

DOCUMENTO TECNICO

RISCHIO GLACIALE E PERIGLACIALE IN AMBIENTE ALPINO: UN QUADRO METODOLOGICO



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Prefazione	3
Premessa	5
Finalità e organizzazione del Gruppo di Lavoro	9
Organizzazione del documento	12
1. CONOSCENZA	13
1.1 Ambiente glaciale	14
1.1.1 Definizione dei processi di instabilità	15
1.1.2 Modalità di identificazione degli ambiti delle aree glacializzate e delle aree potenzialmente interessabili da processi di instabilità	17
> Aggiornamento delle conoscenze di base (ghiacciai, laghi, elementi esposti) e definizione della frequenza di aggiornamento	20
> Definizione delle modalità di screening delle aree glacializzate e valutazione di possibili scenari evolutivi	24
1.1.3 Strategia di gestione dei diversi ambiti identificati per l'ambiente glaciale	27
> Aree antropizzate	27
> Territorio aperto ad alta frequentazione	34
> Territorio aperto	35
<i>Approfondimenti</i>	38
1.2 Ambiente periglaciale	53
1.2.1 Definizione dei processi di instabilità considerati	54
<i>Approfondimenti</i>	56
2. COMUNICAZIONE	63
2.1 Il ruolo della comunicazione nella risposta al rischio	64
2.2 Gli ambiti di applicazione	64
2.3 Gli obiettivi della comunicazione	65
2.4 Gli attori della comunicazione nel sistema di protezione civile	66
> Gli attori della comunicazione nel rischio glaciale e periglaciale	66
2.5 I target di riferimento	67
2.6 I contenuti	69
2.7 Le azioni e gli strumenti di comunicazione	69
2.8 La comunicazione del rischio e di emergenza per i diversi ambiti di riferimento	70
> Aree antropizzate	70
> Territorio aperto	70
> Territorio aperto ad alta frequentazione	71
<i>Approfondimenti</i>	72

3. FORMAZIONE	87
3.1 Strumenti metodologici per un piano formativo sul rischio	88
3.2 Definizione delle categorie di utenti della formazione in base alle organizzazioni e ai ruoli ricoperti da ciascun utente e all'ambito territoriale di azione	90
3.3 Individuazione di conoscenze, abilità e capacità di azione volte a gestire e minimizzare l'esposizione al rischio in ambiente glaciale e periglaciale per categorie di utenti e ambito territoriale di azione	91
> Individuazione dei fabbisogni individuali di formazione per categorie di utenti	92
> Definizione dei requisiti d'ingresso, degli obiettivi della formazione e dei risultati attesi per ciascuna categoria di utenti e ambito territoriale di azione	95
> Graduazione degli obiettivi di formazione in base ai fabbisogni individuali delle categorie di utenti individuate in Moduli didattici, Unità didattiche, Oggetti formativi e Sotto argomenti	96
> Definizione di durata, modalità formativa, materiale didattico necessario per ciascun modulo	97
<i>Approfondimenti</i>	99
Conclusioni e prospettive future	100
Allegato 1 al Capitolo 1	105
Tabella 1a. Dati disponibili per tipologia, con definizione dell'area presa in considerazione, scala, risoluzione e anno di aggiornamento	
Allegato 1 al Capitolo 2	110
Diritto, scienza e comunicazione nella gestione del rischio ambientale: limiti, responsabilità e prospettive per una strategia efficace	
Allegato 1 al Capitolo 3	114
Modulo 1a - Corso d'introduzione alla nivologia e meteorologia alpina	
Allegato 2 al Capitolo 3	
Proposta di modello di governance di formazione	116
Glossario	119
Bibliografia	121

Fabio Ciciliano

Capo del Dipartimento della Protezione Civile

Il 3 luglio 2022 il crollo del ghiacciaio della Marmolada ha improvvisamente riportato all'attenzione del Paese quanto la montagna, pur affascinante e imponente, possa essere fragile. Si è trattato, in primis, di un evento calamitoso che ha colpito comunità e famiglie e che, al contempo, ha reso evidente al Paese come gli ambienti glaciali e periglaciali, simboli della nostra identità alpina, stiano cambiando rapidamente e profondamente, interessando la sicurezza di tutti. Da quella giornata nasce il percorso che ha portato alla redazione di questo documento: un viaggio fatto di ascolto, confronto, condivisione e collaborazione tra Istituzioni, Comunità scientifica e territorio, per comprendere e gestire un rischio in continua evoluzione.

L'obiettivo fondamentale del documento è offrire una cornice metodologica condivisa che aiuti il Paese a conoscere meglio i fenomeni di instabilità glaciali e periglaciali, a formare adeguatamente gli operatori e a comunicare il rischio in modo chiaro, coerente e accessibile a tutti. Il suo valore non è riconducibile solo alla qualità dei contenuti, ma anche al metodo con cui è stato costruito, proprio della Protezione Civile, Servizio di pubblica utilità, che ha coinvolto una rete complessa costituita da Istituzioni, ricercatori, tecnici, volontari, Strutture operative, guide alpine, amministratori locali e cittadini: attori tutti che, quotidianamente, si impegnano per rendere più sicuro il nostro territorio.

Il ruolo delle Amministrazioni coinvolte è stato determinante: ciascuna ha portato il proprio bagaglio di esperienza, dati, conoscenze territoriali, strumenti operativi e capacità di dialogo con le comunità locali. È questa pluralità di contributi che rende il documento un patrimonio condiviso del Servizio Nazionale della Protezione Civile, in coerenza con le indicazioni della Commissione Nazionale Grandi Rischi-Settore rischio idraulico e con le misure del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.

La montagna è sempre più frequentata e vissuta con nuove infrastrutture: un turismo in continuo aumento e una incrementata mobilità territoriale portano ogni anno un numero sempre più significativo di persone, anche in aree d'alta quota un tempo riservate a pochi esperti. Questa crescente presenza, tuttavia, si confronta con un ambiente che cambia rapidamente, segnato dal ritiro dei ghiacciai, dall'indebolimento del permafrost e da fenomeni di instabilità che evolvono con modalità inedite.

In questo scenario diventa fondamentale dotarsi di una visione condivisa e di strumenti comuni che aumentino la capacità di interpretare i segnali del territorio, individuare tempestivamente i contesti più vulnerabili e promuovere un sistema di osservazione continuo, in grado di restituire un quadro aggiornato delle dinamiche in atto. Si tratta di un impegno che non riguarda solo la Comunità scientifica, ma l'intero sistema di protezione civile e, più in generale, le Istituzioni chiamate a garantire la sicurezza delle persone e la tutela del patrimonio naturale.

PREFAZIONE

Solo attraverso questo approccio integrato, fondato sulla conoscenza, sulla cooperazione e sulla responsabilità collettiva, sarà possibile affrontare con maggiore consapevolezza i rischi emergenti, assicurando che la montagna rimanga un luogo accogliente, sicuro e rispettato.

Il Dipartimento della Protezione Civile continuerà a sostenere questo approccio, affinché le iniziative sviluppate nel documento si rafforzino e diventino sempre più parte integrante delle politiche pubbliche di prevenzione.

La costituzione e le attività del **Gruppo di Lavoro sul rischio connesso a fenomeni di dissesto in ambiente glaciale e periglaciale** si inseriscono nel quadro delle azioni svolte dal Dipartimento della Protezione Civile a seguito del crollo del ghiacciaio della Marmolada, occorso il 3 luglio 2022.

L'evento è avvenuto dopo una stagione invernale 2021-2022 caratterizzata da un marcato *deficit* di precipitazioni nevose rispetto agli anni precedenti, con scarti medi cumulati negativi che hanno superato l'80% delle medie di lungo periodo nel nord ovest, restando comunque intensi nel Triveneto e in Appennino Centrale e uno *stock* idrico di neve stagionale rimasto stabilmente al di sotto del primo quartile (elaborazioni Fondazione CIMA su serie dati 2010-2021). Già dal mese di giugno 2022, pertanto, molti ghiacciai italiani erano privi di neve stagionale e, quindi, soggetti a fusione precoce. Le alte temperature registrate durante la primavera e l'estate del 2022 hanno contribuito a intensificare i processi di fusione del permafrost e degli apparati glaciali, con conseguenze localmente molto gravi, come nel caso del crollo del ghiacciaio della Marmolada.

La Commissione per la previsione e la prevenzione dei Grandi Rischi-Settore rischio idraulico, idrogeologico, da fenomeni meteorologici e climatici, riunitasi il 12 luglio 2022, al fine di esprimere un "parere in merito ai rischi connessi ai cambiamenti climatici in atto e attesi nelle aree alpine del Paese, con particolare riferimento ai ghiacciai, e agli sviluppi scientifici, tecnici e operativi ritenuti utili per una più efficace attività del sistema nazionale di protezione civile", aveva formulato le seguenti raccomandazioni:

- 1) potenziare le conoscenze e gli strumenti funzionali alla mappatura della pericolosità delle aree glaciali e periglaciali secondo criteri condivisi;
- 2) individuare le aree critiche sulla base delle caratteristiche geomorfologiche e dei dati storici da attenzionare;
- 3) avviare un'attività di monitoraggio sia puntuale su aree critiche sia di area vasta anche a cadenza stagionale per eventuale analisi di suscettività.

La Commissione, inoltre, aveva evidenziato l'importanza dei temi legati alla comunicazione del rischio in ambito alpino e al fondamentale ruolo delle guide alpine.

In una successiva riunione del 18 luglio 2022, organizzata dal Dipartimento della Protezione Civile con le Regioni e le Province Autonome dell'arco alpino, si è concordato di istituire un Tavolo Tecnico, finalizzato a definire un percorso metodologico condiviso per sviluppare e/o potenziare il quadro conoscitivo sulle fenomenologie in atto, individuando ambiti prioritari sui quali focalizzare attività di sorveglianza e monitoraggio, nonché implementare attività di formazione, informazione e sensibilizzazione sui rischi in ambito alpino.

Le situazioni emergenziali connesse a fenomeni di dissesto in ambienti glaciali e periglaciali sono, infatti, crescenti e connesse alla fragilità del territorio montano, nonché ai fattori meteorologici che risultano in intensa evoluzione per il cambiamento climatico in atto e richiedono, pertanto, anche una maggiore attenzione da parte del sistema di

protezione civile. Le regioni alpine risultano esposte a causa della diffusa presenza antropica, della significativa frequentazione turistica, dell'elevata estensione della superficie interessata da ghiacciai e permafrost e della sempre crescente estensione dell'ambiente periglaciale a spese di quello glaciale. Le tipologie di fenomeni di instabilità che si osservano determinano, di fatto, un rischio difficile da quantificare sulla base delle conoscenze a oggi disponibili sulla dinamica dei ghiacciai e sul veloce mutamento indotto dal cambiamento climatico, il quale impone di ridurre l'esposizione delle persone e la vulnerabilità degli elementi esposti attraverso l'attivazione di misure non strutturali di protezione civile e un efficace coordinamento tra tutti i soggetti interessati.

A tale proposito, va evidenziato che, **a oggi, nell'ambito della pianificazione di bacino, non esiste una definizione e una mappatura della pericolosità dei fenomeni di dissesto attivi negli ambienti glaciali e periglaciali**, a eccezione di situazioni specifiche che configurano condizioni di rischio acclarate e che risultano già indagate e studiate in alcuni territori regionali.

Il "Tavolo Tecnico sul rischio connesso a fenomeni di dissesto in ambiente glaciale e periglaciale", al quale hanno partecipato rappresentanti qualificati delle Amministrazioni e degli Enti competenti in materia di rischio in ambito alpino, si è riunito più volte nel corso del 2022, svolgendo le prime attività di confronto, condivisione di buone pratiche ed esperienze e approfondimento tecnico sui fenomeni di dissesto in ambienti glaciali e periglaciali. Tali attività hanno consentito di individuare e condividere, anche sulla base di proposte metodologiche sviluppate dalla Regione Valle d'Aosta-Fondazione Montagna Sicura, CNR-IRPI con i contributi di tutti gli altri partecipanti, i seguenti ambiti di azione strategica:

Azioni di medio e lungo termine - Attività conoscitiva

In ottemperanza agli indirizzi forniti dalla Commissione Grandi Rischi, il Tavolo Tecnico ha concordato sulla necessità di individuare una metodologia condivisa d'intervento che, attraverso un approccio incrementale e scansionato nel tempo, sia in grado di portare a una progressiva implementazione del livello di conoscenza dei ghiacciai e della loro dinamica, su cui basare la definizione di scenari evolutivi a supporto della valutazione della pericolosità e del rischio.

Azioni di breve e medio termine - Attività di formazione, informazione e sensibilizzazione sui rischi in ambito alpino

Ulteriore e fondamentale indicazione emersa dalla Commissione Grandi Rischi è il tema legato alla comunicazione del rischio in ambito alpino. Appare, infatti, di tutta evidenza che, in assenza di strumenti conoscitivi adeguati all'individuazione e alla perimetrazione di aree a pericolosità e rischio di dissesto in ambienti glaciali e periglaciali estese all'intero ambito alpino, sulle quali prevedere eventuali misure specifiche di accesso, sia urgente e necessario avviare e/o intensificare attività funzionali a una corretta ed efficace informazione sui rischi connessi alla frequentazione di detti ambienti. Accanto all'attività conoscitiva, focalizzata sulle aree antropizzate, riveste

un ruolo di primaria importanza quella comunicativa e formativa, volta ad accrescere la “cultura del rischio” attraverso attività che costituiscono un fondamentale tassello delle azioni di protezione civile. Il Tavolo Tecnico ha pertanto condiviso la necessità di avviare la definizione, a livello nazionale, di una strategia coordinata di comunicazione e formazione sui rischi in alta montagna, compresi quelli degli ambienti glaciale e periglaciale, in particolar modo nell’attuale contesto di cambiamento climatico.

L’esperienza del Tavolo Tecnico ha dimostrato l’opportunità e l’utilità di un coordinamento tra tutte le Amministrazioni e gli Enti competenti in materia, per la definizione e condivisione di azioni efficaci per la gestione del rischio, in relazione alla disponibilità offerta dai partecipanti in termini di esperienze, competenze tecniche, personale, presidi e mezzi utili per l’implementazione delle conoscenze dei fenomeni di dissesto e la definizione di attività di formazione e informazione sui rischi in ambito alpino.

Nel gennaio 2024, attesi gli esiti positivi delle attività svolte, il Ministro per la Protezione Civile e le Politiche del mare ha dato indicazioni per la continuazione delle attività sul rischio connesso a fenomeni di dissesto in ambiente glaciale e periglaciale attraverso la “formale costituzione di un Gruppo di Lavoro, mediante Decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile”. A seguito di tali indicazioni, il Capo del Dipartimento della Protezione Civile ha invitato le Regioni e Province Autonome dell’arco alpino e gli Enti aventi competenze sul rischio specifico a designare i propri rappresentanti per l’istituendo Gruppo di Lavoro.

