

Utilizzo di uno strumento di simulazione caduta massi per la quantificazione del ruolo protettivo di due foreste alpine

Use of a rockfall simulation tool to quantify the protective role of two Alpine forests

Introduzione

Le regioni montuose dell'arco alpino si trovano a dover affrontare costantemente il rischio dovuto ai pericoli naturali quali la caduta massi, le valanghe, le frane o le colate di detrito. In questo particolare contesto la funzione protettiva delle foreste alpine ha sempre rivestito un ruolo chiave (MOTTA E HAUDEMAND, 2000; LINGUA *et al.*, 2017; LINGUA *et al.*, 2020). Negli ultimi decenni questo è diventato ancor più rilevante a causa della crescita della popolazione e dell'incremento degli spostamenti legati al lavoro e al turismo (WHERLI E DORREN, 2013). Il ruolo svolto dalle foreste di protezione varia in funzione del pericolo naturale, così come varia la relativa gestione per ottimizzare questa importante funzione. Negli ultimi anni, anche grazie al progetto Interreg Spazio Alpino - RockTheAlps (BIANCHI *et al.*, 2017, BETETTO *et al.*, 2019), è stato possibile analizzare e quantificare a livello macroregionale l'effetto di mitigazione nei confronti della caduta massi, stimando che circa il 20% delle foreste alpine hanno funzione protettiva rispetto questo disturbo (LINGUA *et al.*, 2020).

Il fenomeno di caduta massi può manifestarsi dove sono presenti pendii con una pendenza pari o superiore a 30°. La zona da cui ha origine il fenomeno è denominata area di distacco, e in questa area la presenza di soprassuolo forestale non è sempre favorevole. L'area su cui l'influenza del bosco è rilevante per la mitigazione del fenomeno è la zona di

transito, ossia il pendio boscato che si trova tra l'area di distacco e la zona finale di deposito. In questa fascia la densità di alberi può dissipare l'energia cinetica di massi in caduta fino ad un volume di 5m³ (LINGUA *et al.*, 2017).

Tramite simulazioni di caduta massi si è osservato come la frequenza di impatto, in presenza di foresta nella zona di transito, viene ridotta dal 10 al 90% rispetto ad un pendio non forestato con le medesime caratteristiche topografiche. L'intensità del fenomeno può invece essere ridotta fino al 70% (MOOS *et al.*, 2017).

Molto importante è il concetto di diametro minimo efficace, ovvero il diametro degli alberi necessario ad arrestare un masso di specifiche dimensioni: infatti maggiori saranno le dimensioni del masso, maggiore sarà anche la sua energia cinetica e di conseguenza il diametro richiesto per arrestarlo. FREHNER *et al.* (2005) propongono valori compresi fra 12.5 e 20 cm per massi fino a 0.05 m³, fra 20 e 35 cm per massi fra 0.05 e 0.2 m³ e valori oltre i 35 cm per massi fino a 5 m³. Oltre questa soglia volumetrica non è considerata rilevante la protezione da parte della foresta.

Il diametro minimo efficace è condizionato da numerosi fattori topografici, tra i quali la pendenza e la rugosità superficiale del terreno rivestono un ruolo determinante. Il bosco non è solo un'area caratterizzata dalla presenza di piante in piedi, ma anche dalla presenza di arbusti, vegetazione erbacea, detrito legnoso e piante morte a terra (BRANG *et al.*, 2006). Questi elementi, aumentando considerevolmente la rugosità superficiale, possono rivestire un ruolo

si vive nella dinamica di protezione da fenomeni gravitativi quali valanghe e caduta massi (SCHÖNENBERGER *et al.*, 2005).

Per quantificare l'effetto protettivo della foresta le principali variabili da considerare sono: la lunghezza del pendio (misurata lungo la linea di massima pendenza), il diametro medio del popolamento forestale e la densità di fusti.

Nelle Alpi Francesi si è osservato come una lunghezza del pendio forestato pari a 190 m risulti essere sufficiente per ridurre del 99% il pericolo, infatti la frequenza d'impatto diminuisce all'aumentare della lunghezza del pendio, soprattutto se questo è boscato. I valori tendono a convergere per blocchi di volume elevato (oltre i 2 m³) poiché la presenza della foresta risulta progressivamente meno rilevante. Anche l'energia cinetica raggiunta dai massi si attesta su valori sensibilmente più bassi nel caso dei pendii forestati, 2000 KJ, rispetto a quelli senza soprassuolo forestale di 2700 KJ (DUPIRE *et al.*, 2016a).

La struttura orizzontale del popolamento influenza prevalentemente l'energia cinetica raggiunta dal masso mentre incide solo secondariamente sulla frequenza di impatto (MOOS *et al.*, 2017).

In questo lavoro vengono presentati i risultati di due studi relativi alla quantificazione dell'effetto protettivo della foresta nei confronti della caduta massi. Le due aree considerate sono situate ad Auronzo e San Vito di Cadore in provincia di Belluno.



Figura 1. Masso arrestato di recente da un pino silvestre nell'area di studio di San Vito di Cadore (Belluno)

Materiali e metodi

Area di studio

L'area di San Vito di Cadore (BL) è rappresentata da una porzione di versante situato sulle pendici meridionali del Monte Antelao, sopra all'elevazione del Col di Roa. È compresa fra i 1120 m e i 1350 m s.l.m. e la tipologia forestale prevalente è quella della pineta di pino silvestre mesalpica. La specie maggiormente presente è il pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), seguito dall'abete rosso (*Picea abies* (L.) H Karst) che si trova soprattutto nella fascia basale. Nella porzione sommitale si evidenzia anche la presenza di larice (*Larix decidua* Mill.) e pino mugo (*Pinus mugo* Turra) nei pressi del ghiaione. Secondo il piano di assestamento, il ruolo attribuito a questa foresta è quello protettivo (COSTA, 2018).

