

Il sistema di allerta precoce per le colate detritiche del Piemonte

Daide Tiranti (davide.tiranti@arpa.piemonte.it)

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali, Arpa Piemonte

Le colate detritiche

Le colate detritiche (**Debris flow**) sono flussi di acqua e sedimento da rapidi o molto rapidi, con alta concentrazione solida (Jakob e Hungr, 2005) che si verificano lungo il reticolo dei canali di piccoli bacini alpini. Sono caratterizzati da un'alta frequenza di occorrenza e solitamente da una magnitudo molto elevata.



I Debris flow sono responsabili del **36% delle vittime** nelle regioni alpine italiane nell'ultimo secolo.

Le ovvie domande per operare una previsione

Dove?

(Fattori predisponenti)

&

Quando?

(Fattori innescanti)

Debris flow Early Warning System

DEFENSE

(DEbris Flows triggered by storms - Nowcasting System)

“Dove?” e “Quando?” non sono sufficienti.

Un'altra domanda fondamentale è:

Cosa?

Modello geologico + Radar Storm Tracking + QPE/QPF

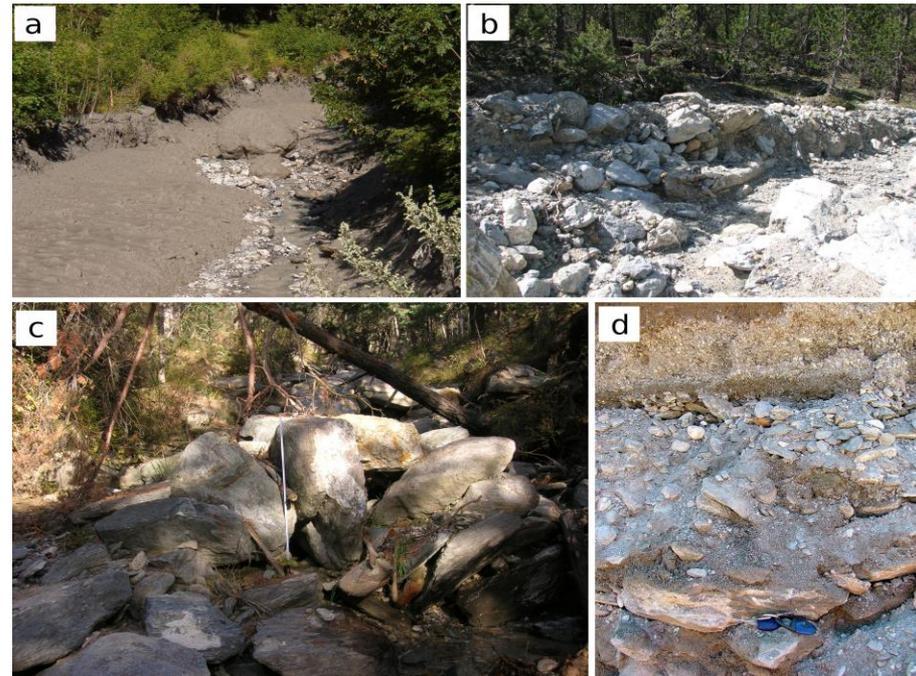
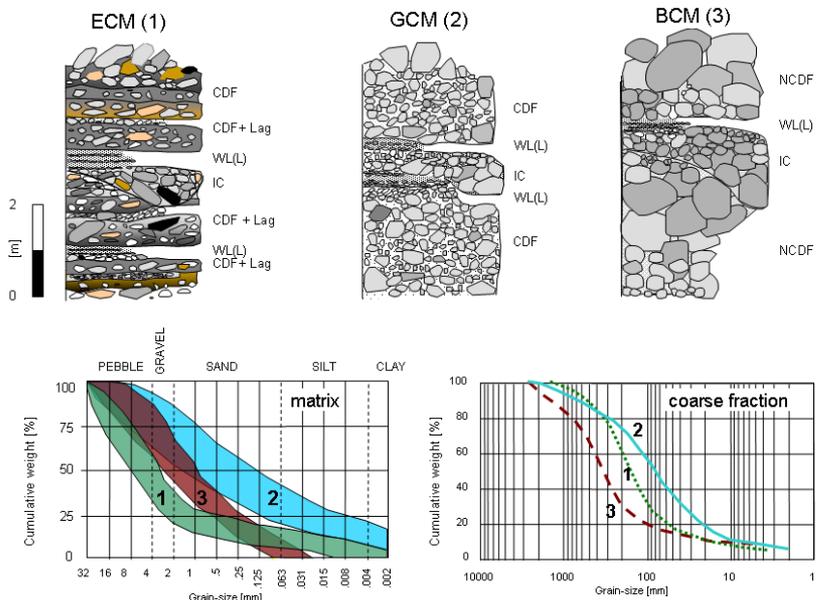
Debris flow EWS: Cosa?

Il modello geologico si basa sulla **litologia dominante del substrato roccioso** in cui il bacino è modellato. Essa **influenza le caratteristiche e il comportamento dei processi torrentizi** e l'architettura dei conoidi alluvionali (Tiranti et al., 2008; 2014, Tiranti and Deangeli 2015, Tiranti et al., 2016; 2023). I bacini sono stati classificati in **tre classi litologiche** principali attraverso l'utilizzo del **Clay Weathering Index (CWI)** che indica la **propensione delle litologie a produrre quantità più o meno abbondanti di argilla** o di altri sedimenti fini con **comportamento reologico simile all'argilla** (ad es. altri fillosilicati):

- **Excellent Clay-Maker (ECM)** sono bacini costituiti principalmente da rocce con un'elevata propensione a produrre minerali argillosi o argillosimili (ad es. rocce metamorfiche foliate a grana fine ricche in fillosilicati);
- **Good Clay-Maker (GCM)** sono bacini costituiti principalmente da rocce che hanno una buona propensione a produrre minerali argillosi o silt argilloso (ad es. rocce carbonatiche massicce);
- **Bad Clay-Maker (BCM)** sono bacini costituiti principalmente da rocce che hanno una cattiva propensione a produrre minerali argillosi (ad es. rocce cristalline massicce).

Debris flow EWS: Cosa?

La caratterizzazione delle rocce e dei depositi superficiali che ne derivano è utile per l'identificazione e la valutazione di potenziali aree sorgenti. Ciò che è evidente è una diversa quantità di produzione di materiale non consolidato, sia in termini di abbondanza che di granulometria, a seconda delle litologie del bacino. Il materiale non consolidato nel bacino influisce sullo stile di deposizione dei flussi di detritici ed è direttamente collegato alla reologia. Gli stili di deposizione sono facilmente identificabili per ogni classe di bacino attraverso osservazioni dirette sul campo negli alvei dei canali e in aree di conoide alluvionale.



Predominant basin lithology:

- 1** ECM - e.g. very phyllosilicatic/clayey thinly foliated/laminated rocks
- 2** GCM - e.g. massive limestones or dolostones
- 3** BCM - e.g. coarse-grained/massive crystalline rocks; quartzites, metabasites

a) ECM; b) GCM; c, d) BCM

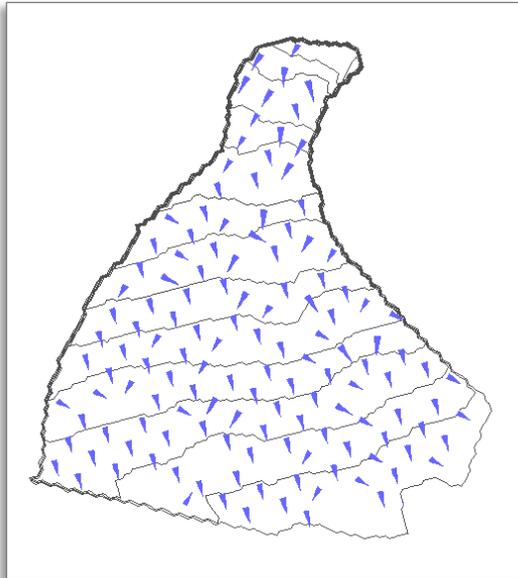
Debris flow EWS: Cosa?

