

Geologia dell'Ambiente

Periodico trimestrale della SIGEA
Società Italiana di Geologia Ambientale - APS



Fondatore *Giuseppe Gisotti*

Supplemento al n. 4/2024 ISSN 1591-5352

WORKSHOP

**I fenomeni d'instabilità naturale in alta montagna.
La colata detritica del 13 agosto 2023 a Bardonecchia:
previsione, prevenzione e mitigazione dei processi**

BARDONECCHIA, 20 GIUGNO 2024



DIREZIONE GENERALE
EDUCAZIONE,
RICERCA E
ISTITUTI CULTURALI

Il workshop è stato realizzato grazie al contributo concesso
dalla Direzione generale Educazione, Ricerca e Istituti Culturali
del Ministero della cultura



A CURA DI

Fabio Luino

Società Italiana di Geologia Ambientale - APS

Associazione di protezione ambientale a carattere nazionale riconosciuta dal Ministero dell'ambiente, della tutela del territorio e del mare con D.M. 24/5/2007 e con successivo D.M. 11/10/2017

Fondatore *Giuseppe Gisotti*

PRESIDENTE
Antonello Fiore

CONSIGLIO DIRETTIVO NAZIONALE

Lorenzo Cadrobbi, Daria Duranti, Antonello Fiore (*Presidente*), Adele Garzarella, Giuseppe Gisotti (*Presidente Onorario*), Marianna Morabito, Stefania Nisio, Fabio Oliva, Michele Orifici (*Vice Presidente*), Vincent Ottaviani (*Vice Presidente*), Paola Pino d'Astore (*Tesoriere*), Luciano Masciocco, Sabina Porfido, Livia Soliani, Salvatore Valletta (*Segretario*)

Geologia dell'Ambiente
Periodico trimestrale della SIGEA - APS

Supplemento al N. 4/2024
Anno XXXII • ottobre-dicembre 2024

Iscritto al Registro Nazionale della Stampa n. 06352
Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 229
del 31 maggio 1994

DIRETTORE RESPONSABILE
Antonello Fiore

CONDIRETTORE RESPONSABILE
Eugenio Di Loreto

COMITATO SCIENTIFICO
Mario Bentivenga, Aldino Bondesan, Francesco Cancellieri, Rachele Castro, Massimiliano Fazzini, Giuseppe Gisotti, Giancarlo Guado, Emanuela Guidoboni, Salvatore Lucente, Fabio Luino, Endro Martini, Luciano Masciocco, Davide Mastroianni, Antonio Paglionico, Mario Parise, Giacomo Prosser, Giuseppe Spilotro, Vito Uricchio, Gianluca Valensise

COMITATO DI REDAZIONE
Eugenio Di Loreto, Maria Luisa Felici, Michele Orifici, Vincent Ottaviani, Salvatore Valletta

REDAZIONE
SIGEA - APS c/o Fidaf - Via Livenza, 6 00198 Roma
info@sigeweb.it

PROCEDURA PER L'ACCETTAZIONE DEGLI ARTICOLI

I lavori sottomessi alla rivista dell'Associazione, dopo che sia stata verificata la loro pertinenza con i temi di interesse della Rivista, saranno sottoposti a un giudizio di uno o più referees

UFFICIO GRAFICO
Pino Zarbo (Fraserighe Book Farm)
www.fraserighe.it

PUBBLICITÀ
SIGEA - APS

STAMPA
Industria grafica Sagraf Srl, Capurso (BA)

La quota di iscrizione alla SIGEA-APS per il 2024
è di € 30 e da diritto a ricevere la rivista "Geologia dell'Ambiente".
Per ulteriori informazioni consulta il sito web all'indirizzo www.sigea-aps.it

Sommario

Presentazione
FABIO LUINO

5

Rianalisi del Debris Flow di Talamona del luglio 2008
ANDREA ABBATE

11

Tecniche fotogrammetriche speditive per la cartografia nel primo post-emergenza e il monitoraggio dei rischi naturali
WALTER ALBERTO, ANDREA FILIPELLO, LUCA LANTERI, LUCA DEL NEGRO, LUCA MENSIO, ALESSIO SALANDIN

