

Valutazione
della Vulnerabilità
e introduzione
della Matrice
Continua Lombarda

dalla

PERICOLOSITÀ

al

RISCHIO

VALANGHE

**Ismaele Quinto Valsecchi,
Alessandro Cucchi e
Samuel Hagos**

Centro Funzionale della Regione
Lombardia, Sala Operativa
di Protezione Civile, Milano
(L.I. S.p.A., BV-TECH Progesi)
cfmr@protezionecivile.regione.lombardia.it

La metodologia proposta e qui descritta consiste nella determinazione e applicazione del concetto di rischio valanghe, per supportare l'attività di allertamento del territorio da parte del Centro Funzionale di Regione Lombardia, a fini di protezione civile.

Rischio e pericolo non sono la stessa cosa e in Lombardia la valutazione compete a Enti distinti: ARPA NivoMeteo di Bormio valuta il pericolo, rappresentato dall'evento calamitoso che può colpire una certa area (causa); il Centro Funzionale di Regione Lombardia valuta il rischio, rappresentato dalle sue possibili conseguenze, cioè dal danno che ci si può attendere (effetto). Per prevedere concretamente un rischio, quindi, non è sufficiente conoscere il pericolo, ma occorre anche valutare attentamente il valore esposto, cioè i beni presenti sul territorio che possono essere coinvolti da un evento, e la loro vulnerabilità.

Per questo, il primo passo fondamentale è stato quello di definire una *funzione di vulnerabilità* o suscettibilità del territorio alle valanghe e da qui, mediante la *Matrice Continua Lombarda*, passare dal valore di pericolosità prevista a quello di rischio.



INTRODUZIONE

Il Centro Funzionale Monitoraggio Rischi di Regione Lombardia (CFMR) è la struttura titolare dell'attività di allertamento sul territorio lombardo in caso di eventi naturali prevedibili.

Per adempiere alle attività di previsione e allertamento, Regione Lombardia ha recepito le indicazioni della Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 27 febbraio 2004, con d.g.r. VII/21205 del 24.03.2005 e integrandole con d.g.r. IIX/8753 del 22.12.2008 (e ss.mm.ii.).

Il CFMR è costituito da una pluralità di strutture, in parte ubicate in ARPA Agenzia regionale per la protezione ambientale; la struttura che espleta l'attività finale dell'allertamento, che rientra nelle competenze e responsabilità dirette del Presidente di Regione è ubicata nella Unità Organizzativa di Protezione Civile di Regione Lombardia.

La direttiva regionale disciplina la procedura e le competenze di tutta la catena di allertamento, dal livello regionale a quello locale, comprese le attività necessarie alla gestione del rischio valanghe.

L'attività del CFMR consiste nel valutare, ai fini dell'attività di Protezione Civile, il livello di rischio valanghe sul territorio lombardo. La metodologia proposta utilizza un approccio innovativo, che permette una previsione sintetica e immediata per ogni zona omogenea, attraverso un operatore continuo di rischio, definito *Matrice Continua Lombarda Rischio Valanghe*. L'analisi condotta si è sviluppata per queste ragioni in 3 fasi:

1. Determinazione di una funzione *vulnerabilità comunale*;
2. Introduzione della *Matrice Continua Lombarda* per il calcolo del *rischio* in funzione della *vulnerabilità* del terri-

torio e della *pericolosità* del fenomeno prevista;

3. Creazione di uno strumento di analisi in grado di gestire le variabili associate alla pericolosità (quota, esposizione dei versanti) per ottimizzare la valutazione del rischio ai fini di Protezione Civile.

DETERMINAZIONE DELLA VULNERABILITÀ

Per valutare il Rischio Valanghe attraverso il metodo della *Matrice Continua Lombarda*, è stato necessario calcolare il *valore di vulnerabilità* per ogni comune. Analizzando il fenomeno e la sua evoluzione sul territorio, si è valutato che gli aspetti concorrenti alla vulnerabilità alle valanghe fossero raggruppabili in tre diverse tipologie associate alla presenza sul territorio di:

- superfici idonee al potenziale distacco (V_DIST);
- superfici potenziali di scivolamento/scorrimento (V_SCIV);
- elementi esposti (V_ESP).

La combinazione di questi tre valori restituisce un valore di Vulnerabilità continuo Totale (V_TOT) sull'intero territorio alpino-prealpino lombardo, definendo così la *funzione di vulnerabilità*.

Dati di input

Per la stima della *funzione vulnerabilità* si sono integrati dati provenienti da diverse fonti (cartografiche, storiche e normative), raccolte in un unico database. Nei paragrafi successivi si riportano i dettagli di questa attività.

Analisi cartografica

Le analisi spaziali e geostatistiche (GIS), effettuate sul DTM (*Digital Terrain Model*) della Lombardia con risoluzione a 20 m, hanno permesso di elaborare i seguenti tematismi cartografici:

- Mappa delle quote (> 700 m);
- Mappa delle inclinazioni (tra 27° e 50°);
- Mappa delle esposizioni dei versanti (nord, sud);
- Mappa delle curvature, differenziando le aree concave (curvatura < -0,2) dalle aree convesse (curvatura > 0,2). Per

Fig. 1 - Comune di Valdisotto (SO): sovrapposizione delle celle identificate come idonee al distacco, con esposizione nord (rosso) e sud (blu), con le valanghe perimetrate (CLPV).