Le classi CWI descrivono anche le caratteristiche dei conoidi alluvionali: dimensioni, forma, morfologia e distribuzione della granulometrica.

ECM

area conoide/area bacino

5%

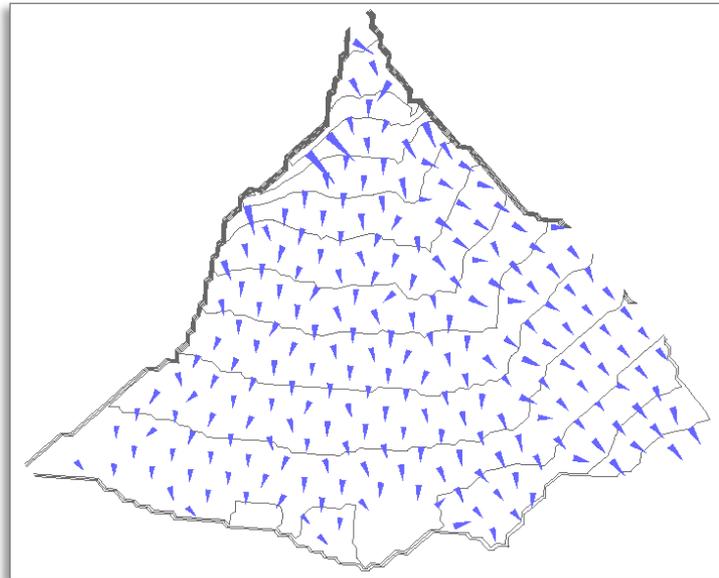


Forma irregolare

GCM

area conoide/area bacino

20%

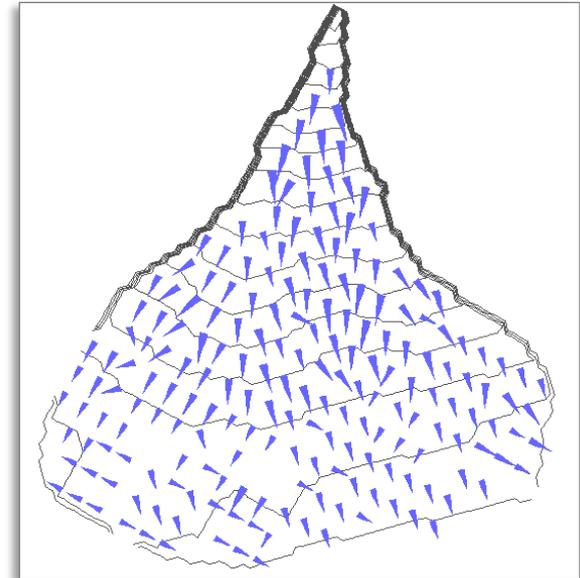


Forma a ventaglio

BCM

area conoide/area bacino

5%



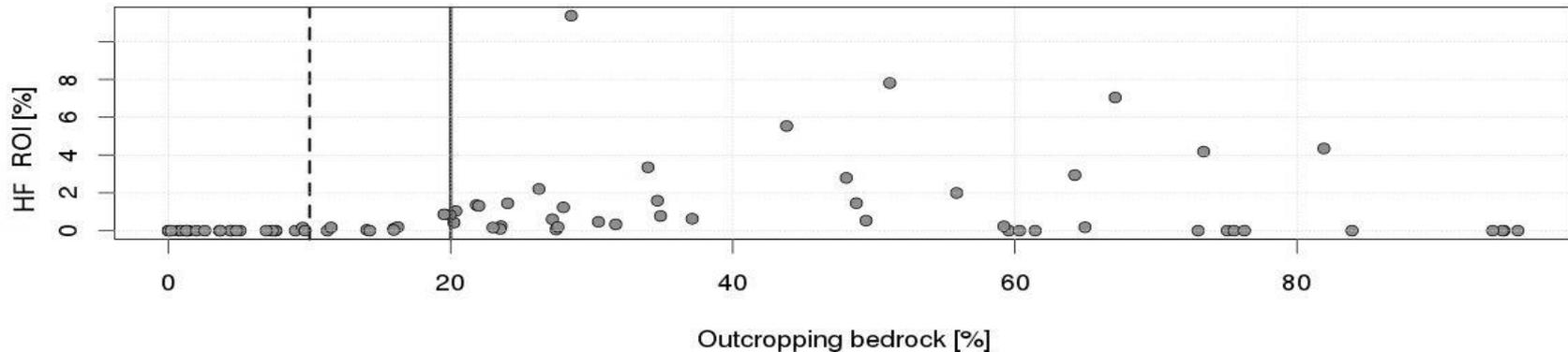
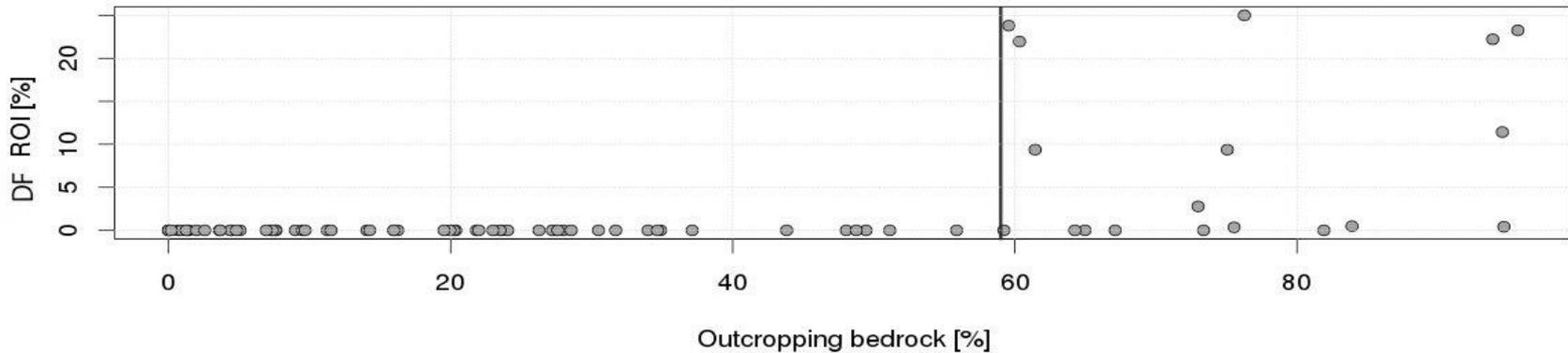
Forma a lobo

In **condizioni morfogenetiche indisturbate**, cioè senza l'interferenza di altri processi esterni che ne condizionino l'evoluzione: es. movimenti tettonici; processi fluviali di fondovalle; frane; ecc.

Tipologia di trasporto: cosa lo determina?

Oltre alla morfometria (indice di Melton e lunghezza del canale principale), Il **rapporto roccia affiorante/vegetazione** governa il **tipo di processo torrentizio**: più il rapporto è a favore della percentuale di affioramento roccioso, più sussiste la possibilità che un dato bacino possa generare un debris flow o hyperconcentrated flow (Tiranti et al., 2016).

