

Foreste di protezione contro la caduta massi a livello alpino: analisi multiscala dal masso alle Alpi

Emanuele Lingua ^(a), Paola Bolzon ^(a), Francesco Bettella ^(a), Maximiliano Costa ^(a), Matteo Garbarino ^(b), Raffaella Marzano ^(b), Fabio Meloni ^(b), Emanuele Sibona ^(b), Marco Piras ^(c), Elena Belcore^(c), Bruna Comini ^(d), Paola Comin ^(e), Ruggiero Alberti ^(e), Alessandro Wolynski ^(e), Frédéric Berger ^(f)

^(a) TESAF - Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali - Università degli Studi di Padova, viale dell'Università, 16, Legnaro (PD), nome.cognome@unipd.it

^(b) DISAFA - Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari - Università degli Studi di Torino, L.go Braccini,2, Grugliasco (TO), nome.cognome@unito.it

^(c) DIATI - Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture - Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi, 24, Torino (TO), nome.cognome@polito.it

^(d) ERSAF - Ente Regionale per i Servizi All'agricoltura e alle Foreste, Unità operativa LIFE GESTIRE IP 2020 e Sviluppo delle conoscenze sulle risorse forestali, naturali e della montagna, Via Oliva, 32, Gargnano (BS) bruna.comini@ersaf.lombardia.it

^(e) Servizio Foreste e fauna - Ufficio Pianificazione, selvicoltura ed economia forestale - Provincia Autonoma di Trento, via G.B. Trener, 3, Trento (TN), nome.cognome@provincia.tn.it

^(f) IRSTEA - National Research Institute of Science and Technology for Environment and Agriculture, Mountain Ecosystems Research Unit, rue de la Papeterie, 2, BP 76 Saint Martin D'Herès, Cedex, France, frederic.berger@irstea.fr

Introduzione

Tra le principali funzioni che le foreste delle Alpi svolgono nei confronti dell'uomo, una delle più importanti è sicuramente la funzione di protezione nei confronti dei pericoli naturali. In assenza di coperture forestali, molte vallate non avrebbero potuto essere abitate in modo permanente e le vie di comunicazione difficilmente sarebbero state percorribili in tutte le stagioni.

Nei confronti dei pericoli naturali, i popolamenti forestali possono agire come difesa attiva, cioè limitandone l'insorgenza, o come difesa passiva, cioè mitigandone l'impatto, a seconda del tipo di fenomeno in questione (Lingua et al., 2017).

Per poter gestire al meglio questi popolamenti, occorre prima di tutto conoscerne la distribuzione e valutarne l'attuale efficacia. Queste informazioni, armonizzate per tutto l'arco Alpino, in relazione ai diversi tipi di pericoli naturali possibili, non sono al momento disponibili. Per le foreste di protezione da caduta massi, ad esempio, le informazioni sono parziali e solo alcune regioni o province dispongono di una cartografia delle foreste che svolgono questa funzione (Meloni et al., 2006). In questo contesto è nato il progetto RockTheAlps, finanziato nell'ambito del Programma transnazionale di Cooperazione Territoriale Europea Spazio Alpino 2014-2020 (ASP462), che riunisce 15 *partners* di 6 nazioni differenti (Austria, Francia, Germania, Italia, Slovenia, Svizzera) provenienti dalla regione alpina. Questo progetto si prefigge principalmente di individuare metodologie innovative per la

mappatura del rischio di caduta massi e delle relative foreste di protezione applicabili in modo armonizzato a livello di Spazio Alpino, e di condividere e capitalizzare le conoscenze relative alla selvicoltura di protezione, valutando le strategie gestionali anche sotto l'aspetto economico. Si vogliono inoltre trasferire i risultati a decisori e *policy makers*, fornendo loro un'informazione armonizzata per tutto lo Spazio Alpino (Bianchi et al, 2018).