13

Il monitoraggio delle colate detritiche torrentizie
MATTEO BERTI, ELENA IORIATTI, ALESSANDRO ZUCCARINI, FRANCESCO BRARDINONI, LUCA ALBERTELLI, LUCA BERETTA, MASSIMO CERIANI, MARCO REDAELLI, MARCO PILOTTI, ROBERTO RANZI, RICCARDO SCOTTI, EDOARDO REGUZZONI, MAURO REGUZZONI, LAURA TURCONI, FABIO LUINO

15

Le colate detritico-fangose recenti nel comune di Rezzo (Alta Valle Arroscia, Alpi Liguri)
GIORGIO BONI, FRANCESCO FACCINI, GUIDO PALIAGA, ANTONIO PARODI

17

Colate detritiche in alta quota nelle Alpi italiane in un contesto di cambiamento climatico e degradazione della criosfera

DAVIDE BOSSO, GUIDO NIGRELLI, LAURA TURCONI, MARTA CHIARLE

19

Pericolosità geo-idrologica di Bardonecchia (Piemonte - Italia)
ANNALISA BOVE, LUCIANO MASCIOTTO, BATTISTA TABONI, GESSICA UMILI

21

Pericolosità geo-idrologica del Bacino Del Rio Fenils (To)
ANNALISA BOVE, LUCIANO MASCIOTTO, BATTISTA TABONI, GESSICA UMILI

23

In copertina: Centro di Bardonecchia: vista aerea dell'alveo del T. Frejus (a cura del Consorzio Forestale Alta Valle Susa)

Le colate detritico-fangose recenti nel comune di Rezzo (Alta Valle Arroscia, Alpi Liguri)

The recent debris-mud flows in the Rezzo municipality area (Upper Arroscia Valley, Ligurian Alps)

Giorgio Boni¹, Francesco Faccini^{2,3}, Guido Paliaga⁴, Antonio Parodi⁵

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale, Università degli Studi di Genova, Genova

² Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita, Università degli Studi di Genova, Genova

³ Istituto per la Ricerca e la Protezione Idrogeologica, Consiglio nazionale delle Ricerche, Torino

⁴ Geographical Information Systems International Group, Genova

⁵ CIMA Research Foundations, Savona

E-mail: Giorgio.Boni@unige.it

Parole chiave: colate detritico-fangose, precipitazioni intense, terrazzamenti, Alpi liguri, Italia

Key words: debris-mud flows, heavy rainfalls, terraced landscape, Ligurian Alps, Italy

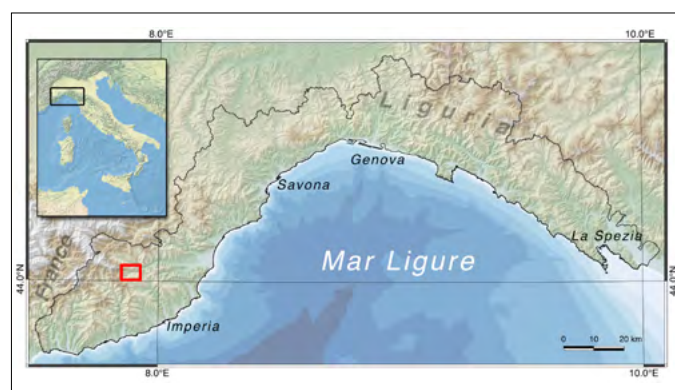
RIASSUNTO

Il territorio ligure è storicamente soggetto a colate detritico-fangose rapide, tra i *natural hazards* più ricorrenti e diffusi, innescate da precipitazioni prolungate o piogge intense e di breve durata: gli eventi del 4 ottobre 2021

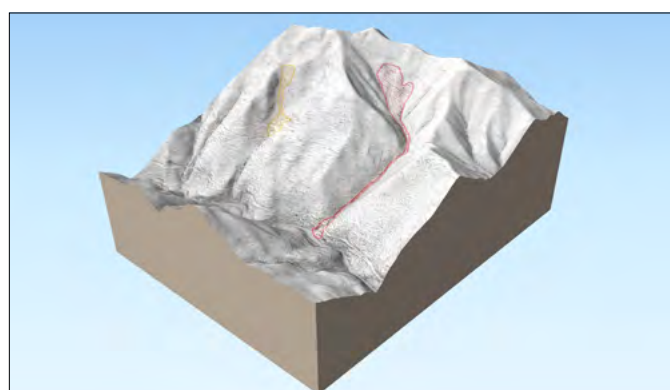
(valli Bormida e Stura), del 4 novembre 2011 (val Bisagno) e del 25 settembre 2011 (Cinque Terre e val di Vara) hanno determinato nuovi record di pioggia a scala nazionale e internazionale.