Outcropping bedrock fraction vs process ROI



ROI = Indice Relativo di Occorrenza.

Debris flow e incendi

Gli incendi che interessano vaste aree di un bacino **predispongono l'innescò di debris flow** nei **mesi successivi**, **modificando le condizioni idrologiche** preesistenti dei versanti (diminuzione di permeabilità temporanea e maggior vulnerabilità alle precipitazioni) e **aumentando la quantità di depositi non consolidati** (vegetazione combusta compresa) disponibili per la mobilitazione.

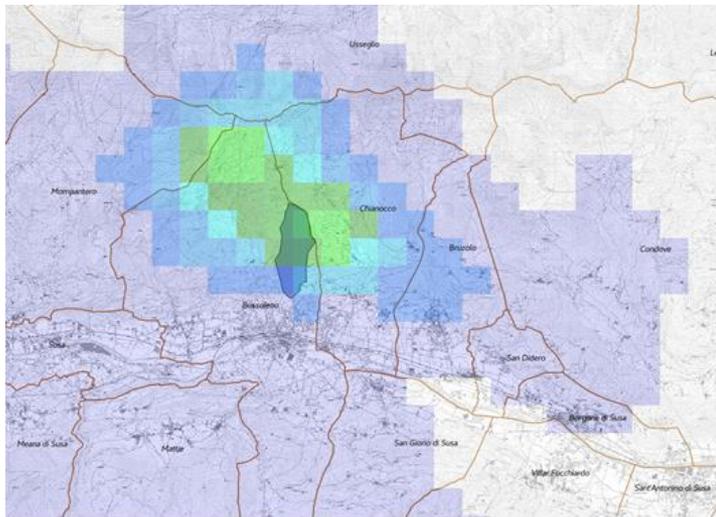


Due casi accertati sulle alpi piemontesi: **Rio Casella (BCM, Pallanzeno, VB) 2005; Rio delle Foglie (GCM, Bussoleno, TO) 2018** (Tiranti et al., 2021).

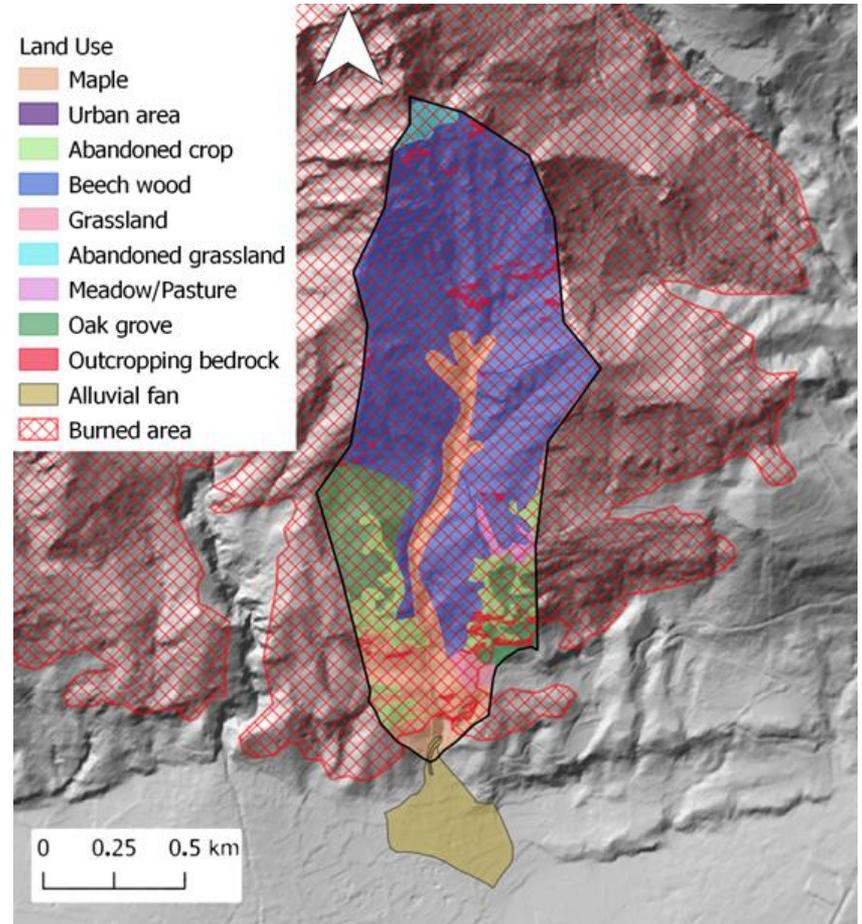
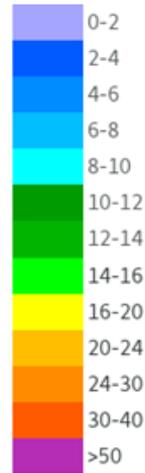
Debris flow e incendi

Un incendio ha colpito il bacino di Rio Foglie (Bussoleno, TO) nell'ottobre 2017.

A seguito di un temporale di moderata intensità nel giugno 2018 si è verificata una colata detritica di notevole magnitudo lungo il canale principale del bacino.



[mm]



In questo bacino, le colate detritiche non si verificavano da almeno **30 anni!!!** In realtà, non ci sono casi storici documentati.

Ma, dopo un incendio, il bacino è diventato più predisposto a innescare un fenomeno torrentizio caratterizzato da un'alta concentrazione di sedimenti che in condizioni normali non avrebbe avuto luogo.

