

ANALISI DI RISCHIO VALANGHIVO A SCALA REGIONALE IN PIEMONTE

Lanteri Luca, Pispico Rocco, Solero Erika
ARPA Piemonte, Torino, Italy

Chiambretti Igor
AINEVA, Trento, Italy

This study develops a methodology for analysing avalanche risk at the regional level, adapting established methods already used for assessing other natural hazards, such as floods and landslides.

The methodology is based on applying the classic BUWAL Matrix method, which is suitably adapted to the regional avalanche context. The hazard levels (low, medium, high) were defined based on the type, size and frequency of avalanche phenomena, according to data from the Avalanche Information System (SIVA).

The elements exposed to risk were identified by integrating various regional information sources, primarily the Territorial Reference Database of Local Authorities (BDTRE).

The spatial intersection between danger and human presence has made it possible to assign a risk level to each element, classified on a scale from R1 to R4. The exposed population and the economic value of buildings in residential and productive areas at risk have been estimated on an experimental basis. A strength of the methodology is the organisation and management of data and analysis algorithms within a PostgreSQL database. This technological choice guarantees flexibility, traceability and ease of updating analytical processes, allowing new information to be incorporated efficiently and promptly.

The analysis identified the most exposed elements, providing helpful information for spatial planning and the definition of priorities for further local investigation, in line with the provisions of the Directive of the President of the Council of Ministers of 12 August 2019.

The tool also provides operational support for defining alert scenarios on a regional scale.

Questo studio sviluppa una metodologia per l'analisi del rischio valanghe a livello regionale, adattando metodi consolidati già impiegati per altri rischi naturali, come alluvioni e frane. La metodologia si basa sull'applicazione del classico metodo della Matrice BUWAL, opportunamente adattato al contesto valanghivo. I livelli di pericolosità (basso, medio, alto) sono stati definiti sulla base di tipologia, dimensioni e frequenza dei fenomeni valanghivi, secondo i dati presenti nel Sistema Informativo Valanghe (SIVA). Gli elementi esposti a rischio sono stati identificati integrando diverse fonti informative regionali, in primis la Banca Dati Territoriale di Riferimento degli Enti (BDTRE). L'incrocio spaziale tra pericolo e presenza antropica ha permesso di attribuire a ciascun elemento un livello di rischio, classificato su una scala da R1 a R4. In via sperimentale sono stati stimati la popolazione esposta e il valore economico degli edifici ricadenti in aree residenziali e produttive a rischio. Un punto di forza della metodologia adottata è l'organizzazione e la gestione dei dati e degli algoritmi di analisi all'interno di un database PostgreSQL, scelta tecnologica che garantisce flessibilità, tracciabilità e facilità di aggiornamento dei processi analitici, consentendo di incorporare nuove informazioni in modo efficiente e tempestivo.

L'analisi ha consentito di individuare gli elementi maggiormente esposti, fornendo indicazioni utili alla pianificazione territoriale e alla definizione di priorità per eventuali approfondimenti locali, in linea con quanto previsto dalla Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 12 agosto 2019. Lo strumento rappresenta inoltre un supporto operativo alla definizione di scenari di allerta su scala regionale.



VALANGHE INTRODUZIONE

La Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 12 agosto 2019, recante "Linee guida operative per la gestione organizzativa e funzionale del Sistema di Allertamento Nazionale e Regionale e della pianificazione territoriale di protezione civile nell'ambito del rischio valanghe", definisce un quadro operativo per il coordinamento tra le autorità competenti in caso di emergenze valanghivive. Essa disciplina le procedure di allerta, gestione informativa e intervento operativo, fornendo anche criteri per la redazione dei piani territoriali di protezione civile, coerenti con le specificità del rischio valanghe.

La direttiva stabilisce che, entro due anni dalla sua pubblicazione, le Regioni debbano produrre, in collaborazione con i Comuni, una prima mappatura delle aree soggette a rischio valanghe, emanando contestualmente le direttive di allerta e le linee guida per la pianificazione di protezione civile a livello provinciale, comunale o intercomunale.

In Piemonte, a supporto di tali attività, è stato avviato il "Progetto strategico per il completamento della cartografia valanghiva nel territorio regionale", mirato a completare la mappatura presente nel SIVA per le

aree precedentemente prive di dati, almeno per quanto concerne le principali zone antropizzate (Prola et al., 2021).