L'area di Auronzo di Cadore (BL) è invece situata sulle pendici Sud-orientali del Col di Vezza, sulla sinistra idrografica del torrente Ansiei. Le tipologie forestali che si ritrovano man mano che si sale di quota sono la pecceta secondaria montana, la pineta di pino silvestre mesalpica con abete rosso e la pineta di pino silvestre primitiva. Si riscontra anche abbondante presenza di faggio (*Fagus sylvatica* L.). La fascia inferiore è catalogata dal piano di assestamento come pecceta ed è adibita a funzione produttiva mentre quella superiore è catalogata come pineta, adibita quasi totalmente a funzione protettiva tranne che nella porzione sommitale in cui svolge funzione ambientale. Il bosco è sormontato da un ghiaione e da una fascia rocciosa attiva. La porzione inferiore è caratterizzata dalla presenza di un grande canale centrale, privo di copertura arborea, che divide due zone boscate (BETETTO, 2018).

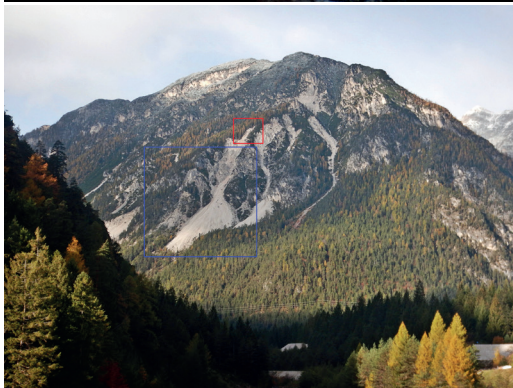
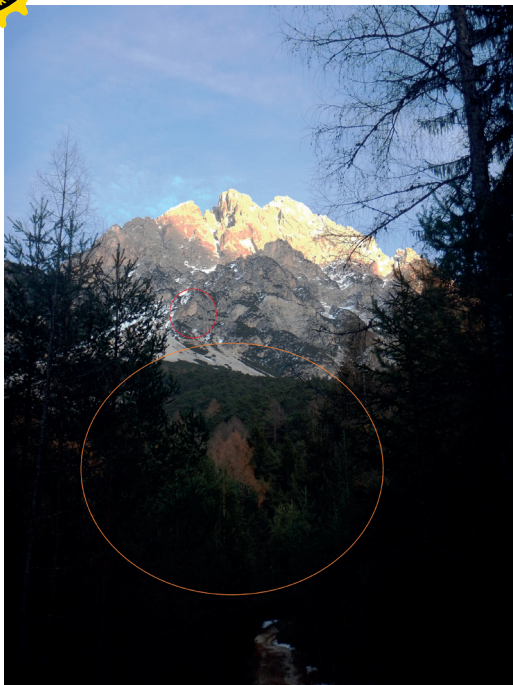


Figura 2. Siti oggetto di studio: sopra il pendio forestato di San Vito di Cadore (BL) sul monte Antelao (in rosso è cerchiata l'area sorgente, in giallo l'area di transito), sotto il bosco di Auronzo di Cadore (BL), sulla sinistra orografica del torrente Ansiei (in rosso cerchiata l'area sorgente, in blu la zona di scorrimento).

Rilievi in campo

I rilievi in campo hanno interessato sia la componente legata al pericolo (massi), che la componente che svolge la funzione di protezione (popolamento forestale). In una prima fase sono stati campionati tutti i massi presenti lungo i pendii all'interno

di transetti larghi 10 m e lunghi quanto l'area di studio, orientati secondo la linea di massima pendenza. Per ogni masso sono state registrate la posizione, le dimensioni, la forma, la causa d'arresto, la specie dell'eventuale pianta che lo ha arrestato e il relativo diametro a petto d'uomo. Sono stati esclusi i massi aventi tutte e tre le dimensioni inferiori a 50 cm.

Nella seconda fase sono stati eseguiti i rilievi a carico della componente forestale all'interno di 10 aree di saggio circolari (raggio=12 m) in entrambe le aree di studio. I parametri dendrometrici rilevati hanno considerato solo gli alberi aventi diametro a petto d'uomo superiore a 7.5 cm in quanto al di sotto di questa soglia in popolamenti ad alto fusto l'effetto di protezione è trascurabile (DUPIRE *et al.* 2016b).

Sono stati registrati i seguenti parametri: posizione del centro (coordinate GPS), la specie, diametro a petto d'uomo (cm), e altezza (m) di ogni albero, tipo di suolo, fattore MOH (Mean Object Height - parametro di rugosità del suolo). Il parametro MOH, definito anche come valore RG, rappresenta l'altezza dell'ostacolo medio che il masso incontra lungo il pendio nel 70%, 20% e 10% dei casi. Il tipo di suolo infine è un parametro che varia da 0 (specchi d'acqua) a 7 (molto duro, roccia o cemento) ed è importante poiché influenza notevolmente l'energia dissipata durante la dinamica di rimbalzo del masso (DORREN, 2015).