Il progetto si compone di 5 *Work packages* (WP):

- WP T1, ROCK-EU: sviluppo di una metodologia comune e armonizzata per l'individuazione delle zone di potenziale distacco e della *runout* di massi nell'ambiente alpino;
- WP T2, TORRID: sviluppo di uno strumento per individuare e mappare le foreste che contribuiscono alla riduzione del rischio di caduta massi (RRR – Rockfall Reduction Risk) nello Spazio Alpino;
- WP T3: produzione della prima mappa armonizzata del servizio ecosistemico di protezione contro la caduta massi delle foreste dell'intero spazio alpino. Questa mappa verrà prodotta grazie all'applicazione dei *tools* sviluppati durante il WP T1 e il WP T2;
- WP T4, ASFORESEE: valutazione economica del servizio ecosistemico protettivo nelle foreste dell'intero spazio alpino;
- WP T5: implementazione di linee guida sulla gestione delle foreste di protezione contro la caduta massi nello Spazio Alpino, di un Web-GIS, e produzione di materiale informativo atto a valorizzare una gestione forestale sostenibile indirizzata a massimizzare la funzione di protezione nelle foreste interessate dalla caduta massi.

Area di studio

Nell'ambito del progetto RockTheAlps, oltre alle applicazioni a livello di intero Spazio Alpino, sono state individuate alcune aree di studio dove applicare delle analisi di dettaglio. Il gruppo di ricerca dell'Università di Padova ha individuato tra i siti ideali per sviluppare le finalità del progetto in Veneto le formazioni forestali situate sul versante occidentale del Monte Antelao, nel Comune di San Vito di Cadore (BL). In questo sito, a monte della zona boscata si trova una scogliera (sorgente primaria) che riporta evidenti segni di una recente attività di caduta massi ed è inoltre presente un ghiaione, che potenzialmente può fungere da area sorgente secondaria. Il bosco è prevalentemente composto da pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) e abete rosso (*Picea abies* (L.) Karst.), che costituiscono una *Pineta di pino silvestre mesalpica tipica* secondo la classificazione di Del Favero (2015). L'abete rosso risulta essere dominante soprattutto nella parte basale del bosco, che si estende da tra 1120 e 1350 m s.l.m. La sommità del pendio è invece caratterizzata dalla presenza di una piccola zona a pino mugo (*Pinus mugo* Turra).

Materiali e metodi

Il campionamento dei massi, del soprassuolo boschivo e delle caratteristiche del suolo è stato svolto secondo due modalità: lungo un transetto e mediante aree di saggio (Figura 1).

Un transetto di 10 m di larghezza e 540 m di lunghezza, utilizzato per analizzare quantitativamente il fenomeno del *rock fall* nell'area di studio, è

stato tracciato lungo la linea di massima pendenza. Ogni 30 m sono state misurate le tre dimensioni di ogni roccia (qualora una delle tre fosse almeno > 50 cm), rilevate la sua forma e il motivo del suo arresto lungo il pendio. All'interno di dieci aree di saggio circolari (raggio 12 m), distribuite casualmente lungo il transetto, sono invece stati rilevati i parametri necessari alla preparazione dei *raster* utilizzati da Rockyfor3D: specie e diametro degli alberi (Diametro a Petto d'uomo > 7,5 cm), tipologia del suolo e parametri di scabrosità dello stesso (MOH – *Mean Obstacle Height*) (Dorren, 2015).