La metodologia è stata adattata alle tempistiche ristrette del progetto, utilizzando i dati derivanti dagli strumenti urbanistici approvati (PRGC) e, laddove assenti, mediante fotointerpretazione, successivamente validata tramite sopralluoghi mirati in aree antropizzate di particolare interesse e analisi di informazioni d'archivio già disponibili.

Seppur meno approfondita e completa rispetto al metodo comunemente utilizzato per la redazione delle Carte di Localizzazione Probabile delle Valanghivive (CLPV), questa metodologia ha permesso di coprire una vasta porzione di territorio regionale in tempi contenuti.

Per giungere ad una prima valutazione del rischio a scala regionale, è stata predisposta una metodologia derivata da quella già applicata da Arpa Piemonte (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente) nell'ambito di altre tipologie di rischio, in particolare quella per l'attuazione dei Piani di Gestione del Rischio Alluvionale a Scala di Bacino (PGR), come definito dal D.Lgs. 49/2010, in attuazione della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE della Commissione Europea.

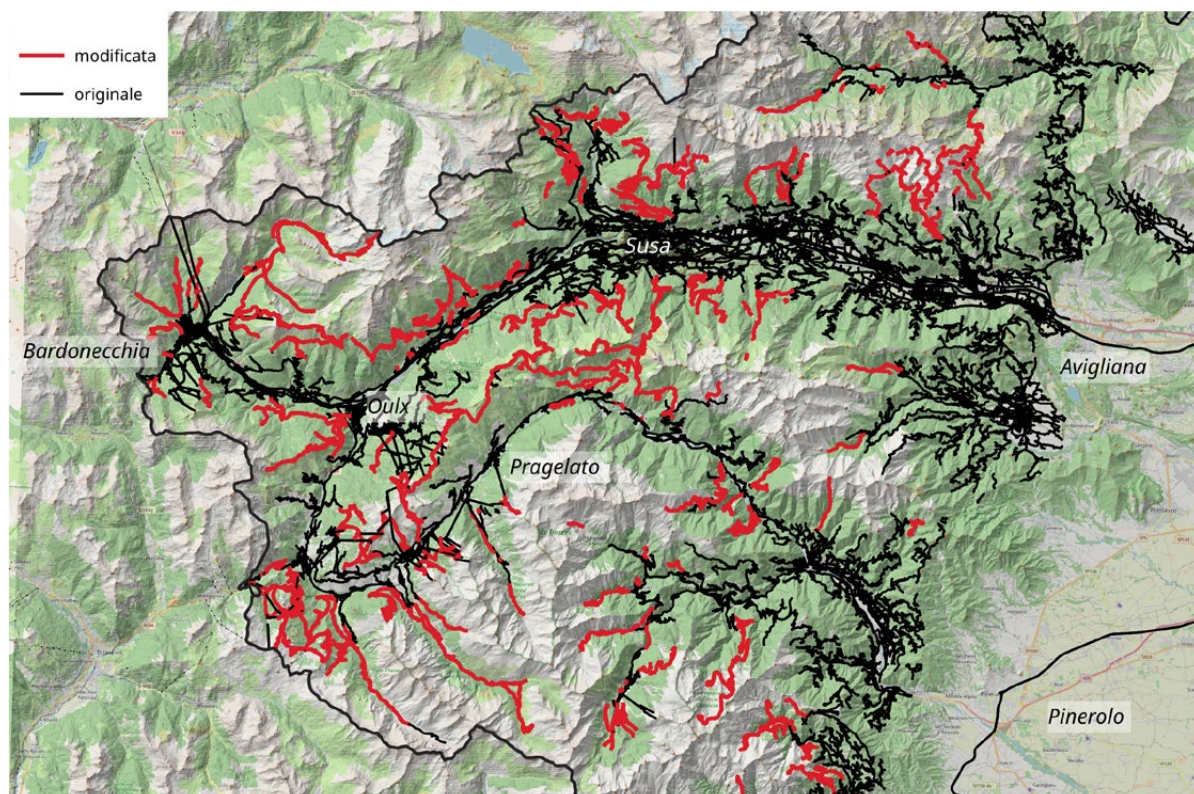
RACCOLTA E VALIDAZIONE DELLE INFORMAZIONI SULLE INFRASTRUTTURE

Per passare dalla cartografia valanghiva, che individua le zone interessate da fenomeni valanghivi, a una cartografia preliminare del rischio, che considera anche gli effetti e i danni associati ai fenomeni, è necessario disporre di una base dati accurata sulle infrastrutture.