Debris flow e incendi

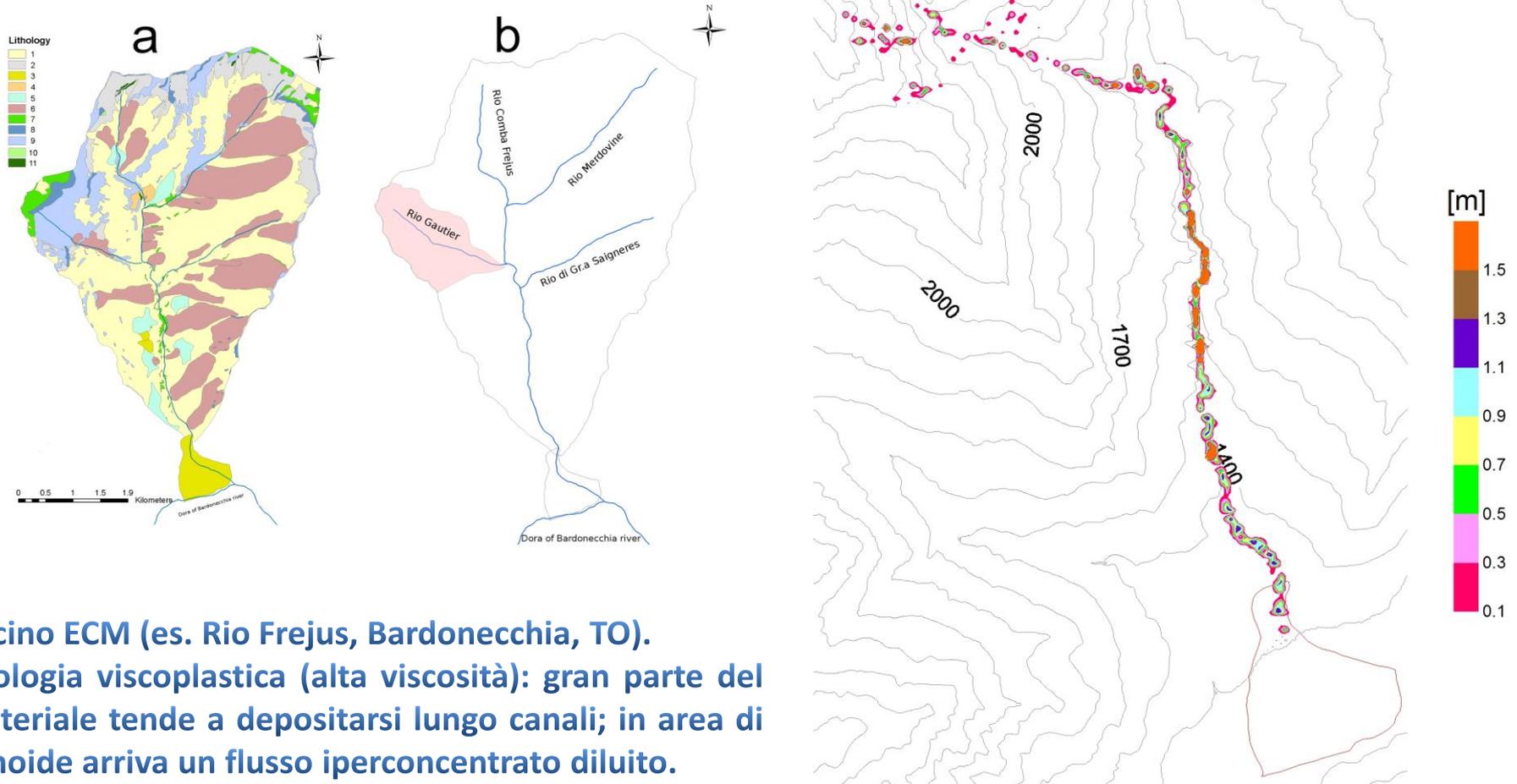
È stato quindi dimostrato che il **rapporto tra l'area del substrato roccioso affiorante e quella della copertura vegetale** all'interno di un dato bacino, e di conseguenza la **capacità di un bacino di generare colate detritiche**, è fortemente **influenzato dal verificarsi di incendi boschivi** che coinvolgono gran parte dell'area di un dato bacino (Tiranti et al., 2021).

In caso di incendi che coinvolgano un bacino, le soglie di innesco per le colate detritiche possono abbassarsi dal 20% al 60% rispetto ai valori standard, poiché la **distruzione delle aree vegetate aumenta le aree del bacino a minor permeabilità (assimilabili ad un substrato roccioso)** facendo aumentare virtualmente e per un **periodo di tempo limitato (qualche mese)** la **percentuale di substrato roccioso affiorante**.

Quotidianamente, **le perimetrazioni degli incendi** derivate dalle **osservazioni satellitari** (European Forest Fire Information System – EFFIS - Copernicus) sono acquisite e **messe in relazione con i bacini alpini tramite intersezione** delle rispettive geometrie in ambiente GIS, al fine di verificare l'eventuale interessamento di un bacino da parte di un incendio boschivo e procedere in automatico all'abbassamento delle soglie di innesco.

Reologia CWI, propagazione e deposizione

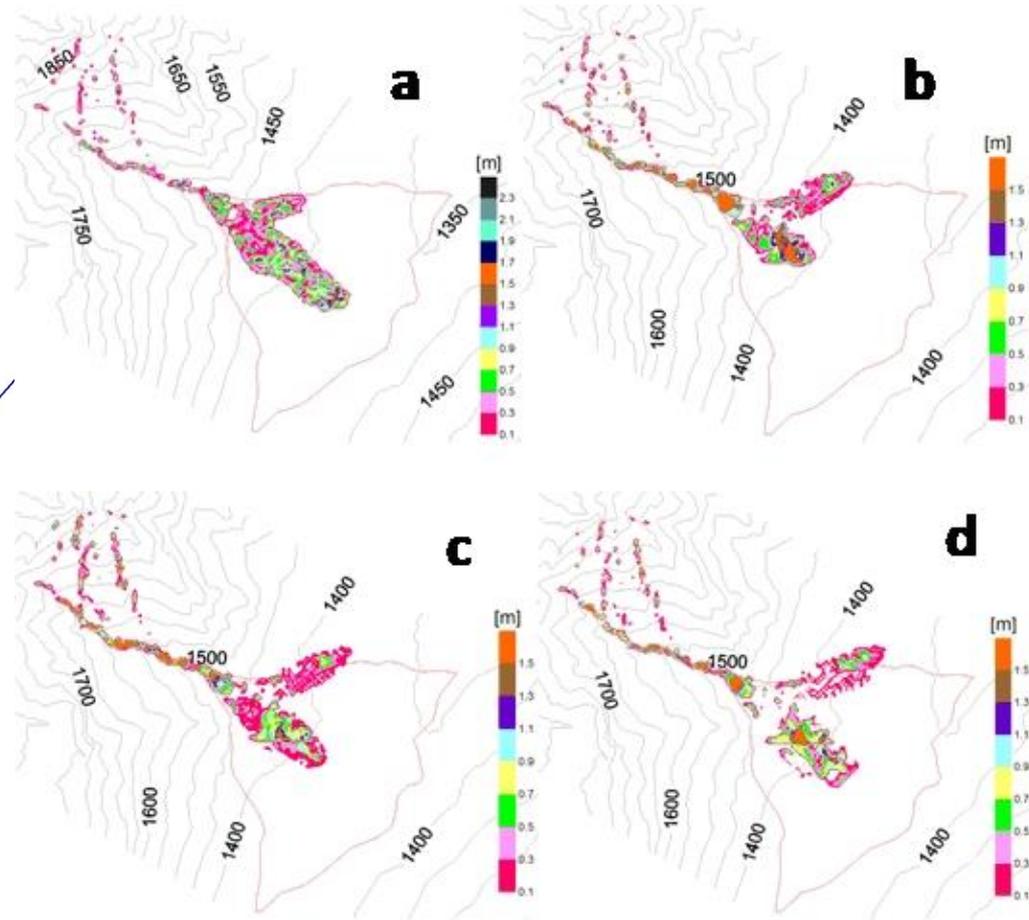
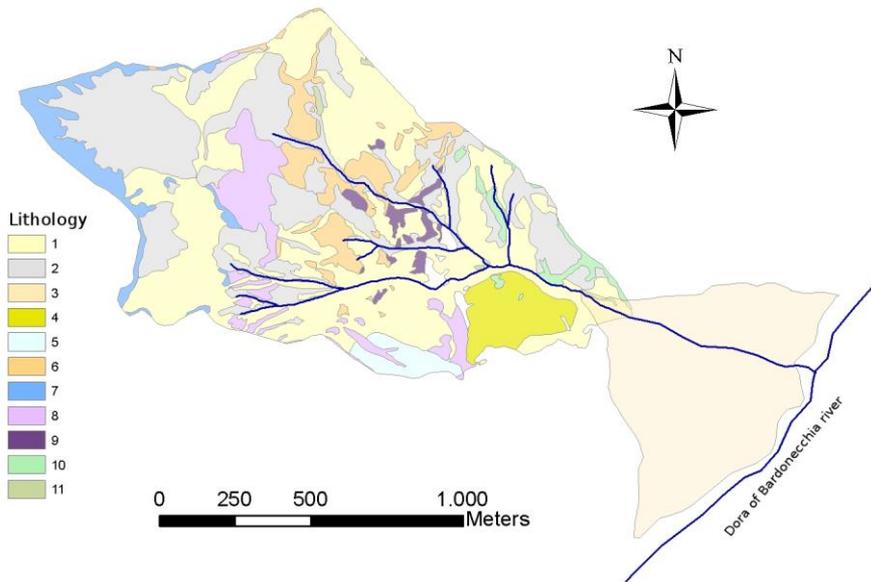
I modelli di propagazione e deposizione del flusso detritico sono stati simulati da un codice numerico 3D basato sul metodo degli automi cellulari (Tiranti and Deangeli, 2015, Tiranti et al., 2018). In questo codice il dominio computazionale è discretizzato in celle quadrate elementari caratterizzate da colonne di substrato rigido e materiale detritico mobilizzabile.