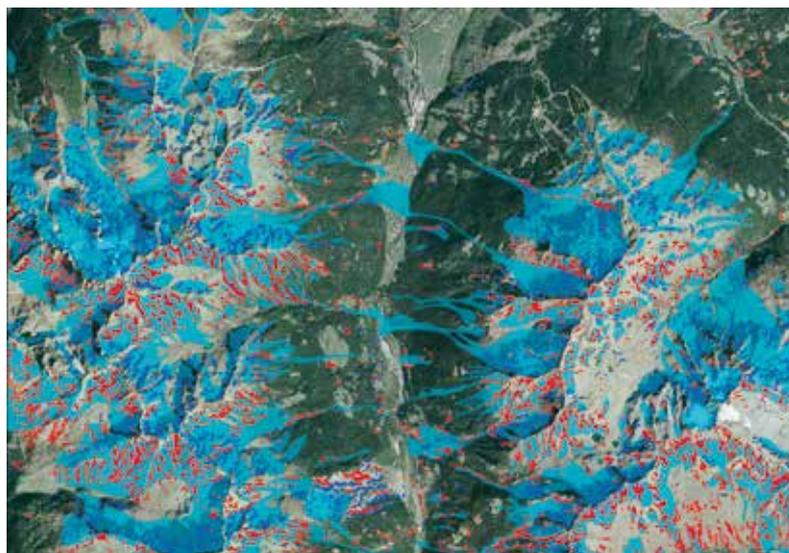


Fig. 2 - Comuni di Maccagno con Pino e Veddasca e di Curiglia con Monteviasco (VA): presenza di celle idonee al distacco con esposizione nord (rosso) e sud (blu), in assenza di studi e valanghe perimetrate (CLPV).



escludere valori dovuti a fattori non legati alla reale curvatura topografica, è stato utilizzato il DTM con risoluzione a 40 m.

Si sono elaborati tematismi composti, basati su una griglia congruente al DTM (20 m), ottenuti intersecando i dati precedenti, evidenziando così le aree a livello comunale in cui sono soddisfatte contemporaneamente le condizioni concorrenti alla definizione della Vulnerabilità.

L'analisi è stata ulteriormente dettagliata considerando l'uso del suolo. È stato utilizzato il DUSAF 4.0 (*Banca Dati di copertura e uso del suolo* di Regione Lombardia), sintetizzando le originarie 46 classi in sei gruppi (*bosco fitto, bosco rado, prati/pascoli, ghiaccio, suolo nudo/roccia, antropico*).

I primi 5 gruppi sono stati intersecati con i precedenti tematismi, mentre il sesto gruppo è stato intersecato con le *Carte di Localizzazione Probabile di Valanghe (CLPV)*, come in Figg. 1 e 2.

In Fig. 1 è visibile un esempio di buona corrispondenza tra le superfici calcolate come idonee al distacco valanghe e le valanghe storiche perimetrare in un'area campione del comune di Valdisotto (SO). In Fig. 2 è riportata l'area campione dei comuni di Maccagno con Pino e Veduggia e di Curiglia con Monteviasco (VA), scoperta dagli studi delle CLPV. Questo secondo caso è indicativo delle potenzialità del lavoro cartografico svolto, in quanto potrebbe essere utilizzato in ambito di pianificazione territoriale e di emergenza per l'individuazione di aree potenzialmente idonee al distacco valanghe da valutare in sede locale con sopralluoghi sul territorio. In questi due primi esempi non si sono considerate le superfici a bosco fitto, perché si è assunto che tale copertura impedisca la formazione e il distacco di valanghe. In ambito di pianificazione sarebbe opportuno però prendere in considerazione anche questi risultati. Infatti incendi boschivi, disboscamenti o modifiche dell'uso del suolo potrebbero portare all'eliminazione del patrimonio boschivo su aree che sono risultate potenzialmente idonee al distacco.



Fig. 3 - Comune di Ardesio (BG): individuazione dei punti idonei al distacco valanghe senza la copertura bosco fitto (celle rosse) e con copertura a bosco fitto (verde).

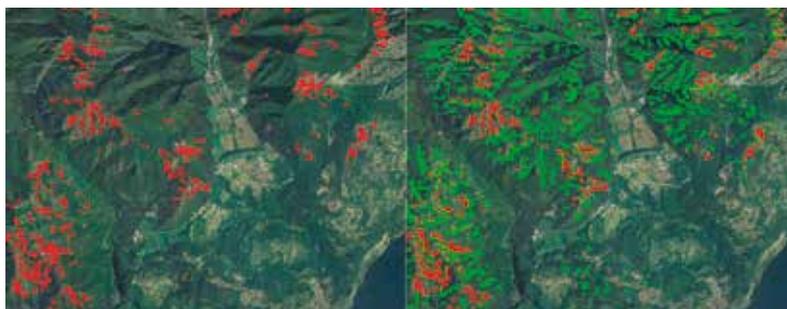


Fig. 4 - Comune di Tremosine (BS): individuazione dei punti idonei al distacco valanghe senza la copertura bosco fitto (celle rosse) e con copertura a bosco fitto (verde).