Analisi dati – Quantificazione dell'effetto protettivo

I dati raccolti in campo sono stati utilizzati per quantificare l'effetto protettivo della foresta, adottando due approcci differenti.

Un primo approccio, il più semplice, consiste nel calcolo dell'area basimetrica cumulativa (*Cumulative Basal Area - CbA*). Questo è un vero e proprio indicatore del livello di protezione dalla caduta massi e integra le informazioni di lunghezza del pendio, diametro medio e densità del

popolamento. Viene calcolata come (eq. 1) (moos *et al.*, 2017):

$$CbA = \frac{rbA \times fL}{100} \quad (1)$$

dove CbA è espresso in m²/ha, rbA è l'area basimetrica (m²/ha) e fL è la lunghezza (m) del pendio forestato.

Più la CbA è elevata, maggiore sarà l'effetto di riduzione dell'energia cinetica dei massi causata dal popolamento forestale. Valori di 20 m²/ha sono considerati il minimo accettabile (FUHR *et al.* 2015) anche se per proteggere in maniera efficace da massi di grandi dimensioni (>1 m³) è richiesto un valore di CbA di 80 m²/ha (MOOS *et al.*, 2017).

Il secondo approccio adottato è invece più articolato: consiste nell'utilizzo del software di simulazione di caduta massi Rockyfor3D (DORREN *et al.* 2015). Questo è un modello di simulazione che calcola la traiettoria di caduta nelle tre dimensioni (3D) per i singoli blocchi rocciosi. Il modello combina algoritmi deterministici con approcci stocastici; ciò contribuisce a fare di Rockyfor3D un modello fisicamente basato, per quanto riguarda la descrizione dei processi di caduta massi, e probabilistico, in quanto, date le incertezze connesse alla determinazione dei parametri, questi sono determinati in maniera stocastica, facendoli variare entro un intervallo di valori plausibili. Rockyfor3D può essere usato per simulazioni di caduta massi su scala regionale, su scala locale e di versante. Il software necessita minimo di 12 file raster in input, relativi alle caratteristiche del versante ed alla struttura forestale presente: un raster relativo al modello digitale del terreno (DTM), 3 raster relativi alle reti di protezione con funzione di checkpoint, un raster relativo al tipo di suolo, 3 raster relativi alla rugosità del suolo, 4 raster relativi al popolamento forestale (numero di piante, diametro medio, deviazione standard del diametro, percentuale di conifere). I dati relativi alle

caratteristiche dei massi in caduta che si vogliono simulare possono essere inseriti manualmente o eventualmente tramite raster dedicati (DORREN, 2015).

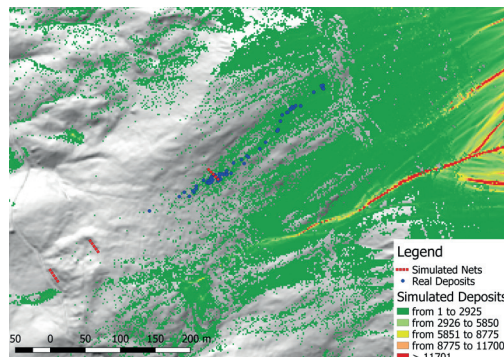
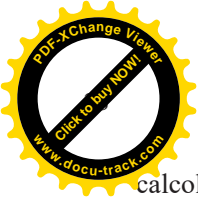


Figura 3 - Esempio di simulazione con il software Rockyfor3D, sito di San Vito di Cadore (Costa, 2018)

In via conservativa, nelle due aree di studio, per ogni cella sorgente, è stata simulata la caduta di 10000 massi aventi le dimensioni medie rilevate in campo, pari a 0.9 x 0.7 x 0.5 m sia ad Auronzo che a San Vito, o unitarie (1 x 1 x 1 m). I raster in input derivano dai dati rilevati in campo e spazializzati tramite interpolazione lineare IDW (Inverse Distance Weighting) considerando anche la quota, risultata essere la variabile spazializzata più correlata alle caratteristiche dei popolamenti forestali. È stato considerato sia lo scenario in assenza di foresta che in presenza di essa, posizionando lungo il pendio una serie di barriere di calcolo, a livello delle quali il programma restituisce una serie di statistiche relative al passaggio dei massi. Questi dati vengono utilizzati per confrontare gli scenari e valutare l'effetto protettivo della foresta in relazione alle dimensioni del masso, operazione svolta tramite il calcolo di 3 indici di protezione di recente sviluppo (DUPIRE *et al.*, 2016b). Il primo indice, il più semplice e intuitivo, è il BARRIER INDEX (BARI) che considera la frequenza del fenomeno, quantificando l'effetto di riduzione del numero di passaggi di massi in un determinato punto. Viene



calcolato come (eq. 2):

$$BARI(x) = 100 \times \left(1 - \frac{Nrock_{Forest}(x)}{Nrock_{NoForest}(x)} \right)$$

(2)

Dove $Nrock_{Forest}$ e $Nrock_{NoForest}$ rappresentano il numero di massi che oltrepassano il punto (x) rispettivamente nel caso di pendio boscato e non boscato.

Il secondo, il Maximum Intesity Reduction Index (MIRI) considera invece l'intensità del fenomeno, quantificando l'effetto di riduzione dell'energia cinetica raggiunta dal masso. Viene calcolato come (eq. 3):

$$MIRI(x) = 100 \times \left(1 - \frac{E95_{Forest}(x)}{E95_{NoForest}(x)} \right)$$

(3)

dove $E95_{Forest}$ e $E95_{NoForest}$ rappresentano il 95° percentile dell'energia cinetica raggiunta dai massi al punto (x), rispettivamente nel caso di pendio boscato e non boscato.