Con Decreto di rep. n. 1996 del 20 maggio 2024 a firma del Capo del Dipartimento è stato istituito il “Gruppo di Lavoro sul rischio connesso ai fenomeni di dissesto in ambienti glaciali e periglaciali”, composto da rappresentanti del Dipartimento della Protezione Civile, del Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica, dell’Autorità di Bacino Distrettuale del Po, delle Regioni Piemonte, Valle d’Aosta, Lombardia, Veneto e Friuli-Venezia Giulia, delle Province Autonome di Bolzano e di Trento, del Dipartimento dei Vigili del Fuoco del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile, del Comando Carabinieri per la Tutela Forestale, Ambientale e Agroalimentare, dell’Esercito italiano-Comando Truppe Alpine, del Soccorso Alpino della Guardia di Finanza, dell’Associazione Interregionale Neve e Valanghe AINEVA, del Corpo Nazionale Soccorso alpino e speleologico, del Collegio Nazionale delle Guide Alpine Italiane, del Club Alpino Italiano, della Fondazione Courmayeur Mont Blanc e del Consiglio Nazionale delle Ricerche-Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica CNR-IRPI. Il Gruppo di Lavoro è stato successivamente integrato con Decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile, n. 10 del 13 gennaio 2025 con la designazione di ulteriori rappresentanti di ARPA Piemonte, Regione Valle d’Aosta, ISPRA, CNR-IRPI.

Obiettivo del Gruppo di Lavoro è quello di redigere un documento tecnico condiviso sugli ambiti di azione strategici relativi alla **conoscenza, comunicazione e formazione** sui rischi in ambito alpino. Le attività e le finalità del Gruppo di Lavoro, inoltre, si inquadrano nella definizione e attuazione delle azioni individuate nel Piano di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC), approvato con Decreto del Ministro

PREMESSA

dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica n. 434 del 21 dicembre 2023, nell'ambito del quale si rappresentano gli impatti dei cambiamenti climatici anche sulla criosfera e sulla montagna, evidenziati dai fenomeni di fusione dei ghiacciai e di degradazione del permafrost, dal raggiungimento del *peak water* nella maggior parte dei bacini glaciali italiani, dalla riduzione della durata della copertura nevosa e del contributo della fusione di neve e ghiaccio al deflusso dei fiumi e sono individuate specifiche misure di adattamento ai cambiamenti climatici in tali ambienti.

Il Gruppo di Lavoro, infine, si è potuto avvalere dei risultati ottenuti dall'attuazione dell'Accordo di collaborazione con il CNR-IRPI, in qualità di Centro di Competenza, per la realizzazione di studi e ricerche finalizzati a supportare le attività della rete dei Centri Funzionali, nel quale è inserito il Work Package n. 5 "Rischi naturali in ambienti alpini glacializzati e con permafrost" allo scopo di fornire strumenti conoscitivi e metodologici a supporto della valutazione della pericolosità e la mitigazione dei rischi, sulla base dei dati e delle conoscenze già acquisite dal CNR-IRPI sui temi dell'instabilità naturale in ambienti glacializzati e con permafrost, in oltre 30 anni di attività.

FINALITÀ E ORGANIZZAZIONE DEL GRUPPO DI LAVORO

Come accennato in premessa, il "Gruppo di Lavoro sul rischio connesso a fenomeni di dissesto in ambiente glaciale e periglaciale" ha operato con l'obiettivo di integrare e approfondire le analisi e le valutazioni già sviluppate per giungere all'approvazione e condivisione di un documento metodologico sugli ambiti di azione strategici relativi a *conoscenza, comunicazione e formazione* sui rischi in alta montagna, negli ambienti glaciale e periglaciale, in particolar modo nell'attuale contesto di cambiamento climatico.

Il presente documento si propone, quindi, di fornire elementi metodologici per:

- l'individuazione dei ghiacciai a maggiore pericolosità e delle zone potenzialmente interessate dall'evoluzione dei fenomeni di instabilità e una proposta di definizione dei criteri di monitoraggio (azione strategica di conoscenza);
- la costruzione condivisa di una strategia coordinata di comunicazione dei rischi in alta montagna, nelle aree ad alta frequentazione e nelle aree a bassa frequentazione (azione strategica di comunicazione);
- la definizione di una proposta di bagaglio formativo degli operatori di settore, quali ad esempio guide alpine, tecnici, soccorritori (azione strategica di formazione).

Per lo svolgimento delle attività, il Gruppo di Lavoro ha stabilito un'organizzazione in sottogruppi tematici, integrati da esperti indicati dai componenti del Gruppo di Lavoro, aventi a oggetto le specifiche azioni strategiche individuate relative a conoscenza, comunicazione e formazione.

Coordinato da Filippo Cadamuro – dirigente del "Servizio rischio idraulico, idrogeologico, costiero e da deficit idrico" del Dipartimento della Protezione Civile – il Gruppo di Lavoro ha individuato quali referenti dei sottogruppi tematici:

- conoscenza: Daniele Giordan, CNR-IRPI;
- comunicazione: Jean Pierre Fosson, Fondazione Montagna Sicura;
- formazione: Igor Chiambretti, AINEVA.

Si riporta di seguito l'articolazione di ciascun sottogruppo tematico:

SOTTOGRUPPO CONOSCENZA

ENTE	NOMINATIVO
CNR-IRPI	Daniele Giordan
CNR-IRPI	Marta Chiarle
FONDAZIONE MONTAGNA SICURA	Fabrizio Troilo
REGIONE VALLE D'AOSTA	Valerio Segor
REGIONE VALLE D'AOSTA	Davide Bertolo
MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA	Giuseppe Travia

FINALITÀ E ORGANIZZAZIONE DEL GRUPPO DI LAVORO

REGIONE PIEMONTE-PROTEZIONE CIVILE	Gianluca Bernardi
REGIONE PIEMONTE-SERVIZIO GEOLOGICO	Marco Cordola
ARPA PIEMONTE	Alessio Salandin
PROVINCIA AUTONOMA TRENTO	Mauro Gaddo
ARPA VENETO	Gianni Marigo
CORPO NAZIONALE VIGILI DEL FUOCO	Antonio Cavaoli
REGIONE LOMBARDIA	Marina Credali
ARPA LOMBARDIA	Matteo Fioletti
CLUB ALPINO ITALIANO	Alberto Pirovano
PROVINCIA AUTONOMA BOLZANO	Roberto Dinale
ISPRA	Daniele Spizzichino
AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE FIUME PO	Tommaso Simonelli

SOTTOGRUPPO COMUNICAZIONE

ENTE	NOMINATIVO
FONDAZIONE MONTAGNA SICURA	Jean Pierre Fosson
AINEVA	Igor Chiambretti
REGIONE VALLE D'AOSTA	Valerio Segor
PROVINCIA AUTONOMA TRENTO	Mauro Gaddo
REGIONE VENETO-PROTEZIONE CIVILE	Rolando Rizzolo
ARPA VENETO	Gianni Marigo
CORPO NAZIONALE VIGILI DEL FUOCO	Antonio Cavaoli
FONDAZIONE COURMAYEUR	Waldemaro Flick Maurizio Flick
REGIONE FRIULI-VENEZIA GIULIA	Massimo Pegani
CNR-IRPI	Paola Salvati
CLUB ALPINO ITALIANO	Alberto Pirovano
CARABINIERI FORESTALI	Vincenzo Romeo Emanuela Gini
ISPRA	Francesca Giordano
CORPO NAZIONALE SOCCORSO ALPINO SPELEOLOGICO	Adriano Favre
COLLEGIO NAZIONALE GIUDE ALPINE	Martino Peterlongo

FINALITÀ E ORGANIZZAZIONE DEL GRUPPO DI LAVORO

SOTTOGRUPPO FORMAZIONE

ENTE	NOMINATIVO
AINEVA	Igor Chiambretti
FONDAZIONE MONTAGNA SICURA	Jean Pierre Fosson
REGIONE VALLE D'AOSTA	Valerio Segor
PROVINCIA AUTONOMA TRENTO	Mauro Gaddo
ARPA VENETO	Gianni Marigo
CORPO NAZIONALE VIGILI DEL FUOCO	Antonio Cavaoli
FONDAZIONE COURMAYEUR	Waldemaro Flick
REGIONE FRIULI-VENEZIA GIULIA	Massimo Pegani
CLUB ALPINO ITALIANO	Alberto Pirovano
GUARDIA DI FINANZA-SOCCORSO ALPINO	Alessandro Alberioli
CARABINIERI FORESTALI	Vincenzo Romeo Emanuela Gini
CORPO NAZIONALE SOCCORSO ALPINO SPELEOLOGICO	Adriano Favre

AI LAVORI HANNO PARTECIPATO ANCHE:

ENTE	NOMINATIVO
MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA	Tiziano Dalia
REGIONE LOMBARDIA	Andrea Zaccone
REGIONE LOMBARDIA	Ismaele Valsecchi
ARPA LOMBARDIA	Orietta Cazzulli
CORPO NAZIONALE VIGILI DEL FUOCO	Carlo Metelli
ESERCITO ITALIANO-COMANDO TRUPPE ALPINE	Massimo Carlino Marco De Lillo
COLLEGIO NAZIONALE GIUDE ALPINE	Mario Ravello

SI INDICANO INOLTRE I COMPONENTI DELLA SEGRETERIA TECNICA E AMMINISTRATIVA DEL DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE: Sara Babusci, Mario Barbani, Fabio Brondi, Angelo Corazza, Mariacristina Giovannini, Francesco Leone, Luisa Madeo, Mara Malatesta, Federica Marchetto, Giovanni Rainoldi, Romanella Vio.

ORGANIZZAZIONE DEL DOCUMENTO

Il documento, in linea con gli obiettivi del Gruppo di Lavoro, è organizzato in parti specifiche che riguardano la **conoscenza** (Capitolo 1), distinta per gli ambienti glaciale e periglaciale, la **comunicazione** (Capitolo 2) e la **formazione** (Capitolo 3). Al fine di condividere con il lettore alcune esperienze virtuose e arricchire i contenuti del documento, sono anche stati predisposti specifici approfondimenti tematici.

Per l'ambiente glaciale sono stati individuati degli *ambiti* che corrispondono ad aree potenzialmente esposte a fenomeni di dissesto, classificate in base ad alcuni elementi del rischio (antropizzazione e frequentazione). Per tali ambiti, nel documento vengono descritte le linee metodologiche per implementare/potenziare le azioni di conoscenza, comunicazione e formazione.

Per l'ambiente periglaciale il quadro conoscitivo attualmente disponibile sui fenomeni di dissesto è limitato e soggetto a continue variazioni vista la velocità con cui tale ambiente si modifica a seguito degli effetti dei cambiamenti climatici. In ragione di ciò, nel documento, per l'ambiente periglaciale non viene fatto riferimento agli ambiti, ma solo agli elementi metodologici generali.

Nelle conclusioni vengono sinteticamente riportati i contenuti dei capitoli precedenti e vengono formulate alcune proposte per il potenziamento della gestione del rischio negli ambienti glaciale e periglaciale.

CONOSCENZA



1. CONOSCENZA

► 1.1 AMBIENTE GLACIALE

Come per le zone a rischio valanghe è importante distinguere il grado e la frequentazione antropica anche per gli ambienti glaciali. Per mantenere il massimo grado di omogeneità delle definizioni, è stata mantenuta, ove possibile, la terminologia utilizzata nella Direttiva recante “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” del 12 agosto 2019.

Gli ambienti glaciali sono abitualmente associati a porzioni del territorio, che per semplicità classifichiamo come “alta montagna”, ove da sempre si registrano fenomeni di dissesto. L’attuale trend climatico può sortire un effetto destabilizzante sugli apparati glaciali che si trovano, soprattutto nel periodo estivo, in condizioni di incrementata dinamicità, ma quasi sempre il rischio in tale areale rimane limitato, considerata la sua bassa frequentazione, costituita prevalentemente da alpinisti ed escursionisti. Sempre più frequentemente, però, emergono situazioni per le quali è possibile il coinvolgimento dei fondivalle, ove sono ubicate infrastrutture e sviluppate diverse attività antropiche, con conseguente aumento del rischio. Al contempo, l’aumentata frequentazione di questi ambienti – grazie anche ad infrastrutture che consentono a un ampio pubblico di raggiungere gli ambienti di alta quota, tradizionalmente frequentato soprattutto da alpinisti, o comunque escursionisti esperti – aumentano il rischio associato ad eventuali processi d’instabilità. Per quanto riguarda gli approfondimenti tecnico-gestionali da porre in essere, pertanto, il differente impatto dei fenomeni di origine glaciale può essere ricondotto ai tre ambiti di seguito riportati.

Aree antropizzate

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), singoli edifici abitati permanentemente (ancorché non asserviti da viabilità pubblica ordinaria) e aree sciabili attrezzate come definite dall’articolo 2 della legge 24 dicembre 2003, n. 363, di seguito *aree sciabili* (contesti appositamente gestiti per la pratica di attività sportive e ricreative invernali, cfr. direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 12 agosto 2019, recante “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”, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana del 2 ottobre 2019, n. 231).

Territorio aperto e territorio aperto ad alta frequentazione

Il *territorio aperto* è l’insieme dei contesti territoriali non riconducibili alle aree antropizzate sopra richiamate. In tali contesti gli utenti si muovono a proprio rischio e pericolo. Non è possibile applicare misure di gestione, attesa l’estensione di tali ambiti. Fanno eccezione, ancorché riconducibili a tale ambito, le *aree ad alta frequentazione*, per le quali dovranno essere adottate specifiche strategie gestionali.

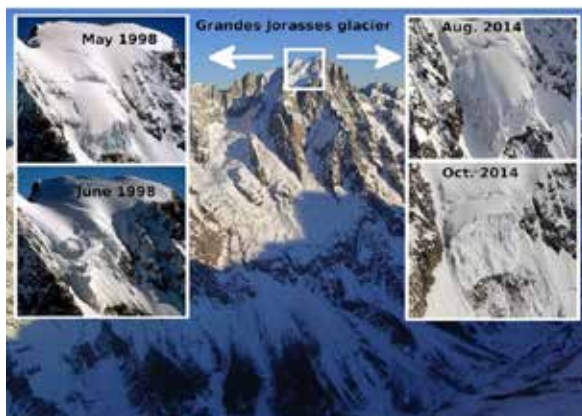
1.1.1 DEFINIZIONE DEI PROCESSI DI INSTABILITÀ

Questo paragrafo si propone di illustrare i processi di instabilità che sono stati considerati significativi per le finalità del presente documento tecnico.

