POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Linee guida per la valutazione e la mitigazione del rischio valanghe di neve sulle infrastrutture e costruzioni

*Original*
Linee guida per la valutazione e la mitigazione del rischio valanghe di neve sulle infrastrutture e costruzioni / Chiaia, B., Frigo, B.. - ELETTRONICO. - (2024).

*Availability:*
This version is available at: 11583/2998506 since: 2025-03-23T17:00:09Z

*Publisher:*
Levrotto & Bella

*Published*
DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

12 October 2026

Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento per gli Affari Regionali e le Autonomie
Ufficio per le politiche urbane e della montagna,
la modernizzazione istituzionale
e l'attività internazionale delle autonomie regionali e locali
Servizio per le politiche urbane e della montagna, di sviluppo locale
e di sostegno alla marginalità territoriale

# LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE E LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO VALANGHE DI NEVE SULLE INFRASTRUTTURE E COSTRUZIONI

Politecnico di Torino

B. Chiaia | B. Frigo

Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento per gli Affari Regionali e le Autonomie

Ufficio per le politiche urbane e della montagna, la modernizzazione istituzionale e
l'attività internazionale delle autonomie regionali e locali
Servizio per le politiche urbane e della montagna, di sviluppo locale e di sostegno alla marginalità territoriale

# LINEE GUIDA
# PER LA VALUTAZIONE E LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO VALANGHE DI NEVE SULLE INFRASTRUTTURE E COSTRUZIONI

B. Chiaia B. Frigo

Novembre 2024

Politecnico di Torino

LIBRERIA EDITRICE UNIVERSITARIA LEVROTTO & BELLA TORINO

Autori
Politecnico di Torino – Centro Interdipartimentale SISCON *"Safety of Infrastructures and Constructions"*
Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica
Bernardino Chiaia, Barbara Frigo

Il volume è stato realizzato nell'ambito dell'Accordo di Collaborazione "*Studio di Linee Guida per la valutazione e mitigazione del Rischio Valanghe di Neve sulle Costruzioni*" (ai sensi dell'art. 15, legge 241/1990) tra la Presidenza del Consiglio dei ministri - Dipartimento per gli affari regionali e le autonomie (DARA) - Ufficio per le politiche urbane e della montagna, la modernizzazione istituzionale e l'attività internazionale delle autonomie regionali e locali e il Centro Interdipartimentale SISCON del Politecnico di Torino. Le attività in collaborazione sono state coordinate dal Gruppo di Lavoro, appositamente costituito, e composto dal Cons. Giovanni Vetritto, dal Prof. Bernardino Chiaia, dalla Prof.ssa Barbara Frigo e dal Dott. Massimo Pecci.

Gli autori ringraziano, per la competenza, passione e dedizione, l'Ing. Alessio Rubino, ricercatore del Politecnico di Torino e co-autore del Capitolo 3, l'Ing. Matteo Dalmasso, assegnista di ricerca e co-autore del Capitolo 4, e l'Ing. Silvia Lugano, assegnista di ricerca, per la collaborazione alla stesura del documento; il Dott. Geol. Massimo Pecci del DARA, per il prezioso coordinamento della collaborazione e i puntuali suggerimenti tecnici, il Dott. Geol. Igor Chiambretti e il Dott. For. Valerio Segor per la revisione esperta del documento.

Un sentito ringraziamento va infine al Consigliere Dott. Giovanni Vetritto della Presidenza del Consiglio dei ministri - Dipartimento per gli affari regionali e le autonomie, per aver creduto fin da subito nel progetto e nel suo impatto sulla gestione in sicurezza dei territori montani, assicurando un costante supporto nel corso dell'attività di ricerca e stesura delle Linee Guida.

Foto di copertina di Andrea Perrod (S.S. 26 verso il Colle del Piccolo San Bernardo in Pré-Saint-Didier, Valle d'Aosta - 2021).

**Riferimento bibliografico**
Chiaia B., Frigo B. (Torino, 2024) Linee guida per la valutazione e la mitigazione del rischio valanghe di neve sulle infrastrutture e costruzioni, Presidenza del Consiglio dei ministri - Dipartimento per gli affari regionali e le autonomie

Disponibile in formato PDF sul sito del Dipartimento per gli affari regionali e le autonomie della Presidenza del Consiglio dei ministri *www.affariregionali.it* e sul sito del Politecnico di Torino *www.polito.it.*

ISBN 978-88-8218-215-1

© 2024 - Levrotto & Bella

# Indice


***Premessa*** VII

## Capitolo 1 Introduzione

1.1 Premessa generale 1

1.2 Descrizione e finalità delle Linee Guida per il rischio valanghivo 4

## Capitolo 2 Cenni di dinamica delle valanghe

2.1 Definizione e classificazione 5

2.1.1 Anatomia della valanga di neve 6

2.1.2 Meccanismi di propagazione del moto 7

2.1.3 Bacino valanghivo 8

2.1.4 Classificazione delle valanghe 11

2.2 Impatto delle valanghe sui manufatti 19

2.2.1 Combinazioni di azioni valanghive 21

2.3 Modelli di dinamica delle valanghe 23

2.3.1 Modelli empirici 23

2.3.2 Modelli fisico-matematici 23

2.3.3 Sofware di simulazione delle dinamica delle valanghe 24

2.4 Analisi delle condizioni nivo-meteorologiche 27
2.4.1 Base dati 27
2.4.2 Parametri fondamentali per le analisi valanghive 28
Riferimenti bibliografici e approfondimenti 29

## Capitolo 3 Analisi del rischio valanghe per costruzioni e infrastrutture interferite

3.1 Introduzione 31
3.2 Obiettivi e struttura dell'approccio multilivello 32
3.3 Livello 0. Censimento opere 33
3.4 Livello 1. Ispezioni visive e schede di rilievo 34
3.5 Livello 2. Analisi del rischio valanghe e classificazione su scala territoriale 35
3.5.1 Struttura generale del metodo di classificazione della classe di attenzione 35
3.5.2 Stima del livello di pericolosità associato al rischio valanghivo 37
3.5.3 Stima del livello di vulnerabilità associato al rischio valanghivo 40
3.5.4 Stima del livello di esposizione associato al rischio valanghivo 45
3.5.5 Stima della classe di attenzione associata al rischio valanghivo 46
3.6 Livello 3. Valutazione attività su scala territoriale 49
Riferimenti bibliografici e approfondimenti 50

## Capitolo 4 Strategie di protezione e mitigazione del rischio (o pericolo) valanghe

4.1 Classificazione delle opere di difesa dal rischio valanghe 51
4.2 Opere di difesa posizionate nella zona di distacco 54
4.2.1 Strutture di stabilizzazione/ sostegno del manto nevoso 54
4.2.2 Strutture per il controllo del trasporto eolico della neve (snowdrift) 57
4.2.3 Strutture di protezione contro lo scivolamento del manto nevoso (snow gliding) 58
4.3 Opere di difesa posizionate in zona di scorrimento e di deposito 58
4.3.1 Opere di deviazione 59

4.3.2 Opere di arresto e frenanti 59
4.3.3 Strutture speciali: gallerie e tunnel paravalanghe 62
4.4 Misure di protezione e mitigazione del rischio per edifici 62
4.4.1 Misure architettoniche e strutturali di mitigazione per l'edificio 63
4.4.2 Opere di protezione per l'edificio 63
4.5 Misure di difesa temporanee 65
4.5.1 Distacco artificiale delle valanghe 65
4.5.2 Fondamenti del distacco artificiale delle valanghe 65
4.5.3 Metodi di distacco artificiale 66
4.6 Monitoraggio come misura di difesa 68
4.6.1 Monitoraggio delle valanghe 68
4.6.2 Monitoraggio delle proprietà meccaniche della neve 69
4.6.3 Monitoraggio nivo-meteorologico 69
4.7 Strumenti tecnici di supporto alla gestione del rischio 70
Riferimenti bibliografici e approfondimenti 71

## Allegati

Allegato 1. Scheda di censimento per un edificio 73
Allegato 2. Scheda di censimento per un ponte stradale 81
Allegato 3. Scheda di censimento per un canale idraulico 89
Allegato 4. Scheda di censimento per una strada carrabile 97
Allegato 5. Scheda di censimento per un elettrodotto 105

# *Premessa*

L'elaborazione delle politiche della montagna, che include tutte le attività di supporto allo sviluppo socioeconomico e culturale dei territori montani e alla salvaguardia e valorizzazione delle relative aree, rappresenta un elemento centrale nella delega del Ministro per gli affari regionali e le autonomie.

Dal 2010, con la soppressione dell'Ente Italiano della Montagna (EIM), il Dipartimento per gli affari regionali e le autonomie della Presidenza del Consiglio dei ministri ha acquisito le competenze e le risorse finanziarie, umane e strumentali precedentemente gestite dal soppresso EIM, ente di ricerca sui temi delle terre alte, ed ha avviato collaborazioni strategiche con enti, istituti di ricerca e Università, attraverso gli accordi previsti dall'art. 15 della Legge n. 241 del 7 agosto 1990.

Tali partnership, basate su attività di ricerca e di condivisione di conoscenze e competenze specifiche, hanno favorito la diffusione di una cultura innovativa in aree d'interesse comune, promuovendo azioni congiunte a beneficio della collettività, con un focus particolare sul supporto alle politiche e allo sviluppo delle aree montane.

In questo contesto rientra l'elaborazione delle "Linee guida per la valutazione e mitigazione del rischio valanghe di neve sulle infrastrutture e costruzioni", frutto di una collaborazione tra il Dipartimento per gli affari regionali e le autonomie e il Politecnico di Torino. In esse sono raccolti dati, metodologie e modelli, sia nazionali che internazionali, per approfondire lo studio della neve, la stabilità del manto nevoso, i rischi valanghivi e le misure di mitigazione attiva e passiva applicabili nelle aree montane italiane. L'obiettivo è fornire risultati tecnico-scientifici, nonché procedure applicabili e, quindi, utili alla definizione delle soglie di allerta e delle soluzioni pratiche e operative per ridurre il rischio.

L'attività di ricerca è stata condotta dal Centro SISCON - Safety of Infrastructures and Constructions del Politecnico di Torino e si è sviluppata lungo due direttrici principali: l'analisi del ciclo dinamico delle valanghe (innesco, distacco, scivolamento e impatto) e la valutazione della resilienza delle costruzioni civili e delle infrastrutture rispetto alle valanghe di neve. Le indagini hanno utilizzato modelli teorici e computazionali per studiare la meccanica delle valanghe, incluse le tecniche e le opere di protezione e di difesa attiva e passiva, sfruttando anche evidenze sperimentali già a disposizione del team di ricerca.

Nel panorama attuale, si rende sempre più urgente e strategica una mitigazione degli impatti delle valanghe che tenga conto del cambiamento climatico, degli effetti amplificati nelle aree di alta montagna e della resilienza di strutture e infrastrutture civili nel quadro delle mutate condizioni di pericolosità e rischio delle aree montane.

Programmare interventi di prevenzione dei rischi e di manutenzione delle infrastrutture e delle costruzioni, affrontare le tematiche relative alla presenza della neve al suolo, al rischio di valanghe e alla sicurezza della popolazione, dei centri abitati e delle strutture presenti sono temi cruciali per i Sindaci, in particolare nei comuni montani di piccole dimensioni, spesso più esposti a queste problematiche.

L’ambizione delle presenti Linee Guida è di non limitarsi ad essere un contributo accademico, ma di costituire un efficace strumento operativo di *policy*, destinato ai Comuni, alle comunità montane e a tutti gli *stakeholder* coinvolti in attività soggette a tale tipologia di rischio. Esse mirano, quindi, a fornire un supporto concreto, con l'auspicio di divenire un utile punto di riferimento per gli amministratori locali.

L'Ufficio I del Dipartimento per gli affari regionali e le autonomie, con le sue competenze di capacitazione istituzionale, è a disposizione per accompagnare i Sindaci nell'affrontare queste tematiche.

Giovanni Vetritto

Direttore Generale del Dipartimento per gli affari regionali e le autonomie - Ufficio per le politiche urbane e della montagna, la modernizzazione istituzionale e l’attività internazionale delle autonomie regionali e locali

# Capitolo 1

# Introduzione

## 1.1 Premessa generale

La gestione dei rischi su manufatti, opere e infrastrutture, con la collegata incidenza in termini di vite umane, costi economici e sociali, rappresenta una tematica complessa e interdisciplinare che non può più prescindere da una corretta valutazione ex-ante delle componenti del rischio e dall'assunzione di responsabilità in termini di capacità di mitigazione dello stesso.
Per restare nel solo territorio italiano, si richiamano tre recenti eventi - simbolici e archetipali - riferiti a tre differenti tipologie di manufatti accaduti negli ultimi anni.
Il primo è il cosiddetto terremoto dell'Emilia-Romagna, manifestatosi con due scosse il 20 e 29 maggio del 2012 con epicentri nella provincia di Modena. Al relativamente modesto numero di vittime (28 decessi registrati, contro le oltre 300 vittime del precedente sisma de L'Aquila del 2009) si contrappose l'ingente quantificazione dei costi economici del sisma, stimati oltre i 14 miliardi e legati in gran parte ai danni sofferti dalle infrastrutture e dagli impianti produttivi industriali con il conseguente down-time produttivo e i costi di ripristino.
Il secondo evento qui richiamato è la valanga distruttiva del 18 gennaio 2017. In prossimità del comune di Farindola (Pescara), una valanga "di bosco", innescata a oltre 2000 metri sul versante orientale del Monte Siella (massiccio del Gran Sasso), incanalandosi in un canalone coperto da un faggeto distrusse l'albergo Rigopiano causando 29 vittime. Si è rilevato, successivamente, come l'evidente pericolosità del sito non fosse stata adeguatamente considerata *ex-ante*, consentendo l'insediamento antropico del resort, in totale assenza di strategie di mitigazione verso il rischio valanghivo.
Infine, si vuole qui menzionare il crollo del viadotto Polcevera di Genova, accaduto il 14 agosto 2018, con ogni probabilità a causa del raggiungimento di uno stato limite di capacità resistente a seguito dell'evoluzione del degrado della struttura portante. A valle di questo evento, il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici su indicazione del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti ha promulgato, nel 2020, le *"Linee Guida per la*

*Classificazione e gestione del Rischio, la Valutazione della Sicurezza ed il Monitoraggio dei Ponti esistenti"* e, nel 2022, le *"Linee Guida per la Classificazione e gestione del Rischio, la Valutazione della Sicurezza ed il Monitoraggio delle Gallerie esistenti"*, imponendo un decisivo cambio di passo alla gestione della sicurezza infrastrutturale nell'ambito dei trasporti su strada.
I tre eventi archetipali sopra ricordati hanno evidenziato la necessità di ripensare - ad ampio spettro - alla cultura del rischio (qui inteso come combinazione tra rischio da evento naturale e da evento antropico) tramite un approccio diametralmente opposto a quello della "cultura della colpa" e della "caccia al colpevole" che ha caratterizzato il punto di vista generale (da parte della politica, della magistratura, dell'opinione pubblica e persino di alcuni tecnici) negli ultimi 40 anni. In una moderna cultura della sicurezza si deve far tesoro degli incidenti, anche lievi, al fine di attuare procedure riconosciute a sostegno di un valido sistema evolutivo di gestione della sicurezza, che possa anche imparare dai propri errori, come sempre peraltro è avvenuto in tutti i campi della tecnica e dell'ingegneria.
L'approccio che si sta facendo strada è quello della cosiddetta ***Just Culture***, intesa come "cultura giusta" nella quale un pilastro fondamentale del sistema è, in ambito giuridico, l'individuazione della soglia del rischio accettabile dalla società, sia in termini di investimento economico per la prevenzione che di accettabilità di danni a seguito degli eventi. La scelta condivisa di una soglia di rischio accettabile, la cosiddetta *tollerabilità*, porta con sè la necessità di quantificarne l'entità in modo scientifico, attraverso le sue tre componenti fondamentali che sono l'*hazard* (la pericolosità), la vulnerabilità e il valore esposto. Questo approccio è quello seguito dal MIT, a partire dal 2020 per le LLGG dedicate a ponti, viadotti e gallerie, e viene qui riproposto in un contesto assai più circoscritto - ma non per questo meno sfidante - che è quello del rischio valanghivo sulle costruzioni e le infrastrutture.

## 1.2 Descrizione e finalità delle Linee Guida per il rischio valanghivo

A seguito dell'emanazione della Direttiva 12 agosto 2019 del Presidente del Consiglio dei Ministri *"Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale e regionale e per la pianificazione di protezione civile territoriale nell'ambito del rischio valanghe"* in ambiente antropico, si è palesata la necessità di uno strumento tecnico per la definizione e la classificazione del rischio valanghe per le costruzioni volto alla prioritizzazione delle attività di mitigazione del rischio.
Nell'Allegato 2 della suddetta Direttiva riferito alle *«Procedure operative per la predisposizione degli indirizzi regionali finalizzati alla pianificazione di protezione civile locale, nell'ambito del rischio valanghe»* vengono definite le *aree antropizzate* come *"...l'insieme dei contesti territoriali in cui sia rilevabile la presenza di significative forme di antropizzazione, quali la viabilità pubblica ordinaria (strade in cui la circolazione è garantita anche nei periodi di innevamento), le altre infrastrutture di trasporto pubblico (es. ferrovie e linee funiviarie), le aree urbanizzate (aree edificate o parzialmente edificate, insediamenti produttivi, commerciali e turistici) asservite comunque da una viabilità pubblica ordinaria, singoli edifici abitati permanentemente (ancorché non asserviti da viabilità pubblica ordinaria) e aree sciabili. Queste ultime comprendono le «aree sciabili gestite..."*, ovvero *"...l'insieme delle infrastrutture, impianti, piste (compresi gli itinerari di collegamento non classificati come piste), con le relative pertinenze e le altre zone specializzate che nell'insieme consentono di offrire agli utenti un servizio complesso finalizzato all'esercizio delle attività sportivo/ricreative invernali su territorio innevato..."*.

In contrapposizione, viene definito il *territorio aperto* come *"...tutto quanto non riconducibile alle aree antropizzate […] e alle aree sciabili gestite" […], percorribile dall'utente a suo esclusivo rischio e pericolo"*.
Tra le indicazioni, ne *"I contenuti della pianificazione di protezione civile"*, la Direttiva medesima indica la necessità di una valutazione preliminare degli scenari di rischio ad opera dei comuni montani, in termini di determinazione della pericolosità dei fenomeni valanghivi attesi e in relazione al grado di antropizzazione del territorio stesso (valutazione della vulnerabilità) e del valore degli elementi a rischio (valutazione dell'esposizione) che si individuano in centri abitati e infrastrutture.
Al di là della definizione della pericolosità, le indicazioni per la valutazione della vulnerabilità e dell'esposizione sono tutt'oggi inesistenti (se non per qualche rara eccezione nel campo della ricerca scientifica), e nemmeno territorialmente condivise. Per ovviare a questa carenza normativa sulla definizione del rischio valanghivo in ambiente antropico e fornire indicazioni ai Comuni e agli Enti preposti per la valutazione omogenea del rischio, la Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento per gli Affari Regionali e le Autonomie, Ufficio per le politiche urbane e della montagna, la modernizzazione istituzionale e l'attività internazionale delle autonomie regionali e locali - ha voluto realizzare uno strumento tecnico a supporto dei Comuni e degli Enti preposti con la collaborazione del Politecnico di Torino – Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica grazie all'Accordo di Collaborazione "*Studio di Linee Guida per la valutazione e mitigazione del Rischio Valanghe di Neve sulle Costruzioni*" (ai sensi dell'art. 15 Legge 241/1990).
Sulla stregua delle *"Linee Guida per la Classificazione e gestione del Rischio, la Valutazione della Sicurezza ed il Monitoraggio dei Ponti esistenti"* promulgate recentemente dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del Consiglio Superiore dei Lavori pubblici (2020) e delle analoghe LLGG per le gallerie stradali (2022), il presente documento descrive una procedura per la classificazione dei manufatti civili e infrastrutturali sottoposti a rischio valanghivo e la valutazione del livello di rischio cui gli stessi sono esposti, al fine di fornire un supporto ai policymakers per la successiva prioritizzazione degli interventi per la mitigazione del rischio valanghe in ambiente antropico.
La procedura qui proposta inquadra la classificazione del rischio nell'approccio generale "multilivello" (come già licenziato dal MIT per ponti e gallerie stradali) il quale, dal "semplice censimento" delle strutture e infrastrutture in analisi, conduce alla determinazione di una **classe di attenzione** sulla base della quale si perverrà, nei casi previsti dalla metodologia stessa, a un maggiore approfondimento delle analisi dell'interferenza valanghiva oppure un'adozione diretta di strumenti di mitigazione del rischio (sistemi di protezione, sorveglianza, monitoraggio). La definizione della classe di attenzione del manufatto o dell'infrastruttura prevede analisi separate dei fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, poi riuniti in un'unica classificazione dinamica (e perciò modificabile nel tempo in funzione del variazioni morfologiche e di antropizzazione del territorio) della classe di attenzione.
La metodologia descritta nelle presenti *Linee Guida per la Valutazione e Mitigazione del Rischio Valanghe di Neve sulle Infrastrutture e Costruzioni* assumono un'ampia valenza nell'analisi del rischio valanghe in territorio antropizzato grazie alla loro possibile applicazione, nei principi e nelle regole generali, su un'ampia variabilità di costruzioni, dalle case di civile abitazione alle scuole e alle strutture ricettive, dagli impianti a fune e per le attività produttive agli edifici agricoli, dalla rete elettrica a quella dei trasporti (e.g., reti ferroviarie, strade comunali e statali, ponti, ecc …). Rifacendosi alle "Disposizioni finali" della Direttiva Valanghe del 2019 sopracitata, queste Linee Guida definiscono la pericolosità valanghiva in base alla sua classificazione e mappatura regionale come richiesto dalla Direttiva stessa.
Oltre alla presente Introduzione, le *Linee Guida* si compongono di altri tre Capitoli.Il **Capitolo 2** riassume i concetti fondamentali della dinamica delle valanghe di neve, partendo dalle semplici definizioni e dalla fisica del fenomeno (con l'innesco e la propagazione), passando per la loro classificazione e gli effetti della loro

interferenza sui manufatti. Il Capitolo illustra quindi i modelli per l'analisi dinamica delle valanghe, da quelli empirici a quelli fisico-matematici, focalizzando l'attenzione su quelli numerici e commerciali in uso da parte dei professionisti. Il Capitolo si conclude con un cenno alla definizione dei parametri nivo-meteorologici fondamentali per le analisi valanghive e per la progettazione delle opere di mitigazione del rischio.

Nel **Capitolo 3** l'approccio multilivello citato in precedenza viene proposto come metodo semplificato per l'analisi e gestione del rischio in riferimento a costruzioni e infrastrutture interferite da fenomeni valanghivi. Considerando l'elevato numero di opere a rischio, si è ritenuto opportuno definire un approccio articolato su più livelli, quattro in particolare, caratterizzati da un crescente grado di approfondimento e difficoltà di analisi. In dettaglio, il **Livello 0** prevede il censimento di tutte le opere che, sulla base della documentazione cartografica disponibile, risultano potenzialmente interessate da fenomeni di natura valanghiva. In riferimento a un certo dominio territoriale, questa fase di indagine mira alla conoscenza del numero di opere a rischio e alla conoscenza delle loro caratteristiche principali, sulla base delle informazioni reperibili dalla documentazione tecnica e amministrativa. Il **Livello 1**, esteso a tutte le opere censite nel livello precedente, consiste nell'accertamento di tutte le suddette informazioni mediante apposite ispezioni visive. Le attività di questo livello, pertanto, forniscono una "fotografia" e una descrizione quanto più oggettiva possibile delle effettive condizioni di esercizio delle opere interferite e dell'area circostante. Il fulcro dell'approccio risiede nel **Livello 2**, che consente, per ciascuna opera individuata, la definizione della Classe di Attenzione (CdA). Essa consiste in una stima semplificata del livello di rischio, a partire dai fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione nei confronti di fenomeni valanghivi. Per ciascuno di questi fattori, viene descritta la procedura operativa per definire la rispettiva classe, tra le cinque previste dal metodo (bassa, medio-bassa, media, medio-alta, alta). Infine, le classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione vengono combinate in opportune matrici di rischio che forniscono la CdA dell'opera in esame. Come risultato finale, la classificazione ottenuta consente la prioritizzazione delle attività relative alla gestione del rischio valanghivo, previste dal **Livello 3** dell'approccio proposto. Queste possono consistere in un maggiore approfondimento delle indagini, secondo gli strumenti avanzati di analisi illustrati nel Capitolo 2, oppure nell'adozione diretta di strumenti di mitigazione del rischio, che vengono descritti nel capitolo successivo.

Il **Capitolo 4** finale di queste *Linee Guida*, offre al lettore la disamina delle possibili soluzioni per ridurre il rischio valanghe. Inizialmente, viene presentata una classificazione delle strategie di difesa, distinguendo le opere in base al loro principio generale di funzionamento, alla durata dell'efficacia della strategia stessa e tenendo in considerazione la localizzazione dell'opera all'interno del bacino valanghivo. Secondo queste metodologie di classificazione, le strategie di difesa possono essere suddivise in: *attive* o *passive*, permanenti o temporanee, posizionate nella zona di distacco, nella zona di scorrimento o nella zona di deposito.

In accordo con la classificazione, vengono descritte le misure di difesa attive e permanenti e le relative sottocategorie: opere di difesa posizionate nella zona di distacco, opere di difesa posizionate nella zona di scorrimento e/o nella zona di deposito e misure di protezione diretta di edifici. Per ogni sottocategoria viene sinteticamente illustrato il principio di funzionamento, seguito da una descrizione delle opere specifiche appartenenti a tale insieme. Successivamente, vengono trattate le misure di difesa temporanee, con particolare risalto alla tecnica del distacco artificiale degli accumuli nevosi. Si passa quindi alle tecniche di monitoraggio, inteso sia come monitoraggio delle valanghe, sia come monitoraggio delle proprietà meccaniche della neve, che come controllo nivo-meteorologico. A conclusione del capitolo, vengono presentati gli strumenti tecnici di supporto alla gestione del rischio, che permettono al pianificatore territoriale e all'autorità competente di prendere decisioni in merito alla corretta gestione del rischio valanghe, anche in un'ottica di sostenibilità.

# Capitolo 2

# Cenni di dinamica delle valanghe

## 2.1 Definizione e classificazione

Si definisce **valanga di neve** lo scivolamento gravitativo rapido di una massa di neve lungo un pendio. Il termine scorrimento indica come la distanza percorsa dal fenomeno sia notevolmente superiore alla dimensione caratteristica della massa mobilitata, mentre l'aggettivo gravitativo ricorda che la forza motrice dello scorrimento è la gravità (Ancey and Charlier, 1996). Il termine "rapido" viene aggiunto in opposizione alla "reptazione", ovvero lento scorrimento di massa nevosa qualche cm/giorno.
Gli Uffici Valanghe Europei (European Avalanche Warning Services - EAWS) definiscono "valanga" un movimento rapido di una massa nevosa, con volume superiore a 100 $m^3$ e una lunghezza totale maggiore a 50 metri (www.avalanches.org). La lunghezza totale di una valanga è misurata dal punto più alto della frattura fino al punto estremo del deposito.
Per volumi e scorrimenti inferiori è preferibile parlare di colate di neve o scaricamenti (Frigo, 2003), mentre non è scientificamente corretto usare il termine "slavina" (Pagnutti e Della Santa, 2004).

Le valanghe hanno origine da un'instabilità del manto nevoso causata da varie tipologie di innesco e di propagazione interne al manto nevoso stesso (Frigo, 2006). La formazione delle valanghe è forse l'aspetto più complesso dell'intero fenomeno delle masse di neve in movimento. Escludendo il distacco provocato da sovraccarichi, i meccanismi di innesco e successivo distacco spontaneo delle valanghe di neve si presentano come processi tuttora poco conosciuti di interazione tra suolo, manto nevoso e condizioni meteorologiche.

Se per le valanghe a debole coesione questo processo risulta di facile comprensione, l'innesco delle valanghe a lastroni e di neve umida non è facilmente intuibile ed è tuttora argomento di ricerca scientifica. Ad oggi, infatti, i meccanismi di innesco delle valanghe di neve umida sono ancora poco compresi, mentre per

le valanghe a lastroni è possibile analizzare le condizioni di un manto nevoso e la sua propensione al distacco.

Per queste ultime, alla scala macroscopica di bacino, l'analisi della stabilità del manto nevoso è, da sempre, basata su modelli tensionali. Esso è un semplice confronto tra le forze resistenti del manto nevoso (la resistenza al taglio dello strato debole o interfaccia instabile) e le forze agenti (la tensione tangenziale imposta dal carico sovrastante lo strato debole/interfaccia instabile - peso proprio dei lastroni sovrastanti e/o carichi artificiali, quali uno sciatore, un'esplosione, un mezzo battipista, ecc …), calcolate localmente in un tempo definito. Se la tensione agente, dovuta alla componente parallela al pendio del peso del lastrone sovrastante lo strato debole, è maggiore della resistenza al taglio dello strato debole, il manto nevoso cede spontaneamente (Conway and Abrahamson, 1984). Quando la tensione agente e la resistenza relativa sono vicini all'equilibrio (condizioni di incipiente instabilità del manto nevoso), un leggero incremento della tensione agente - debole sovraccarico indotto, ad esempio, dal peso di uno sciatore o di una nuova nevicata - può dare facilmente luogo al distacco di una valanga. Il meccanismo di distacco risulta concettualmente molto semplice, ma presenta molteplici problemi pratici per la determinazione delle resistenze al taglio, logisticamente complicata in laboratorio e molto aleatoria sul campo vista la sua grande variabilità spaziale e temporale. E' proprio questa estrema aleatorietà delle caratteristiche del manto nevoso, sia in termini spaziali sia temporali, la vera responsabile dell'ampio intervallo di variabilità di innesco, tipologia e dimensioni delle valanghe occorrenti su un certo pendio ed in condizioni simili. La ricerca scientifica ha sottolineato tuttavia che una tensione agente sul manto nevoso superiore alla sua resistenza relativa rappresenta sicuramente una condizione necessaria, ma non sufficiente al distacco delle valanghe a lastroni, suggerendo quindi l'introduzione di fattori e fenomeni energetici.

Molte sono le metodologie adottate per quest'analisi, dai criteri tensionali (criteri di resistenza o di rottura) ai criteri energetici di meccanica della frattura, a quelli misti, a diverse scale, per i quali si rimanda alla bibliografia tecnica.

### 2.1.1 Anatomia della valanga di neve

In analogia ai flussi gravitativi (e.g., tempeste di sabbia, correnti di torbida oceaniche, nubi piroclastiche, ecc …), dal punto di vista anatomico, la valanga si può suddividere in (Frigo, 2006):

- **testa**: porzione anteriore della valanga in movimento. Nella sua parte superficiale si verificano i processi di erosione frontale ed inglobamento d'aria, che permettono la crescita, l'accelerazione e il moto della valanga;
- **corpo**: si forma durante il moto nella zona di scorrimento e si distingue per la sua elevata concentrazione dei clasti trasportati e la sua tendenza a cambiare forma in funzione della velocità e della forma del pendio. È caratterizzato dalla presenza della parte densa che scorre a valle seguendo il percorso della testa della valanga, e dalla parte polverosa (o aerosol) che, a seconda dei casi, può ancora avere un ruolo attivo nel fenomeno (e.g., con il meccanismo dell'inglobamento) oppure può già essere diventata la scia di sedimentazione particellare;
- **coda**: parte posteriore della valanga con velocità inferiore rispetto al fronte della valanga, dove prevale il processo di deposito.

Il fenomeno fisico "valanga" può essere anche schematizzato attraverso il comportamento e l'interazione delle sue quattro componenti:

- il **flusso denso** o **radente**: spesso considerata come flusso granulare governato dall'angolo d'attrito interno della neve e da leggi costitutive di tipo Mohr-Coulomb, la parte densa possiede velocità dell'ordine dei 50-60 m/s (di gran lunga inferiori rispetto alla parte polverosa) e densità di circa 300 kg/m$^3$ che producono pressioni d'impatto di notevole entità. Il suo moto è determinato dall'attrito e dalle collisioni tra la neve ed il terreno, mentre l'aria interstiziale non gioca un ruolo importante;
- lo **strato di sospensione** o **polveroso**: formato da particelle sospese (nuvola), può raggiungere altezze di 200 m, toccando delle velocità di 100 m/s. La densità varia tra i 200 kg/m$^3$, vicino allo strato di saltazione, e la densità dell'aria. Elevatissime velocità e basse concentrazioni in volume possono comunque comportare elevate pressioni d'impatto;
- la **scia turbolenta** o **zona di stagnazione**: parte passiva della componente polverosa della valanga, è un serbatoio di particelle fini (densità pari a 10 kg/m$^3$) che dalla nuvola polverosa aspettano la sedimentazione dovuta al peso proprio. Come la nuvola polverosa, la scia può raggiungere altezze, in eventi estremi, di centinaia di metri;
- il **manto nevoso**: posto lungo il percorso della valanga, può essere suddiviso in vari strati di neve di spessori differenti, caratterizzati da proprietà fisico/meccaniche in funzione del tipo di neve costituente.

