

Modellazione numerica di colate detritiche post-incendio: il caso di Bussoleno (TO) 2018

*Original*

Modellazione numerica di colate detritiche post-incendio: il caso di Bussoleno (TO) 2018 / LA PORTA, Giulia; Leonardi, Alessandro; Pirulli, Marina. - ELETTRONICO. - 5:(2024), pp. 57-62. ( Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica (IARG 2024) Gaeta 4 - 6 Settembre 2024).

*Availability:*

This version is available at: 11583/2998701 since: 2025-03-31T15:10:06Z

*Publisher:*

Edizioni AGI

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)



## **MODELLAZIONE NUMERICA DI COLATE DETRITICHE POST-INCENDIO: IL CASO DI BUSSOLENO (TO) 2018**

Giulia La Porta  
*Politecnico di Torino*  
*giulia.laporta@polito.it*

Alessandro Leonardi  
*University of Sheffield*  
*a.leonardi@sheffield.ac.uk*

Marina Pirulli  
*Politecnico di Torino*  
*marina.pirulli@polito.it*

### **Sommario**

Le colate detritiche innescate da pioggia sono fenomeni frequenti nelle regioni montane. Con il persistere dei cambiamenti climatici, cresce la necessità di comprendere le dinamiche di questi flussi per mitigare i rischi associati al loro potenziale distruttivo. Tra i fattori contributivi, comuni in molte parti del mondo sono gli incendi, che svolgono un ruolo significativo, inducendo sostanziali cambiamenti nelle proprietà del terreno. Questo articolo esamina un evento avvenuto nel 2018 a Bussoleno, nel Nord-Ovest dell'Italia, in un'area precedentemente colpita da un incendio, ma all'interno di una regione dove i flussi detritici indotti dagli incendi sono rari. Lo studio introduce le proprietà e le condizioni del sito, insieme alle caratteristiche della colata detritica. Successivamente, viene descritta un'analisi numerica preliminare, utilizzando un modello basato sulle equazioni di St. Venant mediate sulla profondità per replicare il fenomeno di propagazione.

### **1. Introduzione**

Flussi di fango e detriti nelle aree montane sono frequenti e spesso innescati dall'apporto idrico, tipicamente associato a eventi di pioggia intensa (Jakob and Hungr, 2005). Questi fenomeni sono caratterizzati da lunghe distanze di propagazione ed elevate velocità (fino a 20 m/s). Pertanto, il loro potere distruttivo è significativo. La crescente urbanizzazione negli ambienti montani aumenta il rischio legato all'esposizione di vite umane, strutture e infrastrutture. Inoltre, con il cambiamento climatico in corso, la frequenza di questi fenomeni è in aumento (e.g., Stoffel et al., 2014). Tra i molti fattori predisponenti i flussi di detrito si annoverano gli incendi: specialmente nelle aree vegetate, gli incendi causano un improvviso aumento dei sedimenti disponibili e modificano drasticamente le proprietà idromeccaniche dei terreni (Peduto et al., 2022). Le ceneri dovute alla combustione limitano la capacità di infiltrazione del terreno, portando ad un aumento del deflusso superficiale. Inoltre, le aree vegetate bruciate sono più suscettibili alla mobilitazione dei detriti.

Nell'articolo viene analizzato un esempio di tali fenomeni: il flusso di detriti indotto da pioggia, avvenuto il 7 giugno 2018 a Bussoleno, in Val di Susa, nella regione Piemonte (Italia). Tra i fattori predisponenti si è riconosciuto l'incendio verificatosi l'anno precedente all'evento. Inoltre, una stagione particolarmente piovosa ha preceduto la colata detritica. La massa mobilizzata era eterogenea e pertanto è stato individuato un doppio percorso di flusso relativo alle porzioni più grossolane e più fini della miscela. Gli autori presentano un lavoro numerico preliminare per riprodurre il fenomeno, eseguito utilizzando un modello integrato, RASH3D (Pasqua et al., 2022). In particolare, la modellazione della fase dinamica dell'evento ha permesso di individuare la reologia più adatta a riprodurre il comportamento del flusso. Attraverso le simulazioni mostrate, vengono infine evidenziati gli aspetti critici da affrontare per un'analisi numerica efficace della colata detritica oggetto di studio.