Crolli e valanghe di ghiaccio

Una massa glaciale in movimento sotto la spinta del proprio peso può, in alcune circostanze, presentare una fronte in condizioni di disequilibrio meccanico, con conseguente distacco di blocchi o lame di ghiaccio, o anche di porzioni più consistenti, dando origine a fenomeni noti come crolli o valanghe di ghiaccio, a seconda del volume più o meno importante di ghiaccio coinvolto, che condiziona la dinamica del processo stesso. Le tipologie di distacco sono generalmente classificate in base al profilo del letto roccioso su cui giace il ghiacciaio, alla modalità di rottura e alle condizioni termiche al contatto ghiaccio/roccia. Alean (1985) distingue innanzitutto i distacchi in base alla morfologia del substrato, ovvero se il ghiacciaio si trova su un versante a pendenza costante (Tipo I) o se la fronte è situata in corrispondenza di una rottura di pendenza del substrato (Tipo II). I fenomeni di Tipo II non hanno stagionalità e possono essere insidiosi per l'elevata frequenza e l'imprevedibilità con cui si verificano, mentre i crolli di Tipo I sono quelli caratterizzati da pericolosità più elevata, a causa degli imponenti volumi di ghiaccio che possono essere rilasciati. I ghiacciai di Tipo I possono essere ulteriormente distinti in base alle condizioni termiche del ghiacciaio e del contatto ghiaccio/substrato. A questo riguardo Faillettaz *et al.* (2015) suddividono i ghiacciai in: a) *ghiacciai freddi*, dove la massa glaciale aderisce al substrato per effetto del gelo e il distacco di porzioni della fronte rappresenta la modalità ordinaria di ablazione, dal momento che non è presente acqua allo stato liquido; b) *ghiacciai politermici*, che presentano al loro interno una porzione di ghiaccio a temperatura prossima a 0°C, là dove il ghiaccio è spesso e si riscalda per effetto della pressione esercitata dalla massa glaciale stessa, e ghiaccio freddo ai margini, dove lo spessore del ghiaccio è minore; c) *ghiacciai temperati*, dove l'acqua di fusione circola all'interno della massa glaciale e al contatto ghiaccio/substrato. Nell'ambito del Tipo I, i distacchi che coinvolgono ghiacciai freddi sono quelli con i volumi più contenuti e più facilmente prevedibili, poiché si producono a seguito di deformazione interna progressiva della massa glaciale. I distacchi che coinvolgono i ghiacciai politermici e temperati sono quelli che possono

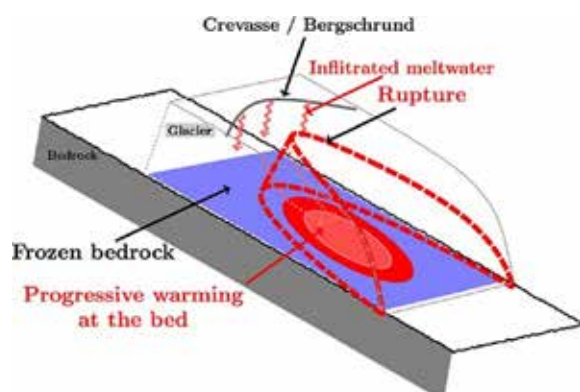
raggiungere i volumi più elevati: presentano una chiara stagionalità, ma le condizioni che determinano l'insacco dell'instabilità sono di complessa definizione.



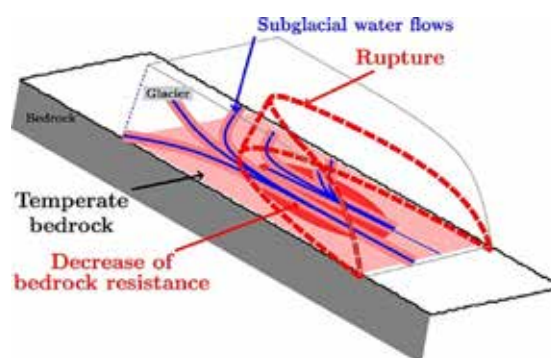
Esempio di ghiacciaio freddo: versante sud delle Grandes Jorasses in Val Ferret italiana con l'evoluzione del ghiacciaio da maggio a giugno 1998 (riquadri a sinistra) ed evoluzione del ghiacciaio pensile da agosto a ottobre 2014 (riquadri a destra).

Faillettaz et al. (2015)

1. CONOSCENZA



Esempio di ghiacciaio politermico e schema del processo di instabilità. *Faillietaz et al. (2015)*.



Esempio di ghiacciaio temperato e schema del processo di instabilità. *Faillietaz et al. (2015)*.

Svuotamento di laghi glaciali (rotte glaciali, GLOF-Glacial Lake Outburst Flood)

L'ambiente glaciale, soprattutto (ma non esclusivamente) in concomitanza con l'attuale fase di degradazione della criosfera, è sovente caratterizzato dalla presenza di invasi lacustri. Laghi glaciali possono formarsi ai margini di un ghiacciaio (per sbarramento di una valle trasversale alla direzione di flusso del ghiacciaio o alla confluenza di due lingue glaciali = lago di sbarramento glaciale; alla fronte di un ghiacciaio in regresso = lago proglaciale; sul fianco esterno del ghiacciaio, a contatto con morena o roccia = lago glaciale di contatto o marginale), sulla superficie stessa del ghiacciaio (lago epi-glaciale), in una cavità interna alla massa glaciale (lago endoglaciale o "sacca d'acqua") o al contatto del ghiacciaio con il suo letto (lago subglaciale). Anche la costruzione di una diga antistante la fronte di un ghiacciaio può consentire la formazione di un lago proglaciale (ad es., Lago del Sabbione, Val Formazza). Qualunque sia la posizione che occupano, i laghi glaciali sono frequentemente contraddistinti da instabilità, per effetto dell'attiva dinamica dell'ambiente che li ospita e per la natura dei materiali che ne costituiscono lo sbarramento. Possono così innescarsi piene inattese e di straordinaria violenza, in grado di mobilitare lungo il loro tragitto quantità enormi di detriti, che sono particolarmente abbondanti e privi di coesione nei settori proglaciali di recente deglaciazione; la rapidità con cui una rotta glaciale può svilupparsi, e l'assenza, in molti casi, di segnali premonitori sono ulteriori elementi che rendono questi processi particolarmente pericolosi. Le rotte glaciali che derivano dallo svuotamento di laghi endoglaciali e subglaciali sono particolarmente insidiose per la difficoltà di individuare tali accumuli d'acqua, anche se i volumi coinvolti sono generalmente contenuti. I laghi con sbarramento in ghiaccio o morena sono i più suscettibili a svuotamento improvviso per cedimento dello sbarramento. Tutte le tipologie di lago (anche quelle con sbarramento in roccia) possono andare incontro a svuotamento improvviso in caso di impatto nel lago di movimenti in massa, in particolare frane e crolli di ghiaccio.



Esempio di lago epiglaciale (Lago delle Locce sul ghiacciaio del Belvedere-Macugnaga TO). *Foto: M. Barbani.*



Colata detritica originatasi da morene e depositi glaciali a monte della città di Tyrnyauz, Russia, nel luglio 2000. Si ritiene che il fattore scatenante più probabile sia stato lo svuotamento improvviso di una cavità endoglaciale. *Foto: A. Aleinikov.*

1.1.2 MODALITÀ DI IDENTIFICAZIONE DEGLI AMBITI DELLE AREE GLACIALIZZATE E DELLE AREE POTENZIALMENTE INTERESSABILI DA PROCESSI DI INSTABILITÀ

Il primo aspetto che deve essere valutato all'interno di un processo di progressivo incremento delle conoscenze, che sia finalizzato all'identificazione dei settori a diversa criticità e alla definizione delle possibili azioni da intraprendere, è la zonazione del territorio nei diversi ambiti, sopra definiti.

A tale fine, è necessario avviare un processo di screening e mappatura dei settori che possono essere soggetti ai fenomeni di instabilità definiti nel presente paragrafo e identificare le zone che potrebbero, potenzialmente, essere interessate dall'evoluzione, anche parossistica, di questi fenomeni. Tra questi, le valanghe di ghiaccio costituiscono un fenomeno frequente nelle aree glacializzate di alta montagna, soprattutto in una fase in cui il cambiamento climatico aumenta la frequenza degli eventi di instabilità. Essi consistono nel rapido distacco e movimento verso il basso di volumi, anche significativi, di ghiaccio, spesso innescati da fluttuazioni di temperatura, oppure da precipitazioni intense, ma talvolta anche semplicemente dal raggiungimento di condizioni limite della massa glaciale. Le conseguenze possono essere gravi, con ingenti danni, perdite di vite umane e interruzione dei servizi critici, anche perché, in considerazione del materiale coinvolto (ghiaccio), crolli anche di modeste dimensioni si trasformano in valanghe in grado di percorrere distanze elevate, tanto più in un contesto di cambiamento climatico che vede aumentare la quantità di acqua in circolo nei sistemi naturali, e dunque la mobilità dei processi d'instabilità (es. Marmolada 2022). Comprendere la dinamica delle valanghe di ghiaccio è fondamentale per migliorare la valutazione dei pericoli, la gestione del rischio e le strategie di mitigazione, in particolare nelle aree in

1. CONOSCENZA

cui le infrastrutture antropiche, quali ad esempio le centrali idroelettriche, si trovano in zone soggette a valanghe. I modelli computerizzati svolgono un ruolo fondamentale in questo processo, aiutando a prevedere parametri essenziali come le distanze di *run-out*, i settori a diverso livello di pericolosità, le energie di impatto e i tempi di propagazione. Tuttavia, modellare questi processi è complesso, in particolare se si considerano le interazioni tra i movimenti di massa e la topografia articolata che caratterizza le regioni montuose.

Una prima valutazione qualitativa di questi settori può essere effettuata considerando un approccio basato sulla simulazione delle potenziali distanze che una porzione dei ghiacciai destabilizzabili può raggiungere e l'identificazione di strutture o infrastrutture sensibili nelle aree di espansione del fenomeno di dissesto, nonché di laghi (naturali o artificiali) che possono amplificare notevolmente gli effetti delle valanghe di ghiaccio e di corsi d'acqua che possano subire sbarramento, con formazione di invasi temporanei altamente instabili. Le distanze massime di *run-out* per i fenomeni storici sono reperibili in letteratura e possono essere utilizzate come riferimento per fenomeni estremi al fine di concentrare l'analisi sulle aree glaciali più vicine ad elementi vulnerabili. Considerato l'elevato numero di corpi glaciali presenti nelle Alpi Italiane (oltre 900), è necessario sviluppare un approccio fatto di analisi a complessità crescente, che preveda un progressivo aumento delle indagini su un numero via via più ristretto di casi potenzialmente critici. In questa logica, un primo approccio può essere basato sull'utilizzo di poligoni buffer costruiti sui poligoni dei contorni dei ghiacciai del catasto ghiacciai più aggiornato tra quelli disponibili: in questo modo è possibile verificare se a distanze ritenute critiche ci siano elementi vulnerabili. Sulla base dei primi risultati raggiunti è possibile valutare un secondo livello di indagine, più preciso, basato sull'uso di modelli dinamici per una migliore definizione del flusso e delle aree di espansione dei fenomeni. In questo modo è possibile valutare quali siano i settori di interferenza tra le aree di *run-out* dei fenomeni considerati e i settori sensibili per la presenza di infrastrutture, centri abitati e attività antropiche. Per la definizione dei volumi di ghiaccio su cui basare le simulazioni di primo livello, ed i volumi di acqua per i GLOF (*Glacial Lake Outburst Flood*), possono essere utilizzati studi presenti all'interno della letteratura scientifica (per una review della letteratura disponibile sui diversi processi d'instabilità, si veda ad es. Jacquemart *et al.*, 2024).

Questo approccio, tuttavia, ha come probabile effetto quello di sovrastimare il numero di ghiacciai potenzialmente pericolosi; dopo questa prima analisi sarà quindi necessaria una successiva ulteriore discriminazione basata su approfondimenti in situ e sull'utilizzo di dati di monitoraggio di tipo conoscitivo. Anche un'analisi morfometrica dei corpi glaciali selezionati può essere impiegata come elemento di approfondimento per una miglior definizione dei volumi potenzialmente instabili, mentre un'analisi storica degli eventi pregressi potrà aiutare, oltre che a definire i valori di input per i modelli numerici, a individuare ghiacciai/tipologie glaciali più frequentemente soggette ad instabilità. In questa fase dovrebbero essere considerati i database basati su modelli globali dello spessore dei ghiacciai al fine di fornire una stima iniziale dei possibili volumi di destabilizzazione dei vari casi analizzati. Le analisi geomorfologiche

effettuate sui singoli corpi glaciali possono rivelare caratteristiche superficiali insolite che potrebbero essere indicative di processi di destabilizzazione in atto, come crepacci appena formati o depositi di crolli di ghiaccio. Questi elementi, identificabili su immagini telerilevate, potrebbero essere indicatori da prendere in considerazione per l'avvio di ulteriori indagini sito-specifiche e, nel caso se ne riscontrasse la necessità, di attività di monitoraggio.

Per quanto riguarda i GLOF, anche la fase di screening è molto complessa; se si prende in considerazione anche lo scenario che prevede la possibile formazione di un accumulo endoglaciale, teoricamente tutti i ghiacciai dovrebbero essere considerati come potenziali generatori di GLOF, anche se secondo Haeberli (1983) la formazione di sacche d'acqua tende a ripetersi negli stessi ghiacciai, probabilmente in virtù della loro conformazione e delle caratteristiche del letto glaciale: in base al suo studio, solo il 2-3% dei ghiacciai svizzeri ha dato luogo a questo tipo di rotte glaciali, che tuttavia rappresentano il 30-40% degli eventi documentati. D'altra parte, l'identificazione di sacche d'acqua endoglaciali in grado di produrre rotte glaciali è difficilmente realizzabile, per cui è possibile procedere alla sola identificazione dei laghi glaciali con superficie libera che può essere attuata mediante tecniche di telerilevamento ed algoritmi di classificazione semiautomatici. Anche in questo caso, un primo approccio può essere basato sull'utilizzo di poligoni buffer costruiti sui poligoni dei contorni dei laghi glaciali: in questo modo è possibile verificare se a distanze ritenute critiche ci siano elementi vulnerabili. Sulla base di questo screening preliminare, è possibile valutare un secondo livello di indagine, più accurato, basato sull'uso di modelli dinamici per una migliore definizione del flusso e delle aree di espansione di eventuali fenomeni di rotta glaciale. In questo modo è possibile individuare i settori di interferenza tra le aree di *run-out* dei fenomeni considerati e i settori sensibili per la presenza di infrastrutture, centri abitati e attività antropiche.