Nelle Figg. 3 e 4 si riportano due esempi di applicazione di questo concetto sul territorio dei comuni di Ardesio (BG) e Tremosine (BS), il primo con presenza di valanghe rilevate da CLPV e il secondo senza. In entrambi gli esempi è possibile notare l'aumento consistente delle superfici potenzialmente idonee al distacco.

Raccolta dati storici

Ad integrazione dei dati cartografici, si è operata un'ulteriore ricerca di dati utili da fonti diversificate.

Attingendo dalla Direttiva regionale sull'allertamento (d.g.r. n. lIX/8753 del 22.12.2008 e ss.mm.ii.), si sono raccolti il numero di località, tipologia e lunghezza dei tratti stradali interessati storicamente da eventi valanghivi o potenzialmente interessabili. Inoltre, analizzando il database "Incidenti da valanghe in Italia" pubblicato sul sito di AINEVA, sono stati estratti i dati di 269 valanghe registrate dal 1986 al gennaio 2015 sul territorio lombardo, discriminando tra valanghe registrate in alta montagna e valanghe che abbiano interessato centri abitati o vie di comunicazione.

Infine sono stati aggiunti 28 eventi estratti dal Registro di Sala Operativa della Protezione Civile della Regione Lombardia registrati dal 2003 ad oggi e 1 evento estratto dal sistema RASDA (Raccolta Schede Danni) di Regione Lombardia.

Metodo per la stima della vulnerabilità

L'analisi per la determinazione della *funzione vulnerabilità* è stata condotta su base comunale.

Per ognuno dei 476 Comuni ricadenti nelle zone omogenee di allerta per rischio valanghe sono state considerate 22 variabili, raggruppate in 5 diverse categorie:

- 12 variabili (Q_{dist_i}) connesse alle superfici potenziali di distacco e in funzione dell'esposizione dei versanti (nord, sud, tutte le esposizioni);
- 4 variabili Q_{sciv_j} connesse alla suscettibilità del territorio alle valanghe, considerando sia le superfici storicamente o potenzialmente interessate da valanghe, che il numero degli eventi registrati;
- 6 variabili Q_{esp_k} connesse con la presenza di elementi esposti sul territorio (superfici comunali ad uso antropico, numero di centri abitati, numero e lunghezza strade).

I valori comunali di ogni variabile sono stati normalizzati rispetto al valore massimo, così da essere omogenei e confrontabili, e poi aggregati sulla base dell'importanza ai fini di protezione civile: per ogni comune sono stati individuati 5 *indici di vulnerabilità*, rappresentativi delle 3 categorie in cui sono state raggruppate le variabili e in funzione dell'esposizione dei versanti ($i_{vn_{dist}}$, $i_{vs_{dist}}$, $i_{v_{dist}}$, $i_{v_{sciv}}$ e

$i_{V_{esp}}$ e 3 *indici globali* ($i_{Vn_{tot}}$, $i_{Vs_{tot}}$, $i_{V_{tot}}$) come combinazione dei 5 precedenti. Un primo risultato utile è stata l'individuazione di un gruppo di comuni con *indice di vulnerabilità* uguale a 0. Occorre tener presente che le analisi sono state condotte con i dati ad oggi a disposizione, che per alcune zone del territorio montano lombardo potrebbero non essere completi o approfonditi. Riscoprire

però che uno o più indici determinati per ciascun comune sia nullo, suggerisce che le caratteristiche topografiche/territoriali e/o gli elementi esposti non siano tali da determinare una vulnerabilità per quello specifico territorio.

Questo dato può tornare molto utile in fase di pianificazione, sia come rideterminazione dei confini delle zone omogenee rischio valanghe, sia come progettazione di eventuali interventi di mitigazione del rischio sul territorio.

Dai dati storici raccolti emerge inoltre che in Lombardia, negli ultimi 30 anni, gli eventi valanghivi si sono ripetuti in un numero limitato di comuni (specialmente in Alta Valtellina).

Per tenere conto in modo adeguato di questa tendenza e nello stesso tempo evitare di includere la maggior parte dei comuni in un'unica fascia con vulnerabilità bassa, si è ipotizzata una *funzione di vulnerabilità* che consideri che il valore comunale di vulnerabilità V cresca in modo logaritmico con l'*indice di vulnerabilità* i_v . La formula per la vulnerabilità totale V , considerando la totalità delle esposizioni dei versanti, valida per $i_v > e^{-3}$ (cioè circa $i_v > 0,05$), è:

$$V = 4 + \ln(\delta_{dist} i_{v_{dist}} + \delta_{sciv} i_{v_{sciv}} + \delta_{esp} i_{v_{esp}})$$

Indicizzando i 3 *indici di vulnerabilità*, si ottiene:

$$V = 4 + \ln\left(\sum_{z=1}^3 \delta_z \left(\sum_{i=1}^{N_i} \alpha_{z_i} q_{z_i}\right)_{norm}\right)_{norm}$$

Dove compaiono i termini:

q_{z_i} : variabili connesse alle superfici potenziali di distacco, alla suscettibilità del territorio alle valanghe e alla presenza di elementi esposti;

α_{z_i} : pesi associati alle variabili;

δ_z : pesi associati ai tre *indici di vulnerabilità*.