Colate detritico-fangose con elevata potenza distruttiva si sono verificate in

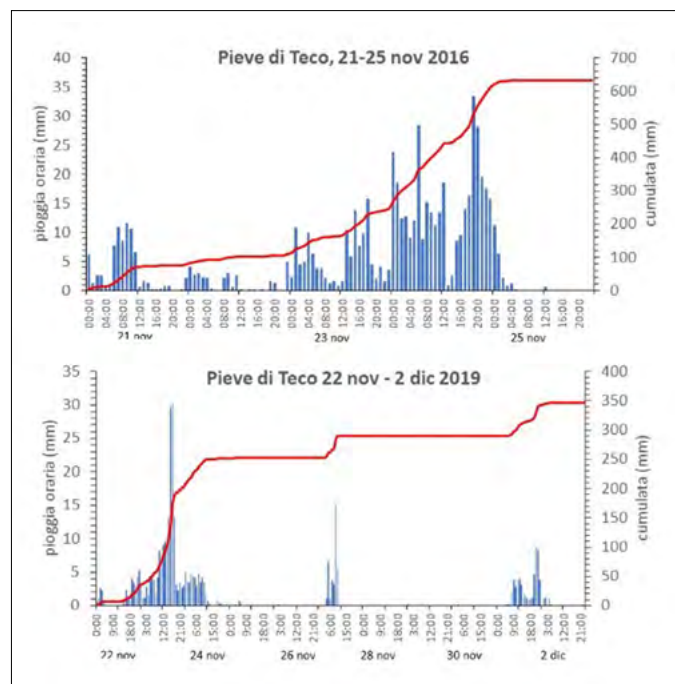
tempi recenti su tutto il territorio regionale: tra quelle che hanno determinato più gravi effetti al suolo, tra cui la perdita di vite umane, si ricordano gli eventi nella val di Vara e delle Cinque Terre nel 2011, nella bassa valle del T. Entella (loc. Gazzo a Leivi) nel 2014, in alta



a)



b)



c)



d)

Figura 1. Le colate detritico-fangose recenti nel comune di Rezzo (Alta Valle Arroscia, Alpi Liguri): a) ubicazione dell'area studiata; b) modello 3d su rilievo a sfumo ottenuto da base Lidar; c) altezze di pioggia registrate con gli eventi 2016 e 2019; d) cartografia delle colate detritico-fangose su base Google Earth

valle Arroscia (loc. Borghetto di Lavina a Rezzo) nel 2016, nel basso bacino del Rio del Monte a Savona e ancora in alta valle Arroscia (loc. Cenova a Rezzo) nel 2019 e infine nell'alta Val Roja nel 2020.

Questa ricerca presenta alcune analisi preliminari sui processi di dissesto geomorfologico registrati nel bacino idrografico del Torrente Giara di Rezzo in Alta Valle Arroscia (Fig. 1a), sia in termini di profilo meteo-idrologico sia per gli effetti al suolo. Si tratta di due colate detritico-fangose rapide e significativa propagazione, innescate a seguito di precipitazioni prolungate che hanno interessato la Liguria, e in particolare il Ponente regionale, nel periodo autunnale del 2016 e del 2019, determinando gravi danni nelle frazioni di Borghetto di Lavina e di Cenova, nel Comune di Rezzo (Fig. 1b).

L'evento del 25 novembre 2016 è stato innescato da una precipitazione di oltre 600 mm registrata tra il 21 e il 25 novembre (stazione di Pieve di Teco, rete Arpal, Fig. 1c), con un picco di pioggia del 24 novembre di 33 mm/h, 82 mm/3h, 131 mm/6h, 184mm/12 h e 310 mm/24h.

Gli effetti al suolo sono consistiti in uno scivolamento di detrito nella porzione sommitale del versante a 800 m slm nel piccolo bacino del rio Quardella, affluente in destra idrografica del T. Giara di Rezzo: a causa del peculiare assetto geomorfologico il processo è evoluto rapidamente in una colata detritico-fangosa incanalata che ha distrutto alcuni edifici e la strada provinciale n. 17 (Fig. 1d).