Si sottolinea come lo strato di sospensione insieme alla scia turbolenta costituiscano la parte aerosol delle valanghe miste. L'interfaccia tra il flusso denso e la nuvola polverosa non presenta una netta distinzione di densità o una discontinuità di velocità. Questa regione di spessore variabile tra pochi centimetri o alcuni metri è lo strato di saltazione caratterizzato da un'alta densità.

### 2.1.2 Meccanismi di propagazione del moto

E' noto come il corpo della valanga si accresca in volume, dimensioni e massa, procedendo la sua discesa lungo il pendio. Molti risultano essere i meccanismi ed i fenomeni che permettono la transizione ed il cambiamento di moto dalla fase iniziale e la fase di scorrimento della valanga per discendere verso valle.
Molti di questi sono ancora sconosciuti, altri sono semplicemente supposti tali, altri ancora sono noti, ma di difficile spiegazione. I più importanti sono descritti nel seguito.

<u>DEPOSITO</u>

Per i flussi più o meno densi, il deposito della valanga può avvenire essenzialmente per i seguenti motivi: riduzione dell'inclinazione del pendio (al di sotto dei 15°- 10°), aumento dell'attrito della superficie di scorrimento oppure volume troppo elevato della valanga per essere accelerato globalmente. Nella parte polverosa della valanga, le particelle sedimentano per caduta libera a causa della perdita della velocità turbolenta che le trattiene in sospensione.

<u>INGLOBAMENTO</u>

L'inglobamento è il fenomeno che permette alla valanga di autoalimentarsi e di crescere in termini di volume (massa e dimensioni) in funzione della distanza percorsa. Esistono due tipi di inglobamento, non ancora completamente compresi:

- l'**erosione**: è l'inglobamento della neve del manto nevoso da parte della valanga che causa l'incremento in termini di massa e di inerzia, provocando un aumento della velocità del flusso stesso. Può essere frontale o basale e dipende dalle caratteristiche della neve, dalle condizioni della superficie di scorrimento e dall'area potenziale di erosione;
- l'**inglobamento dell'aria**: è il fenomeno che permette alla parte polverosa della valanga di raggiungere grandi altezze, nell'ordine dei 200-300 m. Esso determina inoltre la densità e il grado di turbolenza nella nuvola polverosa.

### 2.1.3 Bacino valanghivo

In ogni bacino soggetto a fenomeni valanghivi è in genere possibile riconoscere le zone di distacco, di scorrimento e, quella terminale, di accumulo o arresto.
Sovente collocata in prossimità delle creste dorsali, al di sopra del limite della vegetazione forestale, **l'area di distacco** è il luogo dove la neve si accumula a seguito di precipitazioni o trasporto eolico. In questa zona inclinazioni del pendio, movimenti degli strati nevosi, perdita di coesione, sovraccarichi e vibrazioni possono innescare la rottura del mezzo continuo lungo uno strato fragile od una interfaccia di strato e il conseguente distacco di una valanga. Il distacco può avvenire lungo una rete di fratture più o meno diffuse che si conclamano lungo una "linea" più o meno estesa solitamente ortogonale al pendio, dando origine a valanghe a lastroni spesso con velocità di scorrimento sostenuta e grandi masse in movimento, ovvero da un punto in una zona limitata e concentrata lungo il pendio, dando origine a valanghe a debole coesione e/o umide dalla tipica forma "a pera".
La **zona di scorrimento** è la zona di transito tra la sovrastante zona di distacco e la sottostante zona di deposito. Geometricamente essa si distingue in zone confinate (canaloni) e zone lateralmente non limitate (versanti), che possono dar luogo a geometrie molto complesse. Caratterizzata dalla quasi totale assenza di vegetazione arborea o dalla presenza di specie arboree differenti o di età inferiore alle zone limitrofe, in quest'area la valanga raggiunge la sua massima velocità.
La zona inferiore del sito dove si depositano la neve ed i detriti trasportati a valle dalla valanga è detta **zona di accumulo** o **di arresto**, dove, la massa nevosa rallenta progressivamente fino a fermarsi. Può essere un ampio ripiano, un fondovalle o il versante opposto di una vallata (Fig. 2.1).

Al fine della definizione dei limiti del bacino valanghivo e delle aree di distacco, scorrimento e deposito, è necessario effettuare:

- l'analisi di terreno che comprende quella morfologica, vegetazionale e dei testimoni muti;
- l'analisi storica,

a cui andrà successivamente aggiunta l'analisi delle peculiarità nivo-meteorologiche del bacino valanghivo ai fini degli studi sulla dinamica e del distacco.

La prima prevede uno studio preliminare del versante valanghivo rispetto a:

- l'altitudine (e dislivello complessivo);
- l'esposizione;
- l'orientazione del pendio (anche in relazione ai venti dominanti);
- la copertura del suolo (e.g., su detrito, su roccia, su prateria, ecc …), rugosità, ecc …,

Figura 2.1 - Zona di arresto di un bacino valaghivo. In evidenza, la massa nevosa e i detriti trasportati a valle dall'evento. Foce Monte Monaco, Marche (Chiambretti, 2017).

insieme all'analisi morfologica (e.g., versante aperto o incanalato), all'acclività ed alle forme del pendio (curvature e cambi di pendenza). Queste ultime, oltre a giocare un ruolo fondamentale per la definizione delle tre zone in cui è suddiviso il bacino valanghivo, possono dare un'indicazione delle possibili tipologie di distacco valanghe. Ad esempio (Regione Autonoma Valle d'Aosta – Regione Piemonte, 2011), un'inclinazione compresa tra i 60° e i 90° presenta solitamente la formazione di colate di neve di piccole dimensioni, mentre un intervallo tra i 35° e i 45° predispone il pendio al distacco di valanghe a lastroni di qualsiasi dimensione oppure alla possibilità di innesco di valanghe di neve asciutta a debole coesione. Le valanghe di neve bagnata o fradicia, sebbene non frequenti, prediligono pendii tra i 10° e i 25° di inclinazione (Regione Autonoma Valle d'Aosta – Regione Piemonte, 2011).

Oltre ad una migliore definizione delle tre zone del bacino valanghivo, l'analisi della copertura vegetazionale (i.e., osservazione ed individuazione degli effetti valanghivi sulla vegetazione) permette di ottenere informazioni circa la frequenza, l'estensione (Fig. 2.2), la dinamica e le pressioni degli eventi verificatisi nel tempo in quel determinato pendio. Osservazioni tipiche possono essere (Regione Autonoma Valle d'Aosta – Regione Piemonte, 2011):

- tipologia di vegetazione;
- presenza di corridoi di deforestazione;
- differenze di età, crescita e diversa tipologia di vegetazione arborea in zone limitrofe;
- aumento di complessità strutturale e composizionale della vegetazione arborea;
- danni tipici su singolo albero (e.g., chioma a bandiera, sciabolature, sradicamenti o schianti, rottura del cimale, ecc …);
- presenza di suoli superficiali, tracce di accumuli/coni di deiezione.

Figura 2.2 - Definizione fisica dei limiti della zona di scorrimento grazie alle evidenti osservazioni/informazioni forestali. Monti Siella e Tremoggia, Abruzzo (Chiambretti, 2017).

Ad esempio, dalla misura del punto di rottura del fusto arboreo o delle lesioni da impatto sulla corteccia è possibile dedurre lo spessore del flusso denso; oppure da una particolare sramatura o dalla rottura del cimale stimare l'altezza del flusso polveroso.
Alcune indicazioni sulla vegetazione, come l'altezza e la tipologia vegetazionale possono fornire un'indicazione sulla frequenza di accadimento (i.e., il tempo di ritorno). Ad esempio, la presenza di ontani, salici e arbusti insieme all'assenza di alberi di altezza superiore a 1 – 2 metri e di legno morto proveniente da alberi di grandi dimensioni (ad eccezione delle aree ai limiti delle zone di scorrimento e/o di accumulo) indica una frequenza di accadimento di una valanga di grandi dimensioni di almeno 1 -2 anni. La presenza di alberi maturi di specie pioniere, alberi giovani di specie definitive e di legno morto a terra parzialmente decomposto, indica invece una frequenza di una valanga di grandi dimensioni almeno compresa tra i 25 -100 anni (Regione Autonoma Valle d'Aosta – Regione Piemonte, 2011).

A questi "testimoni muti" arborei di eventi valanghivi, se ne aggiungono altri, come:

- elementi (tronchi, massi, auto, ecc …) trasportati e ridepositati dalle valanghe;
- danni a manufatti/edifici oppure loro architetture particolari;
- distribuzione spaziale e/o urbanistica di frazioni/villaggi/piccoli paesi;
- presenza di strutture puntuali "antivalanga";
- targhe ricordo, edicole sacre, cappelle votive, ecc …

Queste ultime si legano alla ricerca storica che consiste nell'analisi critica della documentazione raccolta anche qui con il fine di ottenere informazioni caratterizzanti il fenomeno valanghivo nel tempo. La raccolta dati deve essere eseguita sia tramite i canali tradizionali (e.g., catasti valanghe, cartografie, bibliografia, ecc …) sia quelli più atipici (e.g., archivi storici - comunali e parrocchiali, immagini d'epoca, articoli di stampa locale, interviste, ecc …).
L'organizzare le risultanze di queste analisi conduce ad un quadro complessivo della possibile natura del fenomeno prodotto in un bacino anche in termini di interferenza valanghiva.

### 2.1.4 Classificazione delle valanghe

La complessità del fenomeno e le notevoli variabili che entrano in gioco hanno portato e portano tuttora a numerosi tentativi di catalogazione delle valanghe, ciascuno dei quali però risulta poco efficiente a classificare univocamente questo fenomeno naturale. Nel tempo, si sono definiti vari criteri in funzione di: tipo di distacco, posizione della superficie di scivolamento, umidità della neve, forma del percorso, tipo di movimento, causa innescante, ecc … . La stessa UNESCO, nel 1981, propose una classificazione basata su criteri morfologici e anatomici delle valanghe.
Dal punto di vista dinamico, le valanghe sono oggi considerate di tipologia mista, ovvero una combinazione delle parti radente e nubiforme. Durante lo scorrimento, queste possono diventare autonome o restare legate. Infatti, è frequente come una valanga radente possa sviluppare la componente polverosa, specialmente dalla testa, e come, al contrario, una di tipo aerosol presenti, comunque, un flusso denso più o meno importante. Le valanghe miste risultano essere un fenomeno molto complesso e frequente nelle zone montane italiane, in periodi invernali caratterizzati da forti nevicate e temperature molto basse. A seconda della componente preponderante, si distingue perciò:

- **Valanga radente** (rispetto al suolo): flusso denso in moto lungo un pendio, principalmente a contatto con la superficie di scorrimento, la cui traiettoria risulta funzione della topografia (in canalone o di versante). Di velocità nettamente inferiore rispetto al caso polveroso e densità elevate (tra i 200 kg/m$^3$ e i 500 kg/m$^3$), si presenta in grande varietà in funzione della gamma di caratteristiche fisiche della neve mobilitata (bagnata, asciutta, a debole coesione o compatta). Il deposito è generalmente ben delineato con forma ad artiglio o a conoide;
- **Valanga nubiforme** (o **aerosol**, o polverosa): scorrimento turbolento e molto rapido, si presenta sotto forma di sospensione di aria e di particelle di ghiaccio o neve, in moto lungo il pendio sotto forma di nuvola, anche di grande dimensione, a velocità molto elevate e densità relativamente basse (tra i 1 kg/m$^3$ e i 10 kg/m$^3$) rendendole incontrollabili e di notevole effetto distruttivo. Esse non risentono della topografia del bacino, ma scorrono con traiettorie rettilinee lungo il versante superando ostacoli morfologici e strutturali, anche risalendo il versante opposto. Solitamente, il deposito è di qualche centimetro e con limiti difficilmente riconoscibili se non a distanza di qualche giorno dall'evento. Tipica è "l'intonacatura", incrostazioni anche di decine di centimetri di neve compressa su oggetti e parti sporgenti e orientate verso la direzione del flusso.

Nel prosieguo si riporta sinteticamente la classificazione delle valanghe in funzione della loro tipologia e morfologia di distacco, e contenuto d'acqua della neve. Si consiglia di consultare l'opuscolo "Le Valanghe" dell'Associazione Interregionale di coordinamento e documentazione per i problemi inerenti alla neve e alle valanghe - AINEVA (2021) ed il sito degli European Avalanche Warning Services – EAWS per il glossario (anche in lingua italiana), esempi di tipologia valanghiva ed approfondimenti.

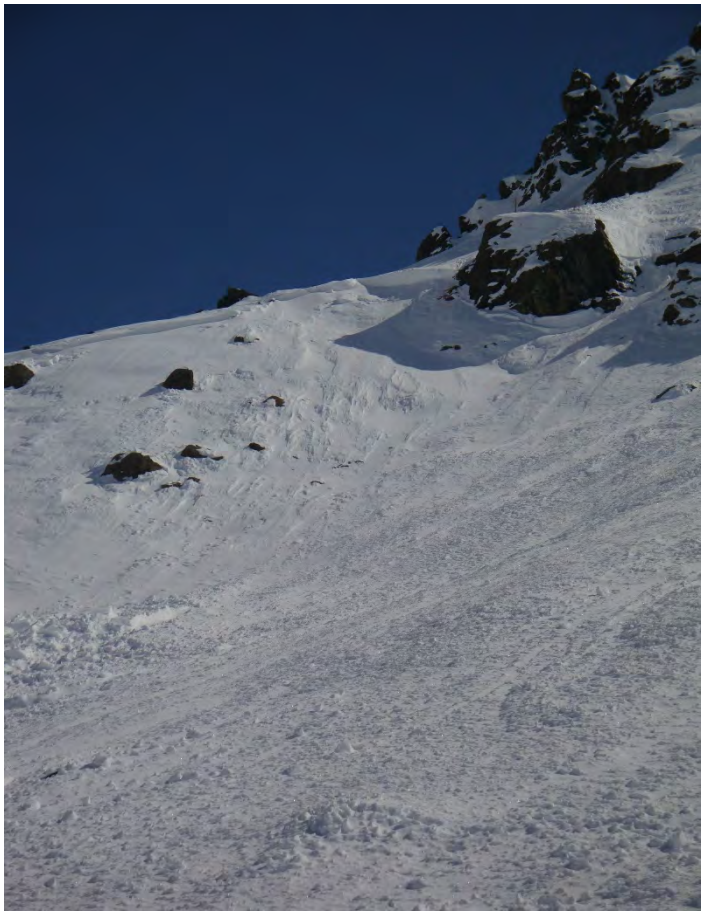

Figura 2.3 - Area di distacco di una valanga a lastroni. In evidenza la frattura lineare in corona. Punta Seehore, Valle d'Aosta (Frigo, 2011).

Si riportano nel seguito sinteticamente, alcune definizioni (AINEVA, 2021 e EAWS):

*Tipo di distacco*:

- **Valanga di neve a debole coesione**: valanga (di neve asciutta o bagnata) con distacco puntiforme e che si sviluppa con la tipica forma a pera;
- **Valanga a lastroni** (Fig. 2.3): valanga provocata dalla rottura di un lastrone, è caratterizzata da una frattura lineare (corona) perpendicolare al pendio.

*Causa innescante:* si distinguono le valanghe spontanee e le valanghe provocate o artificiali.

*Posizione della superficie di slittamento*:

- **Valanga di superficie**: la rottura avviene all'interno del manto nevoso e scorre sopra uno strato nevoso, in zona di distacco scorre sopra uno strato di neve;
- **Valanga di fondo:** la rottura avviene a livello del terreno e scorre su di esso in zona di distacco.

*Umidità della neve:*

- **Valanga di neve bagnata (o umida):** composta da neve bagnata o umida; si muove in genere più lentamente di una valanga di neve asciutta e si sviluppa di conseguenza su una distanza più ridotta.

A causa della sua alta densità (massa volumica), esercita forti pressioni sugli ostacoli che incontra. Talora è identificata come valanga primaverile;

- **Valanga asciutta:** è assente acqua liquida all'interno della massa nevosa.

*Forma del percorso:*

- **Valanga incanalata** (Fig. 2.4): nella zona di scorrimento, si sviluppa confinata, in canaloni o gole;
- **Valanga di versante:** nella zona di scorrimento, si sviluppa lungo pendii aperti, non confinati.

Figura 2.4 - Panoramica di un bacino valanghivo: in evidenza la zona di arresto e la zona di scorrimento incanalata. Valle di Gressoney, Valle d'Aosta (Frigo, 2011).

Da queste classificazioni esulano le **glide snow avalanches** ovvero le valanghe indotte dallo scivolamento lento del manto nevoso e del creeping. Caratterizzate dalla formazione di pieghe o fessurazioni del manto nevoso (i.e., le bocche di balena), accelerando, possono svilupparsi in valanga producendo gravi danni ad edifici e infrastrutture. Strettamente legata alle caratteristiche del pendio (e.g., inclinazione, aspetto, rugosità, ecc …), alla temperatura e al contenuto d'acqua della neve, questa tipologia di valanghe è tuttora oggetto di ricerca scientifica per quanto riguarda i suoi meccanismi di innesco e propagazione.

Per gli obiettivi delle Linee Guida, si suggerisce di consultare la classificazione di Rapin (2002) suddivisa in 5 classi in base a parametri fisici, effetti su popolazione, edifici, infrastrutture ed agricoltura (Tab. 1.1.a e Tab. 1.1.b) e la classificazione di McClung and Schaerer (1980) alla base di quella Canadese.
Riprendendo la classificazione canadese (Canadian Avalanche Association, 2002), i Servizi Valanghe Europei (EAWS) classificano le valanghe basandosi sulle loro dimensioni definite anche dal loro potenziale distruttivo (Tab. 1.2).

Tabella 1.1.a - Scala di intensità per il rischio valanghe, parte 1 (tradotta da Rapin, 2002).

| **GRADO di RISCHIO** | **Parametri Fisici** [ordine di grandezza] | **Danni potenziali** | |
|---|---|---|---|
| | | **Persone** (criterio non pertinente in numerosità) | **Costruzioni** |
| **1 Molto Basso** | Superficie interessata ~ 0,2 ha<br><br>Spessore medio del lastrone ~ 20 cm<br><br>Volume depositato ~ 100 $m^3$<br><br>Pressione d'impatto ~ 2 kPa | I testimoni calmi (ad eccezione del caso in cui qualcuno venga travolto).<br><br>Persone travolte:<br>- possibile stato di shock: momentaneo disturbo psicologico;<br>- lievi infortuni (con cure basilari senza ospedalizzazione);<br>- morte estremamente rara (ad eccezione dei casi di seppellimento della testa o per tempo di intervento superiore a 15 minuti). | Generalmente non si riscontrano danni.<br><br>Lievi danni strutturali:<br>- agli arredi;<br>- alle porte, disserrate e/o con vetri rotti.<br><br>Seppellimento parziale e molto localizzato del manufatto. |
| **2 Basso** | Superficie interessata ~ 0,1 ha<br><br>Spessore medio del lastrone ~ 40 cm<br><br>Volume depositato ~ 1000 $m^3$<br><br>Pressione d'impatto ~ 10 kPa | I testimoni calmi, ma in allerta (ad eccezione del caso in cui qualcuno venga travolto).<br><br>Persone travolte:<br>- stato di shock frequente: disagio psicologico temporaneo che può essere prolungato, possibile crollo nervoso;<br>- lievi infortuni frequenti, solitamente senza postumi né conseguente disabilità;<br>- gravi infortuni (cure intensive anche con ricovero ospedaliero, quali traumi, ipotermia);<br>- possibili morti. | Lievi danni strutturali:<br>- alle aperture (porte, finestre, ecc…) spesso inutilizzabili;<br>- danneggiamento dei balconi;<br>- fessurazioni e possibili collassi parziali delle murature in laterizio;<br>- danneggiamento di parti di tetto, ribaltamento dei passafuori e delle sporgenze, asportazione dei camini.<br><br>Parziale seppellimento e/o distruzione di un limitato numero di manufatti interessati. |

| **GRADO di RISCHIO** | **Parametri Fisici** [ordine di grandezza] | **Danni potenziali** | |
|---|---|---|---|
| | | **Persone** (criterio non pertinente in numerosità) | **Costruzioni** |
| **3 Medio** | Superficie interessata ~ 5 ha<br><br>Spessore medio del lastrone ~ 80 cm<br><br>Volume depositato ~ 10000 $m^3$<br><br>Pressione d'impatto ~ 50 kPa | I testimoni in stato di agitazione e in apprensione per la propria incolumità.<br><br>Persone travolte:<br>- stato di shock sistematico: forte disagio psicologico, possibile crollo nervoso;<br>- seri infortuni frequenti, con possibili postumi e disabilità;<br>- frequenti i casi di morte. | Danni strutturali moderati:<br>- alle aperture (porte, finestre, ecc …) distrutte;<br>- fessurazioni, deformazioni e possibili collassi delle murature;<br>- collasso generale o asportazione parziale del tetto.<br><br>Distruzione della maggior parte dei manufatti interessati.<br>Distruzione di abitazioni datate. |
| **4 Alto** | Superficie interessata ~ 20 ha<br><br>Spessore medio del lastrone ~ 150 cm<br><br>Volume depositato ~ 80000 $m^3$<br><br>Pressione d'impatto ~ 200 kPa | Panico tra i testimoni in prossimità dell'evento.<br><br>Persone travolte:<br>- Infortuni gravi quasi sistematici;<br>- Morte rapida e molto comune. | Danni strutturali significativo:<br>- livellamento (a seconda dell'altezza della costruzione) di pareti/muri e crolli multipli;<br>- distruzione del tetto.<br><br>Distruzione della quasi totalità degli edifici interessati.<br>Frequente il totale seppellimento degli edifici. |
| **5 Molto Alto** | Superficie interessata ~ 50 ha<br><br>Spessore medio del lastrone ~ 250 cm<br><br>Volume depositato > ~ 400000 $m^3$<br><br>Pressione d'impatto ~ 500 kPa | I testimoni in preda al panico.<br><br>Persone travolte:<br>- lesioni mortali quasi sistematiche;<br>- morte istantanea. | Danni strutturali totali:<br>- livellamento di pareti/muri e collasso sistematico;<br>- fessurazioni e/o distruzione parziale di strutture in cemento armato.<br><br>Dislocazione di parti di costruzioni. |

Tabella 1.1.b - Scala di intensità per il rischio valanghe, parte 2 (tradotta da Rapin, 2002).

| GRADO di RISCHIO | Effetti presumibili | | Altri criteri |
|---|---|---|---|
| | Infrastrutture e opere | Spazi agricoli e naturali | |
| **1 Molto Basso** | Nessun danno.<br><br>Strade localmente e temporaneamente scivolose e ostruite, ma che possono ancora essere usate da un veicolo 4x4 ben equipaggiato. | Rami rotti degli alberi. | - |
| **2 Basso** | Danni contenuti:<br>- parziale distruzione di pali in legno, tralicci, linee<br>- ribaltamenti e seppellimento di automobili, autobus, ecc …<br><br>Le strade possono essere localmente e temporaneamente impraticabili (persino da un veicolo 4x4 equipaggiato).<br>Scomparsa del tracciato al di sotto del deposito valanghivo e necessità di sgombero. | Alberi (isolati o in gruppo) divelti. | Possibile percezione del rumore del flusso valanghivo. |
| **3 Medio** | Danni moderati:<br>- distruzione generalizzata di barriere stradali, pali in acciaio o in cemento;<br>- ribaltamenti e seppellimento di autocarri carichi, vagoni merci.<br><br>Strade impraticabili: scomparsa del tracciato al di sotto del deposito valanghivo e necessità di sgombero estensivo. | Foresta matura localmente disboscata e trasporto di alberi.<br><br>Dislocazione e trasporto di pietre e blocchi.<br><br>Possibile ostruzione di corsi d'acqua da parte del deposito nevoso. | Frequente percezione del rumore del flusso valanghivo.<br><br>Possibile effetto esplosione (onda d'urto).<br><br>Possibili valanghe multiple |

| GRADO di RISCHIO | Effetti presumibili | | Altri criteri |
|---|---|---|---|
| | **Infrastrutture e opere** | **Spazi agricoli e naturali** | |
| **4 Alto** | Danni significativi:<br>- distruzione generalizzata di sovrastrutture inadatte all'interferenza valanghiva che ostacolano il flusso valanghivo;<br>- possibili ribaltamenti di locomotive.<br><br>Seppellimento totale e/o danneggiamento di un tratto di strada significativo.<br><br>Possibile danneggiamento e/o tracimazione di opere di anti-valanga. | Distruzione di circa 10 ha di foresta.<br><br>Dislocazione e trasporto di massi di dimensione maggiore di 1 $m^3$.<br><br>Generazione di un'onda all'interno di un lago.<br>Possibile formazione di uno sbarramento di neve e conseguente formazione di un lago.<br>Modifica temporanea della topografia locale (per effetto del deposito della neve). | Possibile traiettoria rara. Frequenti valanghe multiple.<br><br>Possibili misure temporanee di difesa (e.g., evacuazione, restrizioni, divieti). |
| **5 Molto Alto** | Danni molto significativi e generalizzati.<br><br>Possibile danneggiamento esteso e/o tracimazione ripetuta di opere di anti-valanga. | Vasta distruzione di ogni vegetazione arborea.<br><br>Paesaggio radicalmente trasformato a causa del potere distruttivo della valanga.<br><br>Importante accumulo di materiali trasportati. | Sviluppo di traiettoria rara anche in estensione spaziale ed in frequenza.<br><br>Generalizzate misure di controllo temporaneo (e.g., evacuazione, restrizioni, interdizioni). |

Tabella 1.2 - Classificazione della taglia delle valanghe degli EAWS in funzione dei loro potenziali distruttivi, modalità di arresto, lunghezza e volume. Disponibile al link.

| Dimensione | | Potenziale distruttivo | Portata | Dimensioni tipiche |
|---|---|---|---|---|
| **1** | Valanga di piccole dimensioni - Colata | Relativamente innocua per le persone, seppellimento improbabile, eccetto quando la zona di deposito è sfavorevole<br>Il pericolo di caduta sui pendii estremi è più marcato del pericolo di seppellimento | Si ferma su un pendio ripido | Lunghezza < 50 m<br>Volume: 100 m³ |
| **2** | Valanga di medie dimensioni | Può seppellire, ferire o causare la morte di persone.<br>Rappresenta tipicamente le valanghe dello sciatore | Può raggiungere il piede del pendio | Lunghezza: 50-200 m<br>Volume: 1'000 m³ |
| **3** | Valanga di grandi dimensioni | Può seppellire e distruggere automobili, danneggiare autocarri, può distruggere piccoli edifici e piegare alberi isolati.<br>Se sciatori sono coinvolti in valanghe di questa dimensione, le conseguenze sono spesso fatali. | Può percorrere terreni pianeggianti (nettamente inferiore a 30°) per una distanza inferiore ai 50 m. | Lunghezza: diverse centinaia di m<br>Volume: 10'000 m³ |
| **4** | Valanga di dimensioni molto grandi | Può seppellire e distruggere autocarri pesanti e vagoni ferroviari.<br>Può distruggere edifici più grandi e parti del bosco.<br>Le valanghe di dimensioni molto grandi sono possibili già con grado di pericolo 3 – marcato, e sono tipiche dei gradi di pericolo 4 – forte e 5 – molto forte. | Percorre terreni a ridotta inclinazione (nettamente inferiore a 30°) per una distanza superiore ai 50 m<br>Può raggiungere il fondo valle. | Lunghezza: 1-2 km<br>Volume: 100'000 m³ |
| **5** | Valanga di dimensioni estreme | Può devastare il paesaggio, ha un potenziale distruttivo catastrofico.<br>Tipica valanga del grado di pericolo 5 – molto forte. | Raggiunge il fondovalle<br>Rappresenta le massime dimensioni note. | Lunghezza > 2 km<br>Volume > 100'000 m³ |

## 2.2 Impatto delle valanghe sui manufatti

Verranno qui di seguito rapidamente esposte alcune considerazioni relativamente all'impatto di una valanga su una costruzione e/o infrastruttura al fine di aumentare la consapevolezza dei tecnici sull'entità dei possibili effetti di un'interferenza valanghiva (Fig. 2.5). Le forze e le pressioni esercitate dalle valanghe sulle costruzioni sono tutt'oggi oggetto di ricerche e studi: attualmente, non esiste strumento normativo per valutazioni tecniche. Nel prosieguo si forniranno elementi e riferimenti bibliografici utili per valutare, quantificare gli effetti dell'interferenza e dimensionare un manufatto in zone soggette a pericolo valanghivo.
Si sottolinea come queste Linee Guida debbano essere considerate quale insieme di indicazioni per fornire uno strumento in aiuto al tecnico, ma lontane dall'essere un elenco di prescrizioni imperative da osservare.

La forza d'impatto di una valanga su una costruzione è generalmente correlata all'energia cinetica del flusso, ovvero in relazione alla velocità e alla densità (puntuale o media). Nel seguito si parlerà di **pressione di riferimento**, ovvero la pressione (considerata statica) generata dal flusso valanghivo impattante su una superficie verticale di 1 $m^2$. La pressione d'urto e/o di impatto risulta proporzionale alla pressione di riferimento con coefficienti dipendenti: dalla posizione dell'ostacolo rispetto al moto (impatto frontale, laterale, con sviluppo in verticale, ecc …), dalla sua forma e dimensione e, non ultimo, dalla natura del flusso (denso o polveroso) e il suo regime di moto (e.g., inerziale, gravitativo, intermedio).

In analogia con la fluidodinamica, in generale, la pressione di impatto è calcolata come:

$$p = ½\, C\, \rho\, v^2 \tag{2.1}$$

ovvero il prodotto tra la pressione dinamica (prodotto tra la densità del flusso valanghivo, $\rho$, e il quadrato della sua velocità, $v$) e il coefficiente di resistenza aerodinamico $C$ dipendente dalla forma, dimensione dell'ostacolo e tipo di neve. Insieme a quella longitudinale (esercitata secondo la direzione principale del flusso della valanga, su un ipotetico piano parallelo al suolo), può essere di interesse il calcolo della sua componente all'ostacolo in base all'angolo di deviazione del flusso (per ostacoli di grande dimensione), della componente sub-verticale (che si sviluppa lungo la direzione perpendicolare al piano di scorrimento della valanga, in direzione ascendente) e la pressione tangenziale o laterale, solitamente influenzate e stimate in base a coefficienti di attrito.
Per ulteriori approfondimenti si rimanda al "Manuale per lo studio dell'interazione del flusso valanghivo con un ostacolo" (Chiaia et al., 2012).

Non è da trascurare inoltre l'effetto dei carichi puntuali e impulsivi che i manufatti/strutture/ostacoli possono subire a causa degli elementi solidi trasportati dal flusso valanghivo, quali, alberi, tronchi, massi, blocchi di ghiaccio, ecc …

In generale, è assai impegnativo (e futile) pensare di realizzare costruzioni in grado di resistere a pressioni di impatto elevate per le quali la richiesta di resistenza sia di gran lunga superiore alle resistenze delle costruzioni. Grazie ad analisi, osservazioni e misurazioni in occasione di eventi valanghivi, si possono riscontrare pressioni d'impatto istantanee superiori a 1000 kPa, valori che escludono categoricamente la realizzazione di costruzioni civili ordinarie.

Figura 2.5 - Danni da valanga su edificio: è possibile osservare la completa asportazione della copertura. Ceresole Reale, Piemonte (Chiambretti, 2009).

A titolo di esempio (Rapin, 2002), si consideri che una pressione di impatto di una valanga polverosa di 1 – 4 kPa può comportare la rottura dei vetri delle finestre di un'abitazione; mentre una pressione tra i 20 e i 30 kPa indotta da una valanga densa può distruggere strutture in legno.

Si prenda in considerazione il valore di 30 kPa (ovvero 3 t/m²) della pressione d'impatto valanghivo, ampiamente condiviso e indicato in molte linee guida, risulta il limite per la sistemazione (e non la nuova realizzazione) di costruzioni civili ordinarie. Ipotizzando una densità del flusso pari a 400 kg/m³ (oppure 300 kg/m³), grazie all'Eq. 2.1, si ottiene una velocità "critica" della valanga di 12 m/s (45 km/h) oppure di 14 m/s (50 km/h), valori significativi, ma verosimili e facilmente raggiungibili da valanghe radenti.
Ipotizzando invece un valore di densità pari a 10 kg/m$^3$ (valore medio caratteristico per valanghe polverose, comunque compreso tra 5 kg/m$^3$ e 20 kg/m$^3$), si ottiene una velocità di una valanga polverosa pari a 78 m/s (280 km/h).