Per valori di $i_v > e^{-3}$ (cioè circa $i_v > 0,05$), la curva è considerata lineare e passante per l'origine degli assi.

Tab. 1 - Distribuzione dei comuni all'interno delle 5 classi discrete di vulnerabilità, considerando la totalità delle esposizioni dei versanti.

Classi di vulnerabilità	Numero di comuni			
	V_TOT	V_DIST	V_SCIV	V_ESP
0	69	70	199	331
1	333	294	226	74
2	50	72	41	49
3	30	40	16	29
4	7	13	7	6

Fig. 5 - Funzione di vulnerabilità.

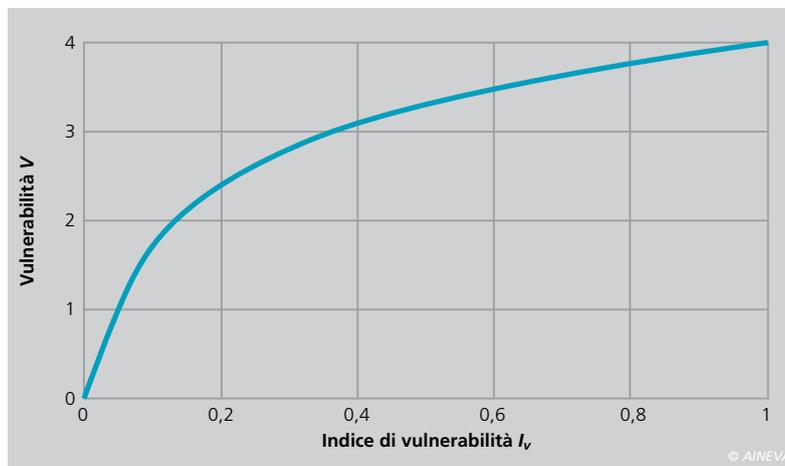
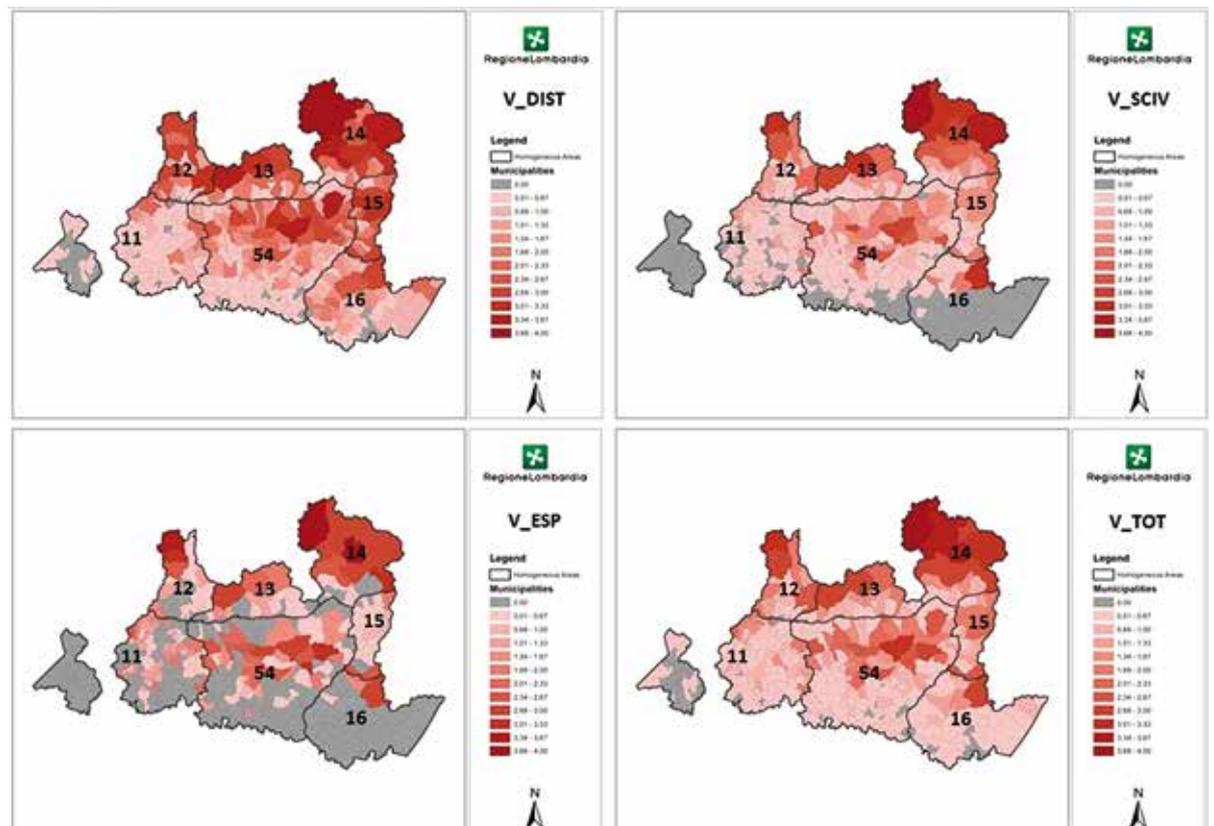


Fig. 6 - Mappe di vulnerabilità (V_DIST, V_SCIV, V_ESP e V_TOT).