Attraverso l'utilizzo di modelli digitali del terreno è stato possibile stimare un volume mobilitato di detrito di 105.000 m³, ma occorre evidenziare che la porzione alta del bacino del rio Quardella mostra una copertura sciolta potenzialmente mobilizzabile anche 5 volte superiore.

L'evento del 2 dicembre 2019 è stato innescato da una precipitazione di oltre 350 mm registrata tra il 22 novembre e il 2 dicembre (stazione di Pieve di Teco, rete Arpal, Fig. 1c), con tre picchi di pioggia del 23 novembre (73 mm/3h), del 27 novembre (24 mm/3h) e infine 2 dicembre /22 mm/3h). Gli effetti al suolo sono consistiti in uno scivolamento di detrito nella porzione sommitale del versante a quota 750 m slm: a causa della marcata acclività il processo è evoluto in una colata detritico-fangosa rapida incanalata che ha distrutto diversi edifici della frazione di Cenova (Fig. 1d).

Attraverso utilizzo di modelli digitali del terreno è possibile stimare un volume mobilitato di detrito di 8.000 m³, ma la porzione alta del versante mostra una copertura potenzialmente mobilizzabile dell'ordine di 33.000 m³.

Se l'evento del 2016 può essere associato a valori di pioggia eccezionali, con tempi di ritorno superiori a 500 anni, l'evento del 2019 è caratterizzato da altezze di pioggia ordinarie, con tempi di ritorno inferiori a 50 anni. Si evidenzia infine che l'area sorgente dei processi al suolo è caratterizzata da terrazzamenti sorretti da

muri a secco di contenimento, di antichissima realizzazione, in analogia con gli altri dissesti geomorfologici verificatisi negli ultimi decenni in Liguria.

BIBLIOGRAFIA

- ARDIZZONE F., ESPOSITO F., CAVALLI M., CREMA S. & FIORUCCI F. (2024), *Sediment connectivity as a key to understand geomorphic effects of the Storm Alex in two mountain catchments of the Mediterranean Alps (Italy)*. *Geomorphology*, 455, 109176.
- HUNGR O., LEROUÉIL S. & PICARELLI L. (2014), *The Varnes classification of landslide types, an update*. *Landslides*, 11, 167-194.
- ZANINI E., PETRELLA F., AJMONE MARSAN F., ARDUINO E. (1988), *The soils on the flysch area of Western Liguria (Italy)*. *Catena*, 15, 381-392.

Colate detritiche in alta quota nelle Alpi italiane in un contesto di cambiamento climatico e degradazione della criosfera

High-altitude debris flows in the Italian Alps in a context of climate change and cryosphere degradation

Davide Bosso, Guido Nigrelli, Laura Turconi, Marta Chiarle

Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, Consiglio Nazionale delle Ricerche d'Italia, Torino, Italy

E-mail: dott.davidebosso@gmail.com

Parole chiave: Colate detritiche, Permafrost, Arco Alpino, Dataset, Analisi statistica
Key words: Debris flows, Permafrost, Alpine Arc, Dataset, Statistical analysis

RIASSUNTO

Fra tutti i fenomeni d'instabilità naturale che possono avvenire in alta montagna (valanghe di roccia, valanghe di ghiaccio, crolli ecc.) le colate detritiche sono fra le più pericolose, anche se di piccole dimensioni, poiché possono percorrere elevate distanze durante il loro defluire verso valle ed interferire con le infrastrutture e le attività umane, come dimostrano alcuni eventi recenti avvenuti il 13 agosto 2023 a Bardonecchia (Val di Susa, Piemonte), in Valpelline il 7 agosto 2023 (Val d'Aosta) ed il 27 agosto 2023 a Macugnaga (Valle Anzasca, Piemonte).

Nonostante si conosca da diverso tempo l'esistenza di una stretta correlazione fra l'attivazione delle colate detritiche con le precipitazioni, queste ultime caratterizzate da intensità e durata più o meno elevate, o con la repentina fusione della neve e del ghiaccio, non sono ancora state ben comprese le relazioni esistenti fra il loro innesco e la degradazione del permafrost, in atto a scala globale e molto presente sull'arco Alpino. Questo lavoro propone un'analisi statistica, a partire da un dataset di casi di studio documentati ad alta quota nelle Alpi italiane nel periodo 2000-2023 (Nigrelli *et al.*, 2024), volta alla definizione delle relazioni fra i diversi stati del permafrost a scala locale con l'attivazione dei fenomeni di colata.