Bacino ECM (es. Rio Frejus, Bardonecchia, TO).
Reologia viscoplastica (alta viscosità): gran parte del materiale tende a depositarsi lungo canali; in area di conoide arriva un flusso iperconcentrato diluito.

Reologia CWI, propagazione e deposizione

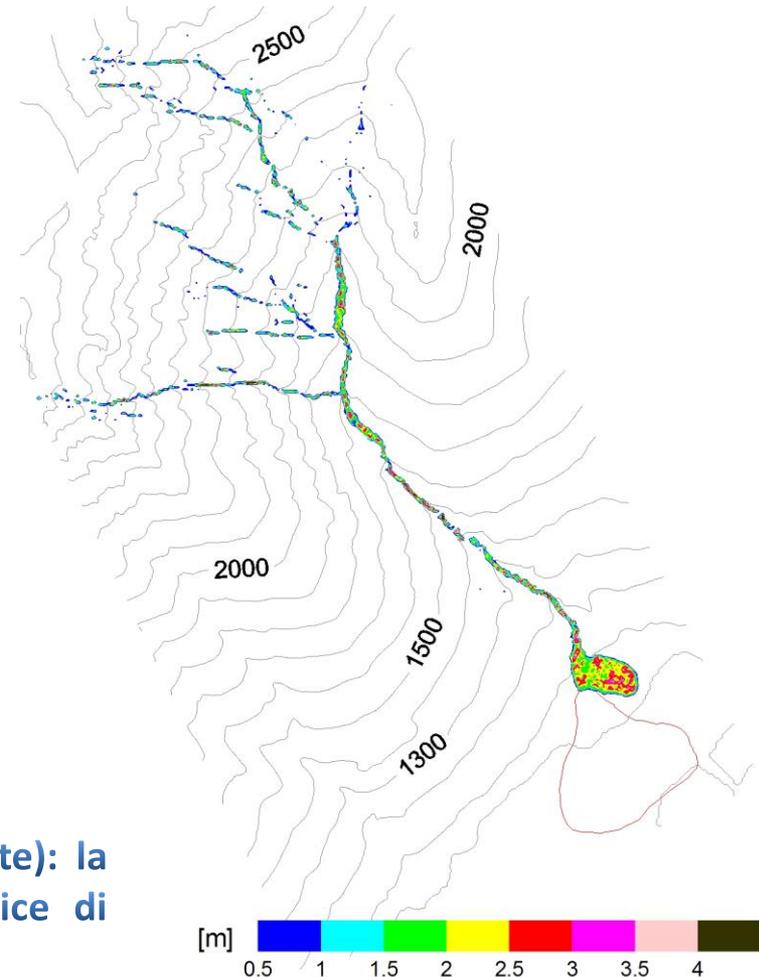
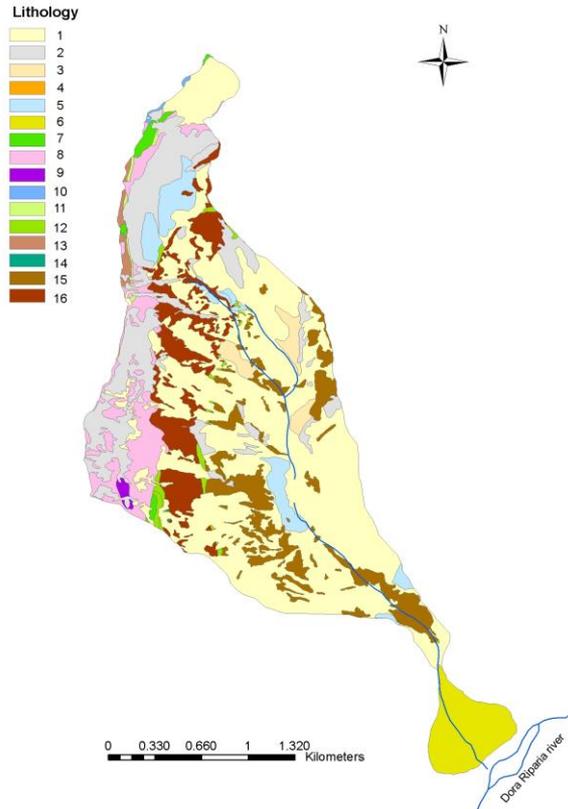
I modelli di propagazione e deposizione del flusso detritico sono stati simulati da un codice numerico 3D basato sul metodo degli automi cellulari (Tiranti and Deangeli, 2015). In questo codice il dominio computazionale è discretizzato in celle quadrate elementari caratterizzate da colonne di substrato rigido e materiale detritico mobilizzabile.



Bacino GCM (es. Rio Fosse, Bardonecchia, TO).
Reologia viscoplastica (moderata viscosità): la maggior parte del materiale si deposita in area di conoide, subordinatamente lungo i canali.

Reologia CWI, propagazione e deposizione

I modelli di propagazione e deposizione del flusso detritico sono stati simulati da un codice numerico 3D basato sul metodo degli automi cellulari (Tiranti and Deangeli, 2015). In questo codice il dominio computazionale è discretizzato in celle quadrate elementari caratterizzate da colonne di substrato rigido e materiale detritico mobilizzabile.

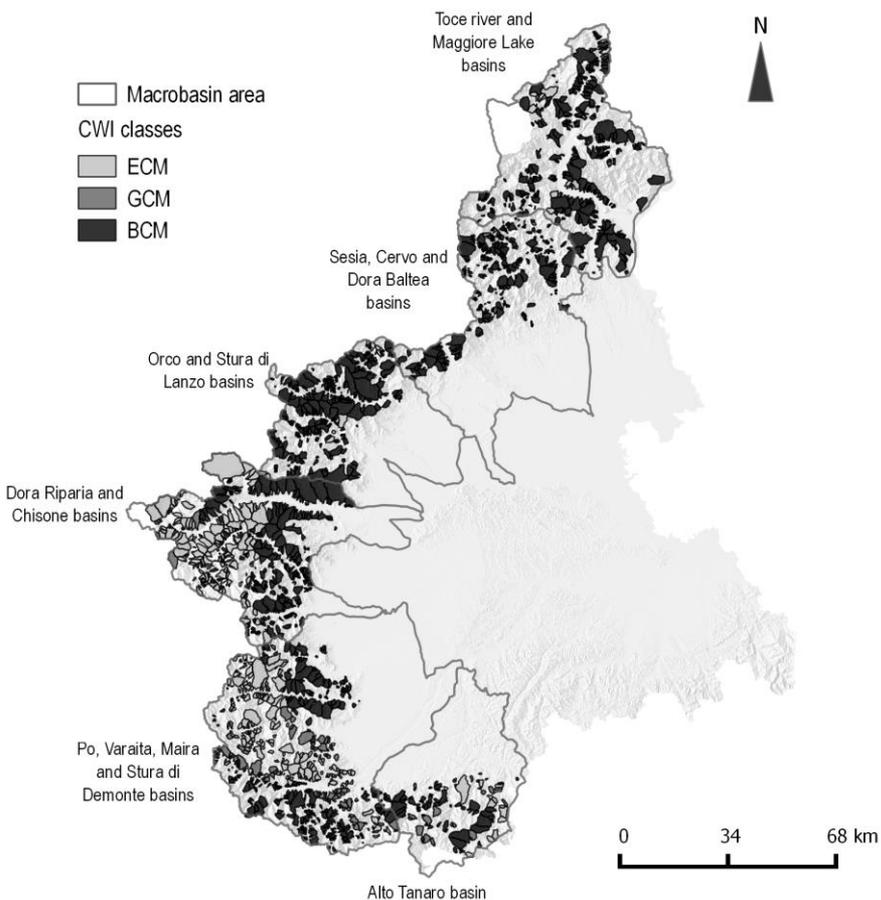


Bacino BCM (es. Rio Secco, Oulx, TO).