## 2. Descrizione dell'evento

Bussoleno è un piccolo comune situato nella regione Piemonte, nel Nord-Ovest dell'Italia, nella parte centrale della Val di Susa (Figura 1). L'area di interesse è il bacino idrografico *Comba delle Foglie*, interamente posizionato nel comune di Bussoleno e drenato dalla Dora Riparia, affluente del fiume Po. Il bacino idrografico si estende per 1,37 km<sup>2</sup> ed è caratterizzato da pendii ripidi, generalmente superiori ai 35° (Arpa Piemonte, 2018). La località di San Lorenzo (una porzione del comune di Bussoleno) si trova sul conoide alluvionale di *Comba delle Foglie* (Figura 1c).

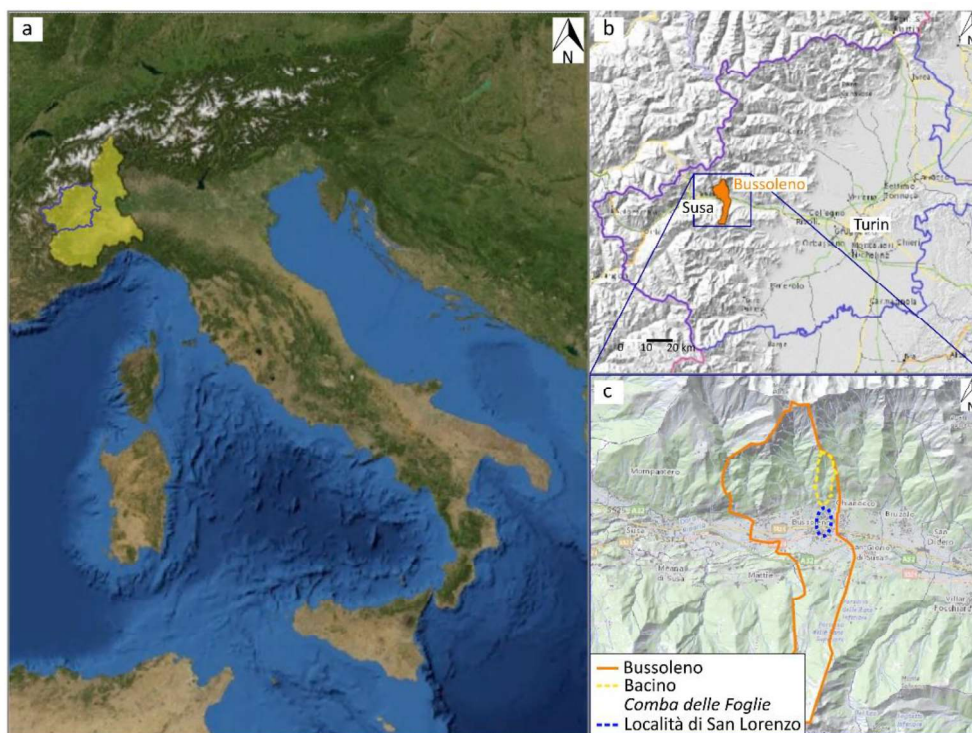


Fig 1. (a) Val di Susa, Piemonte; (b) area di Bussoleno; (c) bacino *Comba delle Foglie* e località di San Lorenzo.

Il 7 giugno 2018, un flusso di fango e detriti innescato nel bacino *Comba delle Foglie* ha colpito l'area di San Lorenzo. Secondo un rapporto tecnico dell'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Piemonte (Arpa), l'evento è stato caratterizzato da un volume mobilizzato di circa 15.000 – 20.000 m<sup>3</sup> e da una lunga distanza di propagazione (Arpa Piemonte, 2018). Fortunatamente, non sono state registrate vittime, ma numerosi edifici sono stati gravemente danneggiati e le infrastrutture e la viabilità sono state compromesse. Due edifici sono stati distrutti dall'impatto con il fronte del flusso.

Tra i fattori predisponenti, i gravi incendi della Val di Susa che hanno colpito l'area nell'autunno del

2017 devono certamente essere considerati (Figura 2). Gli incendi sono stati innescati e poi favoriti da condizioni climatiche avverse: il mese di ottobre era stato particolarmente caldo, con temperature superiori alle medie dei decenni precedenti. Inoltre, lo stesso mese era risultato il più secco degli ultimi 60 anni. Infine, l'aumento della ventilazione ed i numerosi episodi di foehn hanno contribuito all'innescarsi ed al rapido propagarsi degli incendi. Secondo un rapporto della Regione, la parte alta del bacino è stata fortemente colpita, mentre la parte inferiore è stata moderatamente danneggiata (Regione Piemonte, 2019). Di conseguenza, quasi tutta la superficie vegetata è stata bruciata, con importanti conseguenze sulle proprietà idro-meccaniche del terreno, una ridotta capacità di infiltrazione e una maggiore disponibilità di materiale da mobilitare.