Questi due indici forniscono un'informazione oggettiva riguardo al rischio in termini di frequenza e intensità del fenomeno e trovano utilizzo in ingegneria forestale per valutare l'utilità di opere di protezione complementari rispetto alla foresta, ma presentano dei limiti.

Per ovviare a questo, dalla loro combinazione si ottiene il terzo indice, l'Overall Rockfall Protection Index (ORPI), che integra l'informazione della frequenza con quella dell'intensità, considerando la somma dell'energia cinetica di tutti i massi che transitano per il punto (x). Viene calcolato come (eq. 4):

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

(4)

dove $\sum_{i=1}^n Forest E_i$ e $\sum_{k=1}^n NoForest E_k$ rappresentano la sommatoria dell'energia cinetica dei massi che transitano nel punto (x), rispettivamente in un pendio boscato e non boscato. L'ORPI è un indice molto utile in ambito prettamente forestale per quantificare il grado di protezione complessivo esercitato dalla foresta (DUPIRE *et al.*, 2016b). Tutti e tre gli indici possono presentare valori compresi tra 0 (effetto nullo) e 100 (effetto massimo). Nel caso dell'ORPI sono state definite delle soglie di protezione: bassa per valori inferiori a 50, media per valori compresi tra 50 e 90 e alta per valori superiori a 90. Per poter valutare l'accuratezza delle simulazioni, è stata confrontata la posizione dei depositi simulati con quelli reali. È stata perciò calcolata la probabilità di deposito (P_{dep}) in ogni cella dell'area di studio come segue:

$$P_{dep} = \frac{N_{dep}}{(Ns \times 10000)} \times 100$$

(5)

dove N_{dep} è il numero di depositi in una determinata cella e Ns è il numero di celle sorgente che la alimentano.

È stato definito casualmente, per 19 volte, un numero di depositi fittizi pari al numero di massi reali campionati e sono stati confrontati i valori di probabilità di deposito tramite test statistico non parametrico di Mann-Whitney U. Il raster P_{dep} andrà ad indicare le aree dove i depositi sono più probabili; ci si aspetta dunque che i depositi reali risultino in prossimità o all'interno di aree con probabilità di deposito elevata.



I rilievi condotti sulle due aree di studio hanno permesso di registrare le attività di caduta massi più recenti, nel transetto di Auronzo sono stati misurati 75 massi (167 massi/ha) mentre nel sito di San Vito i blocchi campionati sono stati 82 (152 massi/ha).

I depositi puntuali recenti nella zona di transito sono stati generati per il 30% dei casi dall'arresto contro una pianta, un altro 30% dei massi si è fermato su altri massi caduti in precedenza, e il restante 40% si è arrestato per esaurimento di energia cinetica (normal stop). L'area di studio di San Vito di Cadore presenta valori di CbA elevati (230 m²/ha), superiore a quella rilevata nel sito di Auronzo (170 m²/ha). Entrambi i valori superano abbondantemente la soglia indicata in bibliografia per una protezione ottimale di 80 m²/ha (MOOS *et al.*, 2017).

Le simulazioni condotte con Rockyfor3D sono state successivamente elaborate tramite software GIS e alcuni esempi sono rappresentati nelle figure 4 e 5. I risultati riguardanti i depositi simulati sono stati mappati insieme alle posizioni dei massi rilevati in campo.

Figura 4 - Massi campionati e massi simulati dal software Rockyfor3D. Sotto immagine relativa al sito di Auronzo di Cadore, in alto a destra immagine relativa al sito di San Vito di Cadore (BETETTO *et al.*, 2019)

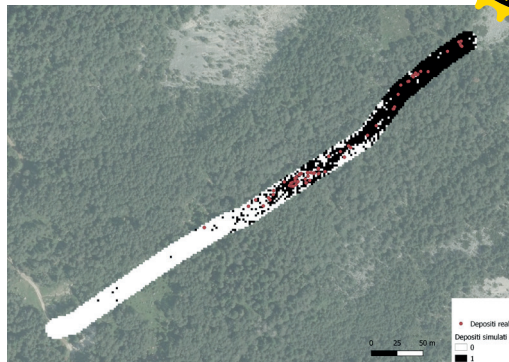
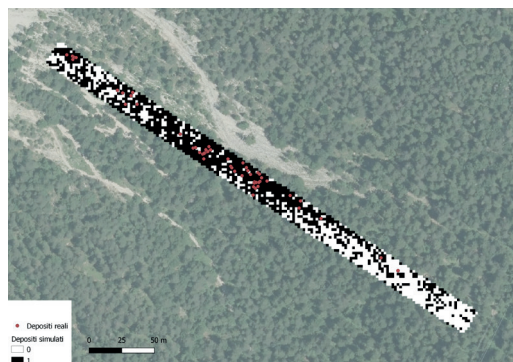
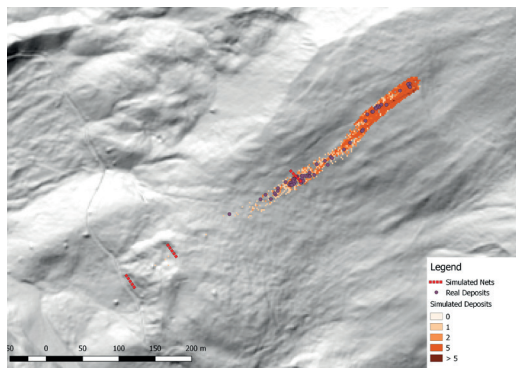
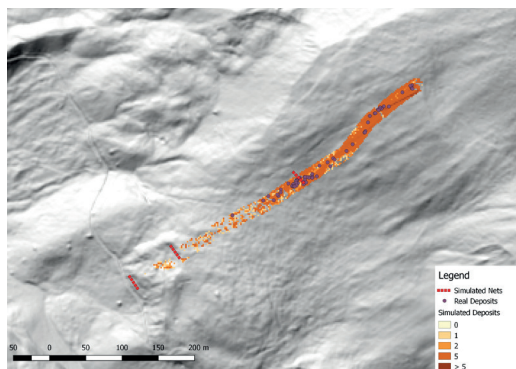