Reologia frizionale-collisionale (viscosità praticamente assente): la maggior parte del materiale grossolano si deposita in apice di conoide, molto subordinatamente lungo i canali.

Debris flow EWS: dove e quando?

Rispondere a "Dove?" è più «semplice»... Ma, per risolvere il problema "Quando?" 2.100 bacini e tutti gli eventi registrati dal 1728 al 2023 sono stati analizzati (Tiranti et al., 2014).



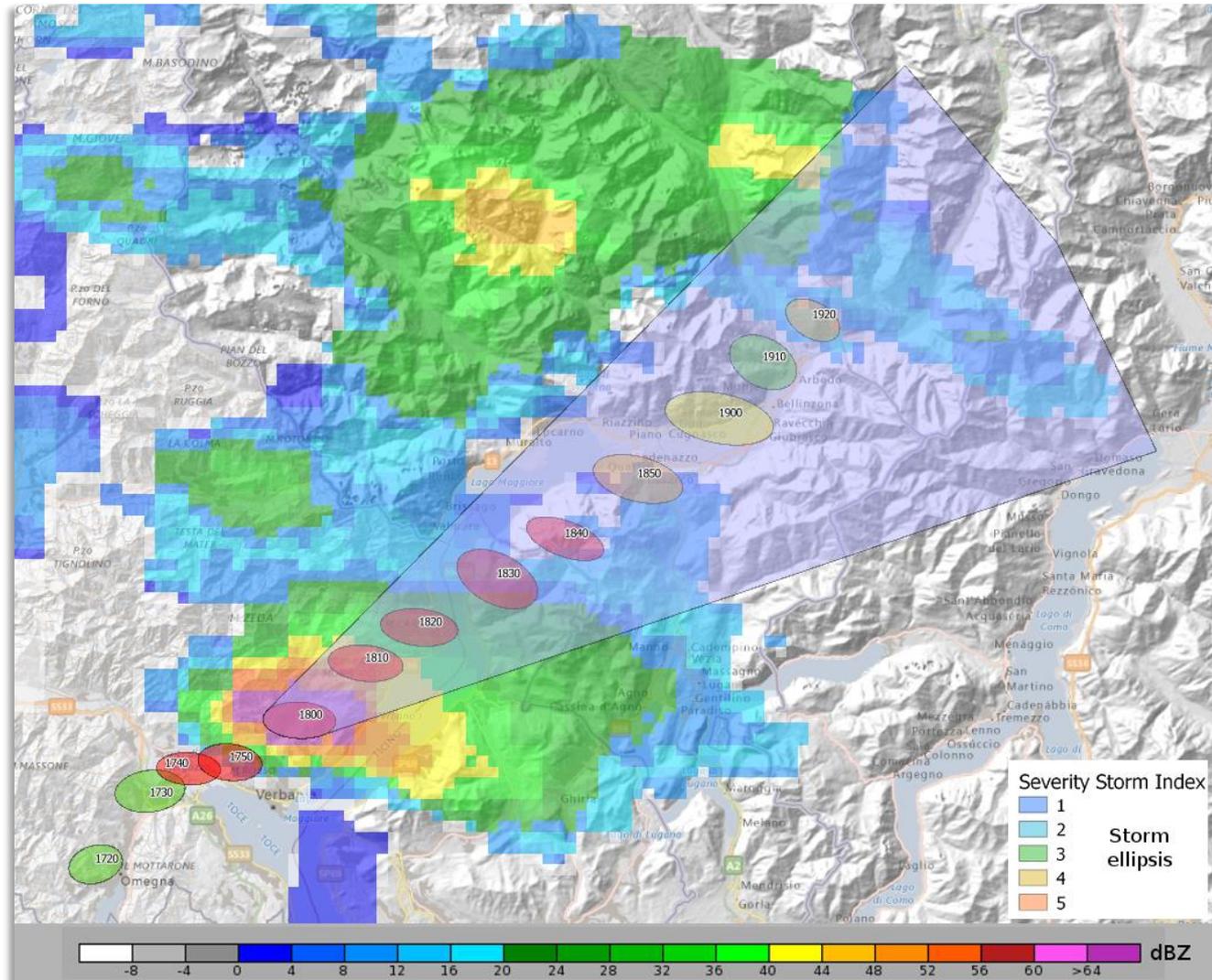
Classi CWI	Reologia	Frequenza di innesco (anni)	Pioggia di innesco	Stagione prevalente
ECM	Debris Flow coesivo (viscoplastico)	2	Moderata intensità (≥ 20 mm/h)	estate
GCM	Debris Flow coesivo (viscoplastico)	5	Elevata intensità (≥ 30 mm/h)	tarda primavera
BCM	Debris Flow non coesivo (frizionale /collisionale)	20	Molto elevate intensità (≥ 50 mm/h)	autunno e primavera (raramente in estate)

Debris flow EWS: Quando?

Dagli eventi storici delle colate detritiche risulta chiaramente che le colate detritiche sono **principalmente innescate da precipitazioni brevi e intense** (temporali o picchi di elevata intensità durante un evento piovoso prolungato).