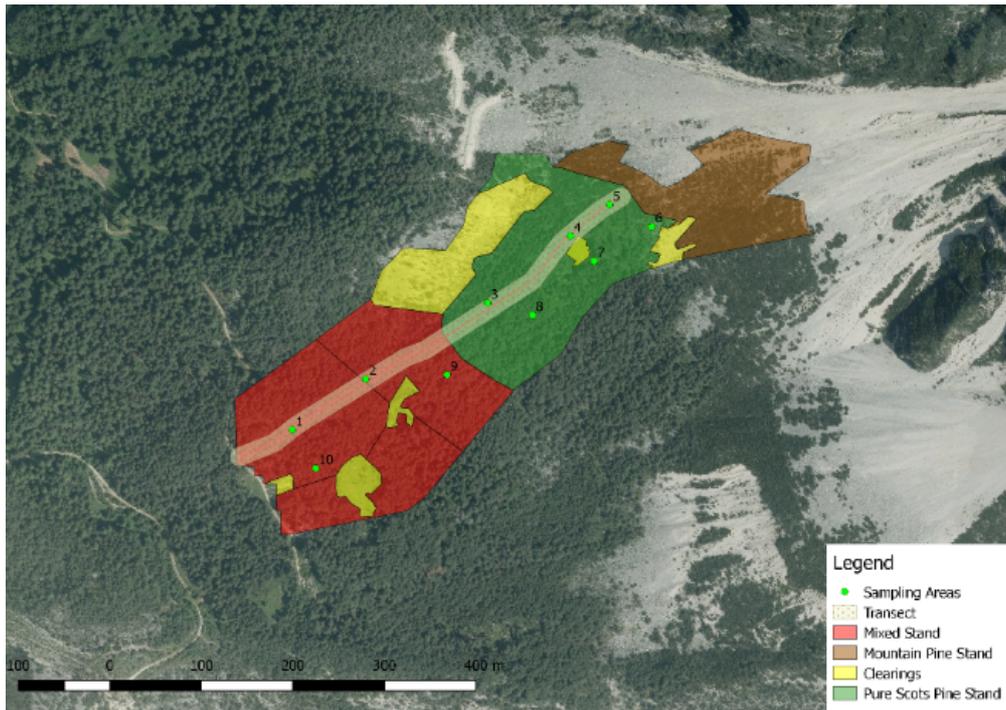


Figura 1 – Localizzazione della zona oggetto di studio con schematizzazione del transetto e delle aree di saggio. Poligoni di diversi colori rappresentano i diversi tipi forestali presenti.

Rockyfor3D è un software di modellazione sviluppato dall'associazione Ecorisq, liberamente scaricabile ed utilizzabile da tutti i suoi membri (Dorren, 2015). Rockyfor3D è ad oggi uno dei migliori software di simulazione 3D, che consente di calcolare le traiettorie di caduta massi e la dissipazione dell'energia, sia su suolo nudo che su un pendio boscato. Rockyfor3D richiede come *input* il modello digitale del terreno, unitamente ad una serie di *raster* che rappresentano la topografia, le caratteristiche del pendio (tipo di suolo e accidentalità dello stesso) e alcuni parametri descrittivi del bosco (densità degli alberi, diametro medio degli stessi, area basimetrica complessiva), qualora la modellazione venga condotta in un pendio forestato. E' inoltre necessario stabilire la densità della roccia espressa in kg/m^3 (tipicamente il valore nella zona Dolomitica viene impostato a 2700), la forma del blocco medio e la sua dimensione. Rockyfor3D calcola le traiettorie potenziali dei massi e produce in *output* una serie di *raster* relativi a diversi parametri tra i quali l'energia cinetica (kJ), altezza di passaggio dei massi in ogni cella e loro numero, velocità massima degli stessi, e massimo volume del blocco arrestato in ogni cella. E' dunque un software ideale per rapportare tra loro simulazioni che considerino o meno la presenza della foresta, in modo da ottenere una misura

di quanto quest'ultima contribuisca con la sua funzione protettiva alla mitigazione degli effetti negativi provocati dalla caduta massi.

Utilizzando Rockyfor3D sono state successivamente eseguite delle simulazioni, combinando la forma della roccia (sferica con diametro 1 m o rettangolare con dimensioni 0.9, 0.7, 0.5 m relative alla forma media rilevata sul pendio) con la tipologia del pendio (boscato e non boscato). Ogni tipologia di simulazione è stata ripetuta 10.000 volte a due risoluzioni del DTM (2x2 m e 5x5 m), per un totale di 80.000 simulazioni. Per la preparazione dei *raster* utilizzati nelle simulazioni con pendio boscato sono stati utilizzati i software ArcMap (ESRI) e QGis. I *raster* di ogni parametro forestale sono stati creati interpolando mediante *Inverse Distance Weight* (IDW) i dati puntuali raccolti nelle aree di saggio e pesando infine quanto ottenuto con pendenza e quota, qualora queste variabili fossero risultate importanti nello spiegare la variabilità del parametro (almeno il 5%).