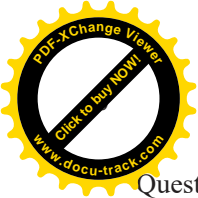
Figura 5 - Output di simulazione con Rockyfor3D relativa al sito di San Vito di Cadore, risoluzione dei raster 2x2m. In rosso sono indicati le reti simulate, utilizzate come checkpoint per valutare i valori degli indici lungo il transetto (COSTA, 2018).



Simulazione senza foresta



Simulazione con foresta



Queste simulazioni hanno permesso di valutare con più precisione la funzione protettiva, grazie a dei checkpoint a diverse distanze sui transetti e grazie all'osservazione degli indici BARI, MIRI ed ORPI. Complessivamente entrambi i siti di studio sono risultati altamente protettivi, con valori di ORPI alla fine del pendio forestato superiori a 90.

Inoltre, all'interno dei siti è stato possibile osservare l'andamento dei valori di BARI, MIRI ed ORPI a seconda dei checkpoint considerati. Ne è emerso il ruolo chiave giocato dalla lunghezza del versante e dalle caratteristiche geomorfologiche del sito: a San Vito nello scenario peggiore (masso di dimensioni unitarie e forma sferica) dopo 240 m si ha un valore di ORPI pari a 95, il bosco risulta già altamente protettivo. A 450 m aumenta a 99.99 e mantiene tale valore anche a 540m.

Utilizzando le dimensioni medie del masso, misurate in campo e pari a 0.9/0.7/0.5 m, sempre considerando le dimensioni unitarie del masso il primo checkpoint a 240 m segnala un valore di ORPI pari a 92, i seguenti due checkpoint presentano un ORPI di 100

Ulteriori informazioni sulla dinamica di interazione tra versante forestato e fenomeno di caduta massi sono state fornite dalla rappresentazione grafica dei risultati delle simulazioni. Ad Auronzo risulta chiaro il ruolo di un canalone, posizionato al centro dell'area, quale collettore per i massi: la traiettoria dei blocchi in caduta ne è fortemente influenzata.

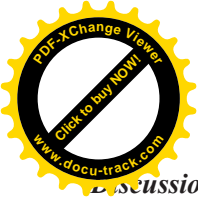
Per quanto riguarda l'affidabilità delle simulazioni si è osservato come i raster delle probabilità di deposito prodotti risultano confrontabili con i dati rilevati in campo, già ad una prima osservazione tramite GIS le simulazioni risultano attendibili. I test di Mann-Whitney U sono risultati significativi per entrambe le aree di studio anche variando la risoluzione dei raster, validando dunque l'accuratezza degli output del software.

Lunghezza del versante	BARI	MIRI	ORPI	Classificazione
240	94,87	2,77	95,11	Protettività alta
450	99,98	66,45	99,98	Protettività alta
540	99,98	79,51	99,99	Protettività alta

Tabella 1 - Variazione dei valori di ORPI nello scenario più conservativo, ossia dimensioni unitarie del masso, risoluzione dei raster di 2x2m, dati relativi all'area di studio di San Vito di Cadore

Lunghezza del versante	BARI	MIRI	ORPI	Classificazione
240	92,03	9,84	91,99	Protettività alta
450	100	100	100	Protettività alta
540	100	100	100	Protettività alta

Tabella 2 - Variazione dei valori di ORPI con dimensioni del masso reale, risoluzione dei raster di 2x2m, dati relativi all'area di studio di San Vito di Cadore



Discussione

In entrambi i siti analizzati è risultato essere rilevante l'effetto di mitigazione svolto dalla presenza della foresta nei confronti della caduta massi.

Il fattore principale che influenza la funzione protettiva è la lunghezza del versante, entrambi i siti infatti risultano avere un pendio boscato di gran lunga superiore alla lunghezza minima indicata in letteratura: più di 500 m per entrambi quando il valore minimo efficace è 250 m (LINGUA *et al.*, 2020).

L'utilizzo del solo valore di CbA può presentare alcune limitazioni. Tale indice ha infatti il vantaggio di essere speditivo e di fornire una prima indicazione generale sulla efficacia della funzione protettiva, ma non fornisce alcun tipo di informazione sull'interazione tra bosco e caduta massi. Utilizzando sistemi più completi come il software Rockyfor3D, si possono ottenere indicazioni più dettagliate soprattutto con una informazione spaziale, assente nel caso del CbA. Questo indice, infatti, si limita a quantificare l'area basimetrica delle piante che potenzialmente possono intercettare le traiettorie dei blocchi in caduta, senza nessun riferimento alla morfologia del versante o alla struttura del popolamento forestale, informazioni molto importanti anche da un punto di vista gestionale.