Analogamente, le formule per le singole vulnerabilità v_{dist} (considerando la totalità delle esposizioni dei versanti), v_{sciv} e v_{esp} , valide per $i_v > e^{-3}$ (cioè circa $i_v > 0,05$), sono le seguenti:

$$V_{dist} = 4 + \ln i_{v_{dist}} = 4 + \ln \left(\sum_{j=1}^4 \alpha_{distj} q_{distj} \right)_1$$

$$V_{sciv} = 4 + \ln i_{v_{sciv}} = 4 + \ln \left(\sum_{j=1}^4 \alpha_{scivj} q_{scivj} \right)_1$$

$$V_{esp} = 4 + \ln i_{v_{esp}} = 4 + \ln \left(\sum_{j=1}^6 \alpha_{espj} q_{espj} \right)_{n\alpha}$$

Un importante vantaggio del metodo è che il *valore di vulnerabilità* è distribuito con continuità da 0 a 4 e tiene conto delle differenze tra le situazioni dei diversi territori comunali, ognuno con le proprie specificità.

Per dare un'idea della distribuzione del *valore di vulnerabilità* V dei comuni, questi sono stati raggruppati in 5 classi discrete (Tab. 1). I comuni con $i_v = 0$, sono stati raggruppati in un'unica classe (classe 0) e per essi non viene condotta l'analisi di rischio. Nelle *Mappe di vulnerabilità* create (Fig. 6), sono evidenziati in grigio i comuni con $V=0$, ovvero che indipendentemente dal criterio di classificazione scelto, con i dati utilizzati non risultano avere elementi di vulnerabilità sul proprio territorio. Questi comuni si concentrano soprattutto nella parte bassa delle aree omogenee 11, 54 e 16 (fascia prealpina inferiore) e nei fondovalle alpini e prealpini.

Occorre ricordare però che in alcune province non sono ancora state realizzate le CLPV e di conseguenza i risultati potrebbero risentire di questa disomogeneità.

Un esempio è rappresentato dal territorio della zona omogenea 16 (Prealpi bresciane), in cui pur in presenza di aree potenzialmente idonee al distacco e alla formazione di valanghe (V_{DIST}) le altre vulnerabilità risultano nulle. Come già accennato nel paragrafo relativo all'analisi cartografica condotta, sarebbe opportuno prevedere la possibilità di compiere indagini più approfondite, anche mediante sopralluoghi specifici, ricerche in archivi di dati storici o studi, per verificare la bontà delle analisi condotte su questi territori e reperire nuovi dati di validazione.

Viceversa, i comuni che risultano avere una vulnerabilità del territorio maggiore, si concentrano nella zona omogenea 14 (Alta Valtellina), 15 (Adamello) e nei comuni a quote più elevate della zona 12 (Valchiavenna), 13 (Media Valtellina e Valmalenco) e 54 (Orobie).

CALCOLO DEL RISCHIO VALANGHE: MATRICE CONTINUA LOMBARDA (LCM)

Ai fini di protezione civile, il rischio è rappresentato dalla possibilità che un fenomeno naturale o indotto dalle attività dell'uomo possa causare effetti dannosi sulla popolazione, gli insediamenti abitativi e produttivi e le infrastrutture, all'interno di una particolare area, in un determinato periodo di tempo. *Rischio* e *pericolo* non sono la stessa cosa e in Lombardia la valutazione compete a Enti distinti: ARPA NivoMeteo di Bormio valuta il *pericolo*, rappresentato dall'evento calamitoso che può colpire una certa area (causa); il Centro Funzionale di Regione Lombardia valuta il *rischio*, rappresentato dalle sue possibili conseguenze, cioè dal danno che ci si può attendere (effetto). Per valutare concretamente un *rischio*, quindi, non è sufficiente conoscere il *pericolo*, ma occorre anche stimare attentamente il valore esposto, cioè i beni presenti sul territorio che possono essere coinvolti da un evento, e la loro *vulnerabilità*.

Il *rischio* quindi è traducibile nella formula: $R = P \cdot V$

- $P = \text{pericolosità}$: probabilità che un fenomeno di una determinata intensità si verifichi in un certo periodo di tempo, in una data area.

- $V = \text{vulnerabilità}$: propensione dell'esposto a subire danneggiamenti in conseguenza delle sollecitazioni indotte da un evento di una certa intensità. Nel presente studio questo termine comprende anche il valore esposto.