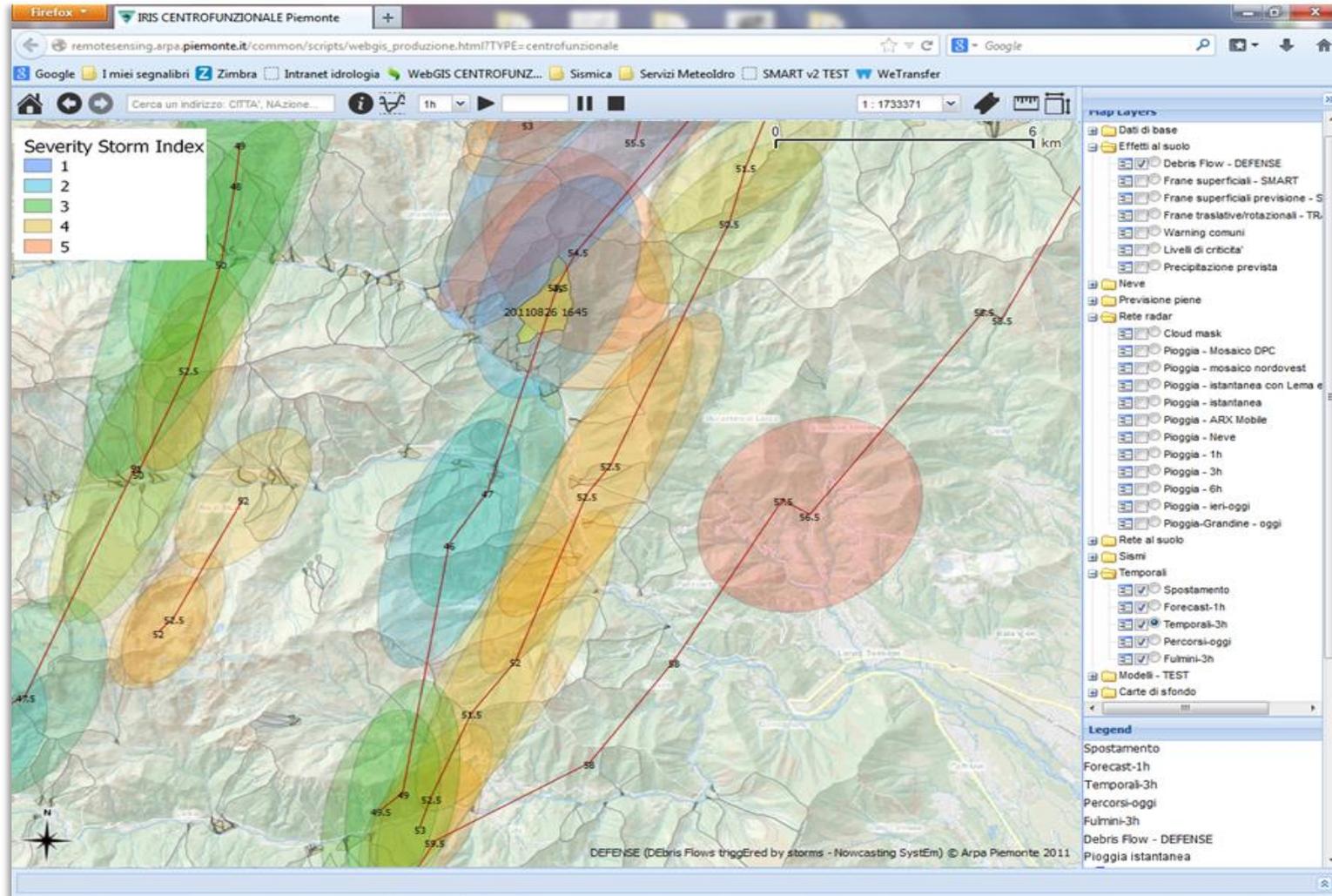
Le reti pluviometriche spesso non riescono a registrare eventi di precipitazione localizzata e intensa, mentre i radar meteorologici consentono il monitoraggio delle precipitazioni su vaste aree, con un'elevata risoluzione spaziale e temporale, se l'eco radar supera il segnale minimo rilevabile.

Per identificare le celle convettive, è stato utilizzato un algoritmo di identificazione e tracciamento dei temporali (Radar Storm Tracking algorithm).



Debris flow EWS: Cosa? Dove? Quando?

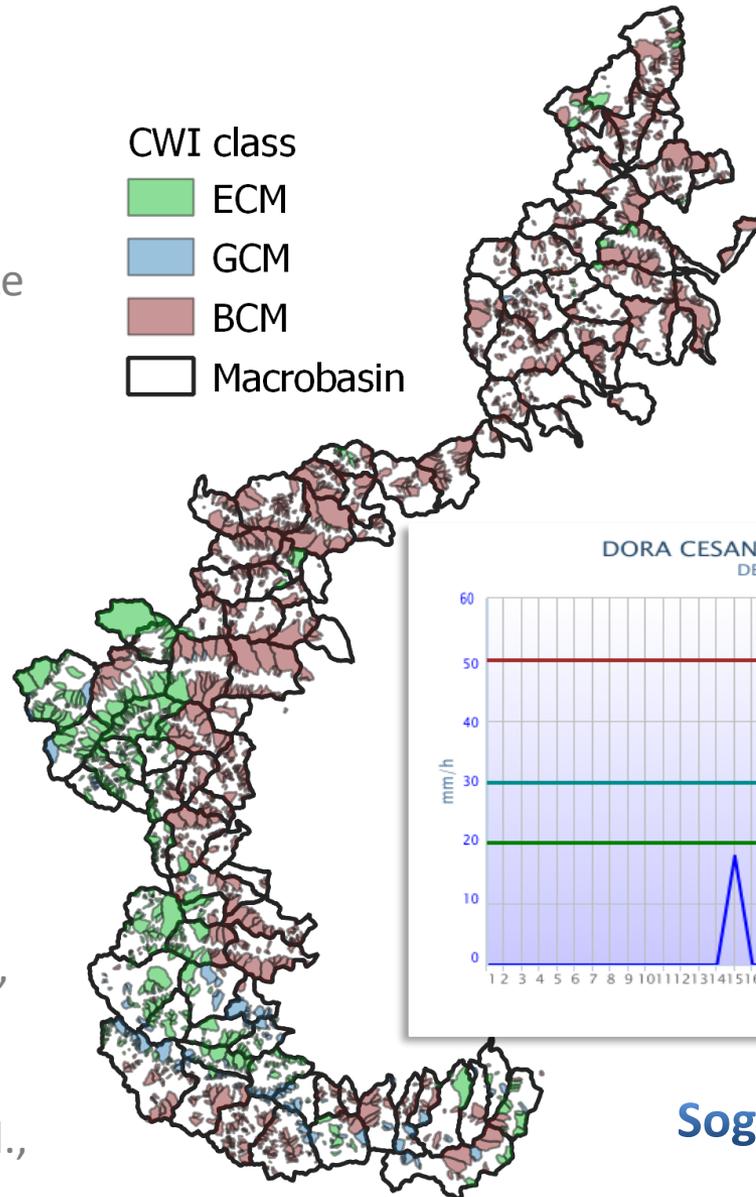
DEFENSE identifica i temporali severi, la cui area è definita da un'ellisse. Se una o più ellissi intersecheranno nei successivi 60 minuti bacini classificati CWI superando i valori soglia di innesco saranno prodotti avvisi automatici (e-mail e SMS ad esperti e parti interessate).



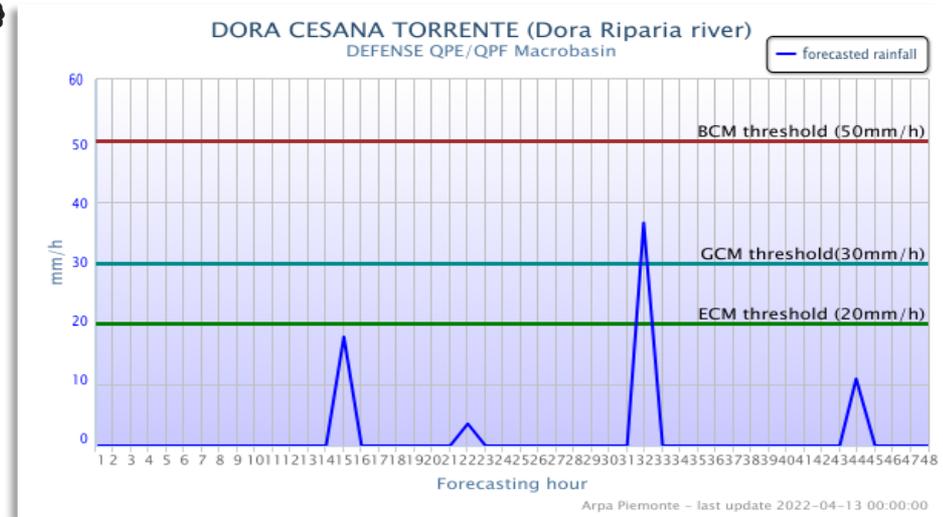
Interfaccia WebGIS di DEFENSE.