Come visto per le valanghe di ghiaccio, questo approccio tenderà a sovrastimare il numero di laghi potenzialmente pericolosi; dopo questa prima analisi sarà quindi necessaria una successiva ulteriore discriminazione basata su approfondimenti in situ e sull'utilizzo di dati di monitoraggio di tipo conoscitivo. In particolare, l'evoluzione dei laghi glaciali (ampliamento/riduzione, comparsa/scomparsa) potrà essere seguita utilizzando le medesime tecniche di *remote sensing* impiegate per la loro individuazione, eventualmente coadiuvate da rilevamenti in situ, utili in particolare a identificare altezza del franco idraulico, la natura dello sbarramento (in ghiaccio, morena o roccia) e la sua geometria; nel caso di sbarramento morenico andrà considerata anche la composizione (granulometria dei sedimenti, copertura vegetale, presenza di lenti di ghiaccio sepolto). In questa fase, sarà altresì fondamentale valutare la stabilità dei versanti a monte e intorno ai laghi, poiché una rotta glaciale può essere innescata, oltre che dal cedimento dello sbarramento, dall'onda di piena generata da un movimento di massa (ad es. frana, valanga di ghiaccio) che raggiunge l'invaso. Un'analisi storica degli eventi pregressi potrà aiutare, oltre che a definire i valori di input per i modelli numerici, a individuare i ghiacciai più frequentemente soggetti a rotte glaciali. Nel caso in cui venga individuata una possibile condizione critica, occorrerà procedere con

approfondimenti sito-specifici, anche mediante indagini sul campo (ad es. indagini suppletive utilizzando campagne di rilevamento mediante GPR per la definizione della superficie della base del ghiacciaio e della sua topografia) e installazione di sistemi di monitoraggio.

AGGIORNAMENTO DELLE CONOSCENZE DI BASE (GHIACCIAI, LAGHI, ELEMENTI ESPOSTI) E DEFINIZIONE DELLA FREQUENZA DI AGGIORNAMENTO

La disponibilità di una base dati sufficientemente dettagliata e aggiornata è un elemento essenziale per poter procedere all'identificazione degli ambiti delle aree glacializzate e dei settori potenzialmente interessabili da fenomeni di instabilità. Nello specifico, i principali dati necessari sono i seguenti:

Approfondimento di primo livello

- catasto ghiacciai;
- catasto laghi glaciali;
- modelli digitali del terreno;
- reticolo idrografico;
- localizzazione elementi antropici;
- strumenti: GIS.

Approfondimento di secondo livello (in aggiunta ai dati precedenti)

- ortofoto/immagini satellitari multi-temporali;
- catasto eventi pregressi;
- carte di suscettibilità all'instabilità di versante;
- dati climatici;
- strumenti: modelli numerici per la simulazione di *run-out*.

Approfondimento di terzo livello (in aggiunta ai dati precedenti)

- rilievi e monitoraggio in situ ai fini dell'implementazione della conoscenza;
- monitoraggio in situ ai fini di allertamento.

La tabella 1a (Allegato 1 al Capitolo 1) riporta una raccolta dei dati disponibili per tipologia, con definizione dell'area considerata, la scala, la risoluzione e l'anno di aggiornamento. La tabella 1b riporta i valori minimi di risoluzione spazio-temporale dei dati ritenuti necessari.

Si riporta di seguito una breve descrizione per alcuni dei sopra citati elementi, necessari per gli approfondimenti.

Catasto ghiacciai

La posizione e l'estensione dei ghiacciai nella regione di interesse può essere basata sui dati disponibili nei vari catasti; a scala globale, può essere utilizzato il *Randolph Glacier Inventory*, mentre a scala nazionale esiste il catasto redatto dal Comitato

Glaciologico Italiano nell'ambito del progetto CNR *Nextdata* (<https://www.glaciologia.it/i-ghiacciai-italiani/>, Salvatore *et al.*, 2015), e quello redatto dall'Università di Milano (Smiraglia *et al.*, 2015). Nel caso del *Randolph Glacier Inventory*, sono compresi anche i principali parametri morfometrici dei corpi glaciali. L'anno di aggiornamento dei contorni dei ghiacciai può essere variabile (ad esempio, sul Monte Bianco i contorni sono datati 2003) ma vengono pianificati e pubblicati anche aggiornamenti dell'inventario. Anche i catasti italiani sopra menzionati includono i principali parametri morfometrici dei corpi glaciali e sono aggiornati rispettivamente al 2005-2006 (Catasto del Comitato Glaciologico Italiano) e al periodo 2005-2011 (a seconda della Regione) per il catasto dell'Università di Milano.

L'aggiornamento del catasto ghiacciai ha delle implicazioni molto importanti sulle tipologie di analisi considerate in questo documento. Banalmente, la fase di screening iniziale si basa sulla geometria del ghiacciaio ed in particolare sulla posizione della fronte. Data l'elevata dinamicità di questi corpi legata agli effetti dei cambiamenti climatici, un dato aggiornato recentemente può portare a delle valutazioni molto diverse rispetto a quelle basate su dati più vecchi.

Catasto laghi glaciali

Il catasto dei laghi glaciali è un dato essenziale per lo studio dei GLOF. Purtroppo, al momento in Italia questa informazione è solo parzialmente disponibile e non sempre aggiornata. Data la dinamicità di questi processi, una campagna una tantum si dimostra scarsamente efficace, anche se rappresenta un dato di partenza indispensabile. Esistono possibilità di intraprendere attività sperimentali che forniscono informazioni sull'evoluzione dei laghi glaciali tramite dati acquisiti da satelliti anche se ad oggi non è stata ancora sviluppata e validata una metodologia univoca di detezione automatizzata delle superfici dei laghi glaciali; pertanto, i dati ottenuti dal processamento dei dati satellitari possono fornire informazioni utili, ma necessitano comunque di una validazione manuale da parte di un tecnico esperto.

Modelli digitali del terreno

Il modello digitale del terreno è un altro dato fondamentale. Tutte le Regioni hanno dei supporti topografici a media ed elevata risoluzione con livelli di aggiornamento eterogeneo. Per maggiori dettagli si rimanda alla tabella 1a (Allegato 1 al Capitolo 1). Anche in questo caso, l'aggiornamento del dato è fondamentale per poter supportare correttamente le fasi di modellazione del *run-out*.

Reticolo idrografico

La disponibilità di dati aggiornati relativi al reticolo idrografico risulta essenziale per un'adeguata mappatura delle direzioni di deflusso delle acque ma anche dei fenomeni di instabilità dei versanti e dei corpi glaciali e delle aree di potenziale accumulo dei materiali mobilizzati in relazione ai processi innescati dalle acque di fusione. L'aggiornamento dei dati sul reticolo idrografico assume particolare rilevanza anche in relazione all'impatto osservato dei cambiamenti climatici sull'intensità dei processi di fusione dei ghiacciai, dei processi di degradazione del permafrost e della connessa instabilità dei versanti oltreché degli eventi meteorici i cui effetti possono modificare

in maniera rilevante l'assetto del reticolo idrografico. Le Regioni dispongono di dati vettoriali del reticolo idrografico, anche basati sulla morfologia e la topografia dei DEM a disposizione, con livelli di aggiornamento eterogeneo. Per maggiori dettagli si rimanda alla tabella 1a (Allegato 1 al Capitolo 1).

Localizzazione elementi antropici

La localizzazione di strutture e infrastrutture è un altro elemento fondamentale per la corretta definizione degli ambiti. Solitamente recuperabile dalla versione vettoriale della cartografia tecnica regionale, la sua disponibilità è fondamentale per poter avviare una procedura semi-automatica di buffering, come screening di primo livello. In alternativa, è possibile utilizzare supporti digitali open, con *Open Street Maps* o similari o effettuare una digitalizzazione specifica utilizzando immagini satellitari ad alta risoluzione. Per quanto riguarda gli elementi da considerare, certamente dovranno essere selezionate tutte le strutture antropiche come edifici e centri abitati, le vie di comunicazione e altri elementi sensibili quali elettrodotti e gli impianti di risalita (funivie, seggiovie). Grande attenzione dovrà essere posta alla presenza di invasori idroelettrici e, più in generale, di laghi che potrebbero attivare un effetto domino in grado di amplificare in maniera molto rilevante gli effetti nel fondovalle di crolli di ghiaccio (Margreth 1999). In seconda battuta, vanno considerati anche i tracciati dei principali sentieri e vie di accesso a luoghi ad alta frequentazione turistica. Le aree ad alta frequentazione turistica come, per esempio, i settori prospicienti alla porzione sommitale di importanti impianti funiviari o le vie di accesso a rifugi dovranno essere oggetto di una valutazione specifica.

Dati climatici

I dati meteorologici dell'area di analisi sono un elemento di supporto importante, soprattutto se finalizzato a determinare la temperatura media annuale a diverse altitudini. Questo dato può essere impiegato per poter effettuare una prima discriminazione tra ghiacciai freddi e temperati, dato di notevole rilevanza allo scopo della valutazione della pericolosità.

Tabella 1b. Indicazione dei dati e delle loro caratteristiche (frequenze di aggiornamento e risoluzione)

DATO	RIS. SPAZ. MINIMA	FREQ. AGG. MINIMA	RIS. SPAZ. MINIMA	FREQ. AGG. OTTIMALE
Approfondimento I livello				
Limiti ghiacciai	10 m	5 a	10 m	2-3 a
Limiti laghi glaciali	10 m	2-3 a	10 m	1 a
DTM	10 m	10 a	10 m	5 a
Elementi antropici	10 m	5 a	10 m	2-3 a
Approfondimento II livello				
Limiti ghiacciai	10 m	5 a	1 m	2 a
Limiti laghi glaciali	5 m	1 a	1 m	1 a
DTM	10 m	10 a	5 m	5 a
Elementi antropici	10 m	5 a	10 m	2-3 a
Ortofoto/Immagine satellitari	5 m	5 a	1 m	2-3 a
Catasto eventi pregressi	50 m	5 a	10 m	2 a
Carte suscettibilità all'instabilità	50 m	10 a	10 m	5 a
Dati climatici	5 km	1 g	1 km	1 g
Approfondimento III livello				
Limiti ghiacciai	5 m	2-3 a	1 m	1 a
Spessore ghiacciai	1 m	2 a	0,5 m	1 a
Limiti laghi glaciali	2 m	1 a	1 m	1 a
Volume laghi glaciali	103 m3	1 a	102 m3	1 a
DTM	10 m	5 a	1 m	1 a
Elementi antropici	10 m	5 a	10 m	2-3 a
Ortofoto/Immagine satellitari	2-3 m	2-3 a	0,1 m	1 a
Dati climatici	2 km	1 g	1 km	1 h

DEFINIZIONE DELLE MODALITÀ DI SCREENING DELLE AREE GLACIALIZZATE E VALUTAZIONE DI POSSIBILI SCENARI EVOLUTIVI

L'incremento della conoscenza nell'ambiente glaciale passa, innanzitutto, dalla raccolta, sistematizzazione e studio dei dati relativi ai dissesti avvenuti nel passato. Tuttavia, alla luce delle profonde e rapide mutazioni che questo ambiente sta subendo a seguito degli effetti dei cambiamenti climatici, l'analisi dei dati storici non è sufficiente da sola per individuare compiutamente le situazioni di rischio attualmente esistenti, che si possono differenziare significativamente da quelle del passato. Per arrivare a tale individuazione occorre, infatti, ricorrere anche all'utilizzo di sistemi informativi territoriali che permettono approcci a complessità crescente, in grado di individuare i potenziali scenari di rischio e di effettuare modellazioni sito-specifiche.

Analisi dati storici

Lo studio dei dati pregressi riveste un ruolo primario. Anche se l'attuale assetto dei ghiacciai e dei laghi glaciali è talvolta molto diverso da quello passato, l'analisi degli eventi d'instabilità pregressi può fornire indicazioni preziose per: a) identificare i settori particolarmente soggetti all'instabilità; b) individuare tipologia e caratteristiche (ad es. volumi, mobilità) dei processi d'instabilità di origine glaciale nell'area oggetto d'indagine; c) fornire parametri per la calibrazione dei modelli di innesco/*run-out*; d) definire scenari di instabilità glaciale nel contesto dei cambiamenti climatici in atto e attesi applicando un approccio di sostituzione spazio/tempo.

Se molto evidenti, le situazioni di rischio dovrebbero essere facilmente individuabili e ciò dovrebbe attivare immediatamente ulteriori indagini sito-specifiche che possono preludere ad un'attività di monitoraggio.

Informazioni sugli eventi d'instabilità glaciale del passato possono essere ricavate da: a) geoportali tematici (ad es. <http://www.nimbus.it/glaciorisk/gridabasemainmenu.asp>, <https://catastodissesti.partout.it/>, <https://geoclimalp.irpi.cnr.it/catasto-frane-alpi/>); b) pubblicazioni scientifiche (ad es. Chiarle *et al.*, 2022; Giordan *et al.*, 2020); c) report delle campagne glaciologiche annuali del Comitato Glaciologico Italiano (<https://www.glaciologia.it/i-ghiacciai-italiani/le-campagne-glaciologiche/>); d) analisi multitemporale di foto aeree/immagini satellitari e webcam; e) media e social media.

Utilizzo di sistemi informativi territoriali

L'identificazione dei vari ambiti viene realizzato anche con l'impiego di sistemi informativi territoriali e di simulazioni a complessità crescente. Come sopra evidenziato, il dato storico ha certamente una valenza significativa, ma le condizioni in cui si trovano attualmente gli apparati glaciali non hanno eguali nel passato di cui si dispongono di record storici. Da qui la necessità di valutare quali possano essere gli scenari evolutivi e i loro eventuali impatti al fine di effettuare una selezione dei casi più critici su cui avviare un progressivo approfondimento d'indagine. L'approccio si basa su due tipologie di simulazioni a complessità crescente: a) il primo approccio prevede l'impiego di un semplice buffer a distanza progressiva che è finalizzato a identificare possibili elementi antropici, laghi e corsi d'acqua all'interno dell'area potenzialmente raggiungibile dai diversi processi di instabilità considerati; b) il secondo approccio prevede simulazioni più complesse basate su modellazioni numeriche.

Buffer

Le modalità di esecuzione del buffer possono essere semplificate oppure più elaborate, nel caso in cui si tenga in considerazione l'effetto della topografia. Nel primo caso verrà applicato un buffer semplice ai poligoni dei ghiacciai e dei laghi glaciali e si provvederà a valutare le eventuali intersezioni tra gli elementi antropici e i poligoni creati dall'espansione del poligono del ghiacciaio/lago sulla base di una distanza di ampliamento prestabilita. Questo approccio è molto semplice ma può avere delle limitazioni soprattutto nel caso in cui ci si trovi a dover valutare apparati glaciali/laghi localizzati in valli laterali la cui proiezione semplice del buffer potrebbe essere orientata in maniera non efficace rispetto alla topografia reale. Nel secondo caso in cui si possa considerare l'effetto della topografia, il buffer dovrà essere orientato a partire dall'area della fronte glaciale/lato a valle del lago lungo la linea di massima pendenza per una distanza prestabilita. Questa seconda opzione di fatto risulta essere una soluzione intermedia tra il buffer e la modellazione numerica vera e propria.