Il *valore di pericolosità valanghe* P varia in modo discreto tra 1 e 5 e viene stimato per le aree omogenee lombarde da ARPA - Centro NivoMeteo di Bormio e dal Servizio Meteoromont (Corpo Forestale dello Stato /

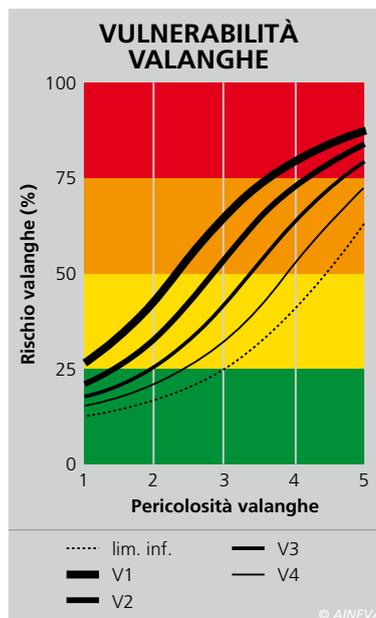


Fig. 7 - MATRICE CONTINUA LOMBARDA RISCHIO VALANGHE (LCM).

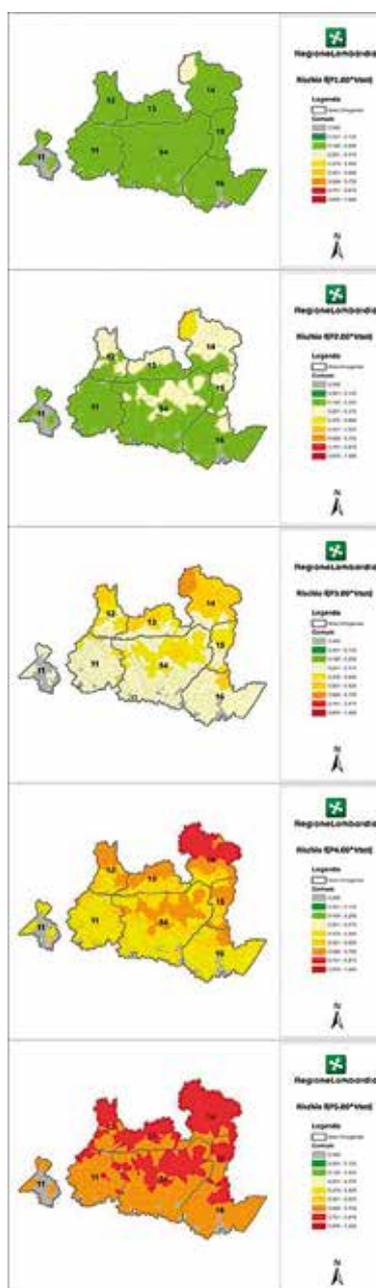


Fig. 8 - Mappe di Rischio con pericolosità crescente da 1 a 5.

Comando Truppe Alpine / Servizio Meteorologico AM). La previsione viene trasmessa al CFMR quotidianamente, sia come dato riferito alla situazione in corso sia come dato previsionale per i giorni successivi.

Rischio valanghe comunale

L'obiettivo è stato quello di definire un algoritmo che calcolasse il *valore di rischio valanghe R* su scala comunale: avendo a disposizione valori continui di vulnerabilità V e al fine di prevedere una possibile integrazione di valori continui di P , si è scelto di non utilizzare una semplice *matrice di rischio* (con un numero fisso e limitato di righe e colonne), ma di proporre un *operatore continuo di rischio* denominato *MATRICE CONTINUA LOMBARDA RISCHIO VALANGHE (LCM)*.

Questo operatore è stato tarato per rispondere alle esigenze di protezione civile e tiene conto del fatto che, in presenza di valori di vulnerabilità V maggiori di 0, il rischio R non assume mai valori nulli (rischio assente) o unitari (rischio certo).

Sono stati tarati i parametri di un fascio di curve monotone, sempre crescenti, concentrate agli estremi e che presentano una maggiore dispersione in corrispondenza dei valori medi di pericolosità ($2 < P < 4$). Questa caratteristica è stata studiata per rendere conto che:

- con valori estremi di pericolosità P (vicini a 1 o 5): il rischio R è determinato prevalentemente dal valore di P ;
- con valori intermedi di pericolosità P : il rischio R è determinato prevalentemente dal valore di V , ovvero dalla presenza (in ogni territorio comunale) di elementi esposti e/o di caratteristiche idonee del terreno al distacco/formazione di valanghe. Il valore R così ottenuto risulta essere di-

stribuito con continuità e, a seconda della P prevista sul territorio, varia per ciascun comune in funzione della propria specifica V . Il valore R inoltre è stato classificato sulla base della gravità, ottenendo una scala cromatica dal grigio al rosso, ovvero dai valori nulli a quelli di rischio più elevato. In dettaglio:

- *Livello di criticità GRIGIO o ASSENTE* ($R = 0$): non sussistono le condizioni necessarie al manifestarsi del rischio;
 - *Livello di criticità VERDE o TRASCURABILE* ($0 < R < 0,25$): corrisponde alla condizione in cui le criticità possibili avvengono in contesti già noti alla popolazione e ritenuti comunemente ed usualmente accettabili;
 - *Livello di criticità GIALLO o ORDINARIO* ($0,25 < R < 0,50$): il rischio può essere considerato basso ma non trascurabile, in quanto a livello locale potrebbero presentarsi problematiche che necessitano di attenzione e vigilanza;
 - *Livello di criticità ARANCIONE o MODERATO* ($0,50 < R < 0,75$): il rischio deve essere considerato rilevante e gestito a livello locale con molta attenzione, per la possibilità che valanghe di medie e/o grosse dimensioni possano colpire anche centri abitati e/o infrastrutture;
 - *Livello di criticità ROSSO o ELEVATO* ($0,75 < R < 1$): il rischio deve essere considerato elevato con alta probabilità di distacco e formazione di valanghe anche di grosse dimensioni che potrebbero interessare centri abitati e/o infrastrutture.
- Dalle mappe di rischio emerge una forte disomogeneità del territorio alpino e prealpino lombardo, tra zone omogenee diverse ma anche all'interno delle stesse. I comuni che presentano una vulnerabilità più alta (e di conseguenza al crescere della pericolosità, un rischio più elevato) sono concentrati in alta Valtellina, alta Valchiavenna, Valmalenco, Adamello e Orobie bergamasche, mentre la fascia prealpina inferiore risulta avere valori di rischio più bassi o nulli.

Rischio valanghe zone omogenee

Per considerare in modo adeguato i valori R di ciascun comune all'interno della relativa zona omogenea, si è ipotizzata una funzio-

ne che permettesse di riclassificarli, assegnando una importanza maggiore ai valori più alti e tenesse conto in modo adeguato dei valori medio-bassi (Fig. 9).

La calibrazione dei parametri di questa curva nelle prossime stagioni, permetterà di tarare la metodologia proposta di allertamento su zone omogenee, per arrivare ad una ottimizzazione dei mancati-falsi allarmi e un miglioramento dell'efficienza del sistema stesso.

Una prima valutazione del rischio valanghe su zona omogenea è stata ottenuta effettuando la media dei valori di rischio comunali (riclassificati come sopra descritto), pesati mediante il rapporto della superficie comunale rispetto alla superficie totale della zona omogenea di appartenenza.

A fronte di un valore di pericolosità omogeneo su tutto il territorio lombardo, il valore di rischio varia sensibilmente tra le zone omogenee in base al valore di vulnerabilità associato. Questa valutazione presenta però il limite di non discriminare il rischio valanghe ai fini di protezione civile rispetto a fenomeni di alta montagna.

Per superare questo limite e affinare ulteriormente l'analisi, si è proceduto all'individuazione delle quote massime di centri abitati e strade che potrebbero essere interessate da valanghe.

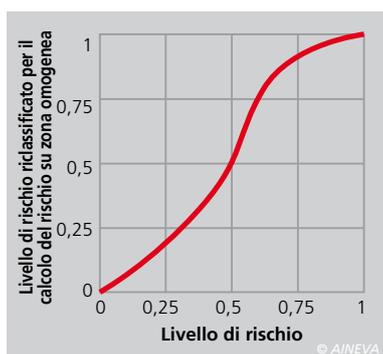
Nei comuni con studi *CLPV* si è considerata la quota massima derivante dalla intersezione delle aree interessate, o potenzialmente interessabili, da valanghe con le infrastrutture (viabilità, abitazioni) presenti sul territorio.

In assenza delle *CLPV* si è proceduto invece considerando la quota massima comunale dei centri abitati.

Si è ottenuta così una tabella contenente, per ciascun comune, il valore massimo di quota rappresentante il limite superiore del territorio di interesse ai fini di protezione civile.

A seguito della previsione della quota limite di pericolosità valanghe (differenziabile per ogni zona omogenea), si può stimare se ogni comune sarà interessato dalla pericolosità valanghe ai fini di protezione civile: la somma di queste superfici comunali determina la porzione di territorio di

Fig. 9 - Funzione di riclassificazione dei livelli di rischio valanghe comunali per la valutazione su zona omogenea.



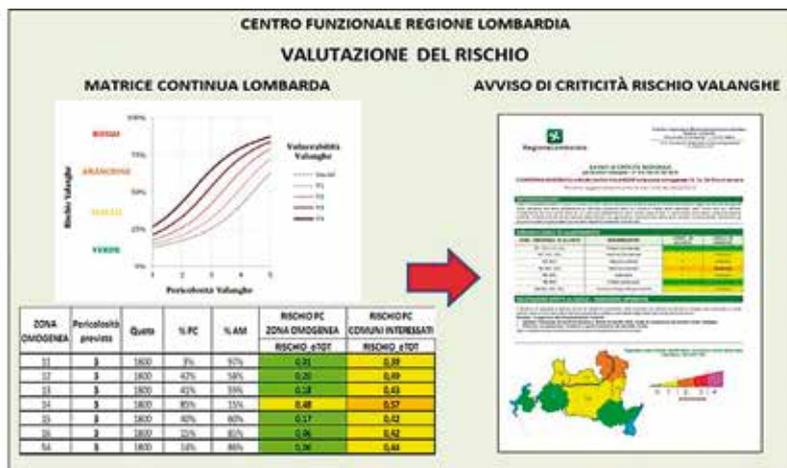


Fig. 10 - Applicazione all'interno della catena di allertamento della MATRICE CONTINUA LOMBARDA RISCHIO VALANGHE.

ciascuna zona omogenea interessata dalla previsione di rischio valanghe. Nella restante porzione di zona, saranno confinati eventi classificati come di alta montagna e non soggetti all'attività di allertamento della Protezione Civile.