Gli indici BARI, MIRI ed ORPI hanno confermato l'indicazione fornita dal CbA, cioè che in entrambi i siti i popolamenti forestali risultano fornire una efficace protezione contro la caduta massi. Questi indici hanno allo stesso tempo permesso di valutare il ruolo svolto dalle due foreste sia a livello qualitativo che quantitativo (BETETTO *et al.*, 2019).

Utilizzando dati georiferiti in ambiente GIS, è stato possibile osservare l'andamento del valore di ORPI in funzione della lunghezza del versante. I diversi checkpoint posizionati nelle simulazioni per il sito di

San Vito di Cadore evidenziano come già dopo 240 m il valore di questo indice sia molto elevato. Ad Auronzo di Cadore si osserva invece una protezione intorno al 70-75% dopo primi 150 m di pendio, la quale sale al 99% dopo circa 300 m. Al termine del transetto oggetto di studio la protezione è pressoché totale.

Il raster relativo alla probabilità di deposito è risultato di grande interesse, già la rappresentazione grafica tramite GIS è molto efficace per valutare speditivamente il grado di accuratezza delle simulazioni: la posizione dei depositi reali non dovrebbe differire molto da quella dei simulati.

Questa metodologia risulta particolarmente interessante nella valutazione della funzione di protezione svolta da un versante forestato in seguito a disturbi naturali, è infatti sufficiente modificare i parametri di input del software per aggiornare gli indici (es. ORPI). Un primo esempio lo si può ricavare dal caso studio di San Vito di Cadore. Il sito è infatti stato colpito dal 2005 da varie pullulazioni di *Ips acuminatus* e lungo il versante sono ancora presenti delle aperture nella copertura forestale dovute ai tagli fitosanitari effettuati negli anni seguenti (FACCOLI *et al.*, 2010). Questa variazione della copertura è stata considerata dal software in quanto riportata nei raster creati relativi al popolamento forestale. Volendo simulare più dettagliatamente uno scenario simile si dovrebbe inoltre tenere in considerazione anche il ruolo della necromassa che rimane in seguito al disturbo, operazione possibile all'interno di Rockyfor3D agendo sui valori di rugosità superficiale (i valori di MOH).

Un'altra possibile applicazione di questa metodologia in cui può risultare interessante variare i dati di rugosità del suolo può essere lo studio delle foreste di protezione colpite dalla tempesta Vaia.

In bibliografia è possibile trovare studi effettuati in Svizzera relativi al monitoraggio di diverse foreste di protezione interessate

dalla tempesta Vivian del 1990 (es. WOHLGEMUTH *et al.*, 2017). Questi studi analizzano a distanza di anni diverse scelte gestionali confrontandole con le classiche operazioni di sgombero (*salvage logging*) ponendo particolare attenzione all'effetto sulla funzione protettiva, concentrandosi in particolare su valanghe (RAMMIG *et al.*, 2006) e caduta massi. L'esperienza svizzera ha portato in evidenza come la non rimozione del materiale legnoso sia preferibile nei siti in cui la pendenza e i fattori ambientali rendono il pericolo di valanghe o caduta massi prioritario rispetto alla funzione produttiva o paesaggistica delle particelle forestali (fig.5). Il materiale a terra va infatti ad aumentare fortemente il fattore di rugosità del suolo, parametro che risulta avere un ruolo chiave nella riduzione dell'attività di caduta massi, ma con una durata limitata agli anni immediatamente successivi all'evento di disturbo, a causa del deterioramento della necromassa.

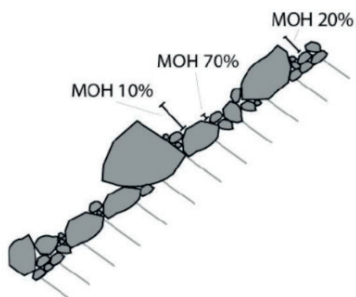
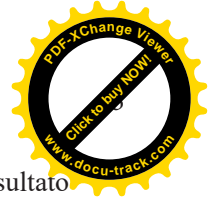
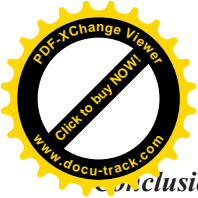


Figura 6. Esempio di Mean Obstacle Height (MOH), parametro di valutazione di rugosità del terreno. La presenza di necromassa a terra va ad aumentare sensibilmente questo parametro.

Stimando una rugosità media di mezzo metro, con valori massimi di un metro è stimabile che il rotolamento o lo scivolamento di un masso si arresti per esaurimento dell'energia cinetica rapidamente, difficilmente i blocchi inoltre riuscirebbero a raggiungere la velocità massima di caduta, aumentando l'efficacia di piante ancora in piedi o di infrastrutture paramassi.

Un altro sito sperimentale del progetto RockTheAlps, situato sempre in provincia di Belluno (Colle Santa Lucia) risulta particolarmente interessante sotto questo aspetto. L'efficacia del bosco di protezione da caduta massi di Col Cuc, presso il Monte Pore, è stata valutata con una metodologia simile a quella di questo studio, implementata con strumenti di telerilevamento (BETTELLA *et al.*, 2018) appena prima della tempesta Vaia. La possibilità di creare nuovi raster relativi ai valori di MOH considerando le piante schiantate permette di ripetere le simulazioni e fornire risultati interessanti, quantificabili tramite l'indice ORPI, in modo tale da poter confrontare la situazione pre-disturbo con la protezione attuale e delineare delle strategie di gestione mirate e basate sulle specificità del sito (LINGUA *et al.*, 2020).