Mentre in Italia, il valore limite di 30 kPa rimane tale per qualunque tipologia di flusso valanghivo, non è così in altri Stati. Ne è esempio la Francia, dove per le valanghe nubiformi non esiste un valore limite univoco, ma è variabile territorialmente (Givry e Perfettini, 2004). Pertanto, l'individuazione delle pressioni di riferimento per valanghe polverose è estremamente vago e con range di valori ampio, da 3 a 30 kPa (ovvero da 300 kg/m² a 3 t/m²), con conseguenti difficoltà nella progettazione di costruzioni e manufatti, specialmente con riferimento alle aperture e con conseguenti caratteristiche tecniche.

Nel caso (assai frequente) in cui una costruzione possa essere interessata dall'impatto di solidi trascinati dalla massa valanghiva, deve essere preso in considerazione il carico indotto all'impatto puntuale.

Esso può essere calcolato (Egli, 2005) come una forza statica equivalente applicata su un'impronta di diametro pari a 25 cm, con intensità in relazione della pressione di riferimento della valanga:

- 100 kN nel caso di valanga con pressioni di riferimento pari a 30 kPa (3 t/m²);
- 66 kN nel caso di valanga con pressioni di riferimento pari a 20 kPa (2 t/m²);
- 33 kN nel caso di valanga con pressioni di riferimento pari a 10 kPa (1 t/m²).

Si noti come questa forza agisca contemporaneamente alle pressioni valanghive indotte.

Un parametro importante per lo studio dell'interazione valanghiva con ostacoli e manufatti è l'analisi e la definizione del **punto di applicazione** (i.e., altezza oppure lo sviluppo in altezza) e della **direzione** di applicazione delle **forze di impatto valanghivo**, le cui variazioni inducono conseguenze assai differenti anche in relazione alla tipologia di valanga.
Solitamente, per le valanghe dense, le altezze di applicazione delle forze d'impatto sono relativamente contenute (e.g., dai 3 ai 7 m), con intensità variabile con lo sviluppo in altezza. Diversamente, la pressione indotta dalle nubiformi deve essere applicata uniformemente per tutta l'altezza dell'ostacolo, su tutte le pareti esposte all'azione valanghiva.
Per quanto riguarda la direzione di applicazione delle forze (e delle pressioni), è generalmente ragionevole ipotizzare che la direzione di propagazione del fenomeno valanghivo sia quella corrispondente alla linea di massima pendenza per i flussi influenzati dalla topografia.
È necessario inoltre considerare che:

- traiettorie di valanghe dense rispetto quelle polverose sono generalmente differenti;
- all'uscita dei canali di scorrimento le traiettorie possono deviare significativamente;
- le traiettorie di valanghe di neve bagnata possono essere assai variabili, con cambi di direzione anche sorprendenti in relazione all'orografia puntuale del terreno;
- le irregolarità della superficie, l'accumulo locale di elementi trasportati e/o anche la presenza ostacoli possono deviare significativamente le traiettorie;
- all'interno della stessa valanga, flussi secondari tendono spesso a zigzagare e deviare in modo significativo.

Per tutte le ragioni suesposte, si considera che uno scostamento dell'ordine di grandezza pari a ±20° rispetto alla direzione principale del flusso, sia di per sé trascurabile anche in presenza di particolarità puntuali. Al contrario, è necessario tenere in conto le deviazioni tra i 30° e i 45° dovute ad ostacoli importanti che interagiscono effettivamente con il flusso valanghivo.

Il punto di applicazione della forza puntuale indotta da solidi trasportati dal flusso valanghivo può essere posizionato a qualunque quota all'interno dell'altezza del manufatto, ovvero nell'altezza di sviluppo della massa nevosa. Il punto di applicazione di questa forza puntuale è scelto ad una quota inferiore all'altezza del manufatto e allo sviluppo in altezza del flusso valanghivo.

### 2.2.1 Combinazioni di azioni valanghive

Per procedere alla valutazione dei carichi indotti dalle valanghe sui manufatti (Fig. 2.6) e alla loro combinazione è necessario considerare alcuni aspetti (De Biagi et al., 2012):

Figura 2.6 - Danneggiamento di un edificio. Sono evidenti i danni alla copertura, alle sue parti sporgenti e il deposito valanghivo sulla falda di monte. Ceresole Reale, Piemonte (Chiambretti, 2009).

- l'evento "valanga" è un fenomeno accidentale (tranne ovviamente per le strutture di protezione da valanghe, progettate all'uopo e per le quali la valanga è un'azione considerata ordinaria);
- salvo casi puntuali ed espressamente specificati, i manufatti devono essere verificati esclusivamente allo Stato Limite Ultimo - SLU, ovvero devono essere verificate solamente le resistenze e non le deformazioni. Si accetta quindi la situazione in cui, dopo un evento valanghivo, elementi strutturali siano deformati e/o danneggiati in modo irreversibile. Per casi specifici, tale indicazione può essere più restrittiva. Ne sono esempio le opere fisse degli impianti di risalita che, a seguito di un evento valanghivo, devono comunque garantire funzionamento ed efficienza;
- le azioni indotte dall'evento valanga densa e valanga polverosa non sono cumulabili: ovviamente è necessario considerare la condizione più cautelativa;
- nelle casistiche di importanti impatti puntuali indotti da solidi trasportati, la loro azione è cumulabile e deve essere combinata con le azioni indotte dalla valanga;
- gli eventi sismici e le azioni dinamiche ad essi associate non sono cumulabili con l'azione valanghiva, così come le azioni eoliche;
- è necessaria un'analisi della combinazione di azioni indotte dal carico neve e valanghivo. Quest'ultime possono essere combinate e cumulate con il carico neve in quanto è altamente probabile che valanghe di maggiore intensità si manifestino con significativi quantitativi di neve.

## 2.3 Modelli di dinamica delle valanghe

Lo studio dell'interferenza valanghiva, insieme alla necessità di stesura e di aggiornamento della cartografia tematica tecnica per il pericolo valanghe, ha guidato la necessità di comprendere e mimare il moto e la propagazione degli eventi permettendo lo sviluppo nel tempo di modelli di dinamica delle valanghe. Da quelli empirici (che permettono esclusivamente il calcolo delle distanze di arresto), a quelli fisico-matematici, partendo da quelli analitici, arrivando, ad oggi, ai numerici, questi modelli consentono di ricostruire la dinamica del flusso nevoso dal distacco all'arresto, con la possibilità di calcolare velocità e distanze d'arresto, e anche, per quelli più recenti, pressioni di impatto, le altezze di deposito, densità, direzioni di flusso e caratteristiche di deposito.
Verranno qui presentati i modelli per l'analisi dinamica delle valanghe considerando i due possibili approcci (empirico e fisico-matematico), legandoli al tipo di flusso valanghivo ed all'approccio di modellazione.

### 2.3.1 Modelli empirici

I modelli empirici si basano su elaborazioni statistiche di eventi valanghivi storici, prescindendo dalla fisica del fenomeno. Essi consentono esclusivamente la stima della distanza d'arresto di una valanga e possono essere distinti in tre sottoclassi: modelli regressivi, inferenziali e comparativi (Barbolini, 2004).
Basandosi su regressioni statistiche di un robusto campione di siti valanghivi e loro eventi ben documentati, i modelli regressivi consentono di stimare la massima distanza di arresto di bacino esclusivamente sulla base ai principali parametri topografici del sito (e.g., inclinazione media della zona di distacco, dislivello, larghezze del bacino valanghivo, concavità del profilo longitudinale del pendio, ecc…). Tra i modelli regressivi, detti anche "modelli statistico-topografici norvegesi" per ricordare le loro origini al Norwegian Geotechnical Institute (NGI) di Oslo, quelli $\alpha/\beta$ ad una sola variabile sono i più applicati (Bovet, 2005).
I modelli inferenziali si basano sull'adattamento di leggi di distribuzione di probabilità a campioni di distanze di arresto di dati opportunamente scalati (mediante il "rapporto di arresto", McClung et al., 1989) ed adattati con un'opportuna legge di ripartizione (i.e. la legge di Gumbel per distanze di arresto estreme). La probabilità che un evento estremo raggiunga una certa distanza di arresto è anche qui funzione di un parametro topografico, il rapporto d'arresto RR.
Il metodo comparativo (Bakkehøi e Norem, 1993) stima invece la massima distanza di arresto raggiungibile da una valanga grazie alla metodologia di tipo "nearest neighbours" come media delle distanze di arresto estreme relative a siti valanghivi che mostrano somiglianza topografica con il sito in esame.

### 2.3.2 Modelli fisico-matematici

In linea di principio, i modelli fisico-matematici utilizzano sistemi di equazioni che consentono di descrivere la dinamica del fenomeno dal distacco all'arresto e di ottenere una caratterizzazione più completa delle sue grandezze fisiche (velocità, pressioni d'impatto, altezze di scorrimento e di deposito, distanze di arresto, ecc…). Si presentano qui rapidamente in base alla tipologia di valanga in forma analitica o numerica.

Le **valanghe radenti** (o **dense**) sono essenzialmente modellate in base a due differenti approcci: i modelli a centro di massa (che schematizzano la valanga come un blocco di neve rigido che scivola lungo il pendio) e i modelli di tipo continuo (che considerano la valanga come un fluido in movimento) – (Barbolini, 2004).

Per questi ultimi la valanga è un mezzo continuo monofase il cui moto è descritto grazie al bilancio di massa e di quantità di moto di continui deformabili, valutandone l'evoluzione spazio-temporale.

Più completi e realistici, e per questo più complicati, questi modelli richiedono la definizione di leggi costitutive e del tipo di moto. Si suddividono in due famiglie (le quali si rimanda alla bibliografia tecnica):

- modelli basati sulle equazioni di Navier-Stokes, newtoniani o biviscosi a seconda del modello reologico adottato;
- modelli di tipo idraulico (o di tipo integrale), basati sulle equazioni di De Saint Venant a loro volta suddivisibili in base alla reologia utilizzata, e.g., di tipo coulombiano o visco-plastico, ecc … .

Tra i modelli a centro di massa si distingue il modello analitico di Voellmy-Salm (Voellmy, 1955; Salm, 1966, 1968) utilizzato per molti anni come base tecnica per la perimetrazione delle aree valanghive in Svizzera, e tuttora alla base di sofisticati modelli numerici di dinamica del flusso denso della valanga. Di semplice uso e facile implementazione in fogli di calcolo elettronici, esso è ampiamente utilizzato in ambito ingegneristico. Il modello di Voellmy considera lo scorrimento della valanga come fluido incomprimibile, infinitamente esteso, in condizioni di moto stazionario, semplificando fortemente la geometria reale del pendio suddividendola in due tratti a pendenza costante rappresentanti la zona di scorrimento (in cui si calcola la velocità massima) e la zona di arresto (per il calcolo della distanza d'arresto), rispettivamente. Questo modello, dopo molti anni di validazione e calibrazione, fu incluso, nelle Direttive per la considerazione del pericolo di valanghe nelle attività di incidenza territoriale del 1990 (Salm et al., 1990).

Per lo studio delle **valanghe nubiformi**, in letteratura si distinguono:

- i density current models, modelli monofase analoghi a quelli utilizzati per descrivere le correnti sottomarine di torbidità. Essi considerando le valanghe polverose come altri fenomeni aerosol naturali (e.g. le nuvole piroclastiche) sottolineandone la turbolenza;
- i binary mixture models, modelli bifase in cui le dinamiche delle fasi solida e aeriforme vengono descritte separatamente mediante le rispettive equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto, evidenziando la presenza dello strato di saltazione in ciascuna valanga polverosa.

### 2.3.3 Software di simulazione della dinamica delle valanghe

Una previsione accurata delle distanze di deflusso delle valanghe, delle velocità e delle pressioni di impatto in terreno naturale tridimensionale è la motivazione trainante dietro lo sviluppo di modelli migliorati della dinamica delle valanghe. Al fine di supportare i professionisti e i ricercatori, negli ultimi decenni si sono sviluppati diversi modelli numerici per interpretare il moto degli eventi valanghivi. Basati su modelli fisico-matematici, questi software consentono di risolvere nello spazio-tempo (di calcolo) il sistema di equazioni scelto che guida la propagazione (e l'arresto) del fenomeno fisico, addivenendo ad una "soluzione discreta", approssimazione delle variabili dinamiche in punti della griglia numerica scelta (e.g., bacino valanghivo).

Tipicamente, questi modelli numerici vengono applicati negli studi di mappatura del pericolo di valanghe per mimare sia, a ristroso, gli eventi documentati, sia le conseguenze di possibili scenari di pericolo. Al di là della capacità del modello numerico di simulare accuratamente lo scorrimento della neve sul terreno naturale, la qualità dei risultati dipende in larga misura dall'esperienza e dal know-how del tecnico esperto, soprattutto nella definizione delle condizioni iniziali dello scenario di pericolo, ma anche nella conoscenza delle potenzialità e dei limiti del modello utilizzato.

È comunque necessario tenere presente che i software di simulazione sono strumenti utili, ma forniscono soluzioni approssimate in base alle ipotesi ed assunzioni del modello fisico scelto e, perciò, non rappresentano completamente la realtà che si trova in natura.

Oltre alla correttezza, intesa come capacità di fare ciò per cui è stato progettato per fare, ogni software destinato ai professionisti delle valanghe deve essere:

- validato: ovvero deve essere stata valutata la corrispondenza tra l'accuratezza della riproduzione dei valori delle variabili dinamiche e quelli misurati o comunque noti (calcolati da back-analysis) degli eventi reali. La validazione dei modelli può implicare inoltre la definizione di gruppi di parametri interni (indicati, solitamente, nel manuale d'uso) ai quali l'utente può fare riferimento per essere introdotto all'uso pratico del modello;
- "stabile" nella risoluzione numerica e accurata delle equazioni differenziali che governano il modello, manifestando raramente malfunzionamenti ed errori di calcolo;
- robusto rispetto ad errori e situazioni impreviste e prestazionale limitando l'uso delle risorse informatiche (e.g., memoria, CPU, ecc…);
- di facile di approccio, con inserimento dei dati e restituzione dei risultati, che devono essere chiari, comprensibili ed agevolmente valutabili in termini di correttezza di inserimento o di prodotto. Ciò è comunque soggettivo rispetto alla formazione ed esperienza dell'operatore.

Le limitazioni del modello devono essere chiaramente esposte.

Si riportano brevemente qui di seguito i software di simulazione più utilizzati dai professionisti e dai tecnici degli Uffici valanghe.

MODELLO MONO-DIMENSIONALE AVAL-1D

AVAL – 1D è il primo software di dinamica delle valanghe presentato alla fine del XX secolo sviluppato e commercializzato al WSL Istituto per la Ricerca sulla Neve e sulle Valanghe - SLF di Davos (CH). Con un'interfaccia grafica comune e di collegamento, AVAL- 1D è composto da due moduli monodimensionali di calcolo per i flussi radenti (**FL-1D**) e per quelli polverosi (**SL-1D**). Entrambi i moduli applicano il metodo delle differenze finite per risolvere le equazioni differenziali che descrivono la conservazione della massa, dell'energia e della quantità di moto.

Il termine monodimensionale si riferisce al fatto che una singola componente di velocità, parallela al percorso della valanga, viene utilizzata per descrivere il movimento sia delle valanghe radenti sia degli strati di neve polverosa in sospensione o saltazione (Christen et al., 2002). Il percorso della valanga viene descritto attraverso una topografia bidimensionale con larghezza in input, per le valanghe radenti, o unitaria, per le polverose.

Il modulo per il **flusso radente** (**FL-1D**) è un modello di natura idraulica quasi monodimensionale e descrive il moto della valanga basandosi sul modello analitico di Voellmy-Salm (Christen et al., 2002), mentre il modulo per il **flusso polveroso** (**SL-1D**) è basato sulla formulazione di Norem (1995).

Oltre alla topografia di bacino (profilo longitudinale e, eventualmente, la larghezza), i dati in input consistono nella definizione del lastrone di distacco e di due parametri di "attrito" tabellati inseriti grazie a semplici finestre interattive. Gli output principali risultano:

- informazioni continue sull'altezza, la velocità e la pressione del flusso lungo l'intero percorso della valanga;

- distanze di arresto e distribuzione della massa del deposito valanghivo;
- la visualizzazione animata dello scorrere della valanga;
- i diagrammi XY in punti selezionati dall'utente lungo il percorso della valanga (evoluzione spazio-temporale del fenomeno);
- la visualizzazione dei risultati per tutti i punti del percorso e del profilo in punti selezionati dall'utente;
- la possibilità di sovrapporre più simulazioni per un immediato confronto dei risultati.

Primo tentativo di introdurre nella pratica quotidiana modelli numerici di dinamica delle valanghe, AVAL-1D rappresenta uno strumento di analisi delle valanghe semplice, stabile e ben calibrato.

MODELLO MON-DIMENSIONALE AVAFRAME

Frutto della collaborazione tra Servizio Valanghe e Torrenti ministeriale austriaco (WLV) ed il Centro Austriaco di Ricerca per le Foreste (Bundesforschungszentrum für Wald; BFW), il software AvaFrame - The Open Avalanche Framework è un framework open source (concesso in licenza con la licenza pubblica dell'Unione Europea - EUPL) per i flussi di neve densa. Si tratta di un'implementazione di SAMOS- AT in ambiente Python e Cython dove le equazioni che governano la moto della valanga considerano la massa incomprimibile (AvaFrame, 2021). È tuttora in sviluppo e continuo aggiornamento.

MODELLO BI-DIMENSIONALE RAMMS

Sviluppato dagli Istituti Federali svizzeri di Ricerca (WSL) e per lo Studio della Neve e delle Valanghe (SLF), il modello RAMMS - Rapid Mass Movements Simulation è nato per simulare fenomeni gravitativi, tra cui le valanghe di neve, per la redazione di cartografia e per applicazioni pratiche per l'ingegneria.
Evoluzione del modello AVAL-1D, RAMMS è un modello numerico bidimensionale che studia il moto della valanga su un modello digitale tridimensionale del terreno.
Validato principalmente in siti reali di grandi dimensioni, il modulo per le valanghe risolve le equazioni 2D del moto per flussi granulari, basandosi sul modello Voellmy-Salm e il metodo degli elementi finiti (Christen et al., 2010, 2012). Esso è sviluppato per valanghe di tipo misto considerandole costituite da due strati: il "flowing core" e la "powder cloud" rispettivamente il flusso denso e la parte polverosa. Il "core" si muove parallelamente al pendio espandendosi lateralmente e permette l'inglobamento dell'aria. Qui, le particelle più leggere migreranno verso l'alto andando a formare la "cloud" che, successivamente, si muoverà indipendentemente. La griglia di calcolo del modello RAMMS è un Digital Terrain Model – DTM del bacino valanghivo, grazie al quale il modello determina il vettore velocità in due dimensioni, la direzione e l'ampiezza del flusso valanghivo con il metodo numerico dei volumi finiti.
Per facilitare l'introduzione di parametri nel modello (e.g., l'area di distacco, i coefficienti di attrito, la topografia, ecc …) è possibile caricare immagini satellitari, fotografie aeree o cartine topografiche georeferenziate. RAMMS è collegato a sistemi GIS (e.g., GRASS GIS, QGIS, ecc …) che permettono l'inserimento delle coordinate spaziali, di includere depositi di eventi precedenti, di specificare facilmente le aree di distacco, ecc … e la restituzione dei risultati su shapefiles.
Gli output del programma sono le variabili dinamiche per tutto lo sviluppo spazio-tempo della simulazione della valanga, come la velocità del flusso denso e polveroso, la distribuzione delle altezze dei depositi, le pressioni, la quantità di moto della massa, ecc ... Tutti questi parametri sono visualizzabili anche nei loro valori massimi e tramite animazioni esportabili che mostrano lo scorrimento della valanga verso valle. È possibile presentare i risultati anche su mappe 2D e 3D.

Il software si distingue in quanto riesce a rappresentare rapidi movimenti gravitativi, tenendo conto, oltre che della morfologia di bacino, anche della possibile presenza di opere, della vegetazione e del bosco.

MODELLO TRI-DIMENSIONALE SAMOS

Sviluppato in Austria dal 1999, il modello SAMOS, Snow Avalanche MOdelling and Simulation (o SAMOS-AT – Snow Avalanche MOdelling and Simulation - Advanced Technology) è sviluppato dal Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste austriaco (BMLFUW), da AVL-List GmbH (Graz, A), dall'Università Tecnica di Vienna (TU Wien), dal Servizio Valanghe e Torrenti ministeriale austriaco (WLV) e dall'Istituto per la Ricerca sulle valanghe e sui torrenti del Centro Austriaco di Ricerca per le Foreste (BFW, Innsbruck, A) ed è in continua evoluzione.

Tipicamente per valanghe miste di neve asciutta, SAMOS è un'estensione del modello di Voellmy basato sui modelli DFL (Dense Flow Layer) per la componente radente (con densità di 200-300 kg/m$^3$) e PSL (Powder Snow Layer) per la componente nubiforme (con densità di 1-10 kg/m$^3$). Esso è perciò in grado di descrivere l'intera gamma di valanghe miste asciutte, dal puro flusso denso a quello puramente polveroso.

Grazie agli input (e.g., l'altimetria numerica del terreno (DEM), l'area e l'altezza di distacco, densità, attriti, ecc …), questo software restituisce altezze, velocità e pressione del flusso valanghivo e le sue variazioni di massa considerando la quantità di neve che viene inglobata nel flusso e quella che si sedimenta.

## 2.4 Analisi delle condizioni nivo-meteorologiche

Le osservazioni in campo delle condizioni nivo-meteorologiche e del manto nevoso sono una parte essenziale delle operazioni relative al pericolo valanghe che siano riferite alle opere di mitigazione del rischio, alla mappatura oppure alla previsione.

Questi dati rappresentano una serie di misurazioni delle condizioni meteorologiche e del manto nevoso condotte in campi neve attrezzati o casuali, rilevati ad intervalli regolari per riconoscerne eventuali variazioni. Robuste serie di dati nivo-meteorologici sono inoltre usate per supportare la previsione del pericolo valanghe con tecniche statistiche e numeriche ed incrementare la conoscenza sulla climatologia locale. Per questo sono oggetto di protocolli comuni di misurazioni standardizzati anche per più semplici e rapide analisi, condivisioni (anche internazionali) e futura fruizione dei dati stessi.

Ne risultano fondamentali le reti di rilevamento pubbliche o private composte da stazioni automatiche e da rilievi manuali. I sistemi di rilevamento automatizzati consentono di disporre in continuo e in tempo reale di dati relativi a diversi parametri (e.g., altezza del manto nevoso, temperatura dell'aria e del manto nevoso, direzione e velocità del vento, radiazione solare incidente e riflessa, umidità relativa, pressione atmosferica, ecc …), ma non sostituiscono completamente i rilievi tradizionali che, grazie alla raccolta di maggiori informazioni anche sulla stabilità del manto nevoso, sull'attività valanghiva e alle preziose osservazioni del rilevatore, sono un essenziale supporto per la previsione dell'evoluzione nivo-meteorologica locale.

### 2.4.1 Base dati

Spesso dall'analisi dei dati delle stazioni di rilevamento si riscontrano numerosi "buchi", ovvero anni per i quali non sono disponibili registrazioni dei parametri o per i quali il numero di misurazioni è talmente ridotto da rendere la serie di dati inutilizzabile. Svariate possono essere le ragioni di ciò: l'assenza giornaliera del-

l'operatore nella stazione manuale, l'inizio delle misure stagionali non coincidente con quello delle precipitazioni nevose, malfunzionamento di sensori o delle trasmissioni in stazioni automatiche in zone remote, esigenze organizzative, ecc ... In generale, tale tipo di carenza non si ritiene abbia un effetto rilevante nella determinazione dei valori massimi stagionali dei parametri nivometrici, al contrario sulle analisi per valutare le precipitazioni totali annue e/o i regimi nivometrici.
La mancanza di registrazioni in periodi nivometrici particolarmente prolungati e di precipitazioni significative può comportare la completa eliminazione della stagione dalla serie di dati.

In taluni casi, si possono presentare incertezze sull'esatta ubicazione altimetrica della stazione manuale per la delocalizzazione (seppure esigua) del punto di acquisizione dati da parte del rilevatore. In questo caso, solitamente, si procede comunque con accorpamento delle serie storiche di dati rilevati a quote di poco variabili e con l'assegnazione alla relativa stazione di una quota media rispetto alle differenti quote dei rilevamenti.

### 2.4.2 Parametri fondamentali per le analisi valanghive

A titolo generale, tre sono le grandezze nivometriche fondamentali per svolgere analisi valanghive che siano statistiche, dinamiche o per la progettazione di opere di mitigazione del rischio valanghe:

- **altezza della neve fresca**, **HN**, caduta nelle ultime 24 ore. Espresso in cm, questo spessore del manto nevoso che si deposita in un singolo episodio nevoso di 24 ore, è misurato in genere tra le 8 e le 9 del mattino, su superficie ripulita o tavoletta nivometrica;
- **altezza del manto nevoso al suolo**, **HS**, espressa in cm. È il parametro nivometrico di progetto per il dimensionamento delle opere di mitigazione del rischio sia in zona di distacco, sia in zona di arresto (Barbolini, 2005 - 2015);
- **incremento dell'altezza del manto nevoso su tre giorni consecutivi di precipitazione**, **DH3gg**. Espresso in cm e misurato sulla verticale, è il parametro nivometrico di riferimento per l'analisi della dinamica delle valanghe, anche finalizzato alla mappatura di pericolosità. Esso è dipendente dalla localizzazione geografica dell'area in studio, dalla quota media della zona di distacco, dal trasporto eolico della neve e da un eventuale tempo di ritorno (Barbolini, 2005 - 2015).

Le misure di queste grandezze sono standardizzate secondo convenzioni internazionali, pena la mancata confrontabilità delle misure (Mercalli, 2012).

Molti sono i fattori atmosferici e metereologici che influenzano le condizioni del manto nevoso, tra cui temperatura e l'umidità dell'aria, l'irraggiamento, ecc …, ma quello principale è, di fatto, il vento, a sua volta fortemente dipendente dall'orografia locale. Dagli effetti di distribuzione e ridistribuzione della neve al suolo e in precipitazione grazie all'erosione o deposito anche in formazione di cornici, alla compattazione del manto nevoso con la formazione di lastroni, placche e cornici, la valutazione della direzione prevalente del vento è fondamentale al fine di individuare le zone di potenziale distacco e maggiormente esposte ai sovraccarichi da vento. Per contro, l'intensità è essenziale per quantificare i sovraccarichi indotti dal trasporto eolico della neve. L'importanza del fattore vento non si osserva esclusivamente nell'analisi della stabilità del manto nevoso e nella previsione di eventi valanghivi, ma è fondamentale nella progettazione delle opere di difesa in zona di distacco e per la definizione delle condizioni di distacco nelle analisi dinamiche.

## Riferimenti bibliografici e approfondimenti

*AINEVA – Associazione Interregionale di coordinamento e documentazione per i problemi inerenti alla neve e alle valanghe. Il sito dell'associazione è consultabile al link.*

*AINEVA. Le Valanghe. A cura di A. Praolini, G. Tognoni, E. Turroni. 2021. Documento disponibile al link.*

*Bakkehøi S., Norem H., Comparing topographical and dynamical run-out models by ideas of "Nearest Neighbour Method". 2nd Avalanche-Dynamics-Workshop in Innsbruck. 1993*

*Barbolini M., Modelli per il calcolo delle valanghe. Appunti del Corso Neve e Valanghe Università degli Studi di Pavia. A.A. 2004/2005.*

*Barbolini M., Definizione dei valori di progetto di parametri nivometrici standard sul territorio valdostano. Regione autonoma Valle d'Aosta. 2005 -2015. Consultabile al seguente link.*

*Bovet E., Dinamica delle valanghe: modelli matematici e legami costitutivi. Tesi di Laurea. Politecnico di Torino. 2005*

*Chiaia B., De Biagi V., Frigo B., Pitet L., Segor V., Manuale per lo studio dell'interazione del flusso valanghivo con un ostacolo. 2012, Progetto RiskNat, eds Regione Autonoma Valle d'Aosta.*

*Christen M., Bartelt P., Gruber U., Filaferro E., AVAL-1D: un programma di dinamica delle valanghe per l'uso comune. Neve e Valanghe, n. 47, Dicembre 2002*

*Christen M., Kowalski J., Bartelt P., RAMMS: numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. Cold Reg. Sci. Technol., 63(1–2), 1–14. 2010*

*Christen M., Bühler Y., Bartelt P., Leine R., Glover J., Schweizer A., Graf C., McArdell B.W., Gerber W., Deubelbeiss Y., Feistl T., Volkwein A., Integral hazard management using a unified software environment: numerical simulation tool "RAMMS" for gravitational natural hazards, edited by: Koboltschnig, Hübl, Braun, 12th Congress INTERPRAEVENT, 23–26 April 2012 Grenoble, France, Proceedings, Vol. 1, Klagenfurt, International Research Society INTERPRAEVENT, 77–86. 2012*

*Conway H., Abrahamson J., Snow stability index. Journal of Glaciology, 30, 106, 321-327. 1984*

*De Biagi V., Frigo B., Chiaia B., Linee guida per la progettazione di edifici soggetti ad impatto valanghivo. 2012, Progetto RiskNat, eds Regione Autonoma Valle d'Aosta*

*EAWS – European Avalanche Warning Services. Consultabile al seguente link.*

*Egli T., Recommandations – Protection des objets contre les dangers naturels gravitationnels. Eds Association des établissements cantonaux d'assurance incendie, Berne, 2005*

*Frigo B., Effetti sulle strutture della componente aerosol delle valanghe di neve: il caso della Valle d'Aosta. Tesi di Laurea. Politecnico di Torino. 2003*

*Frigo B., Modelli meccanici per l'innesco e la propagazione delle valanghe di neve. Tesi di Dottorato. Politecnico di Torino. 2006*

*Givry M., Perfettini P., Construire en Montagne – La prise en compte du risque d'avalanche, Ministère de l'Ecologie et du Developpement durable, Ministère de l'Equipement des Trasports, du Logement, du Tourisme et de la Mer, 2004.*

*Issler D., Experimental information on the dynamics of dry-snow avalanches, Hutter, Kolumban and Nina Kirchner, eds., Dynamic Response of Granular and Porous Materials Under Large and Catastrophic Deformations, Springer, Berlin, vol. 11 of Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics, 109–160. 2003*

*McClung D.M., Schaerer P., Snow avalanche size classification, Proceedings of the International Snow Science Workshop, Vancouver, BC, Canada, 1980.*

*McClung D.M, Mears A.I., Schaerer P., Extreme avalanche run-out: Data from four mountain ranges. Annals of Glaciology Vol. 13, 180-184. 1989*

*McClung D.M., Schaerer P., Manuale delle Valanghe. Manuale delle valanghe. Formazione. Dinamica ed effetti. Prevenzione e sicurezza. Soccorso. Zanichelli Editore. 1996*

*McClung D.M., Stethem C.J., Schaerer P., Jamieson J.B., Guidelines for Avalanche Risk Determination and Mapping in Canada. Canadian Avalanche Association (eds.), Revelstoke, BC. 2002*

*Mercalli L., Note sul metodo di misura della neve. Nimbusweb. 2012. Consultabile al seguente link.*

*AvaFrame. AvaFrame: the open avalanche framework. 2021. Consultabile al seguente link.*

*Norem H., Shear stresses and boundary layers in snow avalanches. NGI Technical Report 581240-3. Oslo, Norway. 1995*

*Pagnutti D., Della Santa M., Valanga, lavina o slavina? Parole sotto la lente. Vivere la Montagna, 6-7. 2004*

*Rapin F., A new scale avalanche intensity. Proceedings of the International Snow Science Workshop, Penticton, BC, Canada, 2002.*

*Regione Autonoma Valle d'Aosta – Regione Piemonte. Foreste di protezione diretta. Disturbi naturali e stabilità nelle Alpi occidentali. Compagnia delle Foreste, Arezzo, pp. 144. 2011. Documento disponibile al link.*

*Salm B., Contribution to avalanche dynamics. International Association of Scientific Hydrology Publication 69 (Symposium at Davos 1965 - Scientific Aspects of Snow and Ice Avalanches), 199-214. 1966*

*B. Salm. On nonuniform, steady flow of avalanching snow. International Association of Scientific Hydrology Publication 79 (General Assembly of Bern 1967 - Snow and Ice), 19-29. 1968*

*Salm B., A. Burkard, H. Gubler. Berechnung von Fliesslawinen, eine Anleitung fur Praktiker mit Beispielen. Mitteilungen des Eidgenossischen Institutes fur Schnee und Lawinenforschung, No. 47, Davos, Switzerland. 1990*

*UNESCO. Avalanche Atlas – Illustrated International Avalanche Classification. International Association of Hydrological Sciences, Paris, 1981*

*Voellmy A., Über die Zerstörungskraft von Lawinen. Schweiz. Bauzeitung 73, 159-165, 212-217, 246-249, 280-285. 1955*

# Capitolo 3

# Analisi del rischio valanghe per costruzioni e infrastrutture interferite

## 3.1 Introduzione

Nel presente capitolo sarà descritta la procedura per l'analisi del rischio per costruzioni e infrastrutture interferite da fenomeni valanghivi. In particolare, sarà illustrato come la classificazione del rischio si inquadri in un approccio generale multilivello che, dal semplice censimento delle opere interferite, consente di determinare la classe di attenzione sulla base della quale sarà possibile definire le strategie di intervento per la mitigazione del rischio stesso.