Partendo da un dataset contenente movimenti di versante documentati nelle Alpi Italiane al di sopra dei 1500 m s.l.m. avvenuti fra il 2000 ed il 2023 (Nigrelli *et al.*, 2024) e dalla mappa della distribuzione attesa del permafrost elaborata da Boeckli *et al.* (2012), si è ottenuta, tramite telerilevamento, la relazione fra 387 colate detritiche e la presenza, alla testata dei bacini interes-

sati, di ghiacciai e/o di diverse tipologie di permafrost (permafrost continuo, discontinuo, sporadico o assente). A questo scopo sono stati presi in considerazione solo gli eventi con una sufficiente accuratezza spaziale. La scelta di prendere in considerazione la presenza e lo stato del permafrost nel punto a quota più alta dei diversi bacini interessati, anziché nell'area d'innesco delle colate, è stata dettata dal fatto che nella maggior parte dei casi non è possibile conoscere in modo accurato il punto di origine dei processi. Le informazioni raccolte sono quindi state oggetto di diverse analisi statistiche volte: i) alla definizione della percentuale di fenomeni che sono avvenuti nei bacini caratterizzati dai diversi tipi di permafrost; ii) alla definizione delle diverse orientazioni dei versanti su cui si sono sviluppate le colate detritiche; iii) all'individuazione della stagionalità degli eventi; iv) all'individuazione dei corsi d'acqua e dei bacini di terzo grado coinvolti. Per un'ulteriore analisi dei dati, le colate sono state suddivise spazialmente (suddividendole in tre settori: Alpi Occidentali, Centrali ed Orientali) e temporalmente (colate detritiche avvenute nel periodo 2000-2011 e 2012-2023).

Nei settori alpini centrale ed occidentale la maggior parte delle colate avviene in bacini caratterizzati da permafrost continuo senza ghiacciai (28-38%), mentre nelle Alpi Orientali in bacini caratterizzati da permafrost discontinuo (33%) (Fig. 1).

Nelle Alpi Occidentali e Centrali la seconda classe più rappresentata è quella degli eventi in bacini con permafrost sporadico (24%), mentre per le Alpi Orientali è quella con permafrost continuo (24%). Inoltre, è interessante notare come la percentuale di colate detritiche avvenute nei bacini in cui sono

presenti ghiacciai sia più elevata nelle Alpi Occidentali (13%) rispetto agli altri due settori (5-6%). Le colate originatesi in bacini privi di permafrost sono una minoranza nelle Alpi Occidentali (12%) mentre corrispondono al 23-24% del campione nelle Alpi Centrali ed Occidentali. Da un punto di vista temporale, invece, la quantità di eventi nei bacini con diverso tipo di permafrost nei due periodi scelti (2000-2011 e 2012-2023) è risultata comparabile, con eventi che nell'insieme si distribuiscono in particolare in bacini con permafrost sporadico (28-29%) o continuo (28%). Seguono per importanza gli eventi in bacini senza permafrost (20%).

Come prevedibile, la maggior parte delle colate si sviluppa nei mesi estivi (GLA, Fig. 2): nelle Alpi Occidentali e Orientali il numero di fenomeni tende a crescere partendo da giugno e culminando ad agosto (84%), mentre nelle Alpi Centrali la maggior parte dei fenomeni avviene durante il mese di luglio (32%). Interessante osservare, infine, la distribuzione mensile dei fenomeni distinti in base al tipo di permafrost/presenza di ghiacciai (Fig. 2). Come si può osservare, per tutte le classi di permafrost le colate avvengono perlopiù in agosto, mese in cui dominano le colate in bacini con permafrost discontinuo e si raggiunge un picco di fenomeni in bacini con ghiacciai; un picco minore di colate per tutte le classi (ad eccezione dei bacini con ghiacciai) si registra poi in ottobre.