E' noto che la foresta funge da barriera nei confronti del pericolo di caduta massi, diminuendo la frequenza di impatto con gli elementi a rischio e riducendo al contempo l'intensità del fenomeno (Moos et al., 2017). La frequenza di impatto risulta essere influenzata dalla lunghezza del pendio (m), dall'area basimetrica (m²/ha) e dal diametro medio misurato a petto d'uomo (cm) del popolamento forestale (Dupire et al., 2016). In questo lavoro si è utilizzato il parametro dell'area basimetrica cumulata (CbA) in quanto in grado di sintetizzare le variabili sopra descritte:

$$CbA = \frac{rbA \times fL}{100}$$

dove *rbA* è l'area basimetrica e *fL* la lunghezza del pendio. Moos (2017) per una foresta a soddisfacente azione protettiva suggerisce un valore di CbA di almeno 30-40 m²/ha per blocchi di volume inferiore a 1 m³ e per pendii di 450 m. Adattando tali valori alla lunghezza del pendio in esame, sono necessari dei valori cumulati di area basimetrica soddisfacenti in un *range* tra 81 m²/ha e 108 m²/ha.

L'efficienza protettiva della foresta è stata misurata attraverso l'indice ORPI (*Overall Rockfall Protection Index*), che considera la sommatoria dell'energia posseduta da tutti i massi passanti per un punto in un pendio boscato e lo confronta con la sommatoria dell'energia cinetica posseduta da tutti i massi passanti per lo stesso in assenza di copertura forestale (Dupire et al., 2016).

$$ORPI(x) = 100 \times \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n Forest E_i(x)}{\sum_{k=1}^n NoForest E_k(x)} \right)$$

Un indice ORPI ≤ 50 indica un basso effetto protettivo (*Low PE*), mentre un valore ≥ 90 un alto livello protettivo (*High PE*). Con valori intermedi dell'indice troviamo i boschi a medio livello protettivo (*Medium PE*).

Sono state successivamente confrontate velocità (V), energia (E) e altezza (Ph) di passaggio dei massi rispettivamente in un pendio boscato e non boscato (t-test e Mann-Whitney U test). Si sono inoltre confrontati i risultati ottenuti alle diverse risoluzioni dei *raster* utilizzati (2x2 m vs. 5x5 m) al fine di

verificare se vi fossero delle differenze significative sull'output finale della simulazione (t-test; $p \leq 0,05$).

I risultati delle simulazioni effettuate con Rockyfor3D, in termini di probabilità di deposito, ottenuti all'interno del transetto sono stati confrontati con i dati reali di campo, al fine di valutare la bontà della simulazione stessa (Mann-Whitney U test). La probabilità di deposito all'interno di una cella del DTM è stata così definita:

$$\text{Probabilità di deposito} = \frac{Nr_{deposit}}{Nr_{sourcecells} * n \text{ of simulations}}$$

Dove $Nr_{deposit}$ e $Nr_{sourcecells}$ sono derivati da *raster* prodotti in output da Rockyfor3D e numero di simulazioni = 10.000)

Risultati

La foresta analizzata nel comune di San Vito di Cadore (BL) dimostra svolgere in modo efficace il ruolo di protezione contro la caduta massi. Nelle Figure 2 e 3 sono rappresentati i risultati delle simulazioni effettuate con Rockyfor3D dove si evince chiaramente come negli scenari con foresta l'area interessata dal passaggio dei massi è notevolmente ridotta.