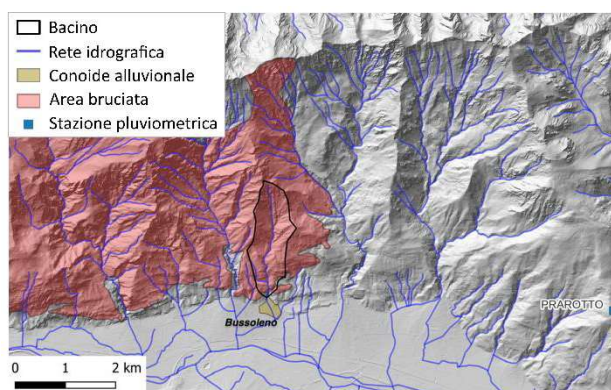


Fig 2. Incendio della Val di Susa, nell'autunno 2017, che ha colpito il bacino di Comba delle foglie (modificato da Tiranti et al., 2021).

Il fattore scatenante è stato un andamento anomalo delle precipitazioni: un inverno particolarmente piovoso e una stagione primaverile con precipitazioni cumulate eccezionalmente elevate hanno caratterizzato l'area prima della colata detritica di giugno (Arpa Piemonte, 2018). Inoltre, il mese precedente l'evento ha visto piogge continue (Figura 3a). In quest'ultimo periodo, inondazioni e flussi di fango e detriti si sono sviluppati nel bacino di *Comba delle Foglie* e, seppur in magnitudo limitata, hanno movimentato materiale eroso, rendendolo disponibile per successivi inneschi. Il bacino di interesse non aveva mostrato attività significativa per un lungo periodo di tempo prima dell'evento; pertanto, il conoide alluvionale era completamente urbanizzato. Così, il 7 giugno 2018, il materiale mobilizzato, non avendo alcun canale di scarico naturale, ha inondato l'insediamento.

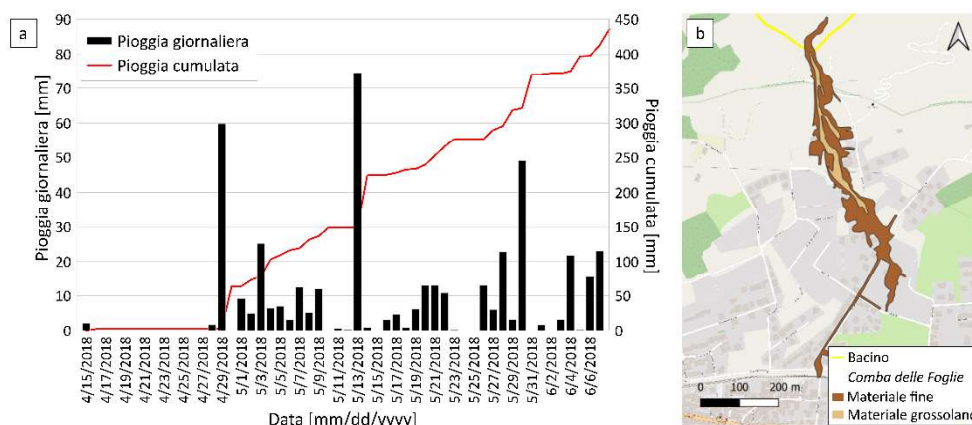


Fig 3. (a) Dati di pioggia registrati durante il periodo precedente all'evento di colata detritica di giugno 2018, dalla stazione pluviometrica di Prarotto (Figura 2) - Arpa Piemonte (2018) e Tiranti et al. (2021); (b) Perimetrazione del deposito della colata detritica del 7 giugno (Arpa Piemonte, 2018).

Per quanto riguarda le dinamiche del flusso, secondo il rapporto tecnico di Arpa Piemonte (2018) il materiale più grossolano si è depositato sul conoide alluvionale e ha coperto un'area di circa 35.000 m<sup>2</sup>,

con profondità di flusso superiori a 1,5 m in corrispondenza degli ostacoli. Il materiale più fine si è invece propagato ulteriormente all'interno del villaggio, con profondità di flusso inferiori. Il percorso del flusso detritico è rappresentato in Figura 3b.