In Piemonte la Banca Dati Territoriale di Riferimento per gli Enti (BDTRE), rappresenta la principale banca dati geografica regionale, implementata e aggiornata dal settore cartografico della Regione Piemonte. Questa è strutturata secondo le Regole tecniche nazionali per la definizione delle specifiche di contenuto delle banche dati geo-topografiche e supporta la attività di pianificazione, di governo e di protezione del territorio. Nel presente studio sono stati presi in considerazione i seguenti livelli informativi:

- ▶ discariche;
- ▶ edifici;
- ▶ nodi della rete elettrica;
- ▶ unità di insediamento;

Fig. 1: Esempio di riclassificazione degli attributi associati alla viabilità nella zona della alta Val Chisone e alta Val Susa; in rosso i tratti di strada modificati.



- ▶ beni ai sensi della legge 1497/1939;
- ▶ elementi importanti del paesaggio;
- ▶ sistemi di ville, giardini e parchi;
- ▶ strade ed elementi stradali;
- ▶ elementi di trasporto dei cavi;
- ▶ elementi ferroviari;
- ▶ piste da sci.

Questi dati sono stati integrati con le informazioni dell'edizione 2012 della mappa dell'uso del suolo della Regione Piemonte, articolata in 74 diverse classi di uso del suolo secondo la legenda CORINE Land Cover. La copertura raster originale è stata vettorializzata per facilitare l'analisi spaziale con le aree valanghive. Il dataset CORINE 2018 Level IV, più aggiornato, è stato considerato ma scartato per insufficienti dettagli nelle aree montane.

Per quanto riguarda la viabilità, è stato necessario riclassificare manualmente alcuni attributi sulla base di eventuali chiusure stagionali invernali o restrizioni. Gli attributi contenuti nella BDTRE risultavano spesso non valorizzati o errati, specialmente per tratti in galleria o su viadotto. L'intera rete montana è stata quindi verificata e corretta attraverso informazioni derivanti da conoscenze dirette, fotointerpretazione, ordinanze sindacali o dalle Commissioni Locali Valanghe (CLV).

Sono stati analizzati e verificati più di 96'000 segmenti stradali, di cui circa 4'800 modificati. Le principali correzioni hanno riguardato le restrizioni di accesso stagionali, ma anche posizione e livello; con quest'ultimo attributo si intende se le strade scorrono a raso, in galleria o su viadotto. Un esempio è illustrato in Figura 1 con la riclassificazione avvenuta in Val Chisone e Alta Val Susa.

L'aggiornamento è stato necessario per migliorare la base dati degli elementi a rischio; senza prima procedere con questi approfondimenti specifici, infatti, si sarebbe tenuto conto dei tratti stradali che non vengono utilizzati durante il periodo invernale o che non vengono direttamente interessati dal passaggio di valanghe, sovrastimando il rischio dovuto alla caduta di valanghe sulla rete stradale montana. Il lavoro di aggiornamento è stato condiviso con il settore cartografico della Re-

gione Piemonte, permettendo la futura integrazione automatizzata nella BDTRE, a beneficio della coerenza e continuità dei dati tra le versioni successive.

ANALISI DEI RISCHI SU SCALA REGIONALE

Negli ultimi anni ARPA ha sviluppato, in collaborazione con la Regione Piemonte, una metodologia per l'analisi di rischio idraulico a scala regionale, in ottemperanza alla Direttiva Alluvioni 2007/60/CE. Tale approccio si basa, per la definizione della componente di pericolosità, sulla cosiddetta "matrice svizzera", sviluppata originariamente per la pericolosità da frana dal Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) della Confederazione Elvetica (BUWAL, 1998).

Il metodo Buwal è stato utilizzato a livello regionale con buoni risultati anche in altri ambiti, come ad esempio per il rischio

incendi e ora è stato opportunamente riadattato per la definizione della pericolosità da valanga.

Il primo passo dell'analisi ha previsto la definizione del livello di pericolosità (bassa, media, alta) per ciascun fenomeno valanghivo, utilizzando i dati del SIVA. Queste informazioni sono state incrociate con le strutture antropiche precedentemente classificate, ricavate principalmente dalla BDTRE e da ulteriori fonti validate.

Dalla sovrapposizione geografica tra le aree pericolose e gli elementi esposti, si è ottenuta la classificazione del rischio secondo 4 livelli (da R1 a R4) mediante la matrice già impiegata per la "Direttiva Alluvioni", opportunamente modificata.

In via sperimentale, nei contesti residenziali e produttivi, è stata stimata la popolazione potenzialmente esposta e il valore economico degli edifici a rischio, utilizzando i dati dell'Osservatorio del Mercato Immobiliare (OMI) e dell'ISTAT.