Nei paragrafi che seguono sono approfondite nel dettaglio le metodologie necessarie per sviluppare l'approccio multilivello proposto, quale il censimento delle opere, l'esecuzione delle ispezioni visive, nonché la valutazione della classe di attenzione (CdA), intesa come stima approssimata del rischio nei confronti del fenomeno valanghivo. Partendo dalla definizione generale di rischio, la classe di attenzione sarà definita in funzione dei fattori di pericolosità, vulnerabilità, ed esposizione, che vengono prima analizzati separatamente, e poi combinati attraverso un approccio per classi ed operatori logici.

Questo punto rappresenta il fulcro dell'approccio proposto in quanto la complessità, e quindi l'onerosità, delle attività di ispezione, indagine, controllo e monitoraggio, dipenderà dalla classe di attenzione, definita attraverso un metodo omogeneo ed uniforme al variare delle tipologie di infrastrutture sul territorio. In tal senso, il presente capitolo descrive gli strumenti per la conoscenza a livello territoriale delle opere (costruzioni, infrastrutture, ecc ...) interferite dai fenomeni valanghivi, e per la definizione delle priorità con cui calibrare strategie di intervento, protezione, e mitigazione contro il rischio valanghivo stesso.

## 3.2 Obiettivi e struttura dell'approccio multilivello

L'impiego di un approccio multilivello è giustificato dal numero elevato di costruzioni ed infrastrutture esistenti sull'intero territorio nazionale, potenzialmente interferiti da fenomeni di natura valanghiva.
L'approccio si sviluppa su quattro livelli differenti, aventi grado di approfondimento e complessità crescenti:

- Il **Livello 0** prevede il censimento e geolocalizzazione di tutte le opere, intese come infrastrutture e costruzioni, oggetto di interferenza valanghiva. Questo livello mira alla conoscenza delle caratteristiche principali delle opere potenzialmente interferite, sulla base della raccolta delle informazioni e della documentazione disponibile;
- Il **Livello 1**, esteso alle opere censite al livello precedente, prevede l'esecuzione di ispezioni visive e rilievi diretti sui manufatti. Questo livello mira all'accertamento delle informazioni preliminarmente ottenute al livello 0, nonché alla conoscenza delle caratteristiche geometriche e strutturali delle opere, ovvero del loro stato di degrado;
- Il **Livello 2** consente di giungere alla definizione della classe di attenzione di ogni opera interferita, valutata in funzione dei livelli di pericolosità, vulnerabilità, ed esposizione associati al rischio valanghivo;
- Il **Livello 3** consiste nella prioritizzazione delle azioni da intraprendere su scala territoriale, in funzione della classe di attenzione stimata nel livello precedente.

Dal Livello 0 al Livello 3, la complessità, il livello di dettaglio e l'onerosità delle indagini e delle analisi aumentano. Il flusso logico che definisce le relazioni tra un livello e l'altro è mostrato in Figura 3.1.

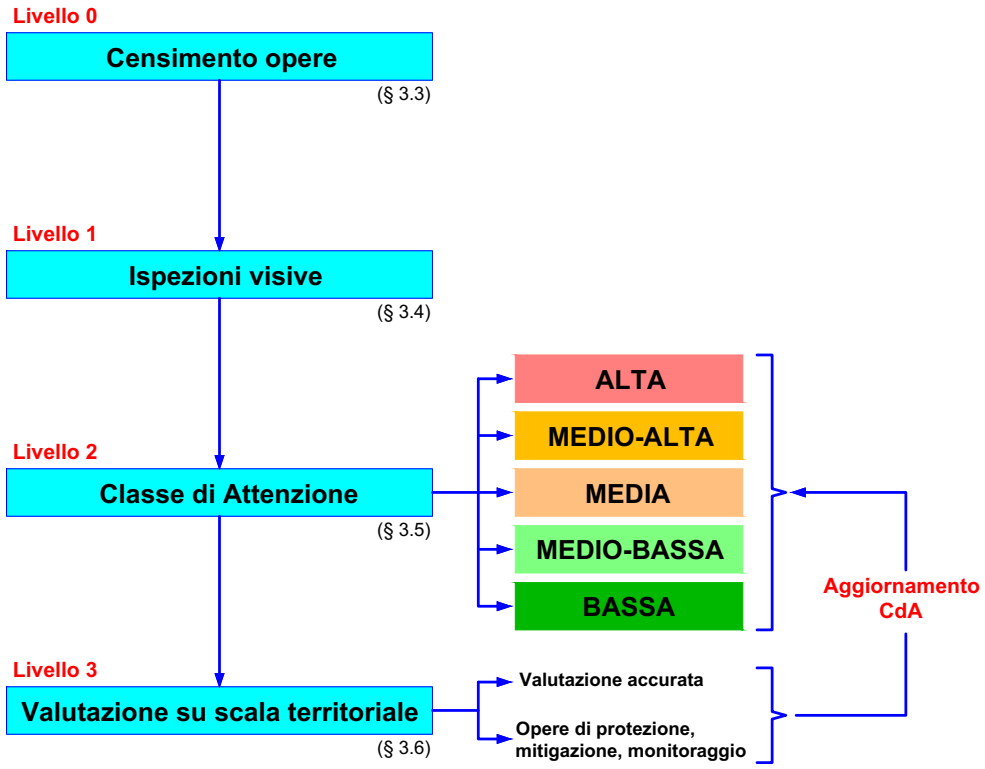


Figura 3.1 - Approccio multilivello e relazioni tra i livelli di analisi

Come si evince, il fulcro centrale dell'approccio è il Livello 2, ovvero la definizione della Classe di Attenzione. Quest'ultima sarà definita in funzione dei livelli di pericolosità, vulnerabilità, ed esposizione dell'opera oggetto di analisi, e potrà variare tra cinque livelli, ovvero alta, medio-alta, media, medio-bassa e bassa. In funzione dei suddetti livelli, corrisponderanno conseguenti azioni in termini di approfondimento delle analisi e/o implementazione di strategie di protezione e mitigazione del rischio. Questi ultimi saranno diffusamente discussi nel quarto capitolo del documento. A tal proposito, si osservi che tali azioni, previsti nel Livello 3 dell'approccio proposto, possono portare ad una rivalutazione della classe di attenzione dell'opera. Nei successivi paragrafi del presente capitolo, saranno descritte in dettaglio attività pertinenti a ciascun livello di indagine, dal Livello 0 al Livello 3, rispettivamente.

## 3.3 Livello 0. Censimento opere

Il Livello 0 dell'approccio multilivello prevede il censimento di tutte le opere interferenti con l'azione valanghiva. In dettaglio, il censimento consiste nella catalogazione di tutte le opere presenti su un'area potenzialmente soggetta a fenomeni valanghivi, al fine di conoscere il numero di manufatti da gestire e le loro caratteristiche principali, sia in relazione alla loro geometria ed elementi strutturali, sia in merito al loro ruolo nel territorio. La raccolta dei dati permette di creare, dunque, un database a livello territoriale di tutte le opere a rischio valanghivo, che dovrà essere costantemente aggiornato man mano che si acquisisce nuova documentazione.
Le informazioni raccolte nel censimento consentono, inoltre, di suddividere le strutture interferenti in macro-classi, in modo da rendere possibile la definizione di un ordine di priorità per la programmazione di ispezioni visive in situ, previste dal livello successivo di indagini (Livello 1). A tal proposito, può essere efficace classificare le opere interferite secondo un criterio di sviluppo geometrico territoriale, seguendo il quale si potranno identificare:

- opere *puntuali*, in riferimento a singole costruzioni interferite, parzialmente o totalmente, da fenomeni di natura valanghiva;
- opere *lineari*, in riferimento ai sistemi infrastrutturali interessati, parzialmente o totalmente, da fenomeni di natura valanghiva. Con questo termine si fa riferimento essenzialmente alle infrastrutture adibite al trasporto, sia di mezzi e persone (strade, ferrovie, impianti a fune), che di energia (elettrodotti, gasdotti, oleodotti), così come i sistemi di approvvigionamento idrico (canali, acquedotti) e le reti di telecomunicazione;
- opere *areali*, in riferimento ad interi centri abitati, come ad esempio villaggi di montagna, che risultano ubicati in aree a rischio valanghivo.

Dipendentemente dalla tipologia di opera interferita, ci possono essere diverse informazioni chiave da reperire in questa fase di indagini, che saranno poi necessarie per la valutazione del rischio valanghivo. Nel caso di singoli manufatti, le cosiddette opere "puntuali", le informazioni sono relative principalmente alle caratteristiche geometriche e strutturali della costruzione, e alla sua destinazione d'uso. Queste informazioni sono tipicamente reperibili sulla documentazione tecnica (relativa a progetto, esecuzione, successivi interventi, ecc ...) ed amministrativa, che consente di ricostruire le vicende e le trasformazioni subite dall'opera nel corso degli anni.

In ogni caso, l'acquisizione dei dati contenuti nel censimento si esegue sulla base dell'analisi delle informazioni e della documentazione disponibile e dell'uso di sistemi di mappatura informatizzati.
Nel caso di sistemi infrastrutturali, inoltre, risulta fondamentale la conoscenza del ruolo che l'opera riveste all'interno del sistema infrastrutturale del territorio. Ad esempio, per le cosiddette opere "lineari", è necessario analizzare i relativi bisogni di mobilità e trasporto (di persone, energia, ecc ...) e quindi del suo ruolo socioeconomico. Per questa tipologia di opere occorre analizzare la rete infrastrutturale presa in considerazione, cercando di ottenere informazioni che permettono di stimare quali sono i volumi di trasporto dell'opera, direttamente proporzionali al numero di persone che vengono servite dall'opera stessa, ovvero il suo bacino di utenza. In tal senso, è necessario valutare la presenza e la possibilità di utilizzo di efficaci alternative, in caso di eventuali limitazioni d'uso o interruzioni di servizio dell'infrastruttura interferita dalla valanga. Tali informazioni possono essere acquisite, ad esempio, mediante la raccolta di studi specifici già condotti in precedenza sulla rete oppure, in mancanza di questi, possono essere fornite dall'ente amministrativo di competenza.
Da ultimo, le intere aree soggette ad interferenza valanghiva, le cosiddette opere "areali", possono essere interpretate come combinazione dei due casi precedenti, nel senso che possono coinvolgere allo stesso tempo sia costruzioni sia sistemi infrastrutturali. In tal caso le informazioni da reperire sono legate essenzialmente al numero di opere interferite nell'area oggetto di indagine, alla loro suscettibilità all'affollamento, nonché alla popolazione residente in modo temporaneo o permanente. Tali informazioni si possono reperire dai dati del censimento Istat.
In ogni caso, indipendentemente dalla tipologia di opera interferita, risulta opportuno approfondire questa fase dell'analisi estendendo le indagini all'area circostante l'opera considerata, con l'obiettivo di valutare l'eventuale presenza di sistemi di protezione, mitigazione, o monitoraggio a difesa dell'opera stessa. Di tali opere dovranno essere reperite le informazioni in merito alla loro tipologia e le caratteristiche principali, le quali possono essere ottenute dalla documentazione cartografica, soprattutto per quanto riguarda le opere di difesa, oppure possono essere fornite dalle autorità competenti.
Tutte le informazioni raccolte in questa fase possono infine essere incluse in opportune "*schede di censimento di Livello 0*", che dovranno essere definite in funzione della tipologia di opera censita. A titolo di esempio, si può far riferimento alle schede di censimento fornite in allegato al presente documento, aventi come oggetto un edificio (Allegato 1), un ponte stradale (Allegato 2), un canale idraulico (Allegato 3), una strada carrabile (Allegato 4), ed un elettrodotto (Allegato 5).

## 3.4 Livello 1. Ispezioni visive e schede di rilievo

Il Livello 1 dell'approccio prevede l'esecuzione di ispezioni visive e rilievi su tutte le opere precedentemente catalogate nel censimento di Livello 0.
Le ispezioni visive sono finalizzate a verificare l'attendibilità dei dati raccolti nella fase precedente, raccogliere ulteriori informazioni circa le effettive caratteristiche geometriche e strutturali dell'opera in esame e del sito di costruzione, e valutarne, seppur in modo speditivo, il suo grado di conservazione.
Oltre a questo, l'ispezione visiva in situ permette di individuare la presenza di "elementi critici", intesi quali elementi il cui eventuale danneggiamento e/o malfunzionamento può influenzare significativamente il comportamento dell'opera, ovvero la sua robustezza, nei confronti delle azioni valanghive.

Gli elementi critici dipendono dalla tipologia di opera considerata. A titolo di esempio, in riferimento ad un'opera puntuale (costruzione), potrà essere considerato come elemento critico ogni sistema/dispositivo strutturale adibito alla resistenza nei confronti delle azioni eccezionali, come ad esempio elementi incatenamenti di piano, dissipatori di energia, ecc ... Per un'infrastruttura lineare, come un ponte, risulta cruciale verificare lo stato di conservazione delle pile o degli stralli (nel caso di ponti strallati), in quanto elementi cruciali potenzialmente interessati in modo diretto dall'azione valanghiva. Analogamente, nel caso di una rete elettrica o di telecomunicazioni, gli elementi critici sono dati dai tralicci o dai cavi. Per tutti questi elementi, risulta cruciale verificare il loro stato di conservazione.
In tal senso, è opportuno sottolineare che l'attività di ispezione deve estendersi anche all'area sulla quale sorge l'opera, mirando a constatare visivamente la presenza dei sistemi di protezione e monitoraggio individuati nella fase di studio precedente, le loro caratteristiche tipologiche e il loro stato di conservazione.
Le attività di questo livello, dunque, forniscono una "fotografia" ed una descrizione quanto più oggettiva possibile delle effettive condizioni di esercizio dell'opera e dell'ambiente circostante, mediante un accurato rilievo fotografico, il rilievo geometrico e il rilievo dei principali fenomeni di degrado, eventualmente presenti. La strumentazione minima di base suggerita comprende semplici strumenti di misura per eseguire il rilievo geometrico dell'opera (laddove possibile), strumenti fotografici di prestazioni adeguate all'esecuzione di rilievi fotografici anche a distanza ed eventuali altri strumenti ritenuti utili per il rilievo.
Tutte le informazioni raccolte in questa fase possono essere raccolte in opportune "*schede descrittive di ispezione*", che vanno particolarizzate in funzione della tipologia di opera ispezionata.

## 3.5 Livello 2. Analisi del rischio valanghe e classificazione su scala territoriale

### 3.5.1 Struttura generale del metodo di classificazione della classe di attenzione

La classificazione su scala territoriale delle opere interferite da azioni valanghive è basata sulla stima dei fattori di "rischio" associati alle suddette opere, censite ed ispezionate nei due livelli precedenti dell'analisi.
In termini probabilistici, il rischio valanghivo *R* può essere definito come:

$$R = P[H] \times P[C|H] \times P[E|C] \tag{3.1}$$

in cui il termine $P[H]$ rappresenta la probabilità di accadimento dell'evento *H* (Hazard in inglese) in un certo periodo di riferimento, il termine $P[C|H]$ rappresenta la probabilità condizionata del collasso *C* o disservizio dell'opera a seguito dell'evento *H*, mentre il termine $P[E|C]$ rappresenta la probabilità condizionata che si verifichino perdite (umane, economiche, culturali) conseguenti a *C*.
Si osservi come tale decomposizione del rischio renda espliciti i singoli fattori che concorrono alla sua determinazione, consentendo la valutazione e attuazione di diverse strategie per la mitigazione del rischio stesso, tra cui:

- riduzione della probabilità di occorrenza dell'evento valanghivo (mitigazione della pericolosità);
- riduzione della probabilità che l'evento eccezionale comporti danni, collassi parziali o totali, e malfunzionamenti all'opera interferita (mitigazione della vulnerabilità);
- riduzione della probabilità che il danneggiamento si traduca in perdite di natura umana, economica, e culturale (mitigazione dell'esposizione).

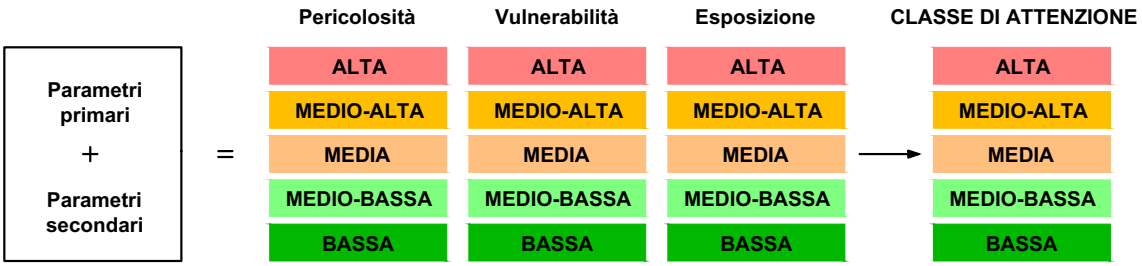


Figura 3.2 - Flusso logico per la determinazione della classe di attenzione

Seguendo la definizione data in Eq. (3.1), la quantificazione del rischio passa pertanto per la determinazione delle probabilità condizionate mediante analisi di tipo probabilistica (PRA), in cui è possibile tener conto delle incertezze e della loro propagazione sulla determinazione del rischio.
In queste Linee Guida, l'analisi probabilistica è ovviata a favore di un approccio semplificato e speditivo che mira ad una stima del rischio mediante la definizione della *Classe di Attenzione* (CdA). A tal proposito, si ritiene infatti fuorviante parlare di rischio vero e proprio, in quanto la sua analisi richiederebbe valutazioni più complesse ed approfondite rispetto a quelle semplificate che saranno descritte in seguito, e non potrebbe basarsi sulle sole informazioni raccolte mediante ispezioni visive. La classe di attenzione consiste, invece, in una stima approssimata dei fattori di rischio, avente come obiettivo finale la definizione di un ordine di priorità per l'approfondimento delle attività di indagini, verifiche e controlli, nonché per la programmazione degli interventi di manutenzione, monitoraggio e mitigazione necessari.
Proponendo una formulazione più generale rispetto a quella probabilista di Eq. (3.1), la Classe di Attenzione sarà il risultato della combinazione dei tre fattori principali di pericolosità, vulnerabilità, ed esposizione, associati all'opera interferita:

$$\text{RISCHIO} = \text{PERICOLOSITA'} \times \text{VULNERABILITA'} \times \text{ESPOSIZIONE} \tag{3.2}$$

Per ciascuno dei tre fattori, vengono presi in conto i principali parametri che li influenzano. Questi ultimi sono distinti in "parametri primari" e "parametri secondari" (i primi sono quelli con maggiore influenza sulla classificazione), e vengono determinati elaborando i dati raccolti mediante il censimento (Livello 0) e le informazioni ottenute dalle ispezioni visive (Livello 1).
La determinazione dei fattori e quindi della classe di attenzione si esegue mediante un approccio per "*classi ed operatori logici*", ossia raggruppando ogni parametro principale e secondario in classi e combinando le classi tra loro mediante flussi logici. Per ciascun fattore, i parametri primari forniscono una prima stima della classe di attenzione, che viene poi corretta in funzione dei parametri secondari.
La presente Linea Guida prevede 5 Classi di Attenzione:

- Classe Alta;
- Classe Medio-alta;
- Classe Media;
- Classe Medio-bassa;
- Classe Bassa.

Infine, dalla combinazione delle classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, si perviene alla determinazione della classe di attenzione complessiva dell'opera, secondo il flusso logico rappresentato schematicamente in Fig. 3.2. La procedura sarà illustrata in dettaglio nei successivi tre sottoparagrafi dedicati rispettivamente alla stima del livello di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione.

Si sottolinea che, come si vedrà in seguito, l'approccio proposto per classi ed operatori logici non prevede il calcolo di termini numerici.

### 3.5.2 Stima del livello di pericolosità associato al rischio valanghivo

Il livello di pericolosità associato al rischio valanghe è legato alla probabilità che si verifichi, in una data localizzazione, il distacco di una porzione più o meno grande di manto nevoso, in grado di causare potenzialmente danni a persone ed opere interferite.

Pertanto, il livello di pericolosità dipende principalmente dall'ambito geomorfologico in cui l'opera è inserita. A seguito di ciò, ai fini della classificazione sarà assunto come parametro primario la suscettività a fenomeni di natura valanghiva dell'area in cui l'opera risulta ubicata. Questa non è nient'altro che la pericolosità di base del bacino valanghivo, data dalla cartografia tematica in funzione delle pressioni di impatto del fenomeno valanghivo con fissato tempo di ritorno.

Tuttavia, a parità di pericolosità cartografica, le effettive conseguenze di un fenomeno valanghivo sulle opere circostanti sono strettamente dipendenti anche delle eventuali opere di protezione e monitoraggio a favore delle opere stesse. Pertanto, si ritiene opportuno includere l'influenza di tali opere, assumendo come parametro secondario ai fini della definizione del livello di pericolosità l'eventuale presenza di opere di protezione, mitigazione, e monitoraggio.

Per le ragioni che saranno esposte in seguito, il parametro primario è la distinzione in 3 classi o livelli di pericolosità (bassa, media, alta), che è poi modificata in funzione del parametro secondario. La valutazione di ciascuno dei parametri scelti sarà descritta nel seguito, insieme al flusso logico per la stima del livello di pericolosità dell'opera.

PERICOLOSITA' CARTOGRAFICA

Generalmente la pericolosità cartografica dell'area rispetto al fenomeno valanghivo è definita in relazione alla frequenza ed intensità del fenomeno sul sito preso in considerazione.

In campo valanghivo, l'intensità del fenomeno si può descrivere secondo diversi parametri dinamici e fisici, quali la pressione di impatto della massa nevosa, la sua distanza di arresto, altezza e velocità del flusso. La frequenza di accadimento viene stimata in analogia a quanto accade in altri campi di applicazione (sismologia, geologia, idraulica, ecc …) attraverso il *tempo di ritorno*. Tale parametro è definito in ambito statistico come: T=1/(1-p), dove p rappresenta la probabilità di non superamento di un evento di una certa intensità, ovvero la probabilità che un dato valore non venga superato. Ad esempio, una probabilità di non superamento pari a 0,99 corrisponde ad una probabilità pari al 99% che questo valore non venga superato o, equivalentemente, una probabilità dell'1% che un valore maggiore si manifesti in un periodo di tempo determinato. Il tempo di ritorno T associato risulta pari a 100 anni, che può essere interpretato come l'intervallo temporale medio necessario affinchè un fenomeno di una certa intensità si verifichi. A tal proposito, è opportuno ricordare che il fenomeno del centenario non è automaticamente il fenomeno di maggiore intensità che potrebbe verificarsi ogni 100 anni, ma rappresenta quello che ha l'1% di possibilità di verificarsi o di essere superato ogni anno, ovvero quello che potrebbe manifestarsi mediamente una volta al secolo se avessimo avuto un periodo di osservazione molto lungo.

Qualunque sia la natura e tipologia della valanga, utilizzando i dati nivo-meteorologici e storici disponibili, è possibile cercare di quantificare statisticamente il periodo di ritorno (probabilità di distacco) in riferimento ad un evento valanghivo di una data intensità. Esistono diversi metodi per la determinazione della probabilità di distacco, tra cui metodi statistici (determinazione statistica delle combinazioni di parametri nivo-meteorologici) oppure deterministici (basati essenzialmente su analisi storiche e back-analisys strutturali).

La via più semplice è l'utilizzo di indagini e dati storici forniti dai catasti valanghe che, quando raccolti in modo continuo nel tempo, costituiscono le basi per le Carte di Localizzazione Probabile delle Valanghe (C.L.P.V.), i Piani delle Zone Esposte a Valanga (P.Z.E.V.), la cartografia tematica regionale, e numerose tecniche di mappatura della suscettibilità al distacco.
Questa valutazione "statica" della suscettibilità si contrappone a quella "dinamica" del pericolo valanghe indicata nel Bollettino Neve e Valanghe (BNV) grazie all'utilizzo di indici numerici e/o di aggettivi. In questo senso, un significativo contributo a livello europeo è stato compiuto mediante l'introduzione di una scala unificata del pericolo di valanghe da parte degli EAWS (European Avalanche Warning Services), articolata su 5 livelli crescenti di pericolo (gradi da 1 a 5, dove 5 indica il livello di pericolo più alto). La scala viene utilizzata in diversi paesi quali Austria, Francia, Germania, Italia, Scozia, Spagna e Svizzera.
Sulla base di questo criterio unificato a livello europeo, viene espresso il pericolo valanghivo sul territorio italiano nel bollettino, il quale fornisce un quadro sintetico sul grado d'innevamento, sulle condizioni del manto nevoso, sull'attività valanghiva in atto, sul pericolo valanghe, e ne ipotizza un'evoluzione nel breve tempo (dalle 24 alle 72 ore). Il BNV è redatto a scala sinottica, sulla base di meteonivozone (zone geografiche omogenee dal punto di vista climatico e nivologico) di estensione normalmente superiore a 100 $km^2$ e ha valenza sull'intero territorio regionale, indipendentemente dal grado di antropizzazione dei diversi contesti. Il BNV non fornisce, infatti, indicazioni riguardo ai possibili effetti al suolo delle valanghe attese (in particolare nelle aree antropizzate).
Il BNV consiste pertanto in un documento descrittivo della situazione nivologica e valanghiva attuale ed in previsione, avente lo scopo principale di fornire uno strumento di facile lettura per valutare la pericolosità valanghiva locale, nonché un avvertimento preventivo dei possibili pericoli che si potrebbero incontrare sul terreno innevato. Pertanto, l'utilizzo di tale strumento è legato essenzialmente alle attività escursionistiche (sci-alpinismo, ciaspole, ecc ...) in ambiente montano innevato, all'esercizio di comprensori sciistici (piste e impianti), e di supporto alla gestione della possibile interferenza con vie di comunicazione e/o centri abitati su un breve arco temporale.
Tuttavia, questa valutazione "dinamica" del livello di pericolosità, ossia associabile a comportamenti individuali ovvero gestionali nel breve periodo di tempo (giornaliero), non è idonea per la definizione del livello di pericolosità di un'infrastruttura, intesa come grandezza "statica" legata alla probabilità di accadimento di un certo evento naturale, ovvero al suo tempo di ritorno.
Pertanto, nell'approccio proposto in questo documento, per la definizione della Classe di Pericolosità Valanghiva per manufatti e/o infrastrutture interferenti si farà esclusivamente riferimento ai massimi valori di pericolosità forniti dalla cartografia digitale o cartacea, come dai Piani delle Zone Esposte a Valanga (P.Z.E.V.), cartografia tematica regionale (e.g., della LR 11/98 della Regione autonoma Valle d'Aosta). In assenza di tali informazioni, è necessaria la stima della pericolosità valanghiva sulla base di analisi dinamiche condotto almeno a scala di bacino.
Pertanto, il livello di pericolosità valanghiva viene descritto in funzione delle pressioni di impatto e del relativo periodo di ritorno, definendo in cartografia la seguente zonizzazione del territorio (da Linee guida AINEVA):

- aree ad **elevata pericolosità** (zona rossa);
- aree a **moderata pericolosità** (zona blu);
- aree a **bassa pericolosità** (zona gialla).

In dettaglio, una porzione di territorio si ritiene ad elevata pericolosità (zona rossa) quando esiste la possibilità che si verifichino valanghe "frequenti" (caratterizzate da un tempo di ritorno pari a 30 anni) alle quali

corrisponde una pressione uguale o superiore a 3 kPa, oppure valanghe "rare" (caratterizzate da un tempo di ritorno pari a 100 anni) che esercitano una pressione uguale o superiore a 15 kPa. Una sola delle due suddette condizioni è ritenuta sufficiente per l'assegnazione della zona rossa. Per analogia, una porzione del territorio si ritiene a moderata pericolosità (zona blu) quando esiste la possibilità che si verifichino valanghe "frequenti" che esercitano una pressione inferiore a 3 kPa oppure valanghe "rare" che esercitano una pressione inclusa tra 3 e 15 kPa. Una sola delle due suddette condizioni è ritenuta sufficiente per l'assegnazione della zona blu. Da ultimo, una porzione di territorio si ritiene a bassa pericolosità (zona gialla) quando esiste la possibilità che si verifichino valanghe "rare" con pressione inferiore a 3 kPa. In aggiunta, vengono delimitate in giallo le porzioni di territorio interessate dall'arresto di fenomeni valanghivi "eccezionali", per i quali si assume convenzionalmente un tempo di ritorno pari a 300 anni. In linea generale, la zona rossa è contenuta nella zona blu, e la zona blu è contenuta in quella gialla (sebbene le campiture colorate possano variare da regione a regione). Esternamente alla zona a bassa pericolosità si ha la zona bianca, dove si ritiene che il pericolo sia così esiguo da non richiedere nessun tipo di misura precauzionale. Nell'ambito dell'approccio proposto, la suddetta zonizzazione fornisce la quantificazione del parametro primario, ovvero l'individuazione della pericolosità cartografica dell'area in cui insiste l'opera interferita. In particolare, ad un'area caratterizzata da elevata, moderata, o bassa pericolosità secondo la cartografia, corrisponderà una pericolosità di base "alta", "media", o "bassa", coerentemente con quanto indicato in Figura 3.3. Nell'ipotesi in cui, per il territorio in cui sorge l'opera in esame, venga accertata l'assenza di qualsiasi strumento cartografico idoneo alla valutazione della pericolosità valanghiva, sarà opportuno assumere quest'ultima come "alta", a vantaggio di sicurezza.

SISTEMI DI PROTEZIONE E MITIGAZIONE

Ulteriore parametro che influenza la classe di pericolosità è la presenza o meno di sistemi di protezione, mitigazione e monitoraggio dell'opera nei confronti del fenomeno naturale, che saranno approfonditi nel Capitolo 4 del documento. Saranno distinti pertanto i manufatti e/o infrastrutture *protetti*, in presenza di sistemi di protezione e mitigazione del rischio effettivamente attuati, i manufatti e/o infrastrutture *monitorati*, nel caso di presenza di sistemi di monitoraggio atti a controllare l'insorgere di eventuali danni da eventi valanghivi, e i manufatti e/o infrastrutture per cui qualsiasi misura di protezione/mitigazione/monitoraggio risulti *assente*.

Questo parametro funziona da parametro "secondario" per la definizione della classe di pericolosità, nel senso descritto in precedenza, ovvero produce una modifica del livello di pericolosità indicato dal parametro primario, legato alla pericolosità cartografica. Di fatto, come descritto dal flusso logico di Figura 3.3, l'assenza di sistemi finalizzati alla protezione/mitigazione del rischio valanghe o la loro scarsa efficacia produce un innalzamento della classe di pericolosità inizialmente stimato, mentre la presenza operativa di tali sistemi produce un abbassamento della suddetta classe. Per i manufatti e/o infrastrutture invece solo monitorati, ma non protetti, non è prevista nessuna variazione del livello di pericolosità.

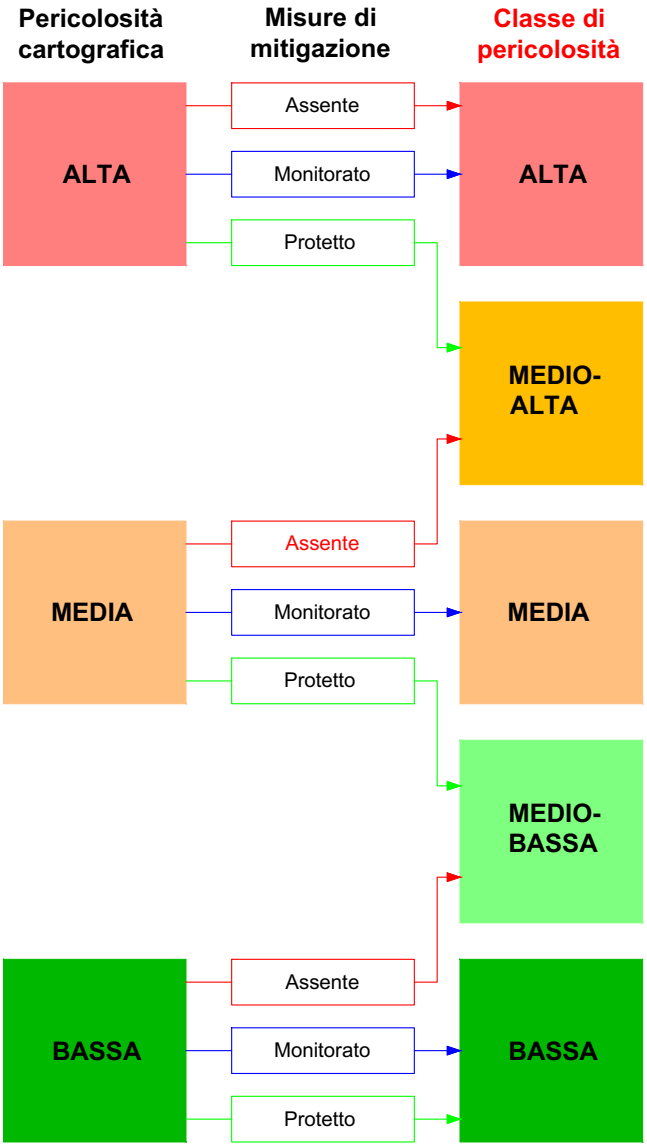


Figura 3.3 - Flusso logico per la determinazione della classe di pericolosità.