### 3. Modello numerico

L'analisi dinamica della colata di fango e detriti di Bussoleno del 2018 è stata effettuata utilizzando il software RASH3D (Pasqua et al., 2022). L'obiettivo del lavoro numerico è l'analisi dell'interazione del flusso con il comune, e specificamente con l'area di San Lorenzo. Il codice numerico è basato sulle equazioni di St. Venant mediate sulla profondità e consente la simulazione della propagazione di frane di tipo flusso. Il software richiede come input il Modello Digitale del Terreno (DTM), il volume e la posizione della massa mobilizzata, e i parametri reologici che simulano il comportamento della miscela reale.

Il DTM è caratterizzato da celle 5x5 m. Gli edifici sono inseriti nel DTM aggiungendo un'altezza costante all'elevazione del terreno. Per quanto riguarda la massa mobilizzata, il volume innescato stimato da Arpa Piemonte (2018) è stato utilizzato per calibrare l'input. A tal proposito, è stato considerato un valore medio di 17.000 m<sup>3</sup>. Le informazioni relative alla posizione della massa innescata erano insufficienti per individuare delle zone di innesco; pertanto, gli autori hanno ipotizzato un'area di innesco concentrata lungo il canale del bacino. Specificamente, l'area si trova lungo la linea centrale del bacino, come apprezzabile dalla Figura 4a. Questa zona è stata scelta in quanto una delle più colpite dagli incendi del 2017, e, poiché caratterizzata da pendii ripidi, è ragionevole assumere che abbia contribuito maggiormente alla fornitura di detriti. In accordo col volume di calibrazione di 17.000 m<sup>3</sup>, il terreno mobilizzato è profondo 1,15 metri nell'area di innesco.

La reologia di tipo Voellmy è stata primariamente scelta per simulare il comportamento dinamico del flusso, poiché tipicamente adottata per la modellazione di eventi in bacini con caratteristiche simili. Essa combina un termine di attrito alla Coulomb ed un termine turbolento per definire la resistenza al taglio basale  $\tau$ , in valore assoluto pari a:

$$\tau = \rho g h \tan \varphi + \frac{\rho g}{\xi} v^2.$$

Nell'equazione,  $\tan \varphi$  è il coefficiente di attrito globale,  $\xi$  è il coefficiente di turbolenza,  $\rho$  è la densità e  $g$  la gravità, e  $h$  e  $v$  sono rispettivamente l'altezza del flusso e la velocità del flusso mediata sulla profondità (Pirulli et al., 2018). I parametri reologici  $\varphi$  e  $\xi$  sono stati testati in intervalli di valori suggeriti dalla letteratura (Hung e Evans, 1996):  $\tan \varphi$  è stato variato tra 0,03 e 0,2, mentre  $\xi$  tra 100 e 1000 m/s<sup>2</sup>.

La reologia alla Voellmy, contrariamente a quanto atteso, non si è dimostrata essere la più adatta per la riproduzione dell'evento, e in particolare dell'estrema fluidificazione dei materiali mobilitati. Dunque, analizzando il comportamento dinamico del flusso, si è resa necessaria l'adozione di una reologia di tipo Bingham, ampiamente utilizzata in casi di flussi fangosi (La Porta et al., 2024).

Un fluido alla Bingham si comporta da materiale rigido al di sotto di una tensione di snervamento  $\tau_0$ , e come un materiale viscoso al di sopra della stessa. La resistenza al taglio basale è così definita:

$$\tau = \tau_0 + \nu_B \frac{v}{h}.$$

Nell'equazione,  $\nu_B$  è il coefficiente di viscosità dinamica e  $\tau_0$  è la tensione di snervamento plastico. La calibrazione è stata eseguita mediante confronto con il percorso del flusso osservato e indicazioni sulle altezze massime di flusso nell'area di San Lorenzo (Arpa Piemonte, 2018).