Le 387 colate detritiche censite nel dataset sono avvenute in 310 diversi corsi d'acqua, che coinvolti per la maggior parte dei casi da uno o due fenomeni di colata (94%) nel corso di 24 anni, anche se alcuni sono stati luogo di più eventi: primo fra tutti il Torrente di Ber-



Figura 1. Suddivisione delle colate detritiche nelle diverse classi di permafrost/ghiacciai per i tre settori alpini

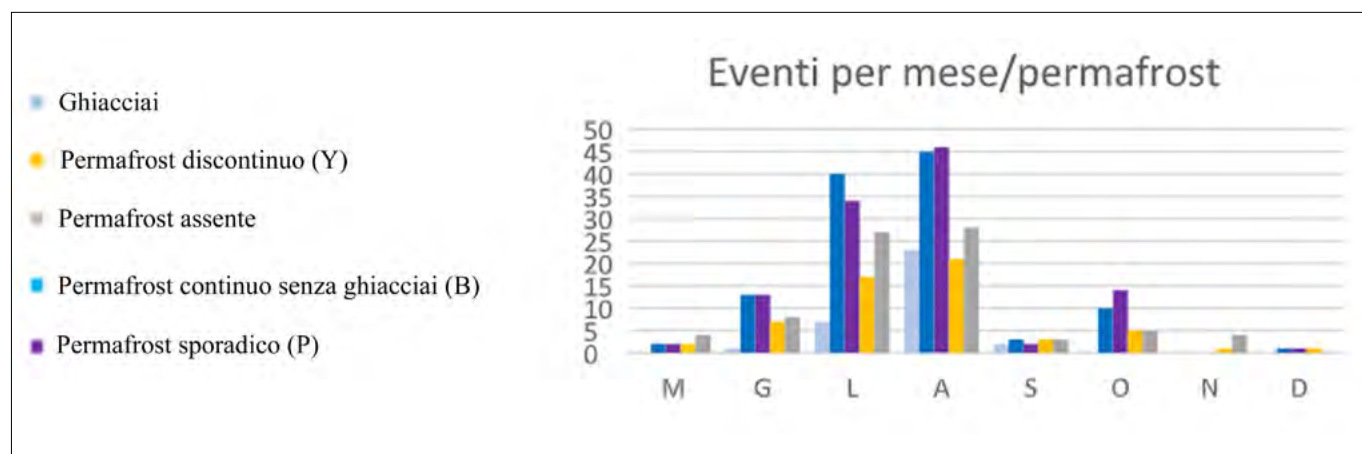


Figura 2. Distribuzione mensile delle colate detritiche suddivise per classe di permafrost/ghiacciai

ruard (Valle d'Aosta), per il quale sono documentate cinque colate detritiche. Per quanto riguarda l'esposizione dei versanti interessati da colate detritiche, dominano le esposizioni da SE a SW con una significativa differenziazione fra i settori alpini (SE per le Alpi Occidentali, SW per le Alpi centrali e S per le Alpi Orientali).

La concentrazione dei processi di colata ricade principalmente durante i mesi estivi in relazione ad eventi pluviometrici brevi ed intensi, che sempre più spesso si abbattano sul nostro territorio, anche se un picco secondario è stato osservato in ottobre. Dal punto di vista spaziale sono emerse differenze significative tra i tre settori alpini considerati. Al di là di queste differenze,

il permafrost sembra giocare un ruolo chiave nello sviluppo di colate detritiche negli ultimi decenni con un coinvolgimento anche di bacini con permafrost continuo e ghiacciai (36%), rendendo il tutto congruente con l'attuale trend di cambiamento climatico e la conseguente degradazione della criosfera, anche se il confronto fra i periodi 2000-2011 o 2012-2023 non ha evidenziato sostanziali differenze. Futuri sviluppi potrebbero includere un'analisi climatica di dettaglio, un'implementazione del dataset, e la normalizzazione dei dati ottenuti. Di grande utilità sarebbero una cartografia del permafrost aggiornata e specifica dei settori considerati e informazioni più accurate sul punto d'innescio dei fenomeni.

RINGRAZIAMENTI

Il lavoro è stato in parte realizzato nell'ambito dell'accordo 2023-2024 tra Dipartimento Nazionale della Protezione Civile e CNR-IRPI.

BIBLIOGRAFIA

- BOECKLI, L., BRENNING, A., GRUBER, S., AND NOETZLI, J. (2012), *Permafrost distribution in the European Alps: calculation and evaluation of an index map and summary statistics*, *The Cryosphere*, 6, 807-820. <https://doi.org/10.5194/tc-6-807-2012>, 2012.
- NIGRELLI G., PARANUNZIO R., TURCONI L., LUINO F., MORTARA G., GUERINI M., GIARDINO M., CHIARLE M. (2024), *First national inventory of high-elevation mass movements in the Italian Alps*. *Computers and Geosciences*, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2024.105520>.