La rivalutazione del livello di rischio specifico di ogni zona omogenea viene eseguita rapportando la somma dei valori di rischio comunali (solo dei comuni selezionati in base alla quota) alla superficie della zona di appartenenza. Per non perdere il dettaglio raggiunto con le analisi, si è deciso, inoltre, di calcolare anche il valore di rischio valanghe rivalutato esclusivamente per il territorio dei comuni selezionati in base alla quota, definendo potenzialmente un allertamento di tipo localizzato.

Occorre tenere presente che il processo di valutazione del rischio a livello di zone omogenee è stato automatizzato per quanto riguarda il dato di esposizione dei versanti, quota relativa alla pericolosità del fenomeno ed elementi esposti, per finalizzare le previsioni di rischio valanghe a problematiche di protezione civile.

Esistono però altri fattori che incidono sul livello di criticità, che bisogna considerare nella valutazione ma che non è stato possibile automatizzare. L'intensità e la direzione del vento a quote medio-alte, l'altezza di neve fresca presente al suolo, la quota della presenza del manto nevoso sul territorio, sono tutti fattori che influenzano la pericolosità e di conseguenza il rischio valanghe, e che il valutatore deve prendere in considerazione nel momento in cui viene eseguita l'analisi per la definizione del livello di criticità di ogni zona omogenea.

CONCLUSIONI

La metodologia proposta si basa su un'innovativa applicazione del concetto di rischio e mira a supportare l'attività di allertamento del territorio da parte del CFMR, a fini di protezione civile.

Le attività auspicabili nel breve termine sono:

- Realizzazione di schede comunali riportanti le superfici vulnerabili individuate a supporto delle Amministrazioni locali. Questi dati, una volta validati con studi e sopralluoghi, da una parte migliorerebbero le analisi condotte, dall'altra diventerebbero un utile supporto all'attività di pianificazione di emergenza locale nella mitigazione e studio del rischio valanghe sul territorio;
- Estensione delle CLPV sul territorio montano attualmente scoperto;
- Ampliamento del database degli eventi storici registrati con nuovi eventi, ricavati da archivi locali o da fonti aggiuntive, per migliorare la caratterizzazione di vulnerabilità in termini di localizzazione e frequenza di accadimento;
- Miglioramento del dato di quota degli elementi esposti tramite supporto locale. Occorrerebbe una verifica generale, riconducibile alla creazione di schede specifiche comunali, per valutare la bontà dei dati utilizzati;
- Visualizzazione cartografica *real-time* di sintesi dei risultati delle analisi condotte, come *sistema di supporto alle decisioni* per l'attività di allertamento regionale.

Occorre sottolineare che la metodologia proposta non può sostituire la valutazione di rischio a livello locale, eseguita su

situazioni reali e sito specifica. Il metodo tuttavia è basato su un approccio rigoroso in grado di restituire al previsore un valore di rischio sul territorio oggettivo, calibrato sui dati reali alla base delle analisi condotte. Pertanto è pensato per il supporto del CFMR nell'attività di allertamento e degli Enti locali nelle decisioni inerenti l'attività di prevenzione.

La presente metodologia deve essere considerata attualmente in forma prototipale e verrà testata nella prossima stagione invernale per la costruzione di una matrice di contingenza necessaria alla definizione di indici di verifica delle performance del sistema.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano i dott. Geol. Igor Chiambretti, Giovanni Peretti e Gregorio Mannucci per il supporto tecnico e gli utili consigli; il dott. Paolo Fassi, l'ing. Stefania Lecchi e l'ing. Fabio De Antoni per i contributi forniti.

Bibliografia

- Bolognesi, R., Denuelle, M. and Dexter, L.: Avalanche forecasting with GIS, International Snow Science Workshop (ISSW), 1996, Banff, Canada, pp. 11-13.
- Gruber, U. and Haefner, H.: Avalanche hazard mapping with satellite data and a digital elevation model, Applied Geography, 15 (2), 99-113.
- Maggioni, M. and Gruber, U.: The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency, Cold Regions Science and Technology, 2003, 37: 407-419.
- Maggioni, M., Gruber, U. and Stoffel, A.: Definition and characterisation of potential avalanche release areas, Proceedings of the 2001 ESRI International User Conference, 2001, San Diego.

Sitografia

- www.protezionecivile.regione.lombardia.it
- www.protezionecivile.it
- www.aineva.it
- www.arpalombardia.it
- www.sian.it/infoMeteo/
- http://www.slf.ch/index_IT