & Superbo, S. Geophysical surveying of slopes affected by debris flows: the case of S. Felice a Canello (Caserta, Southern Italy), *Annals of Geophysics*, 2003, 46(6), 1283-1295.
- Chiessi, V., D'Orefice, M. & Censi Neri, P. Indagini geognostiche di tipo diretto su versanti interessati da colate rapide di fango. Il caso di S. Felice a Canello (CE), *GEAM: Geoingegneria ambientale e mineraria*, 2003, 110(4), 27-37.
- O'Brien, J.S., Julien, P.Y. & Fullerton, W.T. Two-Dimensional Water Flood and Mudflow Simulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1993, 119(2), 224-261
- Zugliani, D. & Rosatti, G. TRENT2D\*: An accurate numerical approach to the simulation of two-dimensional dense snow avalanches in global coordinate systems, *Cold Regions Science and Technology*, 2021, 190, 103343.