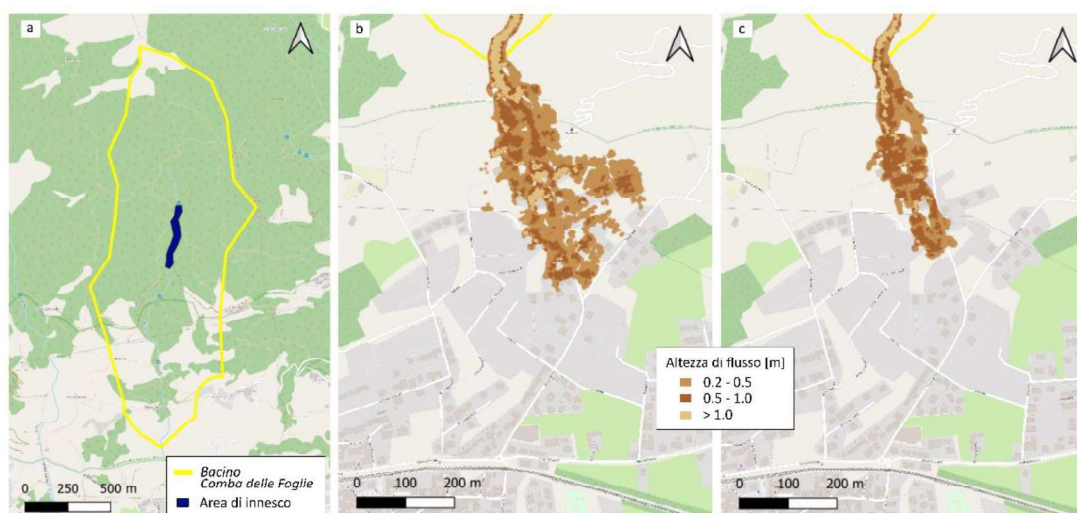


Fig 4. (a) Posizionamento dell'innesco concentrato simulato; (b) e (c) risultati del modello numerico in corrispondenza del centro abitato: (b) simulazione con reologia Voellmy; (c) simulazione con reologia Bingham.

#### 4. Risultati e discussione

La Figura 4 riporta i risultati delle analisi numeriche, in termini di altezze massime del flusso di fango e detriti nell'area urbana. In particolare, la Figura 4b contiene la simulazione dell'evento dinamico, in prossimità del centro abitato, adottando la reologia di tipo Voellmy, con coefficiente di attrito di 0.05 e coefficiente di turbolenza di  $500 \text{ m/s}^2$  (nell'intervallo di valori tipici di letteratura – e.g. Hürlimann et al, 2003), che hanno fornito i risultati più rappresentativi. Analogamente, la Figura 4c contiene il risultato numerico della propagazione del flusso di tipo Bingham, con tensione di snervamento di 80 Pa, e coefficiente di viscosità dinamica pari a  $40 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ , calibrati al fine di riprodurre il percorso osservato (Figura 3b).

A questo stadio del lavoro, la simulazione consente di evidenziare le potenzialità e le limitazioni dell'approccio numerico adottato. Il modello numerico con comportamento reologico alla Voellmy è in grado di riprodurre il percorso principale seguito dal materiale più grossolano, tuttavia l'area sommersa risulta sovrastimata. Al contrario, il flusso di tipo Bingham simula con maggiore precisione quanto osservato durante l'evento, relativamente al materiale grossolano. Tuttavia, poiché il software modella un flusso monofase, al momento il modello non è in grado di riprodurre i diversi percorsi seguiti dalle frazioni più fini e più grossolane della miscela reale. Inoltre, due principali questioni necessitano di ulteriori approfondimenti: in primo luogo, la risoluzione del DTM. Per simulare meglio il comportamento dei flussi detritici all'interno di un centro urbano denso, è necessaria una griglia più fine. In secondo luogo, l'ipotesi di innesco concentrato si traduce, in termini di comportamento dinamico, in parametri reologici della legge di Bingham estremamente sottostimati rispetto ai valori suggeriti in letteratura (e.g. Phillips and Davies, 1991). Pertanto, un'analisi più approfondita della fase di innesco, considerando un'instabilità distribuita all'interno del bacino (in accordo con quanto ipotizzato sulla base delle osservazioni in loco nei giorni immediatamente prossimi all'evento), è necessaria al fine di una riproduzione più fedele della colata detritica in studio.