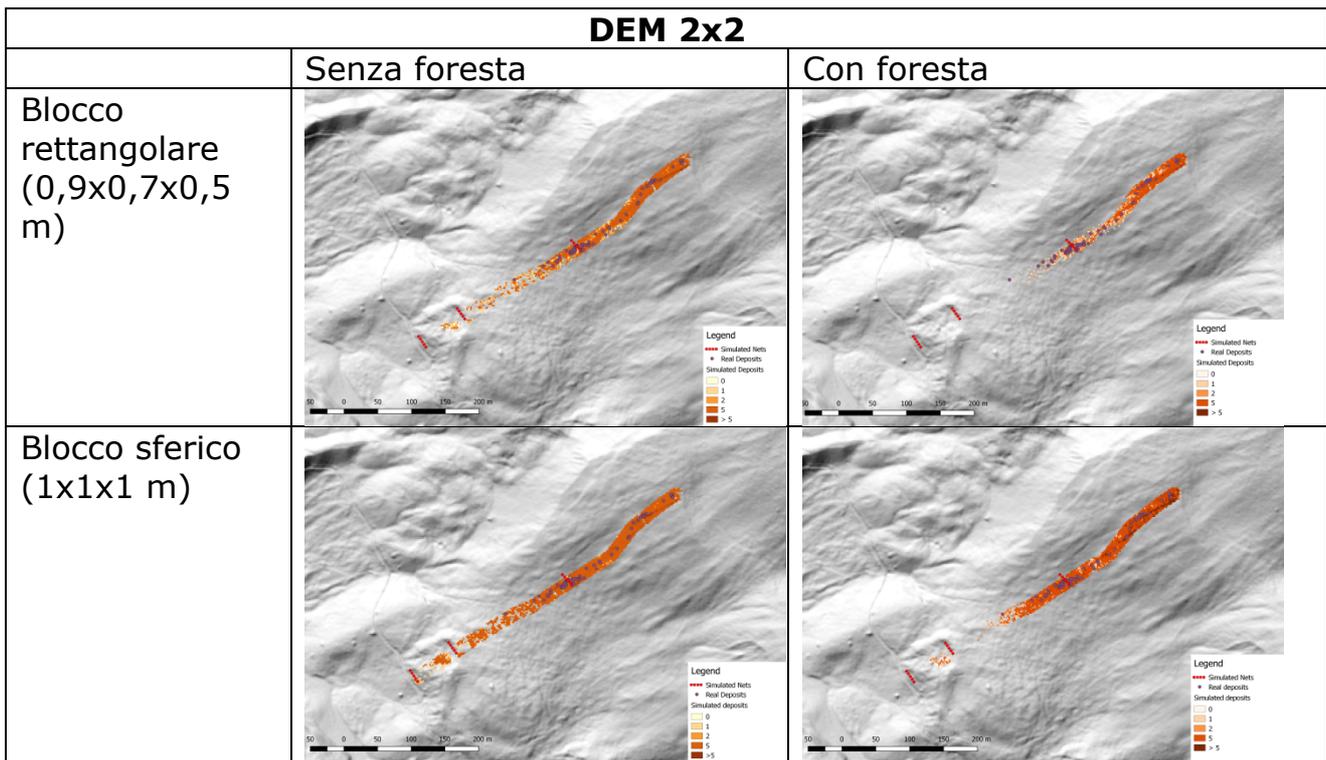


Figura 2 – Risultati delle simulazioni di Rockyfor3D eseguite con un DTM di 2x2 m: il colore più scuro indica la frequenza potenziale maggiore di deposito in una data cella