La definizione delle distanze dei buffer è un tema complesso che rende difficile procedere tramite semplificazioni estreme; in tabella 2 vengono riportati dei dati indicativi per le tipologie di processi considerati. Si fa tuttavia presente che esistono delle condizioni che possono portare ad un'amplificazione del fenomeno che sono difficilmente generalizzabili; la presenza di neve al suolo che può portare alla creazione di valanghe di grandi dimensioni è certamente uno degli esempi di amplificazione più emblematici. La presenza di laghi o invasi idroelettrici è un altro elemento che va considerato con estrema attenzione, così come la possibile interazione con corsi d'acqua. Per quanto riguarda le rotte glaciali, la disponibilità di materiale detritico prontamente mobilizzabile a valle del lago e adeguate condizioni di pendenza dell'alveo possono determinare la transizione di una rotta glaciale a colata detritica, con incremento significativo della portata e della forza d'impatto della piena.

Tabella 2. Distanze massime (L max) e medie (L media), e mobilità massima (H/L min) e media (H/L media) documentate per valanghe di ghiaccio nelle Alpi svizzere da Alean (1985) e nelle Alpi italiane da Chiarle et al. (2022)

Processo	L max (m)	L media (m)	L max (m)	L media (m)	H/L min	H/L media
	(CH)	(CH)	(ITA)	(ITA)	(CH)	(ITA)
Valanga di ghiaccio	4160	2010	3170	1335	0,30	0,33

Processo	L max (km)	L media (km)	Q max (mc/s)	Q max (mc/s)
	(ITA)	(ITA)	(CH)	(ITA)
Rotta glaciale	20-30	2-3	100-200	15-20

Modelli numerici

L'impiego di modellazioni numeriche è ovviamente il punto di arrivo nel caso in cui sia richiesta un'analisi approfondita della possibile area di invasione dei processi di instabilità. Esistono varie tipologie di modelli, in parte commerciali ed in parte gratuiti. Tutti questi modelli hanno in comune il fatto che i parametri di ingresso relativi alle proprietà del materiale ed alle condizioni al contorno devono essere definiti e calibrati affinché i risultati della simulazione rappresentino il caso concreto nel modo più preciso possibile. Se questi parametri non possono essere determinati con affidabilità, l'utilità di tali modelli è limitata. Una singola simulazione con questi modelli fornisce risultati deterministici, mentre combinando diverse simulazioni con parametri variabili, è possibile generare valutazioni di natura probabilistica, sebbene l'intervallo di variazione dei parametri di ingresso debba essere definito con estrema cura da personale esperto.

Le simulazioni numeriche richiedono un'attenta analisi sito-specifica e una dettagliata conoscenza degli eventi occorsi nell'area indagata (catasto eventi pregressi, vedi paragrafo 1.1.3), in modo da riuscire a calibrare il più possibile i risultati del modello. Attraverso questo approccio, è possibile stimare, per diversi volumi di distacco di ghiaccio e condizioni di innevamento, la distanza di arresto e le pressioni raggiunte dalla massa in movimento nei diversi settori coinvolti. Solitamente, il modello parte da simulazione di volumi di distacco contenuti, che trovano riscontro negli eventi effettivamente avvenuti, e viene esteso progressivamente a volumi più ampi che rappresentano l'obiettivo finale della modellazione. Per quanto riguarda le valanghe di ghiaccio, la maggiore incertezza nel calcolo della dinamica valanghiva proviene dalla stima delle conseguenze derivanti dall'impatto di una certa massa di ghiaccio sul manto nevoso. Riguardo tale argomento, non esistono specifiche indagini. Una valanga di ghiaccio può asportare solo una parte del manto nevoso se questo è molto stabile e un ulteriore rilascio di una valanga secondaria risulta improbabile. Tuttavia, se la stabilità del manto nevoso è bassa, la caduta di una valanga di ghiaccio può provocare una valanga secondaria di neve anche di dimensioni estremamente rilevanti.

Per quanto riguarda i GLOF, l'approccio è analogo anche se con modelli e tipologie di parametri di ingresso differenti. I parametri iniziali richiesti sono ovviamente il volume dell'accumulo di acqua che genera l'onda di piena e le caratteristiche dell'area di scorrimento di quest'onda di piena che solitamente ha un'elevata capacità erosiva e che, quindi, produce un effetto di feedback positivo che amplifica di molto il volume finale mobilizzato; in funzione della granulometria della miscela di acqua e detrito potranno essere definite distanze di *run-out* differenti; miscele caratterizzate da granulometrie fini possono raggiungere distanze ragguardevoli di diversi chilometri o decine di chilometri (Rinzin *et al.*, 2025). Importante risulta anche la definizione del meccanismo all'origine di una potenziale rotta glaciale; a seconda che la rotta si inneschi per sifonamento, sovraincisione o sormonto dello sbarramento, la piena conseguente alla rotta glaciale può caratterizzarsi per un differente idrogramma di piena, legato in particolare alla velocità di formazione dell'onda di piena stessa.

La disponibilità di strumenti di modellazione numerica per la simulazione di scenari di movimenti in massa catastrofici è aumentata significativamente negli ultimi anni e fornisce una base per una mappatura fisicamente basata dell'estensione e dell'intensità degli eventi¹.

¹ Per una panoramica dei modelli comunemente utilizzati si veda l'Appendice 2 delle Linee Guida: <https://www.protezione civile.gov.it/publicazione/valutazione-della-pericolosita-associata-ghiacciai-e-permafrost-aree-montane/>.

1.1.3 STRATEGIA DI GESTIONE DEI DIVERSI AMBITI IDENTIFICATI PER L'AMBIENTE GLACIALE

Come già accennato, sono state mantenute le definizioni presenti nella Direttiva recante “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” del 12 agosto 2019 per differenziare gli ambiti delle strategie di gestione per l’ambiente glaciale.

AREE ANTROPIZZATE

Sulla base della metodologia messa a punto nei capitoli precedenti, è possibile giungere a una identificazione degli ambiti in cui esistono elementi antropici di primaria importanza che possono essere coinvolti nel caso in cui si verifichino fenomeni di instabilità degli apparati o dei laghi glaciali considerati.

In questo capitolo verranno elencati, seguendo un percorso incrementale, una sequenza di attività che hanno come obiettivo quello di arrivare a una maggior conoscenza della dinamica del ghiacciaio e dei laghi glaciali e dei relativi processi di instabilità, fondamentali per poi poter stabilire delle corrette e proporzionate strategie di gestione delle criticità. In questa fase, diventa fondamentale non solo avere contezza dell’assetto del ghiacciaio e del lago glaciale, ma anche della sua evoluzione nel tempo. A mano a mano che si verifica l’insorgere di una condizione critica elevata, è necessario procedere a un incremento del grado di conoscenza della dinamica del ghiacciaio (o del lago) e dei suoi processi di instabilità attraverso una combinazione di attività di approfondimento di indagine sito-specifici e sistemi di monitoraggio.

Nei capitoli successivi viene proposta una sequenza di attività che arriva sino alla formulazione di strategie di gestione basate sull’utilizzo di procedure di *early warning*. La valutazione incrementale del livello di criticità è alla base della definizione del livello di complessità del sistema di gestione richiesto. Sulla base di questa valutazione, in ogni sito sarà possibile definire quale sia il livello di gestione adeguato al livello di criticità riscontrato. Data l’alta dinamicità dei processi presi in considerazione, questa valutazione deve contemplare un processo di revisione ed aggiornamento periodico.

Implementazione del livello di conoscenza

L’inventario dei ghiacciai, come detto, è l’elemento essenziale su cui basare ogni valutazione ed ogni suo aggiornamento. Nel caso di ambiti con presenza antropica, la sola estensione del ghiacciaio non è sufficiente ma sarà necessario avere un quadro più esaustivo delle sue caratteristiche: spessore del ghiaccio (e quindi topografia del *bedrock*), distribuzione dei crepacci, temperatura del ghiaccio, velocità di scorrimento superficiale del ghiacciaio e portate dei torrenti proglaciali (nel caso di ghiacciai temperati) sono elementi indispensabili per poter disporre di indicazioni più precise sull’assetto dell’apparato glaciale analizzato. Nel caso in cui si debba approfondire

le conoscenze di laghi glaciali, la dimensione e il volume del lago, la geometria e le caratteristiche del materiale che costituisce lo sbarramento, l'andamento del processo di interazione tra ghiaccio e acqua del lago sono aspetti altrettanto fondamentali. La frequenza di aggiornamento di questi dati dipende dal grado di criticità del sito e dalla repentinità del potenziale sviluppo dei processi di instabilità. Alcuni dati potranno essere aggiornati con frequenza annuale, per poter comunque disporre di un quadro chiaro all'inizio della stagione estiva su cui ritarare la valutazione del livello di criticità; altri dati, soprattutto per fenomeni ad elevata dinamicità richiedono delle frequenze di aggiornamento progressivamente più elevate che necessitano dell'utilizzo di sistemi di monitoraggio.

Per quanto riguarda la definizione dell'areale del ghiacciaio, le moderne tecnologie possono essere impiegate per effettuare degli aggiornamenti a scala regionale. È ampiamente dimostrato che set di dati liberamente disponibili come le immagini *Sentinel-2* possono essere utilizzati con successo per la mappatura dei contorni dei ghiacciai. Con una risoluzione al suolo di 10 m, tali immagini possono essere inefficaci quando i cambiamenti nei contorni dei ghiacciai sono di una magnitudo simile alla risoluzione al suolo. Sono inoltre di difficile impiego nel caso di ghiacciai coperti di detrito, come sempre più stanno diventando i ghiacciai in generale, e delle Alpi Italiane in particolare.

Per quanto riguarda la possibile formazione di laghi glaciali, la tempestività della detezione rappresenta un elemento fondamentale per una corretta valutazione del livello di criticità e per evitare, ove possibile, che il fenomeno venga riconosciuto quando ormai le sue dimensioni ne rendono estremamente difficoltosa la gestione. Studi scientifici recenti hanno evidenziato la possibilità di sviluppare sistemi semi-automatici basati sull'impiego di immagini satellitari finalizzati all'identificazione di corpi idrici nelle regioni montuose. Anche in questo caso, la disponibilità dei set di dati *Sentinel-2* rende teoricamente possibile la messa a punto di procedure di identificazione e classificazione semi-automatica dei laghi glaciali di nuova formazione. Una volta perimetrati, una stima preliminare del volume dei laghi può essere ottenuta da equazioni empiriche che collegano le profondità medie dei laghi con la loro area (ad es. Fujita *et al.*, 2013). Nel caso dei laghi glaciali, cruciale risulta anche la valutazione della stabilità dei versanti che circondano l'invaso lacustre: nel caso di versanti instabili, è importante modellare eventuali movimenti di massa attesi, per valutare la possibilità che vadano ad impattare nel lago considerato, innescando un processo di rotta glaciale.

Sulla base di queste indicazioni, si suggerisce la creazione di un piano di monitoraggio regionale basato su un monitoraggio a bassa frequenza che si ponga come obiettivo quello di ottenere un quadro conoscitivo aggiornato e identificare i casi in cui si renda necessaria l'implementazione di un monitoraggio ad alta frequenza specifico per i siti a più elevata criticità (Schindelegger, 2019). La prima azione su larga scala può essere l'istituzione di un regolare aggiornamento dell'inventario dei ghiacciai e dei laghi glaciali regionali, con l'obiettivo di avere un aggiornamento più frequente rispetto agli inventari nazionali e globali. Per quanto riguarda i ghiacciai, un aggiornamento ogni 5 anni può essere sufficiente a rappresentare l'evoluzione a scala regionale della copertura glaciale. Al contrario, per i laghi glaciali, vista la rapidità con cui possono formarsi e scomparire, sarebbe auspicabile un aggiornamento annuale. Tali inventari

sono fondamentali per supportare la gestione di un piano di monitoraggio del rischio glaciale regionale. La seconda azione su larga scala che si suggerisce possa essere implementata nel piano è la programmazione di uno screening annuale di tutti i ghiacciai e laghi glaciali nella regione, mediante riprese aeree. Questa attività si rivela spesso molto utile per poter identificare l'insorgenza di macro-variazioni della parte frontale dei ghiacciai o delle dimensioni, comparsa/scomparsa di laghi.

Utilizzo di sistemi di monitoraggio di “secondo livello”/a media ed elevata frequenza di acquisizione, a fini conoscitivi

Per i ghiacciai a maggiore criticità, si suggerisce la messa a punto di un piano di monitoraggio che ne controlli l'evoluzione nel tempo. Come indicato in precedenza, le basi del piano di monitoraggio prevedono un approccio conoscitivo per un numero elevato di ghiacciai a cui segue un approccio sito-specifico con tecniche di monitoraggio incrementali per i casi a maggior criticità.

Se vengono rilevate dinamiche glaciali anomale, una prima valutazione della cinematica può essere effettuata mediante l'uso di mappe di spostamento mediate globalmente ricavate da dati satellitari (Millan *et al.*, 2022) e con un successivo controllo delle effettive velocità di movimento superficiale del ghiacciaio. Per quanto riguarda il dato satellitare, se i ghiacciai sono sufficientemente grandi possono essere utilizzate mappe di spostamento globali automatizzate, altrimenti dovrebbe essere effettuata un'elaborazione specifica del sito. Quando si ha a che fare con cadute di seracchi o valanghe di ghiaccio, esistono diverse possibilità di monitoraggio indicate in Dematteis *et al.* (2021). Il monitoraggio di instabilità in ambito glaciale è un tema piuttosto recente, se paragonato a quello di altre tipologie di dissesto, tra cui i fenomeni franosi. Esiste quindi la possibilità di utilizzare tecniche messe a punto nel campo del monitoraggio delle frane per lo studio dell'evoluzione dei ghiacciai. La trasposizione di tecniche messe a punto per le frane è tuttavia molto complessa e va gestita con molta attenzione. È possibile fare riferimento alla letteratura specifica relativa al monitoraggio delle frane per soluzioni alternative, come inclinometri o fessurimetri, che potrebbero adattarsi a determinate condizioni specifiche. Le principali tecniche utilizzate per il monitoraggio delle deformazioni superficiali sono: laser scanner terrestre, fotogrammetria terrestre, stazione totale robotizzata, GNSS e interferometria satellitare.