### 3.5.3 Stima del livello di vulnerabilità associato al rischio valanghivo

La vulnerabilità di un'opera nei confronti del fenomeno valanghivo si può definire come il livello di danno potenziale subito dall'opera stessa quando soggetta ad un evento valanghivo di una data intensità. Partendo da questa definizione generale, il concetto di vulnerabilità può essere in realtà definito su più livelli, a seconda dell'opera presa in considerazione.

Un primo livello di vulnerabilità è rappresentato dalla vulnerabilità strutturale dell'opera. Nel caso di fenomeni valanghivi, quest'ultima è legata al grado di robustezza strutturale dell'opera, intesa come capacità di resistere alle azioni eccezionali causate dal fenomeno, senza provocare il collasso globale, o comunque sproporzionato, della struttura stessa. Questo primo livello risulta esaustivo nel caso di opere, tipicamente puntuali (edifici, singole costruzioni, ecc …), non appartenenti ad un sistema infrastrutturale.

Nel caso di opere infrastrutturali, tipicamente lineari (reti di trasporto, infrastrutture energetiche, ecc …), è necessario definire un secondo livello di vulnerabilità dell'opera, aggiuntivo rispetto al precedente, legato

alla capacità del sistema (rete) di garantire il suo funzionamento complessivo a seguito di un danneggiamento parziale indotto dal fenomeno valanghivo. In tal senso, pertanto, la vulnerabilità strutturale può essere concepita come vulnerabilità "locale" dell'infrastruttura, mentre la cosiddetta resilienza della rete definisce la vulnerabilità a livello "globale", in quanto descrive la capacità del sistema di sopperire globalmente ad eventuali disservizi mediante alternative di funzionamento.
In ogni caso, nella stima del livello di vulnerabilità, sia strutturale che non, è opportuno tener conto dall'estensione dell'interferenza tra il possibile evento valanghivo e l'opera stessa.
A seguito di ciò, per la valutazione del livello di vulnerabilità di un'opera sarà assunta la vulnerabilità strutturale dell'opera come parametro primario, mentre l'estensione dell'interferenza e la resilienza della rete come parametri secondari. Si osservi come il grado di interferenza possa essere valutato per qualsiasi tipologia di opera interferita dalla valanga, la resilienza della rete fa esclusivamente riferimento ai sistemi infrastrutturali.
In analogia a quanto fatto per la pericolosità, il valore del parametro primario determina un livello di vulnerabilità di base, che è poi modificato in funzione dei parametri secondari. La valutazione di ciascuno dei parametri scelti sarà descritta nel seguito, insieme al flusso logico per la stima del livello di vulnerabilità dell'opera.

VULNERABILITA' STRUTTURALE DELL'OPERA

La robustezza di un manufatto si può definire come la capacità della costruzione di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità dell'azione eccezionale considerata. In questo contesto, l'azione eccezionale è rappresentata dal fenomeno naturale valanghivo, tipicamente non considerato tra le azioni ordinarie di progetto.
In riferimento all'equazione (3.1), la robustezza dell'opera fa riferimento al termine $P[C|H]$ che, come già anticipato, quantifica la probabilità che l'evento eccezionale scelto nello scenario di rischio, in questo caso la valanga, comporti il collasso dell'opera. Si osservi che in questo caso, il termine $P[C|H]$ può essere convenientemente definito come prodotto di due altri termini, che rappresentano la probabilità condizionata che l'evento eccezionale $H$ comporti un danno locale $SL$ ($P[SL|H]$) e la probabilità condizionata che il danneggiamento locale propaghi producendo un collasso sproporzionato ($P[C|SL]$):

$$P[C|H] = P[SL|H] \times P[C|SL] \tag{3.3}$$

Questa decomposizione risulta molto significativa, in particolare nei confronti della valutazione della robustezza di un'opera. Si osservi infatti come la probabilità di collasso sproporzionato a causa dell'evento eccezionale possa ridursi sia prevenendo lo sviluppo di danneggiamenti locali che rendano possibile l'innesco di un collasso sproporzionato, che quindi comportano una riduzione del termine $P[SL|H]$, sia prevenendo l'evoluzione di un danno locale a livello strutturale globale, agendo dunque sul termine $P[C|SL]$. Tali termini possono essere associati a precisi meccanismi di resistenza della costruzione nei confronti del collasso sproporzionato. Si distingue pertanto:

- *metodo della resistenza locale*, secondo il quale il livello di robustezza della struttura è funzione della resistenza locale di quelli elementi-chiave il cui danneggiamento e/o collasso porterebbe ad una propagazione sproporzionata del danno. In questo caso, l'elemento-chiave dipende dalla tipologia strutturale: negli edifici è usualmente una colonna, per un ponte può essere una pila o uno strallo, per un impianto di telecomunicazioni può essere un traliccio o un cavo della tensione, ecc... In fase di analisi, l'efficacia di questo meccanismo può essere valutata mediante analisi locali o globali dell'elemento chiave soggetto ai sovraccarichi, tipicamente quantificati in modo nominale in questa fase, dovuti all'azione valanghiva;

- *metodo del percorso alternativo dei carichi*, secondo cui il livello di robustezza della struttura dipende dalla sua capacità di ridistribuire i carichi a seguito del danneggiamento locale avvenuto. In questo senso, risultano fondamentali numerosi aspetti della struttura, quali la continuità strutturale, il grado di ridondanza, la duttilità degli elementi strutturali. Generalmente, la capacità della struttura di fornire un percorso alternativo ai carichi originariamente portati dall'elemento danneggiato, viene quantificata analizzando il comportamento strutturale a seguito della rimozione di uno o più elementi strutturali scelti opportunamente;
- *compartimentazione*, secondo il quale il livello di robustezza della struttura dipende dalla capacità della stessa di confinare il danneggiamento locale avvenuto, limitandone l'estensione ad una certa porzione isolata di struttura. In questo caso risulta cruciale la presenza di elementi di "discontinuità" della struttura, che possono essere rappresentati da elementi "forti" che interrompono la propagazione del danno grazie alle loro capacità di resistenza, oppure da elementi "deboli" che, collassando, eliminano l'interazione tra la parte danneggiata della struttura e la restante. Come per l'approccio precedente, questa capacità della struttura può essere valutata studiando il comportamento strutturale a seguito di un danno nominale opportunamente scelto in funzione dell'azione eccezionale.

In termini probabilistici, si osservi che, mentre il primo approccio mira alla prevenzione del danneggiamento locale, comportando una riduzione del fattore $P[SL|H]$, gli altri due mirano alla prevenzione nei confronti dell'evoluzione del collasso da locale a globale, agendo sul fattore $P[C|SL]$.
I succitati meccanismi dovranno essere tutti presi in considerazione e valutati nell'analisi strutturale che l'autorità competente, e dunque il tecnico preposto, dovrà svolgere per definire la classe di robustezza dell'opera interferita. A tal proposito si osservi che, seppur il fenomeno preso in considerazione - l'interazione tra la costruzione ed un fluido (valanga) - sia per sua natura dinamico e non lineare, diverse tipologie di analisi strutturale possono essere eseguite:

- *analisi statiche-lineari*, in cui vengono trascurate le non linearità geometriche e meccaniche del fenomeno, e gli effetti dinamici possono essere tenuti in conto al più utilizzando un opportuno coefficiente di amplificazione dinamica;
- *analisi statiche-non lineari*, in cui vengono modellate le non linearità geometriche e meccaniche, mentre gli effetti dinamici vengono tenuti in conto in modo semplificato come in precedenza;
- *analisi dinamiche-lineari*, in cui l'effetto dinamico viene tenuto esplicitamente in conto mentre vengono trascurate tutte le non linearità del problema;
- *analisi dinamiche-non lineari*, ritenute le analisi più complete, e dunque onerose, in quanto sia l'aspetto dinamico che le non linearità vengono modellati esplicitamente.

In funzione della tipologia di analisi strutturale scelta, dipenderanno il numero di parametri coinvolti, il suo onere computazionale, la complessità e di conseguenza il livello di esperienza richiesta al tecnico incaricato. Quest'ultimo, sulla base dei risultati ottenuti, dovrà definire la classe di vulnerabilità strutturale dell'opera interferita, tra le cinque previste dal metodo (bassa, medio-bassa, media, medio-alta, alta) indicate nel flusso logico di Fig. 3.4. Si sottolinea in questo senso che, qualora non si provveda ad un'adeguata analisi strutturale, o quest'ultima non venga ritenuta sufficientemente esaustiva ai fine dell'indagine, alla costruzione dovrà essere assegnata una classe di vulnerabilità strutturale "alta".
Tutte le considerazioni fatte finora sono pienamente applicabili ogni qualvolta che, in riferimento all'opera considerata, è possibile identificare un sistema strutturale per il quale calcolare il suo grado di robustezza grazie alle metodologie citate in precedenza.

Questo è sicuramente il caso di tutte le singole costruzioni (edifici), delle infrastrutture adibite al trasporto di merci e persone (ponti, viadotti), dei sistemi energetici e di telecomunicazione (pale eoliche, tralicci).
Tuttavia, è necessario evidenziare che per alcune tipologie di opere interferite, non è possibile valutare esplicitamente il livello di vulnerabilità strutturale dell'opera. Si pensi ad esempio alle reti di trasporto, stradali o ferroviarie, che, per ragioni di configurazione topografica del territorio, non sono caratterizzate da una struttura di supporto (e.g., ponte). In tali casi, la vulnerabilità è legata essenzialmente al potenziale disservizio dell'opera a causa della massa valanghiva. Si ritiene opportuno assumere la classe di vulnerabilità iniziale, seppur non legata ad una caratteristica strutturale dell'opera, come "media" per poi essere meglio valutata in funzione parametri secondari discussi in seguito.
Analoghe considerazioni possono essere fatte nel caso di interi centri abitati, intesi come aree potenzialmente soggette a fenomevi valanghivi. In questa circostanza, la vulnerabilità dell'area è legata al grado di vulnerabilità di tutte le opere ad essa afferenti, sia quelle effettivamente ubicate all'interno dell'area stessa che quelle utili a garantirne i servizi essenziali (infrastrutture di trasporto, energetiche, ecc ...). In tal caso risulta opportuno assumere, a favore di sicurezza, il grado di vulnerabilità più severo tra quello delle opere succitate.

ESTENSIONE DELL'INTERFERENZA

Per la definizione della vulnerabilità legata al rischio valanghivo, tenuto conto della stretta dipendenza tra la tipologia e spostamento delle masse e le loro dimensioni, è necessario includere il grado di interferenza tra il possibile evento valanghivo e l'opera stessa. A tal proposito, viene introdotto un parametro secondario, "estensione dell'interferenza", che misura il grado di interferenza su due livelli: parziale o totale. In funzione di questo, la classe di vulnerabilità strutturale dell'opera viene modificata secondo il flusso logico di Fig. 3.4. Si osservi come, a partire dalla classe di vulnerabilità strutturale dell'opera interferita, è possibile ottenere una classe di vulnerabilità maggiorata o invariata per un livello di interferenza totale o parziale, rispettivamente.

RESILIENZA DELLA RETE

Questo parametro interessa principalmente i sistemi infrastrutturali, come ad esempio reti adibite al trasporto di persone e merci (reti stradali e ferroviarie), energia (elettrodotti, oleodotti, ecc ...), reti idriche (acquedotti e reti fognarie) e reti di telecomunicazione. Come già anticipato, per valutare la vulnerabilità di questa tipologia di opere è necessario tener conto della cosiddetta *resilienza* della rete, ovvero la sua robustezza a livello "globale", intesa come capacità del sistema di garantire "vie alternative" per rimediare all'eventuale perdita di funzionalità di una sua parte. In tal senso, il concetto è equivalente al meccanismo del percorso alternativo dei carichi, già citato per la valutazione della robustezza strutturale delle costruzioni.
In questo approccio, la resilienza della rete viene valutata in modo semplificato tenendo conto della presenza o meno di alternative utili a garantire il funzionamento del sistema, quando una sua porzione entra in disservizio. Nel dettaglio, per le reti di trasporto è necessario considerare la presenza di adeguate alternative stradali su cui eventualmente deviare i flussi di traffico, a causa della possibile chiusura o limitazioni di traffico sull'opera interferita. Per analogia, il concetto di resilienza si applica agli altri sistemi infrastrutturali sopramenzionati (energetici, idrici, di telecomunicazione), valutando la presenza di sistemi alternativi adeguati a garantire l'approvvigionamento (energetico, idrico, ecc ...) ai destinatari d'uso. In ogni caso, indipendentemente dal sistema infrastrutturale preso in considerazione, l'efficacia dell'alternativa è da valutare in termini di costi, tempi e distanze.

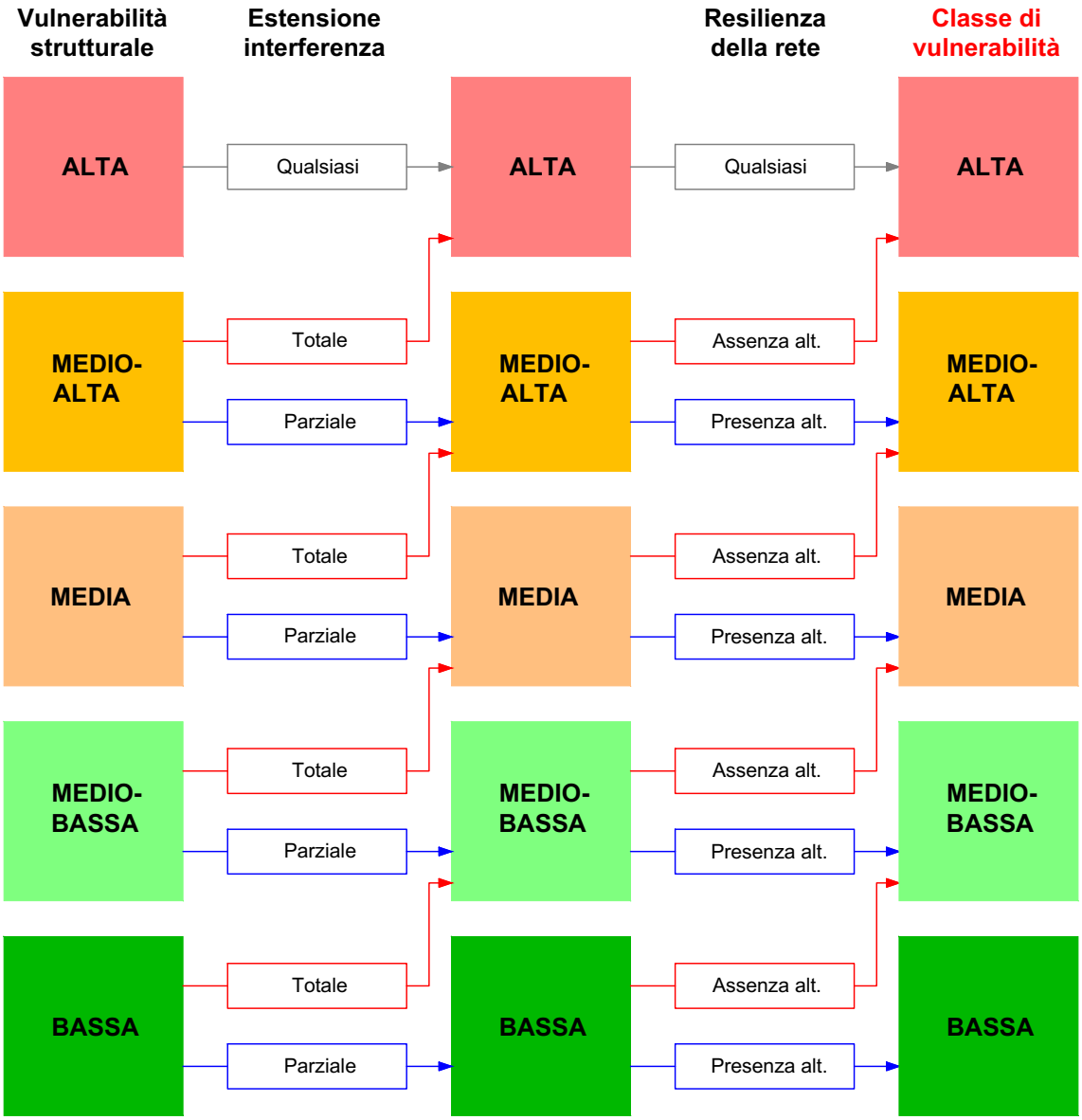


Figura 3.4 - Flusso logico per la determinazione della classe di vulnerabilità.

Queste informazioni necessarie per valutare tale fattore possono essere dedotte da studi specifici, qualora disponibili, della rete infrastrutturale posizionata in una certa area ad interferenza valanghiva, inclusi nella fase di censimento delle opere interferite (Livello 0).
Come mostrato nel seguito, in presenza di adeguati sistemi alternativi, si farà riferimento alla dicitura “presenza alternative”, mentre in caso contrario alla dicitura “assenza alternative”.
In funzione dei parametri sopra descritti è possibile determinare la classe di vulnerabilità dell’opera secondo il flusso logico di Fig. 3.4. A tal proposito, si osservi come la classe di vulnerabilità venga inizialmente definita in base alla robustezza dell’opera, intesa come proprietà strutturale intrinseca della costruzione interferita. La classe di vulnerabilità così ottenuta può subire un primo innalzamento quando l’opera interferisce nella sua interezza con il fenomeno valanghivo. In aggiunta, ed esclusivamente per i sistemi infrastrutturali, la classe di vulnerabilità può essere ulteriormente alzata in funzione della resilienza (vulnerabilità globale) della rete stessa.

### 3.5.4 Stima del livello di esposizione associato al rischio valanghivo

L'esposizione di un'opera nei confronti del fenomeno valanghivo è direttamente connessa al valore esposto, in termine di vite umane e beni, che si trovano ad essere coinvolti dal fenomeno stesso.
Tuttavia, è necessario specificare che il "valore esposto" può assumere una connotazione differente, in relazione alla destinazione d'uso delle opere, ovvero alla loro funzione pubblica e sociale.
Nel caso di centri abitati, insediamenti residenziali o simili, il valore esposto è direttamente legato al carico insediativo dell'opera, inteso come persone e beni potenzialmente usufruitori dell'opera, in modo temporaneo o permanente. Nel caso di insediamenti produttivi il valore esposto deve tener conto, oltre che del potenzialmente affollamento che può verificarsi fisicamente nell'opera, anche le perdite economiche dovute al periodo di interruzione delle attività, il cosiddetto down-time. Diversamente, nel caso che un bene di interesse culturale venga danneggiato o distrutto, il valore esposto non sarà di carattere economico, ma sarà riferito essenzialmente al valore culturale dell'opera stessa. Infine, nel caso delle opere infrastrutturali (di trasporto, energetiche, ecc …), il valore esposto si riferisce essenzialmente al ruolo dell'opera nel sistema infrastrutturale del territorio, ovvero al numero di persone che vengono servite dalla stessa, costituenti il suo bacino di utenza. In tal senso, richiedono particolare attenzione le strutture, opere e/o infrastrutture considerate di "rilevanti" e/o di "interesse strategico", la cui funzionalità assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile, e quindi con una elevata priorità e per le quali occorre garantirne l'efficienza in caso di emergenza.
Nell'approccio proposto, il fattore esposizione di un'opera interferita sarà valutato assumendo il carico insediativo come parametro primario, includendo altresì gli eventuali costi indiretti dovuti al down-time nel caso di insediamenti produttivi, oppure il valore culturale nel caso di opere appartenenti al patrimonio culturale. Da ultimo, l'eventuale strategicità dell'opera sarà assunta come parametro secondario.
La valutazione di ciascuno dei parametri scelti sarà descritta nel seguito, insieme al flusso logico per la stima del livello di esposizione dell'opera.

CARICO INSEDIATIVO

Il carico insediativo si riferisce essenzialmente alla probabilità di affollamento che può verificarsi in un dato manufatto, tenendo in conto anche la sua frequenza nel tempo (permanente o temporanea). Tenendo conto dell'estrema eterogeneità delle opere che possono essere interessate dal fenomeno valanghivo, si propone in questo documento una classificazione semplificata del livello di esposizione, sulla base della destinazione d'uso dell'opera. In dettaglio, considerando i 5 livelli previsti dall'approccio, si propone la seguente suddivisione:

- classe di esposizione **alta**: centri abitati, insediamenti residenziali, impianti ricreativi e turistici, edifici di pubblico interesse e valore sociale;
- classe di esposizione **medio-alta**: attività produttive, beni appartenenti al patrimonio culturale, infrastrutture pubbliche di trasporto (persone, merci, energia);
- classe di esposizione **media**: strade locali;
- classe di esposizione **medio-bassa**: depositi, magazzini, alpeggi, autorimesse, cantine;
- classe di esposizione **bassa**: ruderi abbandonati.

DOWN-TIME

Come già anticipato, nel caso di insediamenti produttivi interferiti da fenomeni valanghivi il valore esposto dell'opera deve includere, oltre la suscettibilità all'affollamento del luogo, i cosiddetti costi indiretti, ovvero la perdita economica conseguente al periodo di interruzione delle attività (down-time).

In queste circostanze, l'autorità competente, o il tecnico che ne fa le veci, è chiamato a tenere in conto nella valutazione del livello di esposizione il danno economico dovuto al periodo di improduttività dell'azienda. Per tale scopo, è suggerito il reperimento delle informazioni principali, prevalentemente di carattere economico e fiscale, relative all'attività produttiva interessata. Sulla base delle suddette informazioni, sarà possibile variare la classe di esposizione dell'opera (impianto produttivo), rispetto a quella inizialmente proposta (medio-alta).

VALORE CULTURALE

Diversamente, per i beni ritenuti appartenenti al patrimonio culturale del territorio, per i quali non è possibile pervenire ad una stima diretta ed oggettiva della perdita economica relativa al danneggiamento e/o distruzione del bene stesso, l'autorità competente è chiamata a stimare il valore esposto in termini di significato storico e sociale del bene per il territorio in cui è ubicato.
In analogia a quanto detto per il down-time, sarà necessario il reperimento di informazioni specifiche relative al bene in esame, per poter apportare una variazione della classe di esposizione dell'opera (bene culturale) rispetto a quella inizialmente proposta (medio-alta).

STRATEGICITA' DELL'OPERA

Per le opere considerate di interesse strategico, la cui funzionalità durante uno scenario eccezionale (sisma, fenomeni naturali, ecc.) assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile, è necessario garantire l'efficienza anche in caso di emergenza. In riferimento ad un certo territorio, le opere strategiche sono espressamente indicate dalla protezione civile o dall'ente amministrativo competente. Facendo riferimento invece alle Norme Tecniche per le Costruzioni, vigenti sull'intero territorio italiano, tali opere coincidono con quelle rientranti nelle *classi d'uso* III e IV.

Tenendo conto dei parametri primari e secondari appena definiti, è possibile determinare la classe di esposizione associata al rischio valanghivo per l'opera considerata secondo il flusso logico rappresentato in Fig. 3.5. Coerentemente con la struttura generale dell'approccio proposto, il carico insediativo dell'opera fornisce il livello di esposizione primario, secondo la classificazione semplificata precedentemente illustrata, tenendo in conto anche il down-time per gli insediamenti produttivi, e l'eventuale valore culturale del bene. In riferimento alle infrastrutture pubbliche, tale livello (medio-alto) può essere poi corretto tenendo conto dell'eventuale strategicità dell'opera. Come visibile dal flusso logico, questo parametro secondario può comportare l'aumento di un livello della classe di esposizione, e dunque da medio-alta ad alta.

### 3.5.5 Stima della classe di attenzione associata al rischio valanghivo

Noti i fattori in gioco, si procede con la determinazione della Classe di Attenzione (CdA) associata al rischio valanghivo, combinando le classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione in matrici di rischio opportunamente definite. In tal senso, il livello di rischio viene calcolato come la "media pesata" dei fattori di pericolosità (P), vulnerabilità (V) ed esposizione (E):

$$R = (p_P * P) \times (p_V * V) \times (p_E * E) \tag{3.4}$$

A ciascuno dei tre fattori (P, V, E) viene assegnato un punteggio da 1 a 5 in funzione della relativa classe precedentemente stimata (1 per classe bassa, 2 per classe medio-bassa, 3 per classe media, 4 per classe medio-alta, 5 per classe alta). I corrispondenti pesi ($p_P$, $p_V$ e $p_E$), variabili tra 0 e 1, la cui somma deve essere

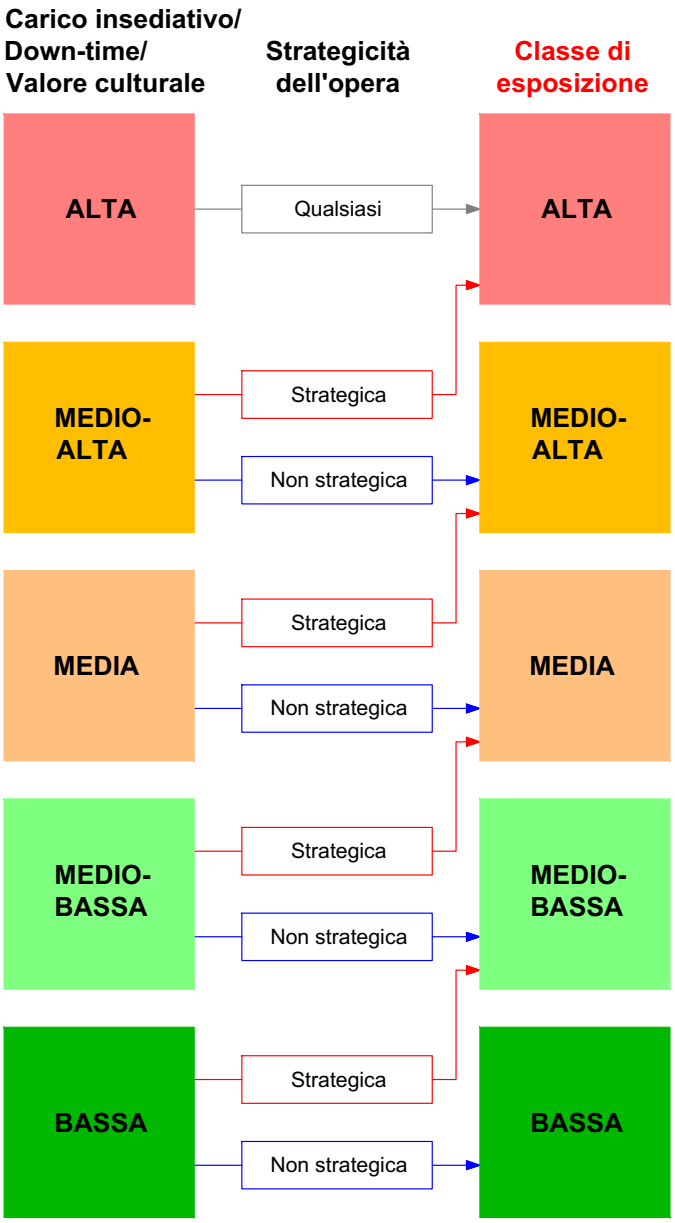


Figura 3.5 - Flusso logico per la determinazione della classe di esposizione legata al rischio valanghivo.

sempre pari a 1, sono utilizzati per calibrare il ruolo di ciascun fattore nella valutazione del rischio. Secondo tali indicazioni, l'Eq. 3.4 fornisce un punteggio sempre compreso tra 1 e 5, quantificando pertanto il livello di rischio R, ovvero la classe di attenzione, secondo uno dei 5 livelli previsti dal metodo.
Per l'analisi del rischio valanghivo è risultato opportuno assumere: (i) $p_P$ uguale a 0,40; (ii) $p_V$ uguale a 0,20; (iii) $p_E$ uguale a 0,40. In tal senso, l'assegnazione di un peso maggiore ai fattori di pericolosità ed esposizione, implica l'assunzione di questi parametri come fattori preponderanti nella valutazione del rischio, in quanto legati alla pericolosità cartografica dell'area in cui sorge l'opera sotto indagine e alle potenziali perdite conseguenti. Le matrici di rischio ottenute secondo queste assunzioni sono rappresentate in Fig. 3.6, nella quale le combinazioni sono suddivise per le cinque classi di pericolosità.

| Classe di Pericolosità ALTA | | Classe di Esposizione | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ALTA | MEDIO-ALTA | MEDIA | MEDIO-BASSA | BASSA |
| Classe di Vulnerabilità | ALTA | ALTA | | MEDIO-ALTA | | MEDIA |
| | MEDIO-ALTA | ALTA | MEDIO-ALTA | | | MEDIA |
| | MEDIA | ALTA | MEDIO-ALTA | | MEDIA | |
| | MEDIO-BASSA | MEDIO-ALTA | | | MEDIA | |
| | BASSA | MEDIO-ALTA | | MEDIA | | |

| Classe di Pericolosità MEDIO-ALTA | | Classe di Esposizione | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ALTA | MEDIO-ALTA | MEDIA | MEDIO-BASSA | BASSA |
| Classe di Vulnerabilità | ALTA | ALTA | MEDIO-ALTA | | MEDIA | |
| | MEDIO-ALTA | MEDIO-ALTA | | | MEDIA | |
| | MEDIA | MEDIO-ALTA | | MEDIA | | |
| | MEDIO-BASSA | MEDIO-ALTA | | MEDIA | | MEDIO-BASSA |
| | BASSA | MEDIO-ALTA | MEDIA | | | MEDIO-BASSA |

| Classe di Pericolosità MEDIA | | Classe di Esposizione | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ALTA | MEDIO-ALTA | MEDIA | MEDIO-BASSA | BASSA |
| Classe di Vulnerabilità | ALTA | MEDIO-ALTA | | MEDIA | | |
| | MEDIO-ALTA | MEDIO-ALTA | | MEDIA | | MEDIO-BASSA |
| | MEDIA | MEDIO-ALTA | MEDIA | | | MEDIO-BASSA |
| | MEDIO-BASSA | MEDIO-ALTA | MEDIA | | MEDIO-BASSA | |
| | BASSA | MEDIA | | | MEDIO-BASSA | |

| Classe di Pericolosità MEDIO-BASSA | | Classe di Esposizione | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ALTA | MEDIO-ALTA | MEDIA | MEDIO-BASSA | BASSA |
| Classe di Vulnerabilità | ALTA | MEDIO-ALTA | MEDIA | | | MEDIO-BASSA |
| | MEDIO-ALTA | MEDIO-ALTA | MEDIA | | MEDIO-BASSA | |
| | MEDIA | MEDIA | | | MEDIO-BASSA | |
| | MEDIO-BASSA | MEDIA | | MEDIO-BASSA | | |
| | BASSA | MEDIA | | MEDIO-BASSA | | BASSA |

| Classe di Pericolosità BASSA | | Classe di Esposizione | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ALTA | MEDIO-ALTA | MEDIA | MEDIO-BASSA | BASSA |
| Classe di Vulnerabilità | ALTA | MEDIA | | | MEDIO-BASSA | |
| | MEDIO-ALTA | MEDIA | | MEDIO-BASSA | | |
| | MEDIA | MEDIA | | MEDIO-BASSA | | BASSA |
| | MEDIO-BASSA | MEDIA | MEDIO-BASSA | | | BASSA |
| | BASSA | MEDIA | MEDIO-BASSA | | BASSA | |

Figura 3.6 – Determinazione della classe di attenzione associata al rischio valanghivo.