In questi casi Rockyfor3D si rivela come strumento più indicato per l'osservazione di come la funzione protettiva può variare in funzione dei disturbi, tenendo conto delle caratteristiche sia geomorfologiche che del soprassuolo forestale. L'altro indice presentato, la CbA, non risulta consona in quanto non solo non considera come parametro la rugosità del suolo, ma come precedentemente illustrato non fornisce alcuna informazione specifica di tipo spaziale.



Conclusioni

Le foreste alpine svolgono una importante funzione di protezione da fenomeni gravitativi quali valanghe e caduta massi, questo studio nello specifico rappresenta un contributo alla comprensione dell'interazione bosco-caduta massi.

Nel caso della caduta massi esistono diverse metodologie per quantificare l'efficacia di tale funzione, in modo da poter applicare differenti scelte gestionali mirate ad una conservazione di questo servizio ecosistemico nel tempo, considerando anche possibili variazioni dovute a disturbi naturali.

L'indice CbA è un buono strumento speditivo per valutare il grado di protezione fornito da una foresta in cui si è registrata attività di caduta massi e può fornire indicazioni operative di massima utili a fini gestionali. Questo indice non prende però in considerazione due fattori molto importanti: i cambiamenti di pendenza e la rugosità del terreno, inoltre non fornisce alcuna indicazione di tipo spaziale sul risultato finale.

Rockyfor3D consente di analizzare più dettagliatamente l'interazione foresta/caduta massi permettendo di osservare gli effetti dei cambi di pendenza, di zone sorgente secondarie e di variazione di rugosità del terreno. Fornisce informazioni anche spaziali e dipendenti dalla morfologia del versante, ad esempio l'influenza del canale centrale nell'area studio di Auronzo di Cadore. Il software permette inoltre di simulare l'effetto di diversi disturbi naturali, quali pullulazioni di bostrico o schianti da vento. Un campo di interesse dove applicare questo strumento può essere la simulazione di scivolamenti e rotolamenti di massi su aree schiantate, a seguito della tempesta Vaia.

Il raster che evidenzia la probabilità di deposito è stato pensato come strumento mirato per controllare l'accuratezza delle

simulazioni effettuate, dando un risultato relativamente alla precisione dei dati di output. Può essere utilizzato in modo speditivo tramite semplice confronto visivo, o più rigorosamente applicando una metodologia statistica che prende in considerazione i depositi dei massi misurati in campo e i depositi dei massi simulati dal software.

I risultati ottenuti possono infine rivelare quali possono essere le priorità gestionali dei due siti presi in esame.

Ringraziamenti

Si ringraziano Matthew Louis Higgs per l'aiuto fornito durante i rilievi e tutti i partner del progetto RockTheAlps.

Il presente studio è stato reso possibile grazie ai finanziamenti della Commissione Europea nell'ambito del Programma Transnazionale di Cooperazione Territoriale Europea – Spazio Alpino (project ASP462 RockTheAlps).

BIBLIOGRAFIA

BETTELLA F, BOLZON P, BELCORE E, GRASSO N, MASCHIO P, PIRAS M, LINGUA E, 2018. *Applicazione di tecniche di telerilevamento per la caratterizzazione delle foreste di protezione: il caso studio del Monte Pore* (Colle Santa Lucia, BL). ATTI 22a Conferenza Nazionale ASITA. 159-166.

BETETTO C., 2018. *Foreste e caduta massi: simulazioni 3D per la valutazione del ruolo protettivo di un popolamento ad Auronzo di Cadore (BL)*. Tesi di laurea. Università degli Studi di Padova.

BETETTO C., COSTA M., ZENI F., HIGGS M.L., LINGUA E. 2019. *Foreste di protezione dalla caduta massi. Simulazioni per la stima dell'effetto protettivo di tre foreste alpine. Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi*, 243: 11-14.

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 della regione Alpina. *Sherwood* - Foreste ed Alberi Oggi, 232: 17-19.

BRANG, P., SCHONENBERGER, W., FREHNER, M., SCHWITTER, R., THORMANN, J.J., AND WASSER, B. 2006. *Management of protection forests in the European Alps: An overview*. For. Snow Landsc. Res. 80: 23-44.

COSTA M., 2018. *Foreste e caduta massi: simulazioni 3D per la valutazione del ruolo protettivo di un popolamento a San Vito di Cadore (BL)*. Tesi di laurea. Università degli Studi di Padova.

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., AND CURT, T. 2016a. *The protective effect of forests against rockfalls across the French Alps: Influence of forest diversity*. For. Ecol. Manage. 382: 269-279.

DUPIRE, S., BOURRIER, F., MONNET, J.M., BIGOT, S., BORGNIET, L., BERGER, F., AND CURT, T. 2016b. *Novel quantitative indicators to characterize the protective effect of mountain forests against rockfall*. Ecol. Indic. 67: 98-107.

FACCOLI, M., COLOMBARI, F., DAL PONT, C., FINOZZI, V., D'AMBROS, E., AND BATTISTI, A. 2010. *Large outbreaks of Ips acuminatus in Scots pine stands of the Italian Alps*. For. - Riv. di Selvic. ed Ecol. For. 7(1): 259-267.

FREHNER, M., WASSER, B., SCHWITTER, R. 2005 *Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemaßnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion*. FOEN, Bern 564 p.