	P1	P2	P3
a)	dh < 50m Rt > 30y	50m < dh < 200m Rt > 30 y	dh > 200m Rt < 30 y
b)	dh < 200m	dh > 200m	
c)	ALL		
d)		Vm	Va
e)		Z1	Z2

Fig. 2: Matrice con i criteri utilizzati per la definizione della pericolosità (P1-P3) per ogni tipo di valanga (a, b, c, d ed e). dh = Dislivello; Rt=Tempo di ritorno.

VALANGHE

Definizione del pericolo

La definizione dei livelli di pericolosità ha richiesto l'adozione di criteri differenti in base alla tipologia e alla qualità delle informazioni disponibili per ciascun sito valanghivo mappato nel SIVA. A seconda dei diversi livelli di conoscenza i dati del SIVA sono suddivisi in:

a) Valanghe documentate: siti valanghivi rilevati secondo la metodologia CLPV, CSV o da Modello AFRA. A questo layer è associata una scheda descrittiva dettagliata che riporta informazioni utili quali parametri morfometrici e frequenza di accadimento;

b) Valanghe lineari: valanghe di piccole dimensioni, che a scala regionale non possono essere cartografate come poligoni, prive di informazioni correlate.

c) Zone pericolose: aree soggette a scaricamenti di neve, differenziati nel tempo e nel percorso; prive di informazioni di dettaglio associate;

d) Valanghe da PRGC: siti valanghivi ricavati dalla revisione dei Piani Regolatori Generali Comunali aggiornati ai Piani di Bacino (PAI), ai quali non è associata una scheda descrittiva dettagliata;

e) Valanghe da modello: siti valanghivi derivati dall'applicazione del modello matematico sviluppato dall'Università degli Studi di Pavia (Barbolini et al., 2004) che permette di identificare e delimitare aree potenzialmente soggette al distacco di valanghe; non essendoci stata nessuna indagine sul terreno o analisi di dati d'archivio che validassero le geometrie a queste non è associata nessuna scheda descrittiva di dettaglio.

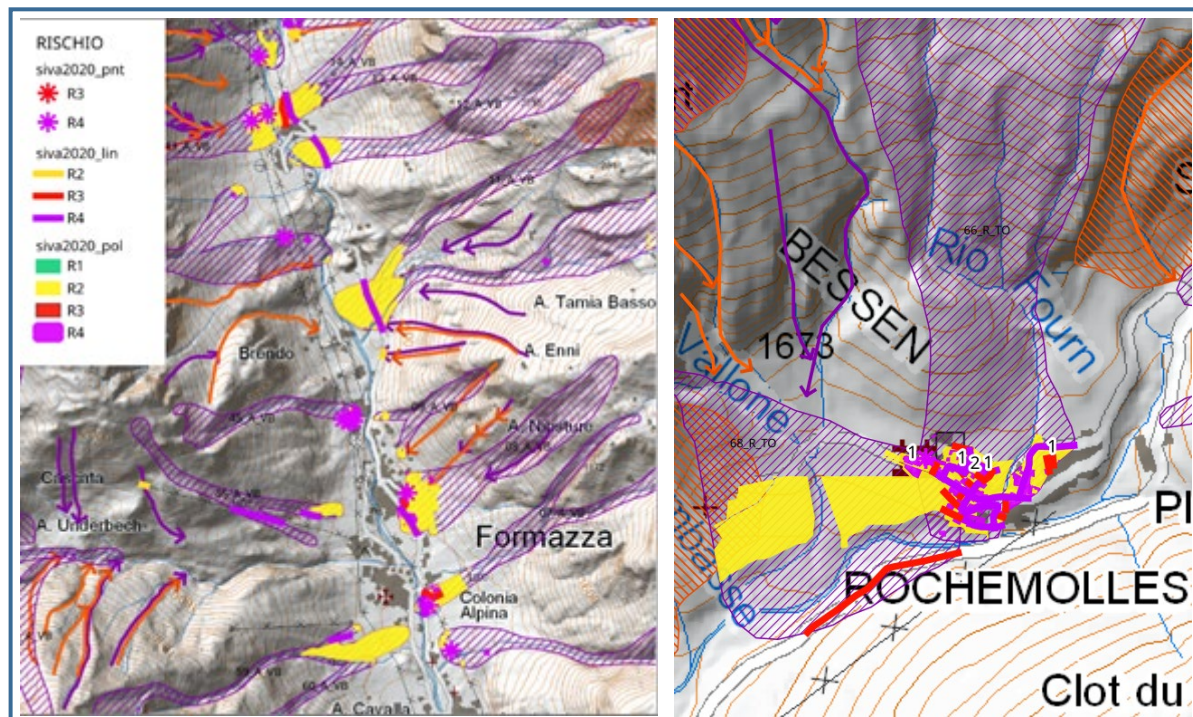
Ciascuna categoria è stata associata a un livello di pericolosità (P1-P3) mediante matrice (Figura 2), basandosi su parametri morfometrici, frequenza stimata o classificazioni preesistenti (es. Z1-Z2, Vm-Va). Per le categorie prive di informazioni associate quali la frequenza, si sono utilizzati criteri alternativi. Nel dettaglio: per le valanghe documentate (tipo a) sono stati utilizzati i dati morfologici e di frequenza; per le valanghe lineari (tipo b), generalmente non di grandi dimensioni, è stato utilizzato come discriminante solo il dislivello; per le zone di pericolo (tipo C) che per definizione sono soggette solo a valanghe di piccole dimensioni, la pericolosità è stata classificata definita per tutte come P1; per le valanghe da PRGC (tipo D) è stata utilizzata la classificazione disponibile (Vm = Pericolosità Media, Va = Pericolosità Alta) in accordo con quanto previsto dai Criteri e indirizzi in materia di difesa del suolo e pianificazione territoriale e urbanistica del Piemonte (Regione Piemonte, 2025); infine, per le valanghe da modello è stata utilizzata la classificazione già disponibile (Z1-Z2) che deriva dall'utilizzo di un diverso angolo di arresto "α" (Barbolini et al., 2004).