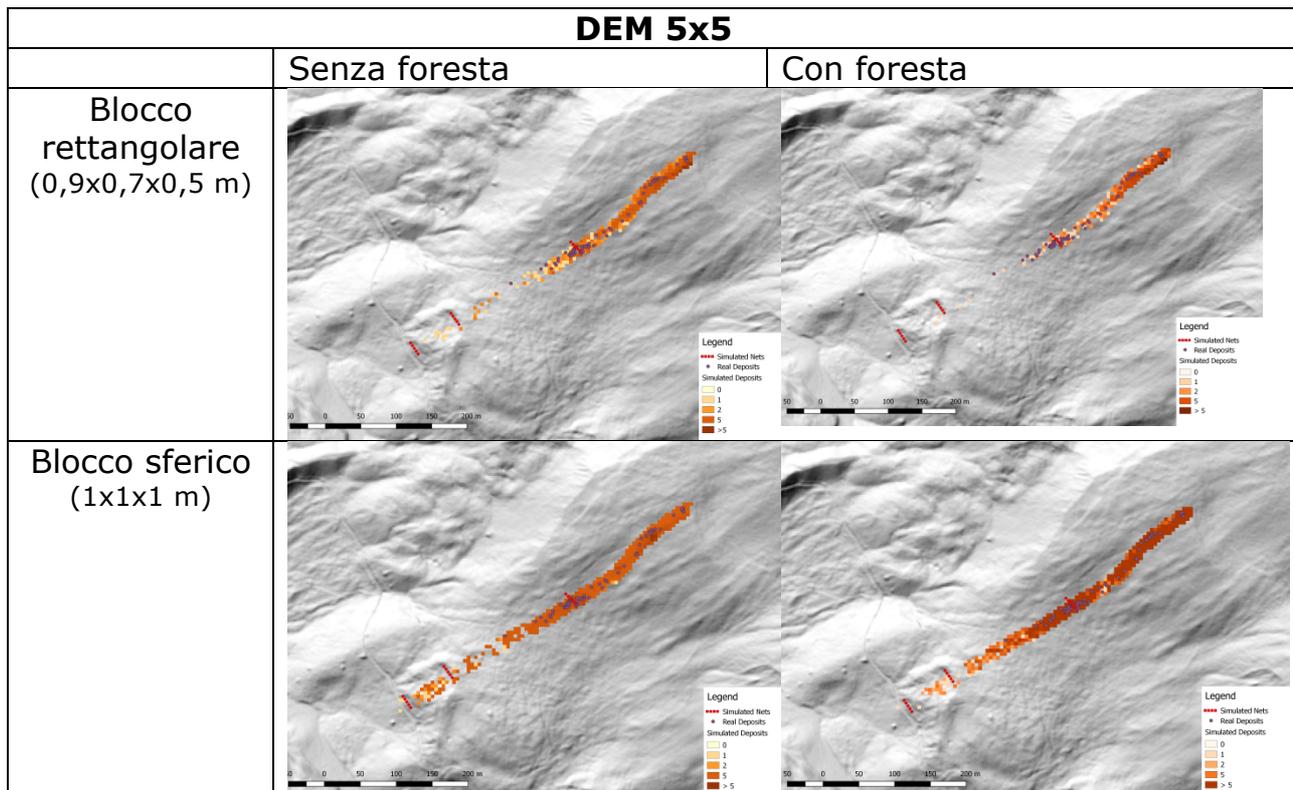


Figura 3 – Risultati delle simulazioni di Rockyfor3D eseguite con un DTM di 5x5 m: il colore più scuro indica la frequenza potenziale maggiore di deposito in una data cella

L'effetto protettivo della foresta sembra essere maggiormente individuato utilizzando nelle simulazioni *raster* con definizione di 2x2 m.

L'area basimetrica cumulata (CbA) dell'area di studio oscilla tra i 117,44 m²/ha (*worst case scenario*) e i 317,05 m²/ha (*best case scenario*), risultando essere quindi significativamente maggiore rispetto ai valori raccomandati (Moos et al, 2017) espressi nel precedente paragrafo.

L'indice ORPI applicato a varie lunghezze di pendio (240, 450 e 540 m) ha rivelato un alto indice di protezione (*High PE*), sia per massi con forma sferica (dimensioni reali) che rettangolare (dimensioni reali), considerando il DTM a 2x2. Per quanto riguarda invece il DEM 5x5, l'indice ORPI ha evidenziato un livello medio di protezione (*Medium PE*), tranne nei pendii di 540 m (per entrambe le tipologie di massa) e 450 m nel caso di forma sferica dei massi. E' interessante notare come utilizzando il DTM 2x2 m e considerando una lunghezza di pendio di 250 m, ritenuta la minima lunghezza utile affinché sia presente una funzione protettiva (Lingua et al., 2017), si ottengano ugualmente alti livelli di protezione (*High PE*). I valori dell'indice ORPI tendono comunque a crescere all'aumentare della distanza percorsa dalle rocce lungo il pendio. Lo scenario simulato utilizzando il DTM a 5x5 m sembra complessivamente più conservativo rispetto allo scenario DTM 2x2 m.