## 3.6 Livello 3. Valutazione attività su scala territoriale

Sulla base della classificazione ottenuta nel Livello 2, è possibile dunque ottenere una valutazione complessiva ed omogenea a livello territoriale del grado di rischio cui sono esposte le opere interferite da fenomeni di natura valanghiva.
Sulla base di questo, il Livello 3 consiste nella prioritizzazione delle attività da eseguire sul territorio per la mitigazione del rischio valanghivo. A tal proposito, si raccomanda di partire sempre dalla classe di attenzione come indice sintetico di riferimento, ma di tenere sempre conto anche dei singoli fattori di rischio che incidono nella classificazione, in modo da indirizzare e approfondire efficacemente le azioni da intraprendere, dove e come necessario.
A questo livello di indagine, le possibili azioni da intraprendere prevedono innanzitutto una valutazione accurata delle azioni e conseguenti effetti dovuti al fenomeno valanghivo, in riferimento alla specifica opera interferita. Questa fase, dunque, prevede analisi più dettagliate rispetto alle precedenti, in quanto è necessario accoppiare i risultati dello studio del fenomeno valanghivo con le caratteristiche strutturali dell'opera interferita. Lo studio del fenomeno può essere approfondito con i modelli di dinamica delle valanghe, già esposti nel capitolo precedente del documento. Sulla base di questi, in riferimento alla valanga di progetto, è possibile stimare il profilo geometrico (traiettoria, altezza) e la velocità del flusso valanghivo, in modo da poter valutare l'effettivo grado di interferenza e l'entità delle pressioni esercitate dal flusso sull'opera interferita. Tali parametri output, dovranno essere poi implementati nell'analisi strutturale per valutare l'effetto di questi sovraccarichi sul comportamento strutturale dell'opera, con particolare riferimento alla capacità della struttura di evitare danni sproporzionati rispetto al danneggiamento iniziale (robustezza). In tal senso, questa analisi rappresenta un approfondimento delle analisi di vulnerabilità discusse nel paragrafo 3.5.3.
Parallelamente e/o a valle di questa valutazione più accurata, è possibile optare per l'adozione di adeguati sistemi di protezione e mitigazione delle costruzioni interferite, sia da applicare sulle opere stesse (sistemi di rinforzo strutturale) che in riferimento all'area circostante, nonché di sistemi adibiti al monitoraggio delle aree valanghive in cui esse sorgono. Questi concetti saranno oggetto di discussione nel successivo capitolo del documento.
In conclusione, si osservi che le azioni appena descritte, sia in termini di valutazioni accurate che di implementazione di sistemi, possono portare ad una stima più accurata, ovvero un aggiornamento, della Classe di Attenzione definita nel Livello 2, secondo quanto rappresentato schematicamente in Fig. 3.1.

## Riferimenti bibliografici e approfondimenti

*Barbolini M., Natale L., Tecilla G., Cordola M., Linee guida metodologiche per la perimetrazione delle aree esposte al pericolo di valanghe. AINEVA. 2005*

*CNR-DT 214/2018, Istruzioni per la valutazione della robustezza sulle costruzioni. Consiglio Nazionale delle Ricerche. 2018*

*De Biagi V., Frigo B., Chiaia B., Linee guida per la progettazione di edifici soggetti ad impatto valanghivo. Regione Autonoma Valle d'Aosta. 2012*

*Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. 2022*

# Capitolo 4

# Strategie di protezione e mitigazione del rischio (o pericolo) valanghe

## 4.1 Classificazione delle opere di difesa dal rischio valanghe

Viene definita **opera di protezione** dalle valanghe ogni misura di difesa localizzata all'interno del bacino valanghivo con il fine di ridurre il rischio cui sono soggetti gli elementi esposti. Queste misure di difesa sono progettate relativamente ad uno specifico scenario di rischio (solitamente il massimo atteso o noto) e possono essere classificate (Rudolf-Miklau et al., 2015), in:

- opere di difesa **attive**: possono prevenire il distacco delle valanghe, evitare la formazione dell'accumulo instabile o agire sul percorso della valanga stessa, una volta innescata;
- opere di difesa **passive**: possono mitigare le conseguenze di un potenziale distacco di una valanga.

Una seconda classificazione delle opere di difesa esamina l'intervallo temporale su cui viene considerata l'efficacia delle strategie di difesa adottate. Possono, perciò, essere classificate come:

- **permanent**i: l'effetto di protezione di queste opere è costante, indipendente dalla stagione o dall'effettivo rischio valanga. Le strutture di difesa permanenti possono operare sfruttando due differenti strategie:
  - ostacolando il distacco o la propagazione di una valanga attraverso la stabilizzazione del manto nevoso nella zona di innesco e/o riducendo il trasporto eolico della neve (snowdrift);
  - decelerando, deviando o trattenendo la valanga in movimento attraverso l'utilizzo di strutture di trattenuta, d'urto o di deviazione.

  Le misure di protezione del primo tipo vengono adottate nella zona di distacco, mentre quelle appartenenti alla seconda tipologia vengono utilizzate nella zona di scorrimento o nella zona di deposito/arresto della valanga.

Esiste una terza tipologia di opere il cui obbiettivo è la difesa di specifiche strutture: l'effetto protettivo e la conseguente riduzione del rischio è definita per un solo soggetto esposto (abitazione, strada);

- **temporanee**: interventi efficaci per una durata limitata nel tempo o adatti ad una specifica situazione provvisoria che non impediscono l'accadimento dell'evento, ma cercano di minimizzarne le conseguenze. Ne sono esempio gli argini di neve ed altre misure gestionali (sospensione temporanea dell'esercizio).

Un ulteriore esempio di misure attive temporanee sono le tecniche di distacco artificiale. Usualmente vengono utilizzate per mitigare il rischio piste da sci e vie di comunicazione (e.g., strade, ferrovie, impianti a fune), per minimizzare i giorni di chiusura.

Un'ulteriore classificazione viene fatta considerando il posizionamento dell'opera nelle diverse zone del bacino valanghivo:

- opere di difesa posizionate nella **zona di distacco**;
- opere di difesa posizionate nella **zona di scorrimento**;
- opere di difesa posizionate nella **zona di deposito** o di **arresto**.

Nel processo decisionale, per definire l'opera di difesa più indicata, è necessario tenere in considerazione una serie di principi fondamentali per la scelta del sistema di difesa e della sua tipologia. I principi maggiormente influenti sono:

- l'obbiettivo da proteggere e la sua concreta esposizione al pericolo valanghe;
- i criteri di durabilità e costo del ciclo vita;
- l'onerosità per il monitoraggio e la manutenzione dell'opera;
- l'inserimento dell'opera nel contesto territoriale, considerandone la compatibilità ambientale, sia ecologica che paesaggistica.

Considerando il numero elevato di criteri, è impossibile dare una soluzione semplice e immediata per la corretta scelta della misura di protezione. Per definire la soluzione idonea, caso per caso, bisogna analizzare il contesto in cui l'opera di difesa si inserisce considerando le peculiarità che la caratterizzano. In aggiunta, per quanto riguarda la minimizzazione del rischio residuo, i migliori risultati si ottengono integrando diversi sistemi di protezione, combinando sistemi attivi con quelli passivi, quelli permanenti con quelli temporanei oppure varie tipologie di opere di difesa permanente.

Richiamando le definizioni date ad inizio capitolo, nei sottocapitoli seguenti, viene esposta al lettore una disamina delle principali opere di difesa e delle relative tipologie e caratteristiche. La descrizione delle opere è effettuata seguendo la classificazione spaziale dell'opera all'interno del bacino valanghivo. In Tabella 4.1 sono elencate le principali misure di difesa attive e permanenti. Per ciascuna tipologia di opera vengono indicati i parametri fondamentali per la progettazione e l'esercizio con indicazioni bibliografiche inserite nella sezione "Riferimenti bibiliografici e approfondimenti" per gli approfondimenti tecnici.
È da tenere inoltre in considerazione il fatto che, ad oggi, diverse opere stiano invecchiando e/o presentino segni di danneggiamento, a volte anche significativi. Sono perciò necessarie delle strategie di monitoraggio e di diagnostica del loro stato di esercizio, insieme a piani di manutenzione almeno periodici se non annuali. Il monitoraggio, le metodologie di rilevamento e di analisi dei dati, i metodi di identificazione del danneggiamento e del degrado dei materiali e la conseguente manutenzione delle opere deve essere eseguita in conformità alle disposizioni contenute nelle norme tecniche di riferimento (e.g., "UNI/TR 11635:2016 Linee guida per il monitoraggio strutturale").

Un'esaustiva rassegna di esempi di opere protezione è consultabile sul sito LABAKA (LAwinenschutz BAuten KAtaster) della Provincia autonoma di Bolzano del Catasto delle Opere paravalanghe. La pagina è raggiungibile cliccando qui.

Tabella 4.1 - Principali metodi di difesa attive e permanenti.

| | **Posizione** | **Principio di funzionamento** | **Misura di difesa** |
|---|---|---|---|
| **MISURE di DIFESA ATTIVE e PERMANENTI** | Opere di difesa posizionate nella zona di distacco | Strutture di stabilizzazione/ sostegno del manto nevoso | - Ponti da neve<br>- Rastrelliere da neve<br>- Reti fermaneve<br>- Ombrelli da neve |
| | | Strutture per il controllo del trasporto eolico della neve (snowdrift) | - Deflettore da vento<br>- Frangivento |
| | | Strutture di protezione contro lo scivolamento del manto nevoso (snow gliding) | - Treppiedi<br>- Palificate<br>- Riprofilazione dei pendii |
| | Opere di difesa posizionate nella zona di scorrimento e di deposito | Opere di deviazione | - Diga di deviazione<br>- Muro guida |
| | | Opere di arresto e frenanti | - Dighe e muri di contenimento<br>- Cunei, cumuli, coni e denti frenanti<br>- Briglie frangi-valanga |
| | | Strutture speciali di difesa | - Gallerie e tunnel paravalanghe |
| | Misure di protezione e mitigazione del rischio per edifici | Misure architettoniche e strutturali di mitigazione per l'edificio | |
| | | Opere di protezione per l'edificio | - Cuneo anti valanga<br>- Copertura paravalanghe o Ebenhöch<br>- Muri ad ala |

Per completezza, sebbene esuli dalle opere di difesa, si fa qui cenno al **bosco di protezione**. Esso ha il compito di:

- prevenire le valanghe in zona boscata, stabilizzando il manto nevoso;
- ridurre l'energia della valanga, limitandone l'estensione in lunghezza.

È comunque da tenere presente che le foreste non possono fermare le medie/grandi valanghe già in movimento e che, all'interno dell'area boscata, non possono essere comunque esclusi i distacchi.

Per essere definito tale, il bosco di protezione deve avere (e mantenere) definite caratteristiche forestali (e.g., densità, specie arborea, posizione, ecc …) e corrette modalità di gestione. Per queste ultime, un esempio è la scelta del taglio dell'albero (quando necessario) a petto d'uomo e non a livello di terreno, proprio per l'importanza dei ceppi verso il sostegno e la stabilizzazione del manto nevoso.
Dell'importanza delle foreste di protezione, ne è una chiara testimonianza la Tempesta Vaia che, nel 2018, provocò la distruzione di migliaia di ettari di foreste di conifere comportando, nell'imminente inverno, un significativo aumento del pericolo valanghe (soprattutto riferito alle vie di comunicazione).

## 4.2 Opere di difesa posizionate nella zona di distacco

Le opere di difesa dal rischio valanga posizionate nella zona di distacco sono solite ridurre la probabilità di distacco delle valanghe di grandi dimensioni sfruttando diversi principi di funzionamento. Esse sono solitamente poste sopra il limite del bosco. Le principali opere che costituiscono questa categoria sono:

- strutture di stabilizzazione/sostegno del manto nevoso;
- strutture per controllo del trasporto eolico della neve (snowdrift);
- strutture di protezione contro lo scorrimento del manto nevoso (snow gliding).

### 4.2.1 Strutture di stabilizzazione/ sostegno del manto nevoso

Le strutture di trattenuta della neve sostengono il manto nevoso, in modo da ridurre significativamente la probabilità di distacco o limitando la movimentazione della massa nevosa verso zone a rischio. La classificazione di queste opere viene effettuata in funzione della loro vita utile e della superficie di supporto (rigida o flessibile).

Le strutture di sostegno del manto nevoso più diffuse sono brevemente descritte nel seguito:

- **Ponti da neve** (Fig. 4.1): la struttura tipicamente consiste in due sostegni obliqui (puntoni) collegati con una fondazione a valle e con due travi verticali (montanti). I montanti sono rispettivamente collegati con la fondazione di monte e con un numero variabile di traversi orizzontali (in funzione dell'altezza dell'opera) in modo da costruire un graticcio. Il ponte da neve viene eretto con un'inclinazione di 10° - 15° verso valle rispetto la normale al pendio. L'angolo tra i montanti e i puntoni è compreso tra 60° e 70°. I ponti da neve vengono costruiti in diversi materiali (e.g., acciaio, legno o combinando i materiali), per cui varia la vita utile e lo spessore di neve che riescono a sostenere.
- **Rastrelliere da neve** (Fig. 4.2): strutture analoghe ai ponti da neve, presentano il graticcio realizzato con travetti verticali tipicamente in legno (la vera e propria rastrelliera). Riescono a sostenere altezze di neve che variano da 1,8 ai 3,5 metri. Rastrelliere e ponti in legno posso essere installate anche in aree boschive colpite da schianti al fine di sostituire temporaneamente la funzione protettiva del bosco permettendo il rimboschimento.
- **Reti fermaneve** (Fig. 4.3): strutture modulari, tipicamente costituite da puntone pendolare, collegate tramite tiranti (controventi) con un ancoraggio a valle. Verso monte sono installate le reti in acciaio, collegate tramite cavi agli ancoraggi della rete. I puntoni formano un angolo di 10° - 15° verso monte rispetto alla perpendicolare al pendio. L'altezza della struttura varia dai 2 ai 4,5 metri, ma è necessario considerare la flessione delle reti di almeno un 15% dovuta alla variabilità della geometria.

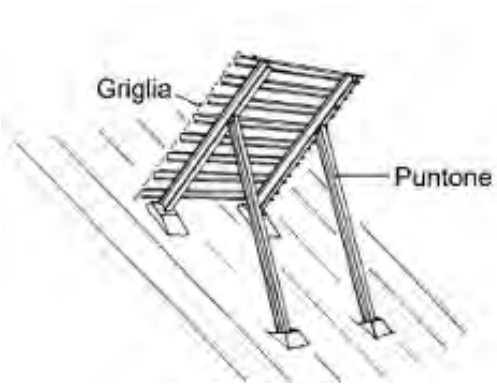


Figura 4.1 - Schematizzazione di un ponte da neve (adattata da Margreth, 2007).

Figura 4.2 - Schematizzazione di una rastrelliera da neve (adattata da Margreth, 2007).

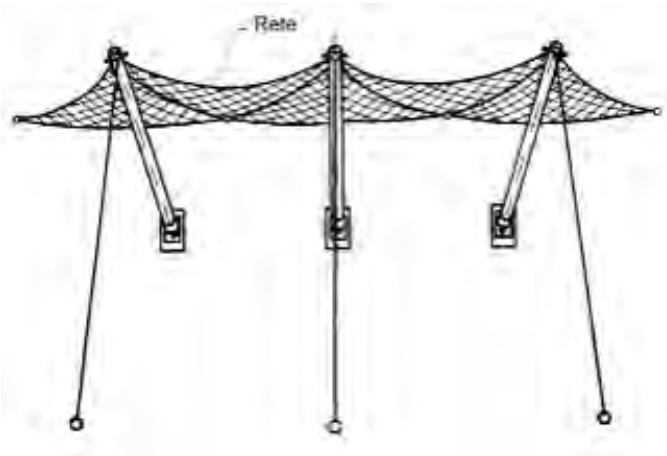


Figura 4.3 - Schematizzazione di un modulo di una rete fermaneve (adattata da Margreth, 2007).

Figura 4.4 - Ombrelli da neve. Bacino della Valnera in Gressoney-Saint-Jean, Valle d'Aosta (Segor, 2024).

- **Ombrelli da neve** (Fig. 4.4): strutture modulari semi-rigide, composte da un pannello quadrato su cui sono sovrapposte due reti in acciaio. Il pannello è connesso a due travi di profilati in acciaio che formano una croce di Sant'Andrea, dal cui centro si prolunga il "naso", il quale mette in tensione i controventi. L'ombrello è connesso all'ancoraggio al suolo (tipicamente un tirante) tramite un palo centrale di lunghezza compresa tra i 4 e i 5 metri. In Italia questa tipologia di opera è preferita per la facilità di trasporto, posa, installazione e manutenzione, dovuta anche alla necessità di un singolo ancoraggio.
- **Strutture di stabilizzazione del manto nevoso:** utilizzate in passato, oggi giorno sono rilevanti solo nel caso di manutenzione oppure in casi particolari. Tra le principali opere di questo genere si annoverano: i gradoni, terrazzamenti in terra e muri a secco.

In funzione di differenti parametri come altezza della neve, fattore di scivolamento, tipologia costruttiva, il manto nevoso può generare forze significative che devono essere trasmesse al terreno o allo strato roccioso utilizzando fondazioni adeguatamente progettate.

Per il calcolo delle azioni del manto nevoso agenti sulle strutture si rimanda alle Direttive Svizzere per la "Costruzione di opere di premunizione contro le valanghe nella zona di distacco" (Margreth, 2007 con aggiornamento 2017) emanate dall' UFAM (Ufficio Federale per l'Ambiente) e dal WSL – SLF (Istituto Federale Svizzero per lo Studio della Neve e delle Valanghe). È necessario inoltre che queste strutture seguano le normative tecniche per le costruzioni in vigore, sia per quanto riguarda le strutture in senso stretto (e.g., costruzioni in acciaio), le loro fondazioni (e.g., opere di fondazioni, tiranti), le verifiche strutturali e geotecniche, i certificati di valutazione tecnica, che le loro manutenzioni. A titolo esemplificativo, per la progettazione

e la realizzazione delle fondazioni si rimanda all'Eurocodice 7 En 1997, il capitolo 6 delle NTC 2018 e il relativo capitolo nelle "Direttive per la costruzione delle opere di premunizione delle valanghe nella zona di distacco".

### 4.2.2 Strutture per il controllo del trasporto eolico della neve (snowdrift)

Le strutture per il controllo dello snowdrift (il trasporto eolico della neve) hanno la funzione di modificare l'attività eolica sul manto nevoso e l'azione del vento sulla neve durante le nevicate, mutando il deposito della neve nell'area limitrofa all'elemento ed ostacolando la formazione di cornici e pericolosi accumuli di neve ventata. Esse rappresentano, quindi, ostacoli semi-permeabili per il flusso del vento mirando a condizionare positivamente la stabilità del manto nevoso.
Nel momento in cui il vento si imbatte su un generico ostacolo, si vengono a creare due meccanismi utili: 1) l'incremento della turbolenza del flusso con la creazione di vortici che influenzano il deposito della neve, e 2) l'aumento della velocità del flusso, implicando il sollevamento e il trasporto dei fiocchi di neve.

Spesso combinate con le opere di sostegno del manto nevoso per evitare accumuli di neve importanti nella zona di distacco o di cresta, queste strutture sono usate anche a bordo strada per evitare il deposito di neve sulla sede stradale.

L'effetto delle opere per il controllo dello *snowdrift* è profondamente correlato al loro corretto posizionamento rispetto ad intensità e direzione principale del vento. Per ottenere un sistema che lavori in modo efficace è necessaria, perciò, la conoscenza del comportamento locale del vento. In assenza di una banca dati robusta, questa è ottenibile grazie ad una campagna di misure di diversi inverni con misurazioni puntuali per avere informazioni più precise di intensità e di direzione dei venti a piccola scala.

Le strutture per il controllo dello snowdrift sono brevemente descritte nel seguito:

- **Deflettori da vento:** sono posizionati in luoghi caratterizzati da possibile formazione di cornici. Il deflettore influenza il flusso del vento, creando delle forti turbolenze in prossimità dell'opera comportando così erosione della neve. In questo modo il deposito è spazialmente disomogeneo, prevenendo la creazione di una cornice continua. Essendo posizionati nella zona sottovento, la velocità del vento aumenta nel momento in cui intercetta la struttura, allontanando l'area di deposito. Possono essere di varie forme, tra cui quelli a forma di tettoia (*wind roof*), tipici per prevenire la formazione di pericolosi accumuli di neve ventata in cresta.
- **Frangivento:** solitamente installati su altipiani o su creste per minimizzare l'accumulo nevoso nella zona di distacco, sono strutture disposte con sviluppo perpendicolare rispetto alla direzione principale del vento. Sono costituiti da montanti ancorati al terreno che sostengono i listelli orizzontali o verticali. Generalmente, i montanti sono in acciaio e i listelli in legno. I listelli possono essere disposti in continuità oppure distanziati con una certa permeabilità, creando un vuoto alla base e/o tra i listelli stessi. Per il grado di riempimento e la permeabilità ottimali si rimanda alla letteratura tecnica. La definizione dei carichi agenti sulla struttura avviene secondo la normativa vigente a livello nazionale o europeo, come il conseguente dimensionamento della struttura, in funzione del materiale utilizzato.
  Particolare tipologia di frangivento sono quelli *a croce* o *ad albero rovesciato* che, laddove non vi sia sufficiente spazio per modificare le aree da deposizione da vento, permettono comunque di interrompere le possibili continuità di cornici nelle zone di cresta (Fig. 4.5).

Figura 4.5 – Frangiventi a croce (o ad albero rovesciato) posti nella zona di cresta del bacino valanghivo di Lavanchers in Morgex, Valle d'Aosta (Segor, 2024).

### 4.2.3 Strutture di protezione contro lo scivolamento del manto nevoso (snow gliding)

Il compito di queste opere è quello ridurre i movimenti lenti del manto nevoso come lo scorrimento (snow glinding) e il creeping. Queste tipologie di opere sono prevalentemente utilizzate per proteggere le aree soggette a rimboschimento. In generale, le soluzioni più efficaci comportano l'installazione fitta di elementi. Tra le possibili soluzioni che fanno parte di questa categoria si annoverano treppiedi, palificate, riprofilazione (gradoni) dei pendii, ecc… spesso associati, ove possibile, ad interventi di piantumazione.

## 4.3 Opere di difesa posizionate in zona di scorrimento e di deposito

Nel caso in cui il distacco della valanga non possa essere prevenuto, anche per questioni economiche, possono essere utilizzate le misure di difesa posizionate nella zona di scorrimento o nella zona di arresto. L'obbiettivo di queste è di deviare ovvero fermare il flusso valanghivo e ridurre l'energia della valanga, diminuendone conseguentemente la distanza di arresto e il potere distruttivo. Queste opere possono essere combinate con opere minori nella zona di distacco. Essendo soggette ad azioni dinamiche di notevole entità, queste opere sono tendenzialmente strutture massicce e di grande ingombro.

Nel seguito vengono presentate le principali opere appartenenti a questa categoria, classificandole in funzione del loro principio di funzionamento in:

- opere di deviazione;
- opere di arresto e frenanti;
- strutture speciali di difesa.

### 4.3.1 Opere di deviazione

Il principio di funzionamento delle opere di deviazione consiste nella creazione di ostacoli (e.g., cunei, dighe, argini o muri, ecc …) che impongono un cambiamento di direzione dello scorrimento della valanga, indirizzandone il flusso verso una zona sicura, proteggendo così gli elementi esposti. Solitamente poste in zona di scorrimento, queste opere non modificano in alcun modo i volumi di distacco, ma possono avere la funzione di contenere il flusso della valanga all'interno di un percorso direzionalmente stabile oppure ripartire il flusso in parti con minor potere distruttivo. Modificando la dinamica e il percorso dell'evento, e riducendone l'energia, ne favoriscono l'arresto su distanze più brevi modificando le aree potenzialmente interessate dall'arresto della stessa. La loro efficacia si riscontra principalmente per la componente radente della valanga, esercitando un effetto limitato per la componente nubiforme. Queste opere possono essere realizzate in terra, muratura o calcestruzzo.
Le principali opere di deviazione sono delineate nel seguito:

- **Dighe di deviazione**: costruite per deviare nella direzione desiderata lo scorrimento della valanga o in contrapposizione a una possibile uscita dal percorso di scorrimento della stessa. L'efficacia dipende da molti fattori come la velocità del flusso, l'altezza e la forma geometrica dello sbarramento, ma principalmente bisogna considerare l'angolo di deviazione del flusso stesso. Infatti, minore è l'angolo di deviazione, più facilmente la deviazione del flusso sarà compiuta. Nel lato esposto all'impatto della valanga, l'inclinazione del paramento di monte deve essere almeno di 60°. Svolge un'elevata importanza il posizionamento dell'opera: il luogo di installazione deve essere definito tramite precise analisi sia storiche sia numeriche con simulazioni di diversi scenari di dinamica.
  Insieme alle dighe, si citano qui i **cunei deviatori**, anch'essi opere di rallentamento che inducono però una deviazione puntuale del flusso valanghivo per una conseguente protezione locale e debole deviazione della direzione di flusso nella zona di arresto. Usati anche come opere di difesa puntuali per i sostegni di impianti a fune, tralicci/pali elettrici, ecc …
- **Muri guida:** costruiti per evitare o limitare l'espansione laterale e la deviazione direzionale della valanga. Possono essere costituiti in terra, in calcestruzzo, in muratura o in cemento armato. Spesso presenti ai bordi (estremi) delle coperture di gallerie paravalanghe per evitare l'ostruzione degli ingressi della galleria da parte del flusso nevoso. Particolari sono quelli "provvisori" costruiti sagomando l'accumulo valanghivo in caso di bacino con possibili eventi stagionali multipli, come quelli di Bounitzon nella Valle di Gressoney e di Lavanchers in Morgex, entrambi in Valle d'Aosta.

I parametri fondamentali di queste opere sono la posizione e l'orientamento, la loro altezza insieme all'angolo di deviazione della diga. In particolare, l'altezza dell'opera è funzione dell'altezza (statistica) della neve al suolo, di eventuali depositi di valanghe precedenti, dell'altezza del flusso della frazione radente e dell'altezza di risalita, attentamente calcolata per evitare lo scavalcamento dell'opera da parte della valanga.

### 4.3.2 Opere di arresto e frenanti

Posizionate trasversalmente rispetto alla direzione di sviluppo della valanga, queste strutture sono definite come opere di difesa trasversali. Per le prime, il principio di funzionamento è quello di arrestare la corsa

della valanga convogliando e raccogliendone la massa all'interno dell'invaso formato a monte dell'opera stessa evitandone l'espansione a valle. Le opere frenanti hanno invece il compito di ridurre la velocità del flusso valanghivo, tipicamente denso, grazie alla dissipazione di energia dovuta agli urti e alle deviazioni di flusso, riducendo la potenza distruttiva e, conseguentemente, la distanza di arresto dell'evento. Sono tipicamente i **cumuli**, i **denti di rallentamento** ed i **valli deviatori**, anch'essi realizzati in terra, muratura o calcestruzzo (a volte anche armato).

Per questo tipo di opere dovrà essere accuratamente valutato il problema della corretta ubicazione (in relazione alla dinamica della valanga) e dimensionamento, come già indicato per le opere di deviazione. Entrambe le tipologie sono localizzate nella zona di arresto: le prime distanti dalla zona di scorrimento, mentre le seconde nelle aree iniziali della zona di arresto. Infatti, l'efficacia del loro funzionamento aumenta sfruttando le caratteristiche del pendio ospitante, come l'inclinazione inferiore ai 20° (15° nel caso di valanghe di grosse dimensioni) e l'elevata rugosità del terreno naturale che facilitano l'arresto del flusso. Al contrario, l'efficacia delle opere può essere notevolmente ridotta da eventi di piccole/medie dimensioni, ma di elevata frequenza.

I sistemi frenanti e di arresto possono essere combinati, in modo che dapprima si riduca la velocità di scorrimento della valanga, per poi arrestarla con le strutture di arresto. Vediamo i più significativi qui di seguito:

- **Dighe o muri di contenimento** (Fig. 4.6): costruiti per rappresentare un ostacolo al moto della valanga, con lo scopo di fermare completamente lo scorrimento della valanga e favorirne il deposito. I parametri fondamentali per la realizzazione di questa tipologia di opere sono: l'altezza effettiva, il posizionamento all'interno del bacino della valanga, la forma geometrica e il volume di deposito nella zona di arresto. Le dighe e i muri di contenimento possono funzionare arrestando completamente la valanga oppure compiendo un arresto parziale con limitato traboccamento e con un deposito valanghivo a monte o/e a valle della diga. Per questo, la loro localizzazione è prevista, come già anticipato, dove il pendio favorisce una bassa velocità del flusso valanghivo (anche per evitare carichi impulsivi importanti sulla struttura) o/e rispettando una distanza di sicurezza dall'elemento a rischio. Indipendentemente dall'altezza dello sbarramento, occorre valutare la sua capienza di invaso, stimando il massimo volume invasabile con un'inclinazione media dell'accumulo di 0° ÷ 5° ed un idoneo fattore di compattazione della neve rispetto a quella distaccata (solitamente tra 1 – per valanghe di neve bagnata – e 1,5 valanghe di neve asciutta). Se, per vari motivi (e.g., valanghe multiple), la capienza di invaso non risultasse sufficiente, dovrà essere valutato l'arresto parziale del flusso valanghivo con il superamento dell'opera e la prosecuzione della corsa di parte del flusso verso valle.
- **Cunei, cumuli, coni e denti frenanti (o di rallentamento)** (Fig. 4.6): il loro principio di funzionamento è quello di diminuire l'energia della valanga ed indurre la dispersione della stessa riducendone la distanza di arresto e la potenza distruttiva. L'efficacia di queste opere aumenta posizionandole su più file con disposizione in pianta a cuneo, passando dal 20% di riduzione della velocità del flusso denso se disposti in un'unica fila, al 30% se sono disposti su file multiple. Considerando l'espansione laterale indotta al flusso valanghivo dall'elemento, è necessario fare delle considerazioni sulla direzione e tipologia di moto del flusso a seguito dell'impatto con gli elementi dell'opera di protezione.
- **Briglie frangi-valanga**: in calcestruzzo, cemento armato ad alte prestazioni oppure in muratura (gabbioni), queste opere condizionano lo scorrimento delle valanghe radenti e di quelle nubiformi, riducendo: 1) la distanza di arresto agendo sulla turbolenza della miscela aria-neve per la parte nubiforme, e 2) l'inerzia per la componente radente. L'opera massimizza la sua efficacia all'interno di zone

di scorrimento ben definite, classica situazione che si riscontra all'interno dei canaloni. Quest'opera, in periodi dove il rischio valanga non è presente, può svolgere il compito di briglia idraulica, qualora la zona di scorrimento della valanga coincida con alvei torrentizi. Se in cemento armato, la realizzazione delle briglie segue la normativa tecnica in materia verificandone la struttura per gli stati ultimi (resistenza strutturale - STR), la stabilità geotecnica (GEO) e, in caso di strutture posizionate in alvei torrentizi, le azioni idrauliche (HYD) e di sollevamento (ULP).

Figura 4.6 - Cumuli e cunei frenanti presso il bacino valanghivo a valle del ghiacciaio di Tacconaz - Monte Bianco (FR). Sullo sfondo la diga di contenimento. In primo piano due denti di rallentamento in cemento armato distrutti dall'evento valanghivo (Frigo, 2009).

Anche in questo caso, il parametro fondamentale al fine della progettazione e dell'esercizio di queste opere è l'altezza dell'opera così come definita per le opere di deviazione. Per il calcolo delle azioni sulle dighe ed altre opere di difesa in zona di arresto, è possibile fare riferimento alla pubblicazione "*The design of avalanche protection dams: recent practical and theoretical developments*" (Jóhannesson et al., 2009) che riassume i recenti sviluppi teorici e i risultati di studi sul campo e in laboratorio, combinandoli con le linee guida e i principi di progettazione tradizionali per formulare raccomandazioni di progettazione di questa tipologia di opere.

Le opere di arresto e frenanti sono strutture di grande ingombro e impatto visivo anche perché, costruite nelle zone di arresto, sono molto prossime alle aree antropizzate (a rischio) e perciò poco gradite ai non addetti ai lavori. Le opere frenanti producono invece una minore percezione di sicurezza causata anche dal duro compito di definire, in modo affidabile, i parametri dinamici dell'evento di progetto. La progettazione

di queste opere non è ancora fondata su accettate linee guida e si basa sulla capacità di giudizio di esperti del settore in grado di valutare e interpretare il territorio ed i fenomeni che possono essere prodotti.

### 4.3.3 Strutture speciali: gallerie e tunnel paravalanghe

Le gallerie e tunnel paravalanghe sono opere di difesa delle vie di comunicazione presenti in zona di scorrimento o di deposito della valanga. La protezione dei tratti stradali o ferroviari a rischio avviene costruendo un'opera su cui la valanga possa scorrere, bypassandola senza interferire con l'infrastruttura da proteggere. La realizzazione di questa tipologia di opere risulta particolarmente efficace nella caso di un'estesa area di distacco ed un breve sviluppo longitudinale di una ben definita area di interferenza, in zona di scorrimento/arresto. È necessario che la galleria/tunnel presenti uno sviluppo in elevazione minore possibile al fine di non presentarsi come un ostacolo allo scorrimento della valanga. Solitamente, infatti, la copertura della gallerie/tunnel è progettata e realizzata in continuità con il pendio naturale, zona di passaggio della valanga.