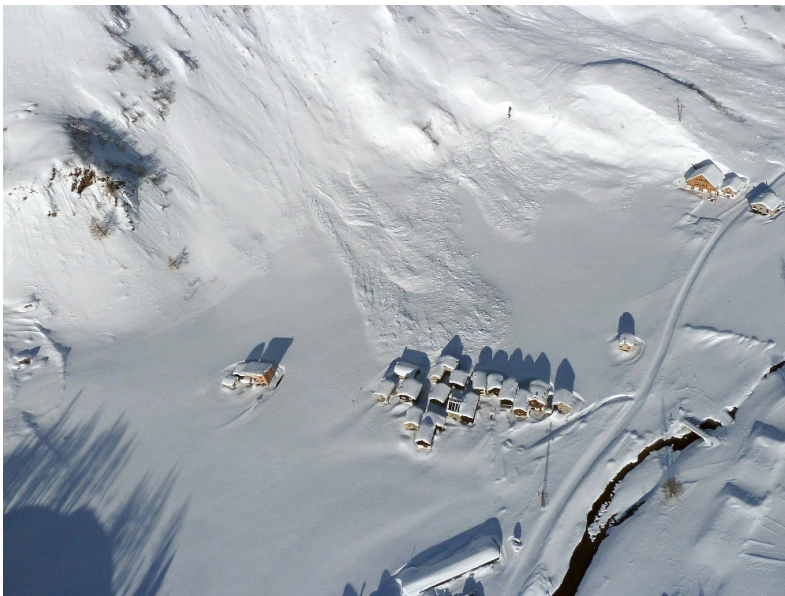
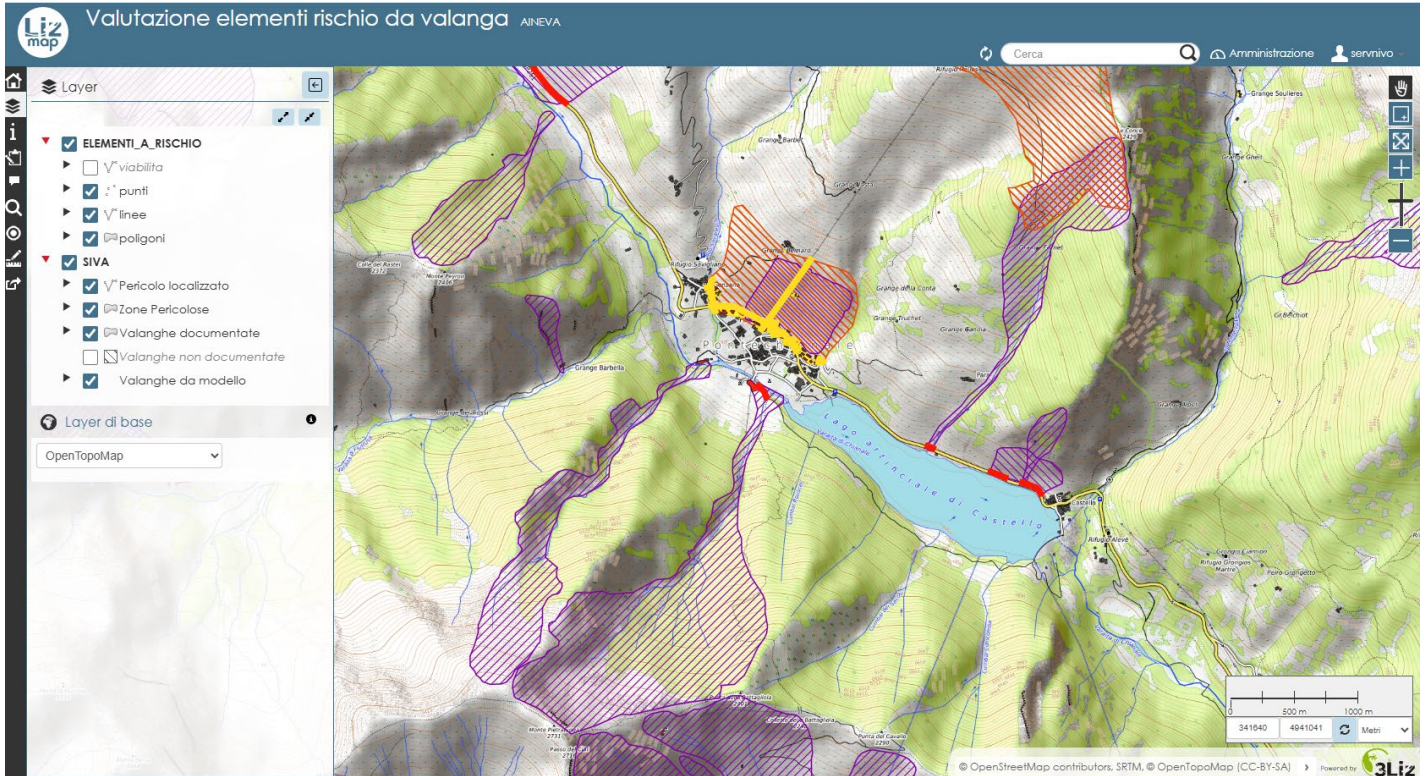
È importante sottolineare che le geometrie dei siti valanghivi rappresentano l'involuppo della massima estensione documentata degli eventi valanghivi noti, derivata da