I valori relativi alla velocità (V), energia cinetica (E) e altezza di passaggio (Ph) dei massi in un pendio boscato sono risultati significativamente inferiori (t-test e Mann Whitney U; p<0,001) rispetto ai valori ottenuti in assenza di copertura forestale (con DTM a 2x2 m) qualora la simulazione abbia considerato le rocce

sferiche. Per quanto riguarda le rocce di forma rettangolare è stata riscontrata una significatività soltanto per la variabile Ph. Utilizzando nell'analisi il DTM 5x5 si è riscontrata una significatività ($p < 0,001$) unicamente nel caso dell'altezza media di passaggio (Ph) della roccia sferica. Comparando tra loro la diversa risoluzione dei DTM (2x2 m vs. 5x5 m) si è trovata una differenza significativa ($p < 0,001$) nel caso della roccia sferica, sia nel pendio boscato che per quello non boscato. Anche in questo caso quindi l'utilizzo del DTM 5x5 m descrive uno scenario più conservativo (minore effetto protettivo della foresta).

I depositi simulati sono risultati significativamente più simili a quelli reali al suolo rispetto a permutazioni di punti randomizzati ($p < 0,01$) nella quasi totalità dei casi analizzati, dimostrando che la simulazione effettuata con Rockyfor3D è realistica.

Conclusioni

Le simulazioni condotte con Rockyfor3D, i calcoli della CbA, e dell'indice ORPI mostrano come la foresta oggetto di indagine svolga un ruolo protettivo in maniera efficace, mitigando il fenomeno della caduta massi.

I risultati relativi alle simulazioni con il *software* Rockyfor3D sono risultati essere realistici in maniera significativa.

Le simulazioni ottenute utilizzando *raster* con risoluzioni differenti hanno fornito risultati differenti. I DTM con celle di 5x5 m sembrano sovrastimare il rischio da caduta massi. Di conseguenza in questo caso sarebbe necessario un pendio più lungo per garantire alti livelli di protezione.

La foresta è in grado di diminuire significativamente l'energia cinetica dei massi, ridurne la velocità e l'altezza di rimbalzo, per cui anche quando non è in grado di fermare la totalità dei massi, riesce comunque a diminuire a magnitudo del fenomeno.

Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del Programma transnazionale di Cooperazione Territoriale Europea - Spazio Alpino (project ASP462 RockTheAlps).

Bibliografia

Bianchi E., Accastello C., Garbarino M., Sibona E., Meloni F., Blanc S., Lingua E., Bolzon P., Comini B., Lombardi D., Piras M., Musci M.A., Berger F., Wolynski A., Comin P., Alberti R., Brun F. (2018), "Il progetto RockTheAlps. Mappatura e gestione del rischio delle foreste di protezione nella regione Alpina", *Sherwood. Foreste e alberi oggi*, 232: 17-19

Del Favero, R. (2015), I boschi delle regioni alpine italiane. Tipologia, funzionamento, selvicoltura, Coop. Libreria Editrice Università di Padova, Padova, 599 p.

Dorren, L.K.A. (2015), Rockyfor3D (c5.2) revealed – Transparent description of the complete 3D rockfall model. ecorisQ paper (www.ecorisq.org): 32 p.

Dupire, S., Bourrier, F., Monnet, J.M., Bigot, S., Borgniet, L., Berger, F., Curt, T. (2016), Novel quantitative indicators to characterize the protective effect of mountain forests against rockfall. *Ecol. Indic.* 67: 98–107.

Lingua E., Marzano R., Berger F. (2017), Protection forests and their management: an overview, *EFI Technical Report*, 101: 115-122

Meloni, F., Lingua, E., Motta, R. (2006), Analisi della funzione protettiva delle foreste: l'esempio della "Carta delle foreste di protezione diretta della Valle d'Aosta." *Forest@* 3(3): 420-425.

Moos, C., Dorren, L., and Stoffel, M. (2017), Quantifying the effect of forests on frequency and intensity of rockfalls. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 17(2): 291-304.