Le gallerie paravalanghe si differenziano dai tunnel per la presenza di aperture. Spesso gallerie/tunnel sono combinati con opere di deviazione al fine di minimizzarne lo sviluppo in lunghezza. In questo modo, sfruttando l'effetto delle opere di deviazione si crea una chiara delimitazione della zona di scorrimento della valanga, costringendone il passaggio in copertura e proteggendo i portali della galleria.

I parametri fondamentali per la progettazione di queste opere sono tipicamente:

- la geometria del pendio a monte dell'opera (inclinazione del pendio a monte della galleria/tunnel e del terreno sopra la stessa);
- lo spessore della neve deposta naturalmente, del deposito della valanga, della valanga in movimento e la sua velocità al passaggio della galleria/tunnel;
- l'angolo di rottura del pendio ovvero l'inclinazione tra il declivio naturale e la copertura (solitamente sormontata dal un pendio ricostruito e livellato).

Le gallerie/tunnel paravalanghe offrono protezione anche per la caduta massi, ulteriore aspetto da considerare durante la progettazione.
Un esempio di tunnel paravalanghe è riportato nella pagina di copertina di questo documento.

Per il calcolo delle forze agenti sulle gallerie paravalanghe si fa generalmente riferimento alle Direttive Svizzere "Azioni delle valanghe sulle gallerie di protezione" (ASTRA, 2007) emanate dall' OFROU (Ufficio Federale per le Strade).

## 4.4 Misure di protezione e mitigazione del rischio per edifici

L'obbiettivo primario della protezione degli edifici è preservare la struttura esistente limitandone l'effetto alla struttura stessa e non alle aree circostanti e/o vie d'accesso. Di conseguenza, frequentemente le misure di protezione diretta degli edifici sono associate a misure di difesa temporanee attive o passive e/o a misure di protezione civile.

La costruzione di edifici in zone soggette a pericolo valanghe è tecnicamente possibile, ma richiede l'adozione di opportune contromisure di sicurezza. In Italia, ad oggi, per quanto concerne la mitigazione del pericolo valanghe inteso come pericolosità di impatto della componete densa e/o polverosa della valanga sulle strutture, non esiste una legislazione univoca o norme tecniche. Ogni regione definisce, perciò, la propria normativa e/o con riferimento alle Linee Guida AINEVA (Barbolini et al., 2002). Un esempio di legiferazione regionale a riguardo è l'Art. 37 "Classificazione dei terreni soggetti al rischio di valanghe o slavine e relativa disciplina d'uso" della Legge Regionale n. 11/1998 (e s.m.i) del Consiglio Regionale della Valle d'Aosta. La LR concerne esclusivamente previsioni urbanistiche legate ad insediamenti, insieme ad indicazioni sulla possibile o meno realizzazione di interventi su edifici esistenti o in costruzione in funzione dei diversi livelli di impatto valanghivo. La LR tralascia invece gli aspetti connessi alla realizzazione di opere di difesa e, ovviamente, gli aspetti di progettazione.

Le contromisure adottabili consistono in misure strutturali che prevedono l'intervento diretto sugli edifici o, in alternativa, la realizzazione di un'opera di protezione puntuale. È fondamentale una progettazione adeguata al pericolo, che comprenda il dimensionamento e la progettazione strutturale confacente alle sollecitazioni indotte dalle valanghe. Sebbene la struttura venga tutelata, il rischio resta presente anche all'esterno dell'edifico stesso. Adottando questa tipologia di intervento, le aree circostanti al singolo edificio o al gruppo di edifici rimangono esposte al pericolo, rendendo necessarie ulteriori misure di sicurezza (e.g., divieti di accesso agli edifici, interdizione al passaggio nella zona esposta al rischio) e/o misure di protezione civile.

### 4.4.1 Misure architettoniche e strutturali di mitigazione per l'edificio

L'insieme delle misure architettoniche e strutturali è una serie di accorgimenti progettuali finalizzati alla riduzione degli effetti dell'interferenza valanghiva sull'edificio e a migliorare la resistenza dell'edificio alle sollecitazioni da essa indotte. Per la minimizzazione degli effetti si agisce sull'orientazione dell'edificio, riducendo al minimo la superficie d'impatto lato valanga, e sulla forma esterna dell'edifico, progettandola in modo da accompagnare il flusso della valanga sopra o attorno alla struttura. È cruciale adottare misure per prevenire l'invasione della valanga o della sua onda d'urto all'interno dell'edificio.

Il danneggiamento viene prevenuto o ridotto grazie a progettazioni ed interventi strutturali (e.g., orientamento e tipologia dell'edificio e della copertura), architettonici (e.g., l'assenza di aperture sul lato valanga dell'edificio o la collocazione delle zone meno fruite temporalmente – scale, ripostigli, bagni, ecc … - nell'area interna lato valanga), scelta dei materiali da costruzione (e.g., struttura (telaio e tamponamenti) tipicamente in cemento armato).

### 4.4.2 Opere di protezione per l'edificio

La protezione di singole proprietà o di un piccolo gruppo di edifici attraverso l'uso di misure collettive può non essere efficace e/o economicamente vantaggiosa. Essa può essere ottenuta grazie a modeste e puntuali opere di difesa a monte o direttamente a fronte dell'oggetto interessato dall'interferenza. Le opere puntuali di difesa lavorano essenzialmente in base a due principi: evitando l'impatto diretto della valanga con l'edificio e deviandolo al di sopra o a lato della struttura stessa.

Le principali soluzioni di questa tipologia di protezione sono:

- **Cuneo anti-valanga**: con la stessa filosofia di funzionamento dei cunei frenati e delle opere di deviazione, il cuneo anti-valanga può essere costruito a diretto contatto con l'edificio sul lato esposto alla valanga, di fronte ad esso oppure addirittura "incluso" nella costruzione da proteggere. L'opera viene realizzata con un angolo di apertura del cuneo di almeno 60°, in modo da deviare la valanga ai lati della proprietà. È perciò necessario tenere in considerazione le direzioni del flusso valanghivo post-deviazione per la loro possibile successiva interferenza anche in zone antropizzate prima non interessate al pericolo valanghe. L'altezza e le sollecitazioni agenti sull'opera vengono calcolate utilizzando i principi che guidano la progettazione delle dighe di deviazione.
  Ne è un classico esempio è la Chiesa di Fraüenkirh in Davos (CH).
- **Copertura paravalanghe** o **Ebenhöch** (Fig. 4.7): costruzione la cui copertura lato valanga è continua al pendio (o al pendio in condizioni innevate) con pareti laterali interrate o semi-interrate che lasciano libera esclusivamente la parete di valle, ove è solitamente posto l'ingresso. La continuità della struttura al pendio, tramite la copertura, protegge l'edificio dall'impatto diretto della valanga, assoggettandola solamente allo scorrimento delle masse nevose, grazie all'assenza di parti in elevazione soggette ad impatto diretto. Le sollecitazioni indotte sulla copertura dal passaggio della valanga vengono calcolate utilizzando i principi che guidano la progettazione delle gallerie/tunnel paravalanghe.

Figura 4.7 - Manufatto con copertura paravalanghe in Pré-Saint-Didier, Valle d'Aosta (Frigo, 2024).

- **Muri ad ala**: sono strutture di arresto/deviazione, se possibile con lieve inclinazione (che richiama la forma a cuneo), costruite ad una certa distanza dalla costruzione o, più comunemente, direttamente connesse ad essa sul lato valanga con la funzione di proteggere le parti laterali e la relativa zona esterna dell'edificio. Verificati come le opere di contenimento o cunei di deviazione, sono atte a contrastare il flusso radente e la componente più distruttiva del flusso polveroso (lo strato di saltazione). L'altezza del muro può essere sovrastata dalla valanga: per questo, e per l'eventuale locale deviazione del flusso, è necessario valutare l'effetto dell'interferenza valanghiva a valle della loro posizione.

## 4.5 Misure di difesa temporanee

Le misure di difesa temporanee sono metodi gestionali che mitigano il rischio in maniera limitata nel tempo. Possono essere attive o passive. Le misure temporanee attive richiedono un accertamento preventivo del pericolo da parte di un organo tecnico competente (e.g., la Commissione Locale Valanghe - CLV), prima di essere attivate dal Sindaco (o autorità locale di Protezione civile) o Prefetto tramite ordinanze e/o procedure. Questa categoria comprende il distacco artificiale, le misure di interdizione delle vie di comunicazione, la chiusura di infrastrutture e le evacuazioni. Le misure temporanee passive, quali le chiusure stagionali delle vie di comunicazione (tipicamente strade) o di infrastrutture, vengono messe in atto in maniera preventiva, ovvero indipendentemente dalla situazione valanghiva e senza consultare l'organo tecnico competente. L'utilizzo delle misure di difesa temporanee è indicato per aree dove le opere di difesa permanenti non possono essere installate o dove non è economicamente conveniente farlo. L'utilizzo tipico delle misure di difesa temporanee riguarda la protezione delle vie di comunicazione e delle piste da sci. La combinazione delle misure di difesa permanenti con quelle temporanee fa parte dell'approccio di protezione olistico. Le misure di difesa permanenti vengono progettate per uno specifico evento, definito da una certa magnitudo (solitamente la massima nota o statisticamente calcolata secondo un definito tempo di ritorno): qualora questa magnitudo possa venire superata o in caso di eventi ripetuti, l'utilizzo delle misure di difesa temporanee può mitigarne gli effetti finali.

### 4.5.1 Distacco artificiale delle valanghe

Il distacco artificiale (detto anche programmato o controllato) delle valanghe consiste nell'innescare artificialmente una valanga, con l'obbiettivo di ridurne il volume di distacco e mettere temporaneamente in sicurezza l'intero bacino valanghivo. L'effetto di messa in sicurezza si traduce in una ridotta probabilità di innesco spontaneo della valanga, almeno per un certo periodo di tempo. Questa metodologia di difesa è un intervento volontario che genera elevati sovraccarichi temporanei sul manto nevoso e induce il distacco preventivo e programmato di valanghe, in momenti e condizioni "noti". Esso produce eventi di volumi desiderati, controllandone dimensioni, traiettorie, velocità e pressioni d'impatto, riducendo così il pericolo degli elementi esposti. Il distacco programmato è molto utilizzato per la messa in sicurezza di piste da sci o vie di comunicazione (e.g., strade), ma sconsigliato in zone antropizzate.

Classificato come misura di gestione temporanea, esso ha adottato in origine sistemi militari (lancia-granate, bazooka, ecc…) per poi rivolgersi ad oggi, in Italia, all'esplosivo e ai sistemi a gas, insieme ai sistemi meccanici (e.g., gatto delle nevi). Negli ultimi anni, si è assistito ad una sostituzione del metodo tradizionale

(esplosivo) considerato poco affidabile e, soprattutto di difficile gestione dal punto amministrativo e burocratico, con sistemi innovativi. Questi ultimi possono essere fissi o mobili (elitrasportabili o con drone), a gas oppure utilizzando anche esplosivi pirotecnici.

### 4.5.2 Fondamenti del distacco artificiale delle valanghe

Il concetto di base alla tecnica del distacco artificiale è l'applicazione di un sovraccarico dinamico al manto nevoso in stabilità precaria. Nel caso di detonazione (da carica o da miscela esplosiva), l'azione aggiuntiva viene creata dall'onda di pressione che si diffonde sul manto nevoso e che può portare alla formazione della valanga.

Gli effetti della detonazione possono produrre il distacco della valanga (esplosione positiva) o meno, (esplosione negativa), oppure situazioni intermedie che comportano l'assestamento del manto nevoso o distacchi parziali.

Il distacco artificiale viene solitamente utilizzato su pendii con un'inclinazione maggiore di 35°, inclinazioni tipiche delle aree di distacco. L'uso di questa tecnica su pendii con un'inclinazione minore dei 35° non è comune e deve essere cautelativo, per una maggiore propensione di questi all'accumulo nevoso che si riflette nella potenziale formazione di grandi valanghe.

La pianificazione di questa tecnica richiede un'ottima conoscenza del/i sito/i di tiro insieme allo storico delle condizioni nivologiche del manto nevoso fin dalla prima nevicata. Per attuarla operativamente è necessario conoscere le caratteristiche dell'area di distacco, la definizione dei possibili siti di tiro e il loro relativo ordine di esplosione, il metodo di distacco artificiale utilizzato e le misure per la sicurezza del territorio potenzialmente a rischio durante le operazioni di distacco (e.g., divieti di transito ed evacuazioni, ecc …).

Un prerequisito per l'utilizzo della tecnica di distacco artificiale consiste nell'avere un piano di sicurezza, contenente relazione tecnico illustrativa della zona, piano di monitoraggio e piano delle procedure. Le operazioni di distacco artificiale devono essere supportate dal monitoraggio continuo effettuato dall'Ufficio Valanghe locale. In Italia, il piano di sicurezza da predisporre è il Piano di Intervento per il Distacco Artificiale Valanghe (PIDAV). Per avere maggiori informazioni a riguardo consultare "Distacco artificiale di valanghe: linee guida per la procedura operativa, metodi e normativa" capitolo 2. Insieme al PIDAV, il Piano per la Sospensione Temporanea di Esercizio (PISTE) può essere o meno presente nei piani delle misure gestionali a protezione degli impianti di risalita e dei comprensori sciistici. Nello specifico, il PISTE individua le procedure da mettere in atto per la sola chiusura e successiva riapertura delle piste e impianti di risalita soggetti a temporaneo pericolo di valanghe ed è indipendente dall'attuazione del PIDAV.

### 4.5.3. Metodi di distacco artificiale

Negli ultimi anni sono stati sviluppati diversi sistemi per il distacco controllato. Tendenzialmente, vengono preferiti sistemi fissi rispetto a quelli che prevedono l'uso di mezzi o di operatori per il funzionamento del sistema grazie alla loro indipendenza dalle condizioni meteorologiche e dalla loro possibile attivazione in qualsiasi momento da remoto.

Tralasciando i metodi "meccanici", esistono differenti sistemi di distacco artificiale delle valanghe, molti dei quali sono protetti da brevetto. Una panoramica dei sistemi maggiormente in uso viene esposta al lettore:

- **Lancio manuale**: la carica viene lanciata (o calata) da una postazione di sicurezza, posizionandola nel punto predefinito per il distacco. La carica è assicurata ad una corda in modo da facilitare il corretto posizionamento da parte dell'operatore o il recupero in caso di mancata esplosione. Le maggiori limitazioni si riscontrano nel raggiungere, attraverso una via sicura, rapida e comoda, la postazione di sicurezza da cui effettuare il lancio. In alternativa, è possibile effettuare il lancio delle cariche dall'elicottero o da drone (solo per esplosivi pirotecnici in Italia). L'utilizzo di questa tecnica è limitato dalle condizioni meteorologiche: sono necessarie condizioni atmosferiche favorevoli che permettano il volo in sicurezza e buone condizioni di visibilità;
- **Impianti fissi a carrucola** (Catex® e SniperX®): sono composti da un cavo mobile in acciaio che scorre in un circuito chiuso lungo i pendii da bonificare, a cui sono collegati i dispositivi di calata delle cariche. Queste vengono posizionate automaticamente sul cavo, grazie ad un software di controllo. Nel momento in cui le cariche raggiungono il punto desiderato vengono calate fino alla superficie del manto nevoso e innescate. L'uso di questa tecnica non è limitato dalle condizioni meteorologiche avverse;
- **Impianti fissi a gas** (GazEx® e O'bellx®): è un metodo che utilizza una miscela esplosiva composta da propano o idrogeno e ossigeno. I due gas sono immagazzinati in bombole, posizionati in una zona sicura o, per l'O'bellx®, direttamente sul dispositivo d'esplosione. Per i GazEx®, negli istanti precedenti all'utilizzo i gas vengono pompati ad uno o più esploditori, dove si crea la miscela controllata. L'esploditore, simile ad un cannone, è composto da tubi in acciaio resistenti alle esplosioni, in cui è contenuto il sistema di accensione. Questo è posizionato sopra il livello del terreno ed è caratterizzato da una forma in grado di direzionare l'esplosione verso il manto nevoso. Il Gazex è azionato è controllato da remoto e può essere utilizzato in qualsiasi condizione meteorologica. L'O'bellx®, con la stessa concezione della DaisyBell®, ma fisso, è un modulo funzionale amovibile con elicottero costituito da una cupola ove si trovano il cono d'esplosione e le bombole di riserva dei gas ossigeno e idrogeno. Completano il sistema: il palo di supporto in acciaio opportunamente ancorato al terreno e il sistema di controllo e gestione da remoto grazie ad apposito software. Le differenze principali rispetto al GazEx® sono: l'assenza della canalizzazione per il convogliamento dei gas, il minor impatto ambientale e visivo grazie alle sue dimensioni più contenute e la rimozione alla fine della stagione invernale per la necessaria manutenzione.
- **DaisyBell®**: è un sistema elitrasportato, con una struttura a forma di campana collegata e controllata dall'elicottero. All'interno della campana in acciaio, viene innescata la miscela di gas, direzionandola sulla verticale del manto nevoso mentre all'esterno del dispositivo sono assicurate le bombole dei gas.L'efficacia del metodo dipende principalmente dall'altezza della campana al momento della detonazione rispetto al manto nevoso: i risultati migliori sono stati registrati per altezze comprese tra 3 e 10 m.

Nell'utilizzo di metodi per il distacco artificiale, è essenziale considerare le molteplici e potenziali conseguenze inattese che potrebbero portare a nuovi pericoli. Alcuni di questi metodi implicano l'utilizzo di esplosivi comportando un'intrinseca presenza del rischio. Inoltre, le aree chiuse al pubblico non sono sempre facilmente controllabili, e va preso in considerazione il rischio di ulteriori distacchi successivi al brillamento, indipendentemente dall'esito (positivo o negativo) del distacco.

Maggiori informazioni riguardo i metodi di distacco artificiale delle valanghe, delle procedure, dei metodi e della normativa da seguire possono essere consultate su "Distacco artificiale di valanghe: linee guida per la procedura operativa, metodi e normativa" (Bruno et al., 2012).

## 4.6. Monitoraggio come misura di difesa

Tra i diversi sistemi per la mitigazione del rischio valanghivo, si inserisce, oggi, anche quello del telerilevamento (o monitoraggio) della sicurezza. Questo non è altro che un processo automatizzato di registrazione sistematica e di analisi di dati e informazioni per la gestione, immediata o a breve termine, del rischio oppure a supporto di processi decisionali. Grazie allo sviluppo delle reti tecnologiche, questi sistemi sono robusti, efficienti e con installazioni adattabili a diverse situazioni geomorfologiche. Rispetto alle opere di difesa fisse, le reti tecnologiche presentano minore impatto ambientale e contenuti costi di installazione/gestione.
A seconda della tipologia delle serie di dati rilevati, si possono considerare tre sottocategorie di monitoraggio: valanghivo, delle proprietà fisico-meccaniche del manto nevoso e nivo-meteorologico. Ognuna di queste può essere implementata in un sito, indipendentemente dalle altre.

Mentre il monitoraggio valanghivo è riferito alla detezione in tempo reale dell'accadimento dell'evento naturale, la raccolta dei dati nivo-meteorologici e delle proprietà del manto nevoso è rivolta al riconoscimento di condizioni sito specifiche predisponenti il distacco valanghivo nel breve/medio termine. Queste collezioni di dati permettono inoltre un'analisi dettagliata del contesto e delle conseguenze post-evento. Oltre per la previsione del pericolo valanghe, il monitoraggio è fondamentale per le operazioni di distacco artificiale e nel settore scientifico (per la taratura dei modelli numerici).

### 4.6.1 Monitoraggio delle valanghe

Il monitoraggio è qui considerato in senso stretto, ovvero un processo automatizzato di detezione del verificarsi di un evento valanghivo tramite apposita sensoristica associata ad un sistema di allertamento rapido (early warning). Quest'ultimo, tipicamente wireless (e.g., via radio, GPRS, ecc…), consente l'invio istantaneo dell'informazione di avvenuto distacco/scorrimento e/o interferenza valanghiva con l'oggetto di interesse, solitamente un'infrastruttura stradale/ferroviaria oppure un edificio in area remota. L'early warning attiva la misura di difesa (e.g., l'accensione di un semaforo, pannelli informativi) o/e l'elemento di allertamento (e.g., una sirena acustica, luci di segnalazione) ed invia l'informazione di attenzione o allarme mediante messaggistica o e-mail. Completa il sistema un software o applicazione dedicata per la visualizzazione e l'interrogazione semplice e rapida dei dati acquisiti dal sistema di monitoraggio.

Modulari, questi sistemi di telecontrollo vengono progettati e customizzati in funzione delle specifiche caratteristiche dei luoghi e dell'elemento a rischio. Solitamente, per robustezza del sistema stesso, le linee di detezione sono ridondanti ed attrezzate con diversa sensoristica (e.g., sensori a pendolo, a strappo, radar, pali strumentati per l'intercettazione di movimenti di masse nevose, ecc…) come anche i sistemi di allertamento. Il sistema è progettato a bassi consumi energetici con alimentazione stand-alone (e.g., batterie e moduli fotovoltaici). Sistemi avanzati prevedono anche l'utilizzo di immagini acquisite tramite webcam (anche a ripresa notturna) e dati da stazioni meteorologiche.

Come tutti i sistemi di difesa, anche in questo caso sono necessarie manutenzioni e verifiche periodiche del funzionamento del sistema. La complessità della progettazione del sistema di monitoraggio comporta una fase di sperimentazione e di test del sistema stesso al fine dell'ottimizzazione del funzionamento, della strumentazione e degli algoritmi implementati.

### 4.6.2 Monitoraggio delle proprietà meccaniche della neve

Il monitoraggio delle proprietà fisico-meccaniche del manto nevoso e degli strati che lo compongono (e.g., densità, resistenza al taglio, durezza, tipologia di grani, localizzazione dello strato debole, energia di frattura, ecc …) avviene essenzialmente in campo, ai fini della valutazione della stabilità del manto nevoso e della propensione o meno al distacco valanghe.
A tal fine, è possibile fare riferimento alla pubblicazione "Valutazione della stabilità del manto nevoso: linee guida per la raccolta e l'interpretazione dei dati" (Frigo et al., 2012).

### 4.6.3 Monitoraggio nivo-meteorologico

Con diverse finalità, il monitoraggio nivo-meteorologico viene qui considerato con l'obbiettivo di registrare i fattori meteorologici al fine di riconoscere preventivamente condizioni specifiche che possono determinare attività valanghive. Questo monitoraggio può avvenire a differenti scale con diversi sistemi (e.g., il radar meteorologico con range anche oltre i 100 km). Localmente, la strumentazione principe è la stazione nivo-meteorologica automatica, vero e proprio sistema posizionato e strumentato in base alle finalità. Segue il monitoraggio con stazione manuale oppure le osservazioni nivo-meteorologiche giornaliere in campo neve.

Questa tipologia di monitoraggio unisce la raccolta continua dei principali dati meteorologici insieme a quelli nivologici, tipicamente:

- misure di temperatura dell'aria e misure discriminanti per l'identificazione della tipologia di precipitazioni;
- direzione ed intensità del vento;
- altezza del manto nevoso al suolo;
- altezza della neve fresca;
- temperatura della neve a diverse altezze dal suolo, a diverse altezze equispaziate (tipicamente ogni 20 cm) per l'individuazione degli strati in fusione potenzialmente instabili.

Ciascuna stazione può essere customizzata in funzione delle esigenze di servizio e del sito.
La posizione della stazione varia in base all'obiettivo di monitoraggio. Ad esempio, nella prevenzione del rischio valanghe, i siti monitorati vengono scelti in base alla casistica storica nota e per la loro rappresentatività di aree più o meno vaste; mentre per la gestione di eventuali interferenze con vie di comunicazione (e.g., strade), il sito viene scelto per la sua rappresentatività rispetto all'accumulo di neve in zona di distacco. Le stazioni sono modulari ed elitrasportabili.

Solitamente i dati forniti dalla rete nivo-meteorologica sono essenziali per l'emissione dei bollettini valanghe o i bollettini di criticità anche per il supporto alla valutazione di scenari di rischio oppure alla progettazione di opere di difesa o di pianificazione territoriale. Queste reti possono integrare sistemi early warning come "sensori di monitoraggio" per la gestione del rischio quando un fattore monitorato (e.g., altezza della neve fresca oppure la temperatura del manto nevoso) supera una determinata soglia.

## 4.7 Strumenti tecnici di supporto alla gestione del rischio

Per completezza, si riportano qui di seguito i due strumenti fondamentali al supporto del Sindaco o dell'autorità competente in materia di Protezione civile al fine della gestione del rischio: le Commissioni Locali Valanghe (CLV) e gli avvisi/bollettini criticità/allerta valanghiva. Per questi ultimi, molto noti, si ricorda che sono una sintesi delle valutazioni di criticità emesse dai Centri funzionali Decentrati delle Regioni e Province Autonome al fine dell'attivazione di Piani od attività di Protezione civile.

In quasi tutte le regioni dell'arco alpino sono attive le Commissioni Locali Valanghe (CLV), organi collegiali consultivi formati da soggetti esperti della specifica area geografica e competenti in materia di neve e valanghe. Esse si occupano della valutazione a scala locale del pericolo valanghe ovvero della previsione e valutazione delle condizioni nivometeorologiche e della stabilità delle masse nevose. Svolgono attività di consulenza e supporto ai Comuni, Amministrazioni regionali ed ai gestori delle piste da sci, anche nelle fasi di vigilanza ed allerta, di intervento e gestione del rischio, sul territorio di competenza.

Con riferimento al territorio antropizzato, l'azione del Sindaco, sentita la Commissione Valanghe, si concretizza nell'emissione di **ordinanze** finalizzate prioritariamente a salvaguardare l'incolumità delle persone potenzialmente esposte ad eventi valanghivi e anche a garantire l'integrità di beni vulnerabili.
I provvedimenti del Sindaco in situazioni di emergenza dovranno essere articolati in puntuali prescrizioni quali, ad esempio (Tecilla, 2007):

- divieti parziali o totali di circolazione;
- ordini di allontanamento della popolazione;
- evacuazione, confinamento di persone verso luoghi sicuri;
- esecuzioni di interventi gestionali quali il distacco artificiale;
- divieti di svolgimento di particolari attività relative a zone pericolose.

La revoca dei provvedimenti dovrà essere supportata dal parere della CLV che attesti le condizioni di cessato pericolo.
Lo studio delle aree a rischio valanghivo e la cartografia tematica tecnica per il rischio valanghe (ovvero la loro perimetrazione in maniera attendibile e sistematica) è uno dei vari metodi di protezione dalle valanghe di neve.

## Riferimenti bibliografici e approfondimenti

*AFNOR (2016) NF P 95-304 : Équipement de protection contre les avalanches - Écrans paravalanches souples - Spécifications de conception (in francese)*

*ASI (2010) ONR 24805. Permanent technical avalanche protection - Terms, definitions, statical and dynamic load assumptions. Austrian Standards Institute, Vienna, Austria (in tedesco)*

*ASI (2010) ONR 24807: Permanent technical protection against avalanches - Monitoring and maintenance. Austrian Standards Institute, Vienna, Austria (in tedesco)*

*ASI (2011) ONR 24806: Permanent technical avalanche protection - Design of structures. Austrian Standards Institute, Vienna, Austria (in tedesco)*

*ASTRA/Federal Roads Office, Einwirkungen infolge Lawinen auf Schutzgalerien. 2007, Bern. Documento disponibile al link (in francese e in tedesco)*

*Barbolini M., Natale L., Barbero S., Prola M.C., Faletto M., Cordola M., Stefanini F., Linee di indirizzo operative per l'attività delle commissioni locali valanghe in Piemonte, eds ARPA Piemonte, Giugno 2013*

*Barbolini M., Natale L., Tecilla G., Cordola M., Linee guida metodologiche per la perimetrazione delle aree esposte al pericolo di valanghe. 2005, eds. AINEVA. Documento disponibile al link*

*Bruno E., Maggioni M., Freppaz M. e Zanini E., Distacco artificiale di valanghe: linee guida per la procedura operativa, metodi e normativa. 2012, Progetto RiskNat, eds Regione Autonoma Valle d'Aosta. Documento disponibile al link*

*Cagnati A, Strumenti di misura e metodi di osservazione nivometeorologici. 2003, eds AINEVA, Trento*

*Castaldini R., Barriere Fermaneve: pressione specifica del manto nevoso. Neve e Valanghe, Aprile 2012*

*De Biagi V., Frigo B., Chiaia B., Linee guida per la progettazione di edifici soggetti ad impatto valanghivo. 2012, Progetto RiskNat, eds Regione Autonoma Valle d'Aosta*

*DGR n. 2774 del 15.10.2014, Modalità di funzionamento delle Commissioni locali valanghe e di svolgimento delle attività di supporto alla Regione, ai Comuni e ai gestori delle piste da sci, e dei criteri e delle modalità di concessione dei finanziamenti agli enti locali e di determinazione dei compensi da attribuire ai componenti delle Commissioni locali valanghe. ai sensi della L.R. 29/2010, Regione autonoma Valle d'Aosta (e s.m.i.)*

*Egli T., Recommandations Protection des objects contre les dangers naturels gravitationnels. Association des établissements cantonaux d'assurance incendie – AEAI. 2005. Documento disponibile al link (in tedesco o in francese)*

*Frehner M., Wasser B. e Schwitter R., Continuità nel bosco di protezione e controllo dell'efficacia. Istruzioni per le cure nei boschi con funzione protettiva. 2005, Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio.*

*Frigo B., Prola M.C., Faletto M., Valutazione della stabilità del manto nevoso: linee guida per la raccolta e l'interpretazione dei dati. 2012, Progetto RiskNat, eds Regione Autonoma Valle d'Aosta.*

*Gubler H., Wyssen S., Kogelnig A., Guidelines for Artificial Release of Avalanches. Reichenbach, April 2012 (in inglese)*

*Hendrikx J., Jones A., Schauer A., Buhler R., Synthesis Report on the Use and Design of Snow Sheds to Protect Transportation Corridors Against Avalanches. 2002 (in inglese)*

*Jóhannesson T., Gauer P., Issler D. e Lied K., The Design of Avalanche Protection Dams. Recent Practical and Theoretical Developments European Commission. 2009, Directorate General for Research (in inglese)*

*L.R n. 29 del 04.08.2010, Disposizioni in materia di Commissioni locali valanghe (CLV). Regione autonoma Valle d'Aosta (e s.m.i.)*

*Margreth S., Costruzione di opere di premunizione contro le valanghe nella zona di distacco. Direttiva tecnica: aiuto all'esecuzione, Pratica ambientale n. 0704, Ufficio federale dell'ambiente, Berna, WSL -SLF Istituto Federale per lo Studio della Neve e delle Valanghe, 2007, Davos*

*Martin R., Fournier G., Poussard J.C., Chaneac R., Fertin F., Delous D., Bourriot Avaroc J., Direction forêts et risques naturels. Janvier 2014, Direction technique nationale RTM Diagnostic et maintenance des filets de protection contre les avalanches. Documento disponibile al link (in francese)*

*Ministere de l'ecologie et du developpement durable, Ministere de l'equipement des transports, du logement, du tourisme et de la mer, Construire en montagne - La prise en compte du risque d'avalanche. 2004*

*Naaim-Bouvet F., Truche M., Guide "Ouvrages à vent paravalanches". Janvier 2014. Documento disponibile al link (in francese)*

*Office des forêts et des dangers naturels du canton des Grisons, Manuel Contrôle des ouvrages de protection. Version 4.0 / fév. 2018. Documento disponibile al link (in francese)*

*Provincia autonoma di Bolzano, LABAKA (LAwinenschutz BAuten KAtaster): catasto delle opere paravalanghe. La pagina è raggiungibile cliccando qui.*

*Regione autonoma Valle d'Aosta, Legge regionale 6 aprile 1998, n. 11. Normativa urbanistica e di pianificazione territoriale della Valle d'Aosta.*

*Rudolf-Miklau F., Sauermoser S., Mears A., The Technical Avalanche Protection Handbook. 2015, Wilhelm Ernst & Sohn Verlag fur Architektur und Technische.*

*Scotton P., Moro F., Opere passive per valanghe di neve. Neve e valanghe, Dicembre 2008. Documento disponibile al link*

*Soave S., Valutazione delle effettive azioni del manto nevoso sulle opere di protezione sulla base dell'analisi del danno di ombrelli fermaneve. Tesi di laurea magistrale. 2022. Politecnico di Torino.*

*Tecilla G., Documento D: proposte di indirizzi metodologici per le strutture di protezione civile deputate alla previsione, al monitoraggio e alla sorveglianza in campo valanghivo nell'ambito del istema nazionale dei centri funzionali. 2007, eds. AINEVA. Documento disponibile al link.*