Fig. 3: La matrice consente di incrociare i livelli di pericolosità dei fenomeni valanghivi con le classi di danno associate agli elementi esposti, ottenendo così una classificazione del rischio articolata in quattro classi (R1-R4).

		Danno			
		D1	D2	D3	D4
Pericolosità	P1	R1	R1	R2	R3
	P2	R1	R2	R3	R4
	P3	R1	R2	R3	R4

Fig. 4: Esempi di classificazione di rischio delle infrastrutture: a sinistra, alta Valle Formazza. A destra, loc. Rochemolles Alta Valle di Susa. In questo caso è presente anche una stima del numero di abitanti per ogni edificio utilizzando i dati OMI (numeri neri con bordi bianchi).





fonti storiche, morfologiche e archivistiche. Attualmente, in Piemonte non è disponibile un catasto sufficientemente dettagliato che permetta di differenziare le frequenze di accadimento in base alle distanze di arresto registrate.

Classificazione degli elementi a rischio

La classificazione degli elementi esposti si è basata sui criteri proposti da Barbolini et al. (2004), integrati con il metodo della Direttiva Alluvioni e adattati al contesto regionale e ai dati disponibili. Le infrastrutture (puntuali, lineari e poligonali) sono state

classificate secondo quattro classi di danno (D1-D4), in base a destinazione d'uso e alla loro funzione strategica. Tra questi:

- ▶ edifici residenziali e produttivi,
- ▶ infrastrutture viarie,
- ▶ beni culturali e ambientali,
- ▶ impianti pubblici e aree verdi.

Attualmente non è possibile prendere in considerazione la vulnerabilità intrinseca degli elementi esposti in un'analisi a scala regionale come quella effettuata, perché a tale scala non sono disponibili informazioni complete e affidabili. La vulnerabilità è stata quindi considerata pari a uno per tutte le infrastrutture.

Definizione del rischio

Combinando le classi di pericolo (P1-P3) e quelle di danno (D1-D4) tramite la matrice (Fig. 3), è stato assegnato un livello di rischio (R1-R4) a ogni elemento. L'output è costituito da tre layer informativi (puntuale, lineare e poligonale), ognuno con la relativa classificazione di rischio.