L'analisi delle velocità superficiali rappresenta certamente uno degli aspetti più significativi, anche nel caso in cui sia necessario attivare dei sistemi di gestione del rischio basati sull'impiego di sistemi di monitoraggio ed *early warning*; a questa tipologia di monitoraggio possono essere abbinati, a seconda dei casi, il monitoraggio di altri due parametri molto importanti, le portate idriche in uscita dal ghiacciaio e il regime termico. Lo studio dei regimi idrologici del sistema di drenaggio subglaciale e la loro influenza sul movimento e sui processi di aumento della instabilità di alcuni settori del ghiacciaio sono un elemento molto importante, soprattutto per i ghiacciai temperati. Si tratta di un tema molto complesso, che appartiene ancora in gran parte al mondo della ricerca, specialmente per quanto concerne lo studio delle interazioni ghiaccio/acqua alla base del ghiacciaio. Studi atti a misurare le deformazioni e lo scorrimento basale lungo l'intero ghiacciaio sono ancora decisamente pionieristici. La semplice misurazione delle portate che scaturiscono dalla fronte glaciale è comunque un dato

1. CONOSCENZA

molto importante che, seppur con difficoltà, può talvolta essere misurato. Un ulteriore parametro utile è la torbidità dell'acqua.

Lo studio del regime termico dei ghiacciai è invece un aspetto fondamentale per la comprensione dei ghiacciai freddi e per il riconoscimento della transizione da regime freddo a temperato, che rappresenta un palese effetto dei cambiamenti climatici. Un'indicazione preliminare delle condizioni termiche attese per un ghiacciaio può essere derivata dalla climatologia locale ed in particolare dalla temperatura media annua dell'aria. Per ottenere dei dati effettivi è, invece, necessaria l'installazione di catene di termistori calati in fori verticali realizzati all'interno del ghiacciaio.

Per quanto riguarda i GLOF, i sistemi di monitoraggio impiegabili necessitano di una complessa valutazione sito-specifica per comprendere quali siano gli aspetti più importanti da considerare; certamente il livello del lago (e di conseguenza il volume) è un aspetto dirimente e può essere monitorato attraverso misuratori di livello, in grado di segnalare tempestivamente un abbassamento repentino del livello del lago. Nel caso di laghi epiglaciali è importante la stima del rapporto tra profondità del lago e spessore del ghiacciaio, poiché raggiunte condizioni critiche, il lago può causare un effetto di "galleggiamento" del ghiaccio, innescando una rotta glaciale. Nel caso di laghi a sbarramento glaciale o morenico è fondamentale il monitoraggio (mediante strumentazione apposita o webcam) dei deflussi idrici a valle del lago: un aumento di portata e/o torbidità delle acque del corso d'acqua emissario, oppure la comparsa di deflussi idrici alla base di uno sbarramento morenico possono preludere a un cedimento dello sbarramento e alla formazione di una rotta glaciale. Ai monitoraggi sopra indicati va associato uno studio della stabilità delle sponde, che possono essere di ghiaccio, roccia o miste. Nel caso di versanti instabili nell'intorno del lago, in grado di interferire con il lago stesso, potrà rendersi altresì necessario il monitoraggio dei versanti stessi.

Nel caso di laghi epiglaciali o comunque in contatto con il ghiacciaio, potrà essere utile un tracciamento delle acque di deflusso del lago nel corpo glaciale, per poter prevedere il punto di fuoriuscita delle acque del lago in caso di rotta glaciale.

Ugualmente, una modellazione degli apporti idrici attesi per fusione nivale e/o precipitazioni liquide può rappresentare uno strumento utile a stimare incrementi repentini del volume dei laghi, che talora possono scatenare il loro cedimento.

Nel campo del monitoraggio, possono essere individuati diversi approcci strategici legati alla frequenza di acquisizione del dato di monitoraggio; qui di seguito si riassumono le categorie principali:

Multi-temporale: questa tipologia di monitoraggio prevede una bassa frequenza di acquisizione dei dati; i bilanci di massa e le attività che hanno una cadenza di aggiornamento annuale o semestrale possono essere considerate parte di questa tipologia. Questi dati sono certamente importanti per conoscere le tendenze nel lungo periodo, ma non supportano un'analisi della dinamica del ghiacciaio (o dei laghi glaciali) e non sono sufficienti a conoscerne l'evoluzione a breve termine.

Giornaliero: il passaggio ad una frequenza di acquisizione giornaliera segna un cambio radicale nella capacità di comprendere la dinamica del ghiacciaio (o del lago glaciale) e le sue tendenze evolutive. Questo approccio è fondamentale per poter disporre di

un supporto conoscitivo della cinematica del ghiacciaio monitorato e per cominciare a comprenderne i comportamenti, l'eventuale presenza di domini cinematici e a discriminare i periodi in cui vi sono delle accelerazioni da quelli in cui le velocità di movimento superficiale sono stabili o in diminuzione. Questa tipologia di monitoraggio può essere svolta utilizzando diverse tipologie di strumentazione, anche a basso costo. Per i particolari si rimanda alla guida al monitoraggio dei fenomeni di stabilità in ambito glaciale edita dal CNR-IRPI.

Monitoraggio ad alta frequenza di acquisizione: nel caso in cui le accelerazioni del ghiacciaio siano ritenute fortemente critiche e sia necessario supportare una procedura di gestione del rischio, è essenziale implementare ulteriormente la frequenza di acquisizione dei sistemi di monitoraggio impiegati, utilizzando strumenti in grado di acquisire i dati con cadenza sub-oraria. Questa tipologia di sistemi di monitoraggio può eventualmente essere di supporto per procedure di *early warning*. Questo stesso approccio si applica allo studio dei laghi glaciali, nel caso si ravvisino condizioni di criticità elevate, in particolare con un monitoraggio costante del livello idrometrico del lago e della portata/torbidità delle acque del corso d'acqua emissario.

Definizione di scenari evolutivi con impiego di modellazioni numeriche

Nei casi più critici, la disponibilità di una serie di simulazioni numeriche che possano dare contezza dei vari scenari evolutivi e degli impatti che tali eventi possano avere soprattutto nelle aree di fondovalle diventa un elemento essenziale per poter gestire correttamente il livello di rischio. Tali simulazioni sono un elemento essenziale per la messa in opera di un piano di sicurezza. L'implementazione di tali simulazioni e la loro calibrazione non è un'operazione semplice; qui di seguito vengono elencati i principali parametri solitamente considerati in questo frangente:

A. Volume delle valanghe di ghiaccio

Il possibile volume delle valanghe di ghiaccio in un certo periodo può essere valutato implementando le osservazioni (osservazione visiva delle crepe e dei crepacci, foto, misure di spostamento). Solitamente, le simulazioni vengono effettuate per diverse classi volumetriche crescenti; la dimensione dei volumi è funzione della tipologia del ghiacciaio e delle sue caratteristiche geometriche e non può essere indicata a priori.

B. Grado di pericolo valanghe locale

Il grado del pericolo da valanga locale dipende da diversi fattori, quali:

- La stabilità del manto nevoso, determinata dalle forze agenti su ogni strato di neve.
- La probabilità di distacco, che dipende dalla stabilità del manto nevoso e può essere incrementata dalle attività umane (sciatori, esplosioni, eccetera) o dall'impatto di valanghe di ghiaccio. La probabilità che una valanga si inneschi (e quindi il pericolo valanghe) è minore se la stabilità del manto nevoso è alta e viceversa.
- La frequenza e l'estensione areale dei pendii pericolosi.
- La dimensione e il tipo delle valanghe attese; in altre parole, la profondità e l'area del piano di frattura delle masse nevose (il volume della valanga), sia di valanghe dense che polverose.

I parametri relativi al manto nevoso devono essere valutati sulla base delle condizioni meteorologiche (altezza della neve, nuove nevicate, vento, temperature, radiazione solare), delle informazioni riguardanti il manto nevoso (profili nivologici, umidità del manto nevoso, proprietà della superficie della neve), del bollettino regionale del pericolo valanghe, sull'osservazione delle valanghe nella stessa zona (anche depositi di valanga nei tracciati) e sulle informazioni fornite da esperti locali quali le guide alpine. In funzione delle risultanze delle simulazioni sarà possibile approntare un piano di gestione che tenga conto degli scenari di invasione e delle pressioni di impatto in ogni settore nelle diverse condizioni (estive ed invernali), con o senza innevamento. Il piano di gestione potrà prevedere l'interdizione di alcuni settori con conseguente evacuazione. Bisogna sempre tenere presente che l'interazione delle valanghe di ghiaccio con il manto nevoso e la valutazione delle conseguenze sono in larga parte ancora non del tutto note. Le simulazioni sono quindi basate su di una serie di assunzioni che non sempre possono essere verificate a priori. Un certo margine di sicurezza deve quindi essere incluso nella modellizzazione delle valanghe, essendo consapevoli che ci possono essere delle situazioni imprevedibili e di conseguenza non completamente comprese nel piano di gestione messo a punto.

Per il ghiacciaio di Planpincieux e il Seracco Whympers sono stati elaborati dei piani di questa natura che possono eventualmente essere presi ad esempio.

Esistono vari tool computazionali presenti sul mercato a pagamento o gratuiti. A titolo di esempio verranno descritte alcune peculiarità del tool *r.avaflow* in quanto open source. *R.avaflow* è uno strumento computazionale open source avanzato progettato per simulare il movimento di flussi di massa rapidi da aree di rilascio specificate su terreni variabili fino ai siti di deposizione. Utilizza un modello a due fasi che tiene conto dell'interazione tra componenti solidi e fluidi (Pudasaini, 2012). Lo strumento calcola il movimento dei flussi di massa da uno o più punti di rilascio finché non viene soddisfatta una delle tre condizioni: (I) tutto il materiale si è depositato (II) tutto il materiale è uscito dall'area di interesse, o (III) viene raggiunto il tempo di simulazione massimo definito. I principali requisiti di input per *r.avaflow* includono un modello digitale del terreno (DTM), mappe raster che mostrano la distribuzione spaziale delle altezze di rilascio per componenti sia solidi che fluidi e vari parametri di flusso. La funzionalità principale di *r.avaflow* risiede nella sua capacità di ridistribuire massa e quantità di moto utilizzando un modello di flusso dinamico e metodi numerici. Il modello incorpora la plasticità di Mohr-Coulomb per lo stress solido e la viscosità non newtoniana per lo stress fluido, facilitando una rappresentazione più precisa delle interazioni solido-fluido. L'output generato da *r.avaflow* include mappe raster che mostrano altezze del flusso solido, fluido e totale, velocità del flusso in entrambe le direzioni x e y, pressioni, energie cinetiche e modifiche alla topografia basale.

Per quanto riguarda i GLOF, possono essere utilizzati i modelli comunemente utilizzati per il dam break, ipotizzando in modo conservativo il completo svuotamento del lago. Come anticipato, la dinamica di una rotta glaciale può variare in funzione del meccanismo di innesco e sviluppo della rotta stessa. Nel caso di laghi a sbarramento glaciale e morenico, la rotta può avvenire per sifonamento: in questi casi la portata aumenta in modo progressivo e risulta dunque di minore impatto. Nel caso di rotte causate dal cedimento dello sbarramento (in ghiaccio o morena) o dal sormonto dello stesso (tutti

i tipi di sbarramento), per effetto dell'impatto di un movimento di massa nel lago, o per un aumento repentino del livello causato da fusione nivale intensa e/o precipitazioni intense, la piena è improvvisa e le portate di picco più elevate.

Implementazione di una procedura di early warning

Qualora fosse necessario un sistema di *early warning*, è possibile prendere spunto da sistemi di allerta sviluppati in scenari maggiormente consolidati come quelli relativi a valanghe di neve, colate detritiche o fenomeni franosi.

Il concetto di *early warning* è scarsamente codificato e quindi soggetto a diverse tipologie di interpretazione. In generale, si può assumere che per *early warning* si possano intendere quei sistemi che restituiscono l'andamento di uno o più parametri fisici ritenuti altamente rappresentativi con una frequenza di aggiornamento tale da poter essere impiegati in maniera preventiva al verificarsi dell'evento critico che si sta monitorando. Nel caso di un crollo di ghiaccio, i sistemi di monitoraggio impiegabili sono quindi quelli atti a verificare i parametri critici (come in movimenti superficiali) con una frequenza di aggiornamento che sia adeguata a restituire una tendenza evolutiva ritenuta critica con sufficiente preavviso.

È quindi possibile distinguere i sistemi impiegabili a fini di allertamento per identificare le tendenze evolutive critiche da quelli impiegabili per identificare la massa in movimento, una volta che il distacco sia avvenuto.

Nel campo dei sistemi di monitoraggio atti a seguire la tendenza evolutiva di uno o più parametri si annoverano certamente i sistemi topografici ad elevate frequenze di acquisizione come GBinSAR e stazione totale, i misuratori di portata per il controllo del flusso di acqua di fusione e le centraline meteorologiche. Questi sistemi sono in grado di acquisire i principali parametri in grado di seguire l'evoluzione di una fronte glaciale e la creazione di blocchi instabili.

Le principali tecnologie utilizzate per la detezione del crollo sono il radar Doppler, i sensori sismici e i sistemi a pendolo.

Esistono poche aziende private specializzate in questo settore e soluzioni su misura o sperimentali possono essere studiate con tecnici di grande esperienza.

Per il monitoraggio dei GLOF, i sensori del livello dell'acqua sono stati testati con successo per attivare allarmi a valle se viene rilevato un abbassamento del livello dell'acqua nel settore di accumulo. È inoltre possibile pianificare un intervento attivo con diverse tecniche utilizzate per l'abbassamento artificiale del livello dell'acqua, come il pompaggio dell'acqua, il sifonamento o lo scavo di canali. Tuttavia, questi dovrebbero essere attentamente pianificati per non innescare uno svuotamento inaspettato del lago (Ancy et al., 2019).

Elementi tecnici utili per la definizione di una strategia di comunicazione e formazione

Quando si tratta di sistemi di monitoraggio e di *early warning*, i piani di gestione per far fronte alle situazioni di emergenza devono essere attentamente pianificati coinvolgendo le autorità ai vari livelli e comunicati alla popolazione.

Lo sviluppo di una strategia di comunicazione è parte integrante del sistema di gestione del rischio connesso ai processi di instabilità considerati nel presente documento.

1. CONOSCENZA

Da questo punto di vista, gli aspetti conoscitivi e di monitoraggio devono essere declinati in modo che possano essere compresi non soltanto dagli addetti ai lavori, ma anche dalla popolazione coinvolta.

È quindi necessario sviluppare delle soluzioni atte a rappresentare lo stato delle conoscenze e dei dati di monitoraggio in maniera semplice e intuitiva. Queste rappresentazioni possono essere il risultato di una catena di processamento automatico o semi-automatico che sia in grado di alimentare un flusso di informazioni atte ad aggiornare costantemente la popolazione, in modo da supportare l'autorevolezza e credibilità della struttura impegnata nella gestione dell'eventuale criticità legata al processo di instabilità e gestione del rischio.