*UNI/TR 11635:2016 Linee guida per il monitoraggio strutturale*

# Allegato 1

# Scheda di censimento per un edificio

*Localizzazione*

**Provincia/Regione** _____

**Comune** _____

**Località** _____

**Coordinate geografiche** ☐ **ETRF2000.** ☐ **WGS84**

**Longitudine** _____

**Latitudine** _____

**Quota s.l.m.** _____

*Informazioni generali*

**Proprietario** ☐ **Pubblico** ☐ **Privato** _____

**Anno di costruzione** _____

**Concessionario** _____

**Ente vigilante** _____

**Codice IOP (opere pubbliche)** _____

*Dati di progetto*

**Progettista** _____

**Anno di progettazione** _____

**Ente approvatore** _____

**Pratica di riferimento** _____

*Destinazione d'uso*

**Destinazione d'uso** _____

**Opera strategica** ☐ **SI** ☐ **NO**

*Tutela ai sensi del Decreto Legislativo 22 gennaio 2024, n. 42*

**Provvedimenti di tutela** _____

**Autore della progettazione** _____

**Inserimento dell'opera nell'ambito dei Piani Paesaggistici vigenti/adottati** ☐ **SI** ☐ **NO**

*Stato dell'opera*

☐ **Pienamente agibile** ☐ **Agibile ma con scadenze di lavori di manutenzione ordinaria**

☐ **Inagibile** ☐ **Agibile ma con scadenze di lavori di manutenzione straordinaria**

☐ **Condizioni critiche e agibile parzialmente/lavori di manutenzione urgenti**

*Caratteristiche geometriche*

**Forma geometrica in pianta** _____

**Eventuali irregolarità** _____

**Dimensioni caratteristiche in pianta (m)** _____

**Altezza (m)** _____

*Tipologia strutturale*

☐ **Struttura a telaio** ☐ **Struttura a pareti** ☐ **Struttura mista (telaio/pareti)**

☐ **Struttura a nucleo** ☐ **Altro**

*Materiale costruttivo*

☐ **Muratura** ☐ **Cemento armato** ☐ **Cemento armato precompresso**

☐ **Acciaio** ☐ **Misto (c.a./acciaio)** ☐ **Legno**

☐ **Vetro** ☐ **Altro**

*Contesto geomorfologico*

**Pericolosità cartografica**

**Cartografia** ☐ **Presente in formato digitale** ☐ **Presente in formato cartaceo** ☐ **Assente**

**Ultimo aggiornamento** _____

**Tipologia** ☐ **CLPV** ☐ **PZEV** ☐ **Secondo normativa regionale** ☐ **Suscettibilità**

**Pericolosità** ☐ **Alta** ☐ **Media** ☐ **Bassa** ☐ **Assente**

**Morfologia del sito in cui è inserita la struttura**

**Zona del bacino valanghivo**

☐ **Distacco** ☐ **Scorrimento** ☐ **Arresto** ☐ **Al di fuori dell'area nota di bacino**

**Pendenza** _____

**Stato di attività**

☐ **Attiva** ☐ **Attiva nell'ultimo ciclo stagionale** ☐ **Stabilizzata**

☐ **Inattiva da più di un ciclo stagionale**

**Interferenza accertata**

Segnalazione 1 ☐ **da Catasto** ☐ **Testimonianza** ☐**Back -Analysis** ☐ **Dato storico**

Danni ☐ **SI** ☐ **NO** _____

Segnalazione 2 ☐ **da Catasto** ☐ **Testimonianza** ☐**Back -Analysis** ☐ **Dato storico**

Danni ☐ **SI** ☐ **NO** _____

(…)

**Analisi di dettaglio dell'Interferenza**

Perizia di Interferenza Valanghiva (PIV) ☐ **SI** (Anno **_____)** ☐ **NO**

**Estensione interferenza** ☐ **Totale** ☐ **Parziale**

**Affidabilità complessiva della valutazione** ☐ **Buona** ☐ **Limitata**

*Opere di protezione*

☐ **Presenti** ☐ **Assenti** ☐ **Non note**

**Data installazione** _____

**Tipologia di opera** _____

**Informazioni significative** _____

**Documentazione relativa** _____. **Allegato n. _____**

*Monitoraggio valanghivo*

☐ **Presenti** ☐ **Assenti** ☐ **Non noti**

**Data inizio _____ Data ultimo rilevamento _____ Data fine _____**

**Tipologia di rilevamento** _____

**Metodologia di monitoraggio** _____

**Tipologia di strumentazione** _____

**Grandezze misurate** _____

**Risultati significativi** _____

**Documentazione relativa** _____ **Allegato n. _____**

*Interventi di manutenzione*

☐ **Presenti** ☐ **Assenti** ☐ **Non noti**

**Piano di manutenzione** _____

**Numero di interventi effettuati _____ Data ultimo intervento _____ Periodicità _____**

| | **Tipo di manutenzione** | **Documentazione relativa** |
|---|---|---|
| Intervento n. 1 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ |
| Intervento n. 2 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ |
| Intervento n. 3 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ |

*Documentazione progettuale disponibile*

| **Documentazione iniziale** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Strumenti del finanziamento | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Strumento di programmazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Progetto preliminare** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Iter di approvazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Progetto definitivo/esecutivo** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Iter di approvazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Progetto esecutivo/cantierabile** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Iter di approvazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Direzione lavori** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti contabili | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Contabilità dell'appalto | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Documenti relativi alla realizzazione** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti contabili | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Documenti relativi al collaudo** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Relazione di collaudo | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Allegati alla relazione. | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Variante in corso d'opera** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Variante 1 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Variante 2 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Interventi di manutenzione** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Manutenzione 1 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Manutenzione 2 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **<u>Interventi per incrementare la sicurezza</u>** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Progetto 1 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Progetto 2 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

# Allegato 2

# Scheda di censimento per un ponte stradale

*Localizzazione*

**Provincia/Regione** _____

**Comune** _____

**Località** _____

**Coordinate geografiche** ☐ **ETRF2000.** ☐ **WGS84**

**INIZIO INTERFERENZA**

**Longitudine** _____ **Latitudine** _____

**Progressiva chilometrica** _____ **Quota s.l.m. (m)** _____

**FINE INTERFERENZA**

**Longitudine** _____ **Latitudine** _____

**Progressiva chilometrica** _____ **Quota s.l.m. (m)** _____

*Informazioni generali*

**Proprietario** ☐ **Pubblico** ☐ **Privato** _____

**Anno di costruzione** _____

**Concessionario** _____

**Ente vigilante** _____

**Codice IOP (opere pubbliche)** _____

*Dati di progetto*

**Progettista** _____

**Anno di progettazione** _____

**Ente approvatore** _____

**Pratica di riferimento** _____

*Destinazione d'uso*

**Classificazione d'uso** _____

**Opera strategica** ☐ **SI** ☐ **NO**

*Tutela ai sensi del Decreto Legislativo 22 gennaio 2024, n. 42*

**Provvedimenti di tutela** _____

**Autore della progettazione** _____

**Inserimento dell'opera nell'ambito dei Piani Paesaggistici vigenti/adottati** ☐ **SI** ☐ **NO**

*Stato dell'opera*

☐ **Pienamente agibile**
☐ **Agibile ma con scadenze di lavori di manutenzione ordinaria**
☐ **Inagibile**
☐ **Agibile ma con scadenze di lavori di manutenzione straordinaria**
☐ **Condizioni critiche e agibile parzialmente/lavori di manutenzione urgenti**

*Caratteristiche geometriche*

**Luce complessiva (m)** _____ **N.ro campate.** _____

**Larghezza totale impalcato (m)** _____ **Luce campate (m)** _____

**Tracciato** ☐ **Rettilineo** ☐ **Curvo** ☐ **Variabile**

*Tipologia strutturale*

☐ **Arco in muratura**
☐ **Travate appoggiate**
☐ **Travate continue**
☐ **Soletta in c.a.**
☐ **Sezione tubolare in c.a.**
☐ **Arco in c.a.**
☐ **Travate Gerber**
☐ **Cassone in precompresso**
☐ **Sezione tubolare in acciaio**
☐ **Arco in acciaio**
☐ **Strallato o sospeso**
☐ **Travate in c.a. a cavi post-tesi**
☐ **Altro**

*Materiale costruttivo*

**Pile**

☐ **Muratura**
☐ **Cemento armato**
☐ **Acciaio**
☐ **Misto (c.a./acciaio)**
☐ **Legno**
☐ **Altro**

**Impalcato**

☐ **Muratura**
☐ **Cemento armato**
☐ **Cemento armato precompresso**
☐ **Acciaio**
☐ **Misto (c.a./acciaio)**
☐ **Legno**
☐ **Altro**

*Informazioni sulla rete stradale*

**Itinerario internazionale** ☐ **SI** ☐ **NO**

**Rete TEN** ☐ **SI** ☐ **NO**

**Rete di emergenza** ☐ **SI** ☐ **NO**

**Numero carreggiate** _____ **Numero corsie/carreggiata** _____

**Presenza di curve** ☐ **SI** ☐ **NO**

**Traffico medio giornaliero** _____**veicoli/giorno (sull'intera carreggiata)**

**Presenza alternative stradali** ☐ **SI** ☐ **NO**

**Studi trasportistici specifici** ☐ **SI** ☐ **NO**

*Contesto geomorfologico*

**Pericolosità cartografica**

**Cartografia** ☐ **Presente in formato digitale** ☐ **Presente in formato cartaceo** ☐ **Assente**

**Ultimo aggiornamento** _____

**Tipologia** ☐ **CLPV** ☐ **PZEV** ☐ **Secondo normativa regionale** ☐ **Suscettibilità**

**Pericolosità** ☐ **Alta** ☐ **Media** ☐ **Bassa** ☐ **Assente**

**Morfologia del sito in cui è inserita la struttura**

**Zona del bacino valanghivo**

☐ **Distacco** ☐ **Scorrimento** ☐ **Arresto** ☐ **Al di fuori dell'area nota di bacino**

**Pendenza** _____

**Stato di attività**

☐ **Attiva** ☐ **Attiva nell'ultimo ciclo stagionale** ☐ **Stabilizzata**

☐ **Inattiva da più di un ciclo stagionale**

**Interferenza accertata**

Segnalazione 1 ☐ **da Catasto** ☐ **Testimonianza** ☐**Back -Analysis** ☐ **Dato storico**

Danni ☐ **SI** ☐ **NO** _____

Segnalazione 2 ☐ **da Catasto** ☐ **Testimonianza** ☐**Back -Analysis** ☐ **Dato storico**

Danni ☐ **SI** ☐ **NO** _____

**Analisi di dettaglio dell'Interferenza**

Perizia di Interferenza Valanghiva (PIV) ☐ **SI** (Anno _____**)** ☐ **NO**

**Estensione interferenza** ☐ **Totale** ☐ **Parziale**

**Affidabilità complessiva della valutazione** ☐ **Buona** ☐ **Limitata**

*Opere di protezione*

☐ **Presenti** ☐ **Assenti** ☐ **Non note**

**Data installazione** _____

**Tipologia di opera** _____

**Informazioni significative** _____

**Documentazione relativa** _____. **Allegato n. _____**

*Monitoraggio valanghivo*

☐ **Presenti** ☐ **Assenti** ☐ **Non noti**

**Data inizio** _____ **Data ultimo rilevamento** _____ **Data fine** _____

**Tipologia di rilevamento** _____

**Metodologia di monitoraggio** _____

**Tipologia di strumentazione** _____

**Grandezze misurate** _____

**Risultati significativi** _____

**Documentazione relativa** _____ **Allegato n. _____**

*Interventi di manutenzione*

☐ **Presenti** ☐ **Assenti** ☐ **Non noti**

**Piano di manutenzione** _____

**Numero di interventi effettuati** _____ **Data ultimo intervento** _____ **Periodicità** _____

| | **Tipo di manutenzione** | **Documentazione relativa** |
|---|---|---|
| Intervento n. 1 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ |
| Intervento n. 2 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ |
| Intervento n. 3 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ |

*Ispezioni pregresse*

☐ **Presenti** ☐ **Assenti** ☐ **Non note**

**Programma di ispezioni** _____

**Numero di ispezioni effettuate** _____ **Data ultima ispezione** _____ **Periodicità** _____

| | **Metodologia ispezioni** | **Documentazione relativa** | **Ente ispettivo** |
|---|---|---|---|
| Ispezione n. 1 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ | _____ |
| Ispezione n. 2 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ | _____ |
| Ispezione n. 3 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ | _____ |

*Documentazione progettuale disponibile*

| **Documentazione iniziale** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Strumenti del finanziamento | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Strumento di programmazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Progetto preliminare** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Iter di approvazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Progetto definitivo/esecutivo** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Iter di approvazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Progetto esecutivo/cantierabile** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Iter di approvazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Direzione lavori** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti contabili | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Contabilità dell'appalto | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Documenti relativi alla realizzazione** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti contabili | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Documenti relativi al collaudo** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Relazione di collaudo | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Allegati alla relazione. | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Variante in corso d'opera** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Variante 1 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Variante 2 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Interventi di manutenzione** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Manutenzione 1 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Manutenzione 2 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Interventi per incrementare la sicurezza** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Progetto 1 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| | | | | |
| Progetto 2 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

# Allegato 3

# Scheda di censimento per un canale idraulico

*Localizzazione*

**Provincia/Regione** _____

**Comune** _____

**Località** _____

**Coordinate geografiche** ☐ **ETRF2000.** ☐ **WGS84**

**INIZIO INTERFERENZA**

**Longitudine** _____ **Latitudine** _____

**Progressiva chilometrica** _____ **Quota s.l.m. (m)** _____

**FINE INTERFERENZA**

**Longitudine** _____ **Latitudine** _____

**Progressiva chilometrica** _____ **Quota s.l.m. (m)** _____

*Informazioni generali*

**Proprietario** ☐ **Pubblico** ☐ **Privato** _____

**Anno di costruzione** _____

**Concessionario** _____

**Ente vigilante** _____

**Codice IOP (opere pubbliche)** _____

*Dati di progetto*

**Progettista** _____

**Anno di progettazione** _____

**Ente approvatore** _____

**Pratica di riferimento** _____

*Destinazione d'uso*

**Classificazione d'uso** _____

**Opera strategica** ☐ **SI** ☐ **NO**

*Tutela ai sensi del Decreto Legislativo 22 gennaio 2024, n. 42*

**Provvedimenti di tutela** _____

**Autore della progettazione** _____

**Inserimento dell'opera nell'ambito dei Piani Paesaggistici vigenti/adottati** ☐ **SI** ☐ **NO**

*Stato dell'opera*

☐ **Pienamente agibile** ☐ **Agibile ma con scadenze di lavori di manutenzione ordinaria**

☐ **Inagibile** ☐ **Agibile ma con scadenze di lavori di manutenzione straordinaria**

☐ **Condizioni critiche e agibile parzialmente/lavori di manutenzione urgenti**

*Tipologia*

**Tipologia di condotta** ☐ **In pressione** ☐ **A pelo libero**

*Caratteristiche geometriche*

**Tracciato**

**Lunghezza zona di interferenza (m)** _____

**Dislivello (m)** _____

**Pendenza media (%)** _____

**Tubazione**

**Forma sezione trasversale** _____

**Dimensioni caratteristiche (m)** _____

**Spessore (m)** _____

*Materiale tubazioni*

☐ **Acciaio** ☐ **Ghisa** ☐ **Calcestruzzo**

☐ **PVC** ☐ **PEAD** ☐ **Altro**

*Informazioni sulla rete idrica*

**Portata di progetto** _____ **($m^3/s$)**

**Bacino di interesse** _____ **($km^2$)**

**Numero abitanti serviti** _____

**Tipologia di utenza** ☐ **Domestica** ☐ **Non domestica** ☐ **Entrambe**

*Contesto geomorfologico*

**Pericolosità cartografica**

**Cartografia** ☐ **Presente in formato digitale** ☐ **Presente in formato cartaceo** ☐ **Assente**

**Ultimo aggiornamento** _____

**Tipologia** ☐ **CLPV** ☐ **PZEV** ☐ **Secondo normativa regionale** ☐ **Suscettibilità**

**Pericolosità** ☐ **Alta** ☐ **Media** ☐ **Bassa** ☐ **Assente**

**Morfologia del sito in cui è inserita la struttura**

**Zona del bacino valanghivo**

☐ **Distacco** ☐ **Scorrimento** ☐ **Arresto** ☐ **Al di fuori dell'area nota di bacino**

**Pendenza** _____

**Stato di attività**

☐ **Attiva** ☐ **Attiva nell'ultimo ciclo stagionale** ☐ **Stabilizzata**

☐ **Inattiva da più di un ciclo stagionale**

**Interferenza accertata**

Segnalazione 1 ☐ **da Catasto** ☐ **Testimonianza** ☐**Back -Analysis** ☐ **Dato storico**

Danni ☐ **SI** ☐ **NO** _____

Segnalazione 2 ☐ **da Catasto** ☐ **Testimonianza** ☐**Back -Analysis** ☐ **Dato storico**

Danni ☐ **SI** ☐ **NO** _____

(…)

**Analisi di dettaglio dell'Interferenza**

Perizia di Interferenza Valanghiva (PIV) ☐ **SI** (Anno _____**)** ☐ **NO**

**Estensione interferenza** ☐ **Totale** ☐ **Parziale**

**Affidabilità complessiva della valutazione** ☐ **Buona** ☐ **Limitata**

*Opere di protezione*

☐ **Presenti** ☐ **Assenti** ☐ **Non note**

**Data installazione** _____

**Tipologia di opera** _____

**Informazioni significative** _____

**Documentazione relativa** _____. **Allegato n. _____**

*Monitoraggio valanghivo*

☐ **Presenti** ☐ **Assenti** ☐ **Non noti**

**Data inizio _____ Data ultimo rilevamento _____ Data fine _____**

**Tipologia di rilevamento** _____

**Metodologia di monitoraggio** _____

**Tipologia di strumentazione** _____

**Grandezze misurate** _____

**Risultati significativi** _____

**Documentazione relativa** _____ **Allegato n. _____**

*Interventi di manutenzione*

☐ **Presenti** ☐ **Assenti** ☐ **Non noti**

**Piano di manutenzione** _____

**Numero di interventi effettuati _____ Data ultimo intervento _____ Periodicità _____**

| | **Tipo di manutenzione** | **Documentazione relativa** |
|---|---|---|
| Intervento n. 1 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ |
| Intervento n. 2 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ |
| Intervento n. 3 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ |

*Ispezioni pregresse*

☐ **Presenti** ☐ **Assenti** ☐ **Non note**

**Programma di ispezioni** _____

**Numero di ispezioni effettuate** _____ **Data ultima ispezione** _____ **Periodicità** _____

| | **Metodologia ispezioni** | **Documentazione relativa** | **Ente ispettivo** |
|---|---|---|---|
| Ispezione n. 1 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ | _____ |
| Ispezione n. 2 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ | _____ |
| Ispezione n. 3 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ | _____ |

*Documentazione progettuale disponibile*

| **Documentazione iniziale** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Strumenti del finanziamento | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Strumento di programmazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Progetto preliminare** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Iter di approvazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Progetto definitivo/esecutivo** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Iter di approvazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Progetto esecutivo/cantierabile** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Iter di approvazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Direzione lavori** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti contabili | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Contabilità dell'appalto | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Documenti relativi alla realizzazione** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti contabili | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

Documenti contrattuali ☐ **SI** ☐ **NO** _____ _____

| **Documenti relativi al collaudo** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Relazione di collaudo | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Allegati alla relazione. | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Variante in corso d'opera** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Variante 1 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Variante 2 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Interventi di manutenzione** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Manutenzione 1 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Manutenzione 2 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Interventi per incrementare la sicurezza** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Progetto 1 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

Progetto 2

Documenti descrittivi ☐ **SI** ☐ **NO** _____ _____

Documenti grafici ☐ **SI** ☐ **NO** _____ _____

# Allegato 4

# Scheda di censimento per una strada carrabile

*Localizzazione*

**Provincia/Regione** _____

**Comune** _____

**Località** _____

**Coordinate geografiche** ☐ **ETRF2000** ☐ **WGS84**

**INIZIO INTERFERENZA**

**Longitudine** _____ **Latitudine** _____

**Progressiva chilometrica** _____ **Quota s.l.m. (m)** _____

**FINE INTERFERENZA**

**Longitudine** _____ **Latitudine** _____

**Progressiva chilometrica** _____ **Quota s.l.m. (m)** _____

*Informazioni generali*

**Proprietario** ☐ **Pubblico** ☐ **Privato** _____

**Anno di costruzione** _____

**Concessionario** _____

**Ente vigilante** _____

**Codice IOP (opere pubbliche)** _____

*Dati di progetto*

**Progettista** _____

**Anno di progettazione** _____

**Ente approvatore** _____

**Pratica di riferimento** _____

*Destinazione d'uso*

**Classificazione d'uso** _____

**Opera strategica** ☐ **SI** ☐ **NO**

*Tutela ai sensi del Decreto Legislativo 22 gennaio 2024, n. 42*

**Provvedimenti di tutela** _____

**Autore della progettazione** _____

**Inserimento dell'opera nell'ambito dei Piani Paesaggistici vigenti/adottati** ☐ **SI** ☐ **NO**

*Stato dell'opera*

☐ **Pienamente agibile**
☐ **Agibile ma con scadenze di lavori di manutenzione ordinaria**
☐ **Inagibile**
☐ **Agibile ma con scadenze di lavori di manutenzione straordinaria**
☐ **Condizioni critiche e agibile parzialmente/lavori di manutenzione urgenti**

*Caratteristiche geometriche*

**Andamento planimetrico**

**Tracciato** ☐ **Rettilineo** ☐ **Curvo** ☐ **Variabile**

**Lunghezza zona di interferenza (m)** _____

**Andamento altimetrico**

**Dislivello (m)** _____

**Sezione trasversale**

**Tipologia di sezione** ☐ **Rilevato** ☐ **Mezza costa** ☐ **Trincea** ☐ **Variabile**

**Larghezza sede stradale (m)** _____

*Informazioni sulla rete stradale*

**Itinerario internazionale** ☐ **SI** ☐ **NO**

**Rete TEN** ☐ **SI** ☐ **NO**

**Rete di emergenza** ☐ **SI** ☐ **NO**

**Numero carreggiate** _____ **Numero corsie/carreggiata** _____

**Presenza di curve** ☐ **SI** ☐ **NO**

**Traffico medio giornaliero** _____ **veicoli/giorno (sull'intera carreggiata)**

**Presenza alternative stradali** ☐ **SI** ☐ **NO**

**Studi trasportistici specifici** ☐ **SI** ☐ **NO**

*Contesto geomorfologico*

**Pericolosità cartografica**

**Cartografia** ☐ **Presente in formato digitale** ☐ **Presente in formato cartaceo** ☐ **Assente**

**Ultimo aggiornamento** _____

**Tipologia** ☐ **CLPV** ☐ **PZEV** ☐ **Secondo normativa regionale** ☐ **Suscettibilità**

**Pericolosità** ☐ **Alta** ☐ **Media** ☐ **Bassa** ☐ **Assente**

**Morfologia del sito in cui è inserita la struttura**

**Zona del bacino valanghivo**

☐ **Distacco** ☐ **Scorrimento** ☐ **Arresto** ☐ **Al di fuori dell'area nota di bacino**

**Pendenza** _____

**Stato di attività**

☐ **Attiva** ☐ **Attiva nell'ultimo ciclo stagionale** ☐ **Stabilizzata**

☐ **Inattiva da più di un ciclo stagionale**

**Interferenza accertata**

Segnalazione 1 ☐ **da Catasto** ☐ **Testimonianza** ☐**Back -Analysis** ☐ **Dato storico**

Danni ☐ **SI** ☐ **NO** _____

Segnalazione 2 ☐ **da Catasto** ☐ **Testimonianza** ☐**Back -Analysis** ☐ **Dato storico**

Danni ☐ **SI** ☐ **NO** _____

(…)

**Analisi di dettaglio dell'Interferenza**

Perizia di Interferenza Valanghiva (PIV) ☐ **SI** (Anno _____**)** ☐ **NO**

**Estensione interferenza** ☐ **Totale** ☐ **Parziale**

**Affidabilità complessiva della valutazione** ☐ **Buona** ☐ **Limitata**

*Opere di protezione*

☐ **Presenti** ☐ **Assenti** ☐ **Non note**

**Data installazione** _____

**Tipologia di opera** _____

**Informazioni significative** _____

**Documentazione relativa** _____ **Allegato n. _____**

*Monitoraggio valanghivo*

☐ **Presenti** ☐ **Assenti** ☐ **Non noti**

**Data inizio _____ Data ultimo rilevamento _____ Data fine _____**

**Tipologia di rilevamento** _____

**Metodologia di monitoraggio** _____

**Tipologia di strumentazione** _____

**Grandezze misurate** _____

**Risultati significativi** _____

**Documentazione relativa** _____ **Allegato n. _____**

*Interventi di manutenzione*

☐ **Presenti** ☐ **Assenti** ☐ **Non noti**

**Piano di manutenzione** _____

**Numero di interventi effettuati _____ Data ultimo intervento _____ Periodicità _____**

| | **Tipo di manutenzione** | **Documentazione relativa** |
|---|---|---|
| Intervento n. 1 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ |
| Intervento n. 2 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ |
| Intervento n. 3 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ |

*Documentazione progettuale disponibile*

| **Documentazione iniziale** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Strumenti del finanziamento | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Strumento di programmazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Progetto preliminare** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Iter di approvazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Progetto definitivo/esecutivo** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Iter di approvazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Progetto esecutivo/cantierabile** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Iter di approvazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Direzione lavori** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti contabili | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Contabilità dell'appalto | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Documenti relativi alla realizzazione** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti contabili | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Documenti relativi al collaudo** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Relazione di collaudo | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Allegati alla relazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Variante in corso d'opera** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Variante 1 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Variante 2 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Interventi di manutenzione** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Manutenzione 1 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Manutenzione 2 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Interventi per incrementare la sicurezza** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Progetto 1 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Progetto 2 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

# Allegato 5

# Scheda di censimento per un elettrodotto

*Localizzazione*

**Provincia/Regione** _____

**Comune** _____

**Località** _____

**Coordinate geografiche** ☐ **ETRF2000.** ☐ **WGS84**

**INIZIO INTERFERENZA**

**Longitudine** _____ **Latitudine** _____

**Quota s.l.m. (m)** _____

**FINE INTERFERENZA**

**Longitudine** _____ **Latitudine** _____

**Quota s.l.m. (m)** _____

*Informazioni generali*

**Proprietario** ☐ **Pubblico** ☐ **Privato** _____

**Anno di costruzione** _____

**Concessionario** _____

**Ente vigilante** _____

**Codice IOP (opere pubbliche)** _____

*Dati di progetto*

**Progettista** _____

**Anno di progettazione** _____

**Ente approvatore** _____

**Pratica di riferimento** _____

*Destinazione d'uso*

**Classificazione d'uso** _____

**Opera strategica** ☐ **SI** ☐ **NO**

*Tutela ai sensi del Decreto Legislativo 22 gennaio 2024, n. 42*

**Provvedimenti di tutela** _____

**Autore della progettazione** _____

**Inserimento dell'opera nell'ambito dei Piani Paesaggistici vigenti/adottati** ☐ **SI** ☐ **NO**

*Stato dell'opera*

☐ **Pienamente agibile**
☐ **Agibile ma con scadenze di lavori di manutenzione ordinaria**
☐ **Inagibile**
☐ **Agibile ma con scadenze di lavori di manutenzione straordinaria**
☐ **Condizioni critiche e agibile parzialmente/lavori di manutenzione urgenti**

*Caratteristiche geometriche*

**Rete**

**Luce complessiva (m)** _____

**Numero campate** _____ **Luce tra sostegni (m)** _____

**Sostegno**

**Altezza (m)** _____

**Forma sezione trasversale** _____ **Dimensioni (m)** _____

*Tipologia strutturale*

**Fondazione**

☐ **Superficiale completamente interrata**
☐ **Superficiale parzialmente fuori terra**
☐ **Profonda**
☐ **Altro**

**Sostegno**

☐ **Struttura reticolare/Traliccio**
☐ **Palo tubolare**
☐ **Altro**

*Materiale costruttivo*

**Fondazione**

☐ **Calcestruzzo armato**
☐ **Calcestruzzo non armato**
☐ **Altro**

**Sostegno**

☐ **Acciaio**
☐ **Allumino**
☐ **Calcestruzzo armato/CAC**
☐ **Legno**
☐ **Altro**

*Informazioni sulla rete elettrica*

**Tensione nominale** ☐ **inferiore ad 1 kV (BT)** ☐ **compresa tra 1 kV e 36 kV (MT)**
☐ **compresa tra 36 kV e 150 kV (AT)** ☐ **superiore a 150 kV (Altissima tensione)**

**Frequenza nominale (Hz)** _____ **($m^3/s$)**

**Intensità di corrente nominale (A)** _____ **($km^2$)**

**Potenza nominale (MVA)** _____

*Contesto geomorfologico*

**Pericolosità cartografica**

**Cartografia** ☐ **Presente in formato digitale** ☐ **Presente in formato cartaceo** ☐ **Assente**

**Ultimo aggiornamento** _____

**Tipologia** ☐ **CLPV** ☐ **PZEV** ☐ **Secondo normativa regionale** ☐ **Suscettibilità**

**Pericolosità** ☐ **Alta** ☐ **Media** ☐ **Bassa** ☐ **Assente**

**Morfologia del sito in cui è inserita la struttura**

**Zona del bacino valanghivo**

☐ **Distacco** ☐ **Scorrimento** ☐ **Arresto** ☐ **Al di fuori dell'area nota di bacino**

**Pendenza** _____

**Stato di attività**

☐ **Attiva** ☐ **Attiva nell'ultimo ciclo stagionale** ☐ **Stabilizzata**

☐ **Inattiva da più di un ciclo stagionale**

**Interferenza accertata**

Segnalazione 1 ☐ **da Catasto** ☐ **Testimonianza** ☐**Back -Analysis** ☐ **Dato storico**

Danni ☐ **SI** ☐ **NO** _____

Segnalazione 2 ☐ **da Catasto** ☐ **Testimonianza** ☐**Back -Analysis** ☐ **Dato storico**

Danni ☐ **SI** ☐ **NO** _____

(…)

**Analisi di dettaglio dell'Interferenza**

Perizia di Interferenza Valanghiva (PIV) ☐ **SI** (Anno _____**)** ☐ **NO**

**Estensione interferenza** ☐ **Totale** ☐ **Parziale**

**Affidabilità complessiva della valutazione** ☐ **Buona** ☐ **Limitata**

*Opere di protezione*

☐ **Presenti** ☐ **Assenti** ☐ **Non note**

**Data installazione** _____

**Tipologia di opera** _____

**Informazioni significative** _____

**Documentazione relativa** _____ **Allegato n. _____**

*Monitoraggio valanghivo*

☐ **Presenti** ☐ **Assenti** ☐ **Non noti**

**Data inizio** _____ **Data ultimo rilevamento** _____ **Data fine** _____

**Tipologia di rilevamento** _____

**Metodologia di monitoraggio** _____

**Tipologia di strumentazione** _____

**Grandezze misurate** _____

**Risultati significativi** _____

**Documentazione relativa** _____ **Allegato n. _____**

*Interventi di manutenzione*

☐ **Presenti** ☐ **Assenti** ☐ **Non noti**

**Piano di manutenzione** _____

**Numero di interventi effettuati** _____ **Data ultimo intervento** _____ **Periodicità** _____

| | **Tipo di manutenzione** | **Documentazione relativa** |
|---|---|---|
| Intervento n. 1 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ |

Intervento n. 2 (data _____) _____ Allegato n. _____

Intervento n. 3 (data _____) _____ Allegato n. _____

*Ispezioni pregresse*

☐ **Presenti** ☐ **Assenti** ☐ **Non note**

**Programma di ispezioni** _____

**Numero di ispezioni effettuate** _____ **Data ultima ispezione** _____ **Periodicità** _____

| | **Metodologia ispezioni** | **Documentazione relativa** | **Ente ispettivo** |
|---|---|---|---|
| Ispezione n. 1 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ | _____ |
| Ispezione n. 2 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ | _____ |
| Ispezione n. 3 (data _____) | _____ | Allegato n. _____ | _____ |

*Documentazione progettuale disponibile*

| **Documentazione iniziale** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Strumenti del finanziamento | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Strumento di programmazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Progetto preliminare** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Iter di approvazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Progetto definitivo/esecutivo** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Iter di approvazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Progetto esecutivo/cantierabile** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Iter di approvazione | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Direzione lavori** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti contabili | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Contabilità dell'appalto | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Documenti relativi alla realizzazione** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Documenti contabili | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Documenti relativi al collaudo** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Relazione di collaudo | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Allegati alla relazione. | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Variante in corso d'opera** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Variante 1 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Variante 2 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

| **Interventi di manutenzione** | | | **Fonte** | **Allegato n.** |
|---|---|---|---|---|
| Manutenzione 1 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Manutenzione 2 | | | | |
| Documenti descrittivi | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti grafici | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |
| Documenti contrattuali | ☐ **SI** | ☐ **NO** | _____ | _____ |

ISBN 978-88-8218-215-1