In via puramente sperimentale, per i contesti residenziali e produttivi, è stata effettuata una stima della popolazione potenzialmente interessata da ciascun fenomeno, nonché del valore economico degli edifici "a rischio", utilizzando come base informativa la Banca Dati O.M.I. (Osservatorio

VALANGHE

Mercati Immobiliari) e il "Censimento della popolazione e delle abitazioni" realizzato dall'ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica) nel 2011 (ISTAT, 2011).

Il SIVA riporta informazioni su oltre 4'500 siti valanghivi documentati, circa 9'000 pericoli localizzati e 4'400 zone di pericolo. L'analisi della banca dati evidenzia che per 1.220 siti sono state segnalate interferenze con le attività antropiche, dal XVII secolo ai giorni nostri.

L'analisi del rischio ha identificato e classificato circa 9'000 infrastrutture poligonali, 2'500 tratti lineari (soprattutto tratti stradali) e 195 elementi puntuali che interferiscono con fenomeni valanghivi di vario tipo.

La Fig. 4 e la Fig. 5 mostrano alcuni esempi dei risultati ottenuti rispettivamente per un'area della Valle Formazza (nella parte settentrionale del Piemonte) e dell'Alta Valle di Susa (nella parte occidentale del Piemonte).

Verifica e condivisione dei risultati

Dopo questa prima fase di analisi, si è resa necessaria un'ulteriore verifica puntuale degli elementi antropici interferenti individuati, al fine di validare i risultati e correggere eventuali errori derivanti da imprecisioni nei database di partenza. Le principali criticità riscontrate riguardavano:

- ▶ la presenza di elementi obsoleti (es. ruderi non abitabili);

▶ classificazioni errate di tratti stradali o mancanza di informazioni su gallerie e viadotti, ancora presenti nonostante il lavoro preliminare di verifica descritto in precedenza;

▶ geometrie incoerenti o elementi presenti sul territorio ma assenti nei database e identificati attraverso l'analisi di foto aeree o da conoscenze dirette del territorio.

Tutti i dati sono stati condivisi con la CLV (Commissione Valanghe Locale) al fine di consentire una verifica più approfondita con informazioni più aggiornate e di carattere locale. Le CLV sono organi consultivi collegiali istituiti nelle aree montane a supporto delle autorità locali di protezione civile, che hanno il compito di monitorare, prevenire e gestire il rischio valanghe. Tali commissioni sono generalmente composte da esperti locali, tecnici e rappresentanti degli enti locali e quindi soggetti attendibili e di valore per quanto riguarda la validazione del dato.

I dati sono stati progressivamente condivisi anche con altre autorità a livello regionale e provinciale. La condivisione dei dati ha il duplice scopo di consentire la verifica e validazione del lavoro oltre all'integrazione delle informazioni sulle infrastrutture da parte degli esperti locali che conoscono molto bene il proprio territorio, ma anche di mettere a disposizione delle autorità il risultato dell'analisi dei rischi per successivi approfondimenti ottimizzando le risorse disponibili, come richiesto dalle Direttive Nazionali.



STRUMENTI UTILIZZATI

L'intero processo di analisi e la gestione dei dati sono stati realizzati utilizzando geodatabase basati su tecnologia PostgreSQL/PostGIS, adottati da ARPA Piemonte per le elevate capacità di gestione, aggiornabilità e interoperabilità. Tale infrastruttura ha permesso:

- ▶ l'editing multiutente nelle fasi di correzione;
- ▶ l'automatizzazione dell'analisi del rischio;
- ▶ l'integrazione dei risultati con il Sistema Informativo GEOlogico regionale (SIGEO).

Le banche dati sono accessibili principalmente attraverso il software open-source QGIS; ARPA Piemonte si occupa della gestione e dell'amministrazione degli utenti, dei backup e dell'integrazione con tutto il patrimonio condiviso.

L'elaborazione dei dati è stata condotta mediante specifiche query SQL che consentono la serializzazione dei processi di calcolo. Nella definizione del metodo di calcolo dell'analisi dei rischi è stata posta particolare attenzione all'ottimizzazione dei processi di calcolo e alla parametrizzazione dei dati di input e delle matrici di classificazione utilizzate, con un duplice vantaggio:

- ▶ è stato possibile ridurre notevolmente i tempi di calcolo: ora è possibile eseguire l'analisi sull'intero database in meno di due ore, mentre prima erano necessarie molte ore di elaborazione;
- ▶ è possibile aggiornare il processo interno in modo eccezionalmente semplice e veloce, a seguito di modifiche alle banche dati, come l'aggiornamento annuale del BDTRE e degli elementi antropici coinvolti o dei perimetri di instabilità, e a seguito di modifiche alle tabelle e alle matrici di calcolo.