Debris flow EWS: Cosa? Dove? Quando?

Per quanto riguarda le **previsioni a breve-medio termine (da 2 a 48 ore)**, recentemente DEFENSE è stato migliorato con un nuovo input **QPE** e **QPF**. Le previsioni quantitative sono fornite dai modelli meteorologici ad alta risoluzione **COSMO-2I** e **ICON-IT** (corsa alle 00:00UTC). I bacini CWI sono stati iscritti in aree più ampie (**Macrobacini**) dove è interpolata la previsione quantitativa. Per ciascun Macrobacino sono assegnate più soglie, in funzione delle classi di bacini CWI incluse nel Macrobacino (Tiranti et al., 2023).



Tuttavia le previsioni meteorologiche quantitative ad alta risoluzione spaziotemporale soffrono ancora di un alto grado di incertezza...



Soglie di innesco per macrobacino.

Comunicazione

- I risultati delle simulazioni **DEFENSE** sono riportati nello snippet interattivo “Scenario occorrenza frane” sul sito di Arpa Piemonte e sono aggiornati quotidianamente.
- Gli scenari di innesco in tempo reale e previsti sono riepilogati mediante una rappresentazione semplice ed intuitiva.
- Gli scenari sono resi disponibili sul nostro sito istituzionale:

<https://www.arpa.piemonte.it/rischi naturali/snippets arpa/frane/>

Tu sei qui: [Home](#) / [Bollettini](#) / Scenario di innesco delle frane

Allerta | Pericolo | Vigilanza | Piene | **Frane**

Scenario di innesco delle frane

Valutazioni emesse martedì 23/01/2024 alle ore 13:00

Scenario complessivo | Frane superficiali | Colate detritiche

Cerca comune per evidenziarlo nella mappa
ca. Torino

Passando il mouse sulla mappa (oppure da smartphone toccando brevemente lo schermo con un dito) appariranno le informazioni relative agli scenari di innesco per lo singolo arco.

Valutazione attuale
basata su dati osservati nelle 24 ore precedenti all'emissione del bollettino.

Valutazione oggi
basata su dati di previsione per le 12 ore successive all'emissione del bollettino.

Valutazione domani
basata su dati di previsione per le 36 ore successive all'emissione del bollettino.



Annotazione Colate detritiche

LEGENDE	Colate detritiche (debris flow)	Dati di input
Scenario	Le colate detritiche innescate avvengono lungo le rive di canali di piccoli bacini montani (area riferibile a 50 km ²), presentano elevate concentrazioni di sedimenti (40-50% nella miscela solido-liquida) e si propagano verso valle percorrendo anche grandi distanze con velocità variabili (da pochi cm/s a 25 m/s circa). Il materiale trasportato ha granulometria molto variabile (dalle argille ai grossi blocchi). Un singolo fenomeno si manifesta frequentemente con ondate successive (quasi-ort) dovute a temporanee ostruzioni lungo i canali di propagazione. L'apparato deposizionale hemisferico, formato dalla successiva deposizione di colate detritiche, prende il nome di conoide alluvionale. In letteratura scientifica internazionale, le colate detritiche innescate sono note col nome di <i>cliff-related debris flow</i> .	Lo Scenario Attuale si basa sulle osservazioni fornite dai Radar Meteorologici. Tramite un algoritmo di identificazione e tracciamento delle angole delle precipitazioni e la localizzazione dei centri di accresco (determina quali bacini sono interessati da precipitazioni di intensità superiore alle soglie critiche di innesco).
A inneschi assenti		Gli Scenario Oggi e Domani fanno riferimento alle previsioni meteorologiche quantitative dei modelli COSMO-2 e ICON-T.
I possibili inneschi localizzati che interessano limitati settori delle valli alpine		
P possibili inneschi poco diffusi che interessano discreti settori delle valli alpine		
D possibili inneschi diffusi che interessano ampie aree delle valli alpine		

La previsione dei massimi orari dei modelli meteorologici considerati e i colori si sono aggiornati a cadenza giornaliera alle ore 12:00. Lo scenario emesso è basato sulle osservazioni dei radar meteorologici e sulla probabilità di innesco della colata in corso. La previsione per oggi si riferisce alle 24 ore successive all'emissione del bollettino. La previsione per domenica si riferisce alle 36 ore successive all'emissione del bollettino. Il simbolo a sfondo scuro sui giorni feriali ha un significato in caso di allerta sintonica superiore.

DEFENSE

Debris Flows triggered by storms
Nowcasting SystEm plus QPE/QPF
prova radar a precipitazione
servizio.idrologico@arpa.piemonte.it

Informazioni ⓘ

Colate detritiche

Lo scenario di innesco per le colate detritiche è funzione del numero di fenomeni che si possono verificare durante un evento pluvioso.

Gli scenari di innesco, riassunti dalle mappe di sintesi, sono il risultato delle elaborazioni del modello OPERAS e delle valutazioni dei tecnici idrologi del Centro Funzionale.

Azienda Certificata UNI EN ISO 9001:2015 certificato GCERTI ITALY n° GITI-820-QC

Referenze

- Tiranti D., Bertolotto P., Cremonini R., Gaeta A.R., Vela N. (2023) The Territorial Debris Flow Early Warning System of Piemonte (North-western Italy). E3S Web of Conf. 415 03030 (2023). doi:10.1051/e3sconf/202341503030*
- 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 2021, 11, 422. <https://doi.org/10.3390/geosciences11100422>*
- Tiranti D., Crema S., Cavalli M., Deangeli C. (2018) An integrated study to evaluate debris flow hazard in alpine environment. Front. Earth Sci. 6:60. doi:10.3389/feart.2018.00060*
- Tiranti D., Cremonini R., Asprea I., Marco F. (2016) Driving Factors for Torrential Mass-Movements Occurrence in the Western Alps. Front. Earth Sci. 4:16. DOI: 10.3389/feart.2016.00016*
- Deangeli C., Tiranti D., Marco F., Volpato M. (2015) Comparison of Debris flow Depositional Scenarios using different DTMs. Engineering Geology for Society and Territory - Volume 2, 1667-1671. G. Lollino et al. (Eds); Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09057-3_296*
- Tiranti D., Cremonini R., Asprea I., Marco F. (2016) Driving Factors for Torrential Mass-Movements Occurrence in the Western Alps. Front. Earth Sci. 4:16. doi:10.3389/feart.2016.00016*
- Tiranti D. and Deangeli C. (2015) Modeling of debris flow depositional patterns according to the catchment and sediment source area characteristics. Front. Earth Sci. 3:8. DOI: 10.3389/feart.2015.00008*
- 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: 1255-1266. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.02.102*
- Tiranti D., Cremonini R., Marco F., Gaeta A.R., Barbero S. (2014) The DEFENSE (DEbris Flows triggEred by storms - Nowcasting SystEm): an early warning system for torrential processes by radar storm tracking using a Geographic Information System (GIS). Computers & Geosciences 70: 96-109. DOI: 10.1016/j.cageo.2014.05.004*
- Tiranti D., Bonetto S., Mandrone G. (2008) Quantitative basin characterization to refine debris-flow triggering criteria and processes: an example from the Italian Western Alps. Landslides 5 (1): 45-57. <https://doi.org/10.1007/s10346-007-0101-4>*

**Grazie per
l'attenzione**