In tale ambito, oltre allo sviluppo di una strategia di comunicazione è necessario prendere in considerazione lo sviluppo di una procedura di valutazione del grado di aggiornamento del piano di monitoraggio e di gestione.

TERRITORIO APERTO AD ALTA FREQUENTAZIONE

Data l'aumentata frequentazione degli ambienti di alta quota, riconducibile sia a fattori sociologici sia alla presenza di impianti funiviari e di trasporto di grande capacità, si sono venute a delineare negli ultimi decenni delle aree di alta quota che si trovano in una situazione di "confine" rispetto ai due ambiti territoriali individuati in classificazione. Per quanto riguarda i territori aperti ad alta frequentazione, è necessario concentrare le attività per aumentare il livello di conoscenza dell'area analizzata ed effettuare un monitoraggio periodico atto ad identificare l'insorgenza di eventuali criticità. In questi casi, una corretta informazione è un aspetto essenziale per supportare i fruitori della montagna.

Implementazione del livello di conoscenza

L'inventario dei ghiacciai è l'elemento essenziale su cui basare ogni valutazione ed ogni suo aggiornamento. Nel caso in cui si debba approfondire le conoscenze di laghi pro- o sopra-glaciali, la dimensione e il volume del lago, la geometria e il materiale che costituisce le sponde e l'andamento del processo di interazione tra ghiaccio e acqua del lago sono aspetti altrettanto fondamentali. La frequenza di aggiornamento di questi dati dipende dal grado di criticità del sito e dalla repentinità del potenziale sviluppo dei processi di instabilità. Alcuni dati potranno essere aggiornati con frequenza annuale, per poter comunque disporre di un quadro chiaro all'inizio della stagione estiva su cui ritarare la valutazione del livello di criticità.

Per quanto riguarda la definizione dell'areale del ghiacciaio, le moderne tecnologie possono essere impiegate per effettuare degli aggiornamenti a scala regionale. È ampiamente dimostrato che set di dati liberamente disponibili come le immagini *Sentinel-2* possono essere utilizzati con successo per la mappatura dei contorni dei ghiacciai. Con una risoluzione al suolo di 10 m, tali immagini possono essere inefficaci quando i cambiamenti nei contorni dei ghiacciai sono di una magnitudo simile alla risoluzione al suolo. Tuttavia, negli attuali scenari di cambiamento climatico, la maggior parte dei ghiacciai subisce cambiamenti che sono più elevati della risoluzione di queste immagini.

Per quanto riguarda la possibile formazione di laghi glaciali, la tempestività della detenzione rappresenta un elemento fondamentale per una corretta valutazione del livello di criticità e per evitare, ove possibile, che il fenomeno venga riconosciuto quando ormai le sue dimensioni rendono estremamente difficoltosa la sua gestione. Studi scientifici recenti hanno evidenziato la possibilità di sviluppare sistemi semi automatici basati sull'impiego di immagini satellitari finalizzati all'identificazione di corpi idrici nelle regioni montuose. Anche in questo caso, la disponibilità dei set di dati *Sentinel-2* rende teoricamente possibile la messa a punto di procedure di identificazione e classificazione semi-automatica dei laghi glaciali di nuova formazione.

Monitoraggio di “primo livello”/a bassa frequenza di acquisizione

Si suggerisce la creazione di un piano di monitoraggio regionale basato su un monitoraggio a bassa frequenza che si ponga come obiettivo quello di ottenere un quadro conoscitivo aggiornato ed identificare i casi in cui si renda necessaria l'implementazione di un monitoraggio ad alta frequenza specifico per i siti a più elevata criticità (Schindelegger, 2019). La prima azione su larga scala può essere l'istituzione di un regolare aggiornamento dell'inventario dei ghiacciai regionali, con l'obiettivo di avere un aggiornamento più frequente rispetto agli inventari nazionali e globali. Tale inventario è fondamentale per supportare la gestione di un piano di monitoraggio del rischio glaciale regionale. La seconda azione su larga scala che si suggerisce possa essere implementata nel piano è la programmazione di uno screening annuale di tutti i corpi glaciali nella regione, mediante riprese aeree. Questa attività si rivela spesso molto utile per poter identificare l'insorgenza di macro-variazioni della parte frontale dei ghiacciai.

Elementi tecnici utili per la definizione di una strategia di comunicazione e formazione

Lo sviluppo di una strategia di comunicazione è parte integrante del sistema di gestione del rischio connesso ai processi di instabilità considerati nel presente documento. Da questo punto di vista, gli aspetti conoscitivi e di monitoraggio devono essere declinati in modo che possano essere compresi non soltanto dagli addetti ai lavori, ma anche dalla popolazione coinvolta.

È quindi necessario sviluppare delle soluzioni atte a rappresentare lo stato delle conoscenze e dei dati di monitoraggio in maniera semplice ed intuitiva.

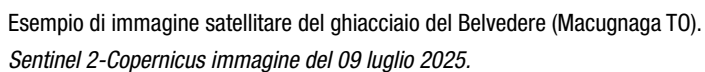
TERRITORIO APERTO

Per quanto riguarda le aree dell'ambiente glaciale a bassa frequentazione, è possibile valutare un'implementazione del livello minimo di conoscenza attraverso tecniche di approfondimento basate su dati storici e rilevamenti periodici o mediante l'uso di dati satellitari.

Implementazione del livello di conoscenza

L'inventario dei ghiacciai è l'elemento essenziale su cui basare ogni valutazione ed ogni suo aggiornamento. Nel caso in cui si debbano approfondire le conoscenze di

Per quanto riguarda la definizione dell'areale del ghiacciaio, le moderne tecnologie possono essere impiegate per effettuare degli aggiornamenti a scala regionale. È ampiamente dimostrato che set di dati liberamente disponibili come le immagini *Sentinel-2* possono essere utilizzati con successo per la mappatura dei contorni dei ghiacciai. Con una risoluzione al suolo di 10 m, tali immagini possono essere inefficaci quando i cambiamenti nei contorni dei ghiacciai sono di una magnitudo simile alla risoluzione al suolo. Tuttavia, negli attuali scenari di cambiamento climatico, la maggior parte dei ghiacciai subisce cambiamenti che sono più elevati della risoluzione di queste immagini.



Per quanto riguarda la possibile formazione di laghi glaciali, la tempestività della detenzione rappresenta un elemento fondamentale per una corretta valutazione del livello di criticità e per evitare, ove possibile, che il fenomeno venga riconosciuto quando ormai le sue dimensioni rendono estremamente difficoltosa la sua gestione. Studi scientifici recenti hanno evidenziato la possibilità di sviluppare sistemi semi automatici basati sull'impiego di immagini satellitari finalizzati all'identificazione di corpi idrici nelle regioni montuose. Anche in questo caso, la disponibilità dei set di dati *Sentinel-2* rende teoricamente possibile la messa a punto di procedure di identificazione e classificazione semi-automatica dei laghi glaciali di nuova formazione.

Monitoraggio di “primo livello”/a bassa frequenza di acquisizione

Si suggerisce la creazione di un piano di monitoraggio regionale basato su un monitoraggio a bassa frequenza che si ponga come obiettivo quello di ottenere un quadro conoscitivo aggiornato ed identificare i casi in cui si renda necessaria l'implementazione di un monitoraggio ad alta frequenza specifico per i siti a più elevata criticità (Schindelegger, 2019). La prima azione su larga scala può essere l'istituzione di un regolare aggiornamento dell'inventario dei ghiacciai regionali, con l'obiettivo di avere un aggiornamento più frequente rispetto agli inventari nazionali e globali. Tale inventario è fondamentale per supportare la gestione di un piano di monitoraggio del rischio glaciale regionale. La seconda azione su larga scala che si suggerisce possa essere implementata nel piano è la programmazione di uno screening annuale di tutti i corpi glaciali nella regione, mediante riprese aeree. Questa attività si rivela spesso molto utile per poter identificare l'insorgenza di macro-variazioni della parte frontale dei ghiacciai.

Monitoraggio fotografico del ghiacciaio di Planpincieux

Il ghiacciaio di Planpincieux, sul versante italiano del massiccio del Monte Bianco, è monitorato con un sistema fotografico che acquisisce immagini orarie a partire dal 2013. Il sistema è composto da due fotocamere reflex delle quali una monitora l'intero ghiacciaio e una, equipaggiata con un obiettivo fotografico più potente che permette di acquisire immagini più dettagliate, inquadra il lobo di Montitaz, settore più attivo dal quale si innescano frequenti crolli e valanghe di ghiaccio soprattutto nel periodo estivo.

Il sistema ha permesso di acquisire decine di migliaia di immagini, la cui analisi ha consentito di approfondire le conoscenze delle dinamiche che regolano l'evoluzione del fronte glaciale. In particolare, è stato possibile identificare tre principali processi di attivazione dei crolli di ghiaccio: a) disintegrazione del fronte in frammenti di dimensioni relativamente ridotte (<1000 m³); b) distacco e ribaltamento di intere sezioni isolate da profondi crepacci trasversali (volume tra 10000 e 50000 m³) (Figura 1); c) collassi di cavità del reticolo idraulico endoglaciale aventi un diametro fino a 10 m (Giordan *et al.*, 2020).

Oltre all'analisi dei processi, le fotografie vengono utilizzate per stimare il volume dei crolli usando una metodologia che consenta di ottenere un risultato tridimensionale a partire da un dato bidimensionale.



Figura 1. Processo di instabilità della fronte del ghiacciaio di Planpincieux. Il movimento per scivolamento oltre un gradino morfologico genera forti stress trasversali che causano l'apertura di crepacci ortogonali alla linea di flusso. Le sezioni a valle subiscono un effetto di ribaltamento che porta al distacco. Solitamente, questo tipo di crolli è preceduto da un aumento della velocità misurabile tramite tecniche di digital image correlation.

I dati fotografici vengono inoltre elaborati tramite tecniche di correlazione di immagini digitali (DIC-Digital Image Correlation) (Giordan *et al.*, 2016; Dematteis *et al.*, 2024) tramite una procedura completamente automatizzata sviluppata dal CNR-IRPI che fornisce dati di spostamento giornalieri (Figura 2). Le mappe ottenute hanno evidenziato la presenza di settori cinematici separati da crepacci trasversali. L'andamento della

1. CONOSCENZA / AMBIENTE GLACIALE APPROFONDIMENTI

velocità mostra un chiaro trend stagionale in tutti i settori, a cui si sovrappongono, nella parte frontale, una serie di fluttuazioni (tipicamente 1-3 all'anno) in corrispondenza dei maggiori crolli (Figura 3).

Figura 2. Esempio di mappa di spostamento giornaliero del ghiacciaio di Planpincieux ottenuta tramite procedura automatizzata di digital image correlation. Il lobo di Montitaz (sulla destra nella foto) presenta distinti settori cinematici caratterizzati da diversa velocità e andamento stagionale. Dalla porzione frontale, più attiva, si innescano frequenti crolli durante l'estate.

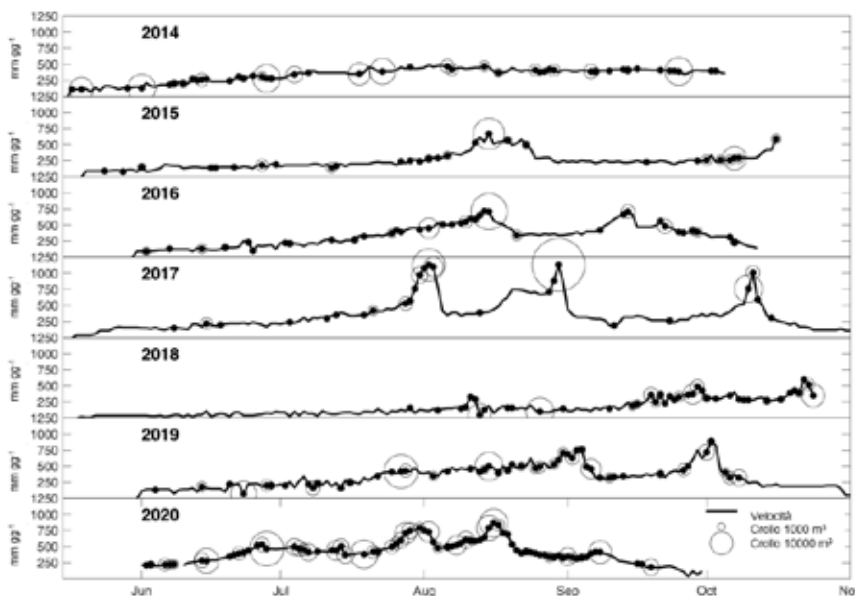


Figura 3. Serie di velocità e crolli della fronte del ghiacciaio di Planpincieux. Sono evidenti alcune fluttuazioni di 10-15 giorni al culmine delle quali si sono verificati distacchi voluminosi.

Giordan, D., Allasia, P., Dematteis, N., Dell'Anese, F., Vagliasindi, M., & Motta, E. (2016). A low-cost optical remote sensing application for glacier deformation monitoring in an alpine environment. *Sensors*, 16(10), 1750.

Giordan, D., Dematteis, N., Allasia, P., & Motta, E. (2020). Classification and kinematics of the Planpincieux Glacier break-offs using photographic time-lapse analysis. *Journal of Glaciology*, 66(256), 188-202.

Dematteis, N., Troilo, F., Scotti, R., Colombaroli, D., Giordan, D., & Maggi, V. (2024). The use of terrestrial monoscopic time-lapse cameras for surveying glacier flow velocity. *Cold Regions Science and Technology*, 222, 104185.

Monitoraggio radar interferometrico terrestre dei ghiacciai di Planpincieux e delle Grandes Jorasses



Figura 1. Modelli di radar interferometrici utilizzati durante campagne sperimentali di monitoraggio dei ghiacciai di Planpincieux e Grandes Jorasses: a) real aperture radar (RAR) modello GPRI (GAMMA remote sensing); b) ground-based synthetic aperture radar (GBSAR) modello IBIS-L (IDS Georadar); c) GBSAR modello FastGBSAR (Metasensing).