Per agevolare la consultazione e la condivisione dei risultati è stato creato un sistema webGIS basato sul software open source Lizmap. Tale piattaforma consente la visualizzazione e la modifica dei dati geografici e alfanumerici direttamente da browser

(es: Firefox o Chrome), senza la necessità di installare software aggiuntivi sul proprio PC o smartphone (Figura 5).

Questo strumento ha rappresentato un importante supporto alla collaborazione con le CLV e con le autorità regionali e provinciali, favorendo l'accessibilità ai dati e l'interazione tra diversi soggetti istituzionali.

CONCLUSIONI

Il lavoro svolto ha permesso di definire una metodologia operativa per l'analisi del rischio valanghivo su scala regionale, adattando un approccio semplice e consolidato, già utilizzato con successo per altri rischi naturali. L'approccio introduce alcune semplificazioni, tipiche di un lavoro a scala regionale, che sono dovute alla carenza di informazioni approfondite e complete su tutto il territorio; in particolare:

- ▶ le perimetrazioni messe a disposizione del SIVA rappresentano l'inviluppo della massima estensione mai raggiunta da tutti gli eventi valanghivi noti; l'approccio si basa pertanto su uno scenario di "massimo impatto";
- ▶ le informazioni sulla probabilità di accadimento sono disponibili solo per un limitato numero di valanghe "documentate; dove non sono disponibili tali dati sarebbe più corretto parlare di suscettibilità e non di pericolosità, mancando completamente la componente "tempo";
- ▶ la vulnerabilità degli elementi esposti è stata considerata in pari a uno per mancanza di informazioni di maggior dettaglio sulle caratteristiche costruttive delle infrastrutture.

Particolare attenzione è stata rivolta alla costruzione e validazione di una banca dati aggiornata e coerente degli elementi esposti, condizione imprescindibile per una corretta valutazione del rischio. Questo processo richiede un aggiornamento continuo e la collaborazione attiva tra enti regionali, locali e tecnici sul territorio, con l'obiettivo di migliorare progressivamente l'affidabilità delle informazioni.

L'impiego di un geodatabase strutturato

e integrato con script di analisi ha dimostrato notevoli vantaggi in termini di replicabilità, aggiornamento, interoperabilità e condivisione. La possibilità di accedere e aggiornare i dati in modo efficiente costituisce un valore aggiunto fondamentale per l'evoluzione del sistema di gestione del rischio valanghe.

Va tuttavia precisato che la metodologia proposta è pensata per una valutazione a scala regionale e non può sostituire le analisi dettagliate necessarie per la pianificazione locale. In quest'ottica, strumenti come i Piani di Zona di Emergenza Valanghe (PZEV) restano essenziali per una gestione puntuale e contestualizzata del rischio. I Comuni potranno utilizzare i risultati di questo lavoro per orientare approfondimenti specifici e definire priorità d'intervento in funzione delle risorse disponibili.

In sintesi, questa metodologia costituisce un efficace strumento di supporto per la pianificazione territoriale, la prevenzione e la gestione del rischio valanghivo a livello regionale, promuovendo un approccio coordinato e basato su dati condivisi.

RICONOSCIMENTI

Si ringraziano tutti gli esperti locali impegnati nella gestione del rischio valanghe. Un ringraziamento particolare a Maria Cristina Prola per il fondamentale contributo nell'attuazione e nell'aggiornamento del sistema SIVA.

BIBLIOGRAFIA

- ▶ M. Barbolini, M. Cordola e G. Tecilla (2004) "Linee guida metodologiche per la perimetrazione delle aree esposte al pericolo di valanghe". Rivista Neve e Valanghe n. 53, pag 6-15.
- ▶ M Prola, L. Lanteri e E Solero (2021) "20 anni di SIVA. "I passi per il completamento della cartografia Valanghe in Piemonte". Rivista Neve e Valanghe n. 93, pag 2-9.
- ▶ Regione Piemonte (2025) "Criteri e indirizzi in materia di difesa del suolo e pianificazione territoriale e urbanistica". Deliberazione della Giunta Regionale 24 marzo 2025, n. 8-905. REGIONE PIEMONTE BU13 27/03/2025.