#### 5. Conclusioni

Il documento descrive una colata detritica innescata da piogge, avvenuta a Bussoleno (Italia nord-occidentale) nel giugno del 2018, in un'area precedentemente colpita da incendi. Poiché i flussi detritici erano rari sul pendio di Bussoleno, l'area non era adeguatamente attrezzata per contenere le

conseguenze, e quindi il centro abitato è stato colpito, riportando gravi danni a strutture e infrastrutture. Attraverso osservazioni sul campo, è stato individuato un doppio percorso di flusso durante la propagazione: la porzione più grossolana della miscela ha colpito gli ostacoli (principalmente edifici) con altezze di flusso significative e si è fermata rapidamente, rispetto alla frazione più fine che ha percorso una distanza maggiore e ha mostrato altezze di flusso inferiori nell'area urbana.

L'articolo presenta una modellazione numerica preliminare dell'evento, eseguita attraverso RASH3D. L'obiettivo perseguito è consistito nell'analisi dell'interazione del flusso con il villaggio. Il software modella un fluido equivalente monofase, per riprodurre la reale miscela eterogenea. La modellazione ha visto l'utilizzo di due reologie a confronto: la reologia di Voellmy, composta da un termine attritivo ed uno turbolento per definire la resistenza al taglio basale, e il modello di Bingham, che consiste in una tensione di snervamento, al di sotto del quale il comportamento del flusso è rigido, ed un termine dissipativo turbolento che ne regola il comportamento dinamico. I parametri sono stati calibrati attraverso un'analisi a ritroso.

Le simulazioni hanno mostrato che, diversamente da quanto atteso in base a modellazioni di eventi su bacini con caratteristiche simili, il modello di Bingham è risultato più efficace nella riproduzione del percorso della matrice più grossolana: è ragionevole ipotizzare una modifica del comportamento reologico del terreno a seguito dell'incendio. Tuttavia, il software non è in grado di riprodurre il doppio percorso del flusso della miscela, essendo limitato dall'adozione di un fluido monofase equivalente per modellare il comportamento della miscela eterogenea. Inoltre, la dimensione della maglia del DTM, essendo il centro abitato densamente urbanizzato e la scala del flusso piccola, potrebbe non essere sufficientemente fitta per un'analisi affidabile dell'interazione con i molteplici ostacoli che hanno influenzato il percorso del flusso. Infine, una modellazione della fase di innesco approfondita, considerando gli effetti dell'incendio ed una distribuzione diffusa delle aree di innesco, permetterebbe una riproduzione più attendibile del fenomeno.

## Ringraziamenti

Studio condotto nell'ambito del Partenariato Esteso RETURN, finanziato dall'Unione Europea – NextGenerationEU (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza – PNRR, Missione 4 Componente 2, Investimento 1.3 - D.D. 1243 2/8/2022, PE0000005).

## Bibliografia

- Arpa Piemonte (2017). Rapporto tecnico sulla qualità dell'aria e sulle attività dell'agenzia a supporto dell'emergenza per gli incendi boschivi in Piemonte nel mese di ottobre 2017. Tech. rep.
- Arpa Piemonte (2018). Rapporto evento del 07/06/2018. Colata detritica nel comune di Bussoleno. Tech. rep.
- Hürlimann, M., Rickenmann, D. and Graf, C., 2003. Field and monitoring data of debris-flow events in the Swiss Alps. *Canadian geotechnical journal*, 40(1), pp.161-175.
- Jakob M., Hungr O. (2005). Debris-flow hazards and related phenomena. Vol. 739. Berlin: Springer.
- La Porta, G., Leonardi, A., Pirulli, M., Cafaro, F., & Castelli, F. (2024). Time-resolved triggering and runout analysis of rainfall-induced shallow landslides. *Acta Geotechnica*, 19(4), 1873-1889.
- Pasqua A., Leonardi A., Pirulli M. (2022). Coupling Depth-Averaged and 3D numerical models for the simulation of granular flows. *Computers and Geotechnics*, 149:104879.
- Peduto D., Iervolino L., Esposito G., Foresta V., Matano F. and Masi R. (2022). Clues of wildfire-induced geotechnical changes in volcanic soils affected by post-fire slope instabilities. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 81(10), 454.
- Phillips, C.J. and Davies, T.R. (1991). Determining rheological parameters of debris flow material. *Geomorphology*, 4(2), pp.101-110.
- Stoffel M, Tiranti D, Huggel C. (2014). Climate change impacts on mass movements—case studies from the European Alps. *Science of the Total Environment*, 493:1255-66.
- Tiranti D., Cremonini R., Sanmartino D. (2021). Wildfires effect on debris flow occurrence in Italian western Alps: Preliminary considerations to refine debris flow early warnings system criteria. *Geosciences* 11(10), 422.