FUHR, M., BOURRIER, F., AND CORDONNIER, T. 2015. *Protection against rockfall along a maturity gradient in mountain forests*. For. Ecol. Manage. 354: 224-231. Elsevier B.V.

LINGUA, E., MARZANO, R., BERGER, F. 2017. *Protection forests and their management: an overview*. In: Tognetti, R., Scarascia Mugnozza, G., Hofer, T. Mountain Watershed and Ecosystem Services: Balancing multiple demands of forest management in head-watersheds, EFI Technical Report, Joensuu, pp 115 – 122.

LINGUA, E., BETTELLA, F., PIVIDORI, M., MARZANO, R., GARBARINO, M., PIRAS, M., KOBAL, M., AND BERGER, F. 2020. *The Protective Role of Forests to Reduce Rockfall Risks and Impacts in the Alps Under a Climate Change Perspective*. Clim. Chang. Manag.: 333-347.

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.

MOTTA, R., AND HAUDEMAM, J.-C. 2000. *Protective Forests and Silvicultural Stability*. Mt. Res. Dev. 20(2): 180-187.

RAMMIG, A., FAHSE, L., BUGMANN, H., AND BEBI, P. 2006. *Forest regeneration after disturbance: A modelling study for the Swiss Alps*. For. Ecol. Manage. 222(1-3): 123-136.

SCHÖNENBERGER, W., NOACK, A., AND THEE, P. 2005.

Effect of timber removal from windthrow slopes on the risk of snow avalanches and rockfall. For. Ecol. Manage. 213(1-3): 197-208.

WOHLGEMUTH, T., SCHWITTER, R., BEBI, P., SUTTER, F., AND BRANG, P. 2017. *Post-windthrow management in protection forests of the Swiss Alps*. Eur. J. For. Res. 136(5-6): 1029-1040. Springer Berlin Heidelberg.

WEHRLI, A., AND DORREN, L. 2013. *Protection forests: A key factor in integrated risk management in the Alps*. In: Renaud, F.G., Sudmeier-Rieux, K., Estrella, M. (ed.) The role of ecosystems in disaster risk reduction. UNU Press, Tokyo, pp 321-342.

Maximiliano Costa

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali (TESAF) – Università degli Studi di Padova, maximiliano.costa@phd.unipd.it

Claudio Betetto

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali (TESAF) – Università degli Studi di Padova, claudio.betetto@unipd.it

Fabio Zeni

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali (TESAF) – Università degli Studi di Padova, fabiozeni92@hotmail.it

Emanuele Lingua

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali (TESAF) – Università degli Studi di Padova, emanuele.lingua@unipd.it

PAROLE CHIAVE: servizi ecosistemici, funzione protettiva, area basimetrica cumulata

RIASSUNTO

Tra i diversi servizi ecosistemici che le foreste dell'arco alpino forniscono, risulta essere particolarmente importante la funzione di protezione nei confronti dei pericoli naturali, quali valanghe e caduta massi. Per conservare e massimizzare questa specifica funzione, la gestione forestale deve essere mirata e raggiungere particolari



...civi strutturali, per cui è fondamentale l'individuazione e l'analisi delle foreste di protezione. Il presente studio, condotto in due aree delle dolomiti bellunesi, analizza la funzione protettiva svolta da popolamenti forestali in cui è presente e attivo il fenomeno della caduta massi. Sono state applicate due diverse metodologie di analisi. Il primo approccio è basato sul calcolo della Cumulative Basal Area (CbA), indice dell'area basimetrica cumulata. Questo indice integra le informazioni di lunghezza del pendio boscato, diametro medio del popolamento forestale e densità dello stesso. Il secondo approccio è basato su simulazioni effettuate tramite l'utilizzo del software Rockyfor3D, dai cui output sono stati calcolati tre indici che quantificano l'effetto protettivo dei popolamenti forestali (BARI, MIRI ed ORPI). Le due aree di studio sono risultate altamente protettive con entrambe le metodologie. Tuttavia i due approcci confrontati hanno fornito informazioni differenti, evidenziando le potenzialità del secondo metodo. Potendo implementare nelle simulazioni dati spazializzati sulle condizioni di rugosità superficiale e della topografia, così come la presenza di necromassa a terra, l'applicabilità di Rockyfor3D risulta interessante per valutare gli impatti di diversi disturbi naturali sul ruolo protettivo

KEY WORDS: *ecosystem services, protective role, Cumulative Basal Area*

ABSTRACT

Alpine forests provide different ecosystem services, one of them is the protective role against natural hazards, mainly avalanches and rockfall. This role is becoming increasingly important and consequently the forest management has to be aimed to its maintenance and improving. This research has been developed in two different areas of Belluno's dolomites and it is targeted to the quantification of the protective role played by two forests where rockfall activity was detected. Two different methodologies were applied. The first approach considers the computation of the Cumulative Basal Area (CbA) index. This index combines information from the forested slope length, the mean DBH of the forest stand and its density. The latter approach is based on the use of the software Rockyfor3D. Moreover this approach is integrated with the computation of three indexes which are aimed to the quantification of the protective role played by the forest stand (BARI, MIRI and ORPI). The two study areas appear to be highly protective according to both the approaches. However, the two approaches provided different outputs, underlining the potential of the second method. The possibility of changing the parameters of soil roughness or topography makes Rockyfor3D a suitable software for the evaluation of the impact of different natural disturbances on the protective role of alpine forests.