Il radar interferometrico terrestre è certamente uno strumento molto performante, che può essere impiegato sia per aumentare il livello conoscitivo delle dinamiche che caratterizzano un ghiacciaio sia per supportare attività di monitoraggio ed *early-warning*. Lo strumento garantisce delle performance molto elevate, anche in condizioni meteorologiche avverse, con alte frequenze di acquisizione. Il monitoraggio di tipo areale, sebbene monodimensionale, rende l'impiego di questo strumento molto efficace anche in condizioni operative complesse, garantendo una copertura anche nei settori non accessibili. Nella scheda si riportano le attività svolte in Val Ferret, sui ghiacciai di Planpincieux e Grandes Jorasses, sul versante italiano del massiccio del Monte Bianco (Figura 2). Nello specifico, tra il 2013 ed il 2017 sono state effettuate una serie di campagne sperimentali usando diversi modelli commerciali di radar interferometrici terrestri per misurare la velocità superficiale dei ghiacciai. Gli studi hanno permesso di valutare i limiti di impiego e le potenzialità di questa categoria di strumenti in un contesto molto particolare come quello di alta montagna su lunghe distanze operative. I risultati, oltre a fornire misure di spostamento superficiale del ghiacciaio (Figura 2), hanno evidenziato

1. CONOSCENZA / AMBIENTE GLACIALE APPROFONDIMENTI

che le condizioni atmosferiche di alta montagna e i processi di metamorfismo della copertura nivale rendono particolarmente complessa l'elaborazione dei dati radar, richiedendo elaborazioni aggiuntive rispetto alle modalità di processamento comunemente impiegate (Dematteis *et al.*, 2017).

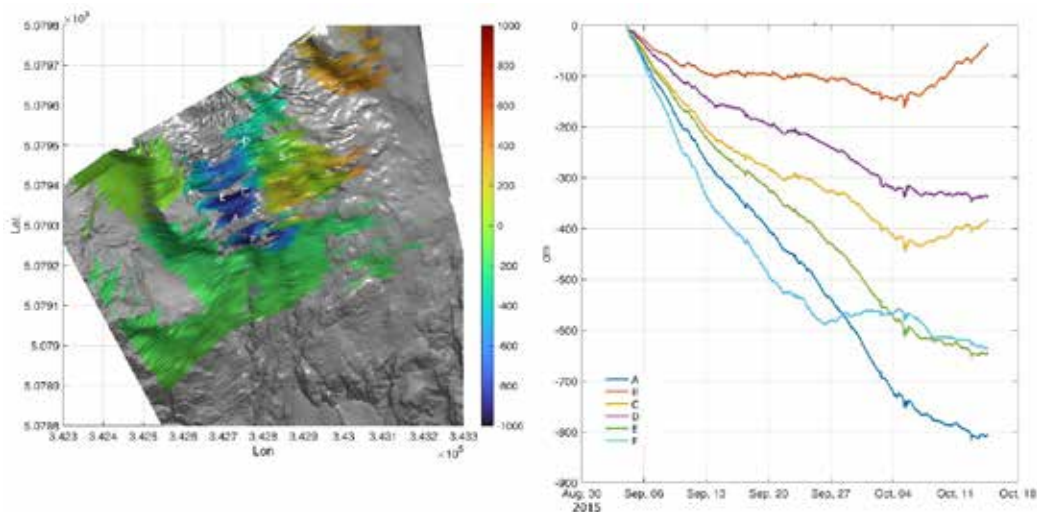


Figura 2. Mappa di movimento cumulato (in centimetri) e serie temporali di alcuni punti del ghiacciaio di Planpincieux dal 4 settembre al 14 ottobre 2015. Si noti la riduzione della velocità a partire da inizio ottobre dovuta alla diminuzione delle temperature.

A partire da settembre 2019, il sistema di monitoraggio della Val Ferret è stato potenziato con un'installazione permanente di un apparato Ground-Based Synthetic Aperture Radar (GBSAR) finalizzato al monitoraggio in continuo dei ghiacciai di Planpincieux e Grandes Jorasses. Le condizioni eccezionali del sito hanno reso necessarie delle modifiche software e hardware dei dispositivi (Dematteis *et al.*, 2021). Attualmente, il GBSAR costituisce uno degli strumenti di monitoraggio principali su cui è basata una procedura di *early-warning* di potenziali crolli legati a variazioni della velocità superficiale del ghiacciaio di Planpincieux.

Dematteis, N., Luzi, G., Giordan, D., Zucca, F., & Allasia, P. (2017). Monitoring Alpine glacier surface deformations with GB-SAR. *Remote Sensing Letters*, 8(10), 947-956.

Dematteis, N., Giordan, D., Troilo, F., Wrzesniak, A., & Godone, D. (2021). Ten-year monitoring of the Grandes Jorasses glaciers kinematics. Limits, potentialities, and possible applications of different monitoring systems. *Remote Sensing*, 13(15), 3005.

Tecniche fotogrammetriche speditive per la cartografia e il monitoraggio dei rischi naturali in ambiente glaciale

ARPA Piemonte, in collaborazione con il settore Protezione Civile della Regione Piemonte, ha sperimentato delle procedure speditive ad alto rendimento per la raccolta tempestiva di dati geografici in ambiente montano sfruttando l'acquisizione di immagini aeree da due diversi tipi di vettore, aereo ed elicottero.

Rilievo post-evento di ampie aree tramite acquisizione di video con camera 360° alloggiata su aerei da turismo, con il supporto della Onlus "I Falchi di Daffi": questa opzione è stata testata in occasione di eventi estesi, per sfruttare l'elevata velocità di acquisizione (100÷250 km/h) e la possibilità di coprire vaste aree di territorio. La camera 360° permette di acquisire l'intero sviluppo delle valli, dal fondovalle alle creste, in un unico passaggio e con dettaglio omogeneo. Questo è particolarmente utile quando l'estensione dei fenomeni non è totalmente conosciuta ed è anzi necessario definire gli areali coinvolti, anche nelle zone irraggiungibili da terra.

Il post-processing dei video 360° prevede la scelta dell'orientazione e dell'apertura della camera, possibile a posteriori, procedendo poi con l'estrazione di fotogrammi a passo regolare (ad esempio 1 secondo) per garantire un adeguato ricoprimento longitudinale. Si ottengono così strisciate di immagini con apertura e sovrapposizione desiderate.



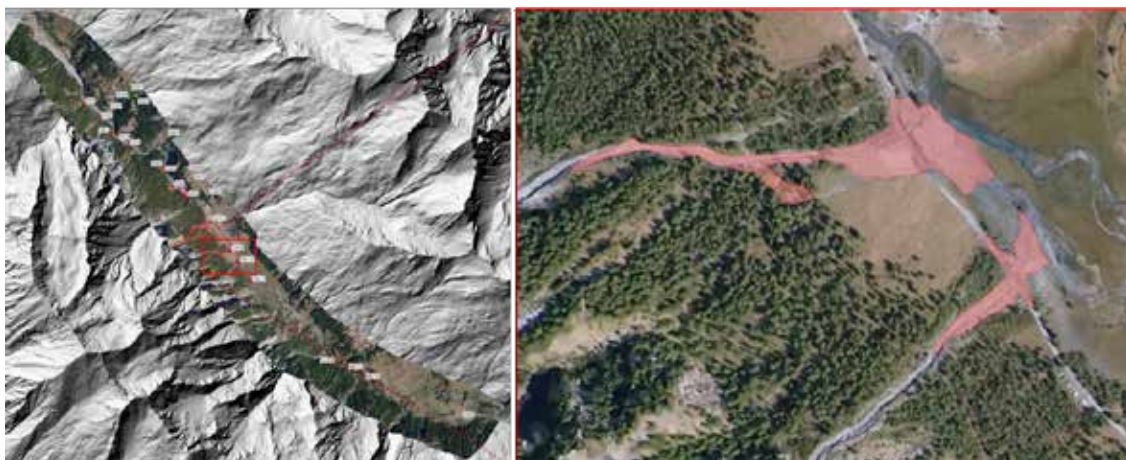


Figura 1. Flusso di elaborazione a partire da video 360° ripresi con sorvolo aereo delle aree interessate da eventi naturali: esempio dal rilievo delle colate detritiche che hanno interessato la Valle Argentera il 24 agosto 2024.

Rilievo dei ghiacciai con elicottero. Nell'ambito delle campagne glaciologiche svolte da ARPA Piemonte e al fine di monitorare annualmente l'evoluzione dell'ambiente glaciale e periglaciale, vengono sorvolati i ghiacciai, con il supporto logistico del Settore Protezione Civile della Regione Piemonte. Durante i rilievi vengono eseguite riprese foto/video ridondanti (due camere separate e videocamera ad alta risoluzione): un singolo passaggio A/R è risultato adeguato per la raccolta di un sufficiente numero di immagini alla risoluzione desiderata, consentendo il rilievo di numerosi ghiacciai con un unico sorvolo.

In entrambi i casi le strisciate di immagini vengono poi elaborate con un classico flusso fotogrammetrico per la generazione di point-cloud, mesh, DEM e ortofoto.

La georeferenziazione è ottenuta utilizzando Control Point riconosciuti sulla cartografia ufficiale: gli errori sono risultati di ordine metrico sia in planimetria che in quota e la Ground Sampling Distance varia tra 20-40 cm (foto da elicottero) e 50-100 cm (foto da video 360°). Gli elaborati cartografici così prodotti hanno permesso di aggiornare la cartografia dei limiti dei ghiacciai, degli elementi morfologici significativi e delle instabilità, con un livello di dettaglio sufficiente allo scopo.

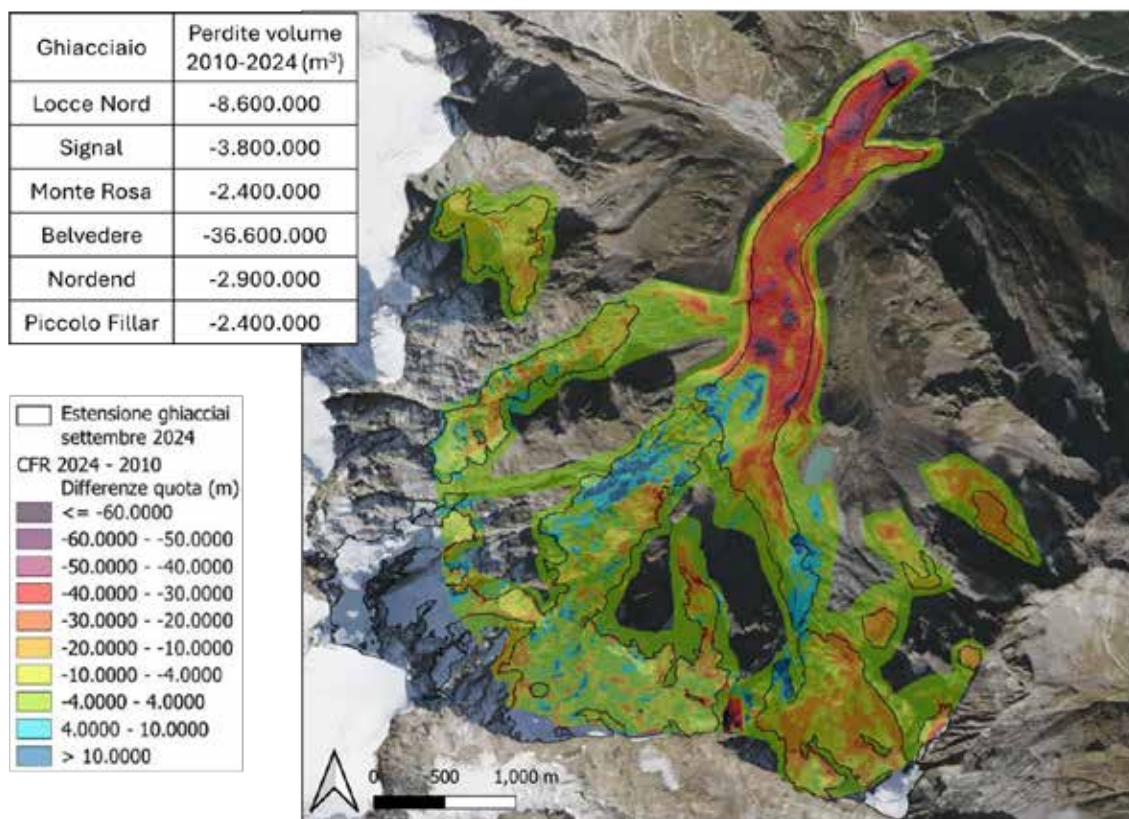


Figura 2. La disponibilità di DTM multitemporali permette il calcolo delle variazioni di quota e delle perdite volumetriche dei ghiacciai, in figura il versante orientale del Monte Rosa e le variazioni tra il 2010 (DTM Reg. Piemonte) e il 2024 (DTM Arpa Piemonte ottenuto con fotogrammetria speditiva). esempio dal rilievo delle colate detritiche che hanno interessato la Valle Argentera il 24 agosto 2024.

La progettazione e lo sviluppo di metodi di interpretazione dei dati multimediali, raccolti in breve tempo, offre un significativo supporto per la produzione di cartografia speditiva e di buona qualità con un sufficiente dettaglio planimetrico. Potendo operare anche in contesti territoriali di difficile raggiungibilità e risparmiando allo stesso tempo molte giornate di lavoro sul campo, i metodi esposti evidenziano una nuova ed efficace modalità operativa per il monitoraggio ambientale e per il rapido aggiornamento dei database regionali.

Crediti

ARPA Piemonte

Dipartimento rischi naturali e ambientali, Struttura semplice "Geologia e Nivologia"

Catasto regionale ghiacciai del Piemonte, aggiornamento 2025

Nell'ambito del programma di osservazione e monitoraggio dei ghiacciai piemontesi condotto da ARPA Piemonte, è stato pubblicato il quadro delle estensioni dei ghiacciai piemontesi al 2022-2024, disponibile online sul geoportale di ARPA Piemonte¹: il livello informativo ghiacciai contiene i poligoni dell'estensione aggiornata dei corpi glaciali e un layer puntuale che riporta l'ubicazione e la denominazione di tutti i ghiacciai compresi quelli recentemente estinti.

Il database ghiacciai Piemonte 2025 nasce dalla necessità di creare uno strato di conoscenza uniforme, una *baseline*, quale registrazione dello stato più aggiornato possibile dell'ubicazione, dell'estensione e della condizione dei ghiacciai piemontesi. Per un'identificazione univoca, la denominazione e la numerazione dei ghiacciai sono in accordo e seguono quelle definite dal Comitato Glaciologico Italiano (CGI)² di cui i catasti, e in particolare la cartografia 2006-2007³, hanno rappresentato la base di partenza e il riferimento per l'aggiornamento qui proposto. Per la denominazione dei corpi glaciali smembrati o separati dalla massa principale si è seguito la codifica CGI, garantendo l'identificazione univoca dei singoli corpi glaciali, con unità areale minima di un ettaro.

L'ubicazione e l'estensione areale è stata aggiornata grazie alla disponibilità di basi cartografiche recenti, con ortofoto rilevate in tarda estate, quando la copertura nevosa residua dell'inverno è al minimo e prima delle nevicate autunnali, fatto che permette di riconoscere al meglio la presenza di ghiaccio. Non esistendo un'unica base con tali caratteristiche sull'intero territorio piemontese, è stato utilizzato un insieme di ortofoto rilevate tra il 2022 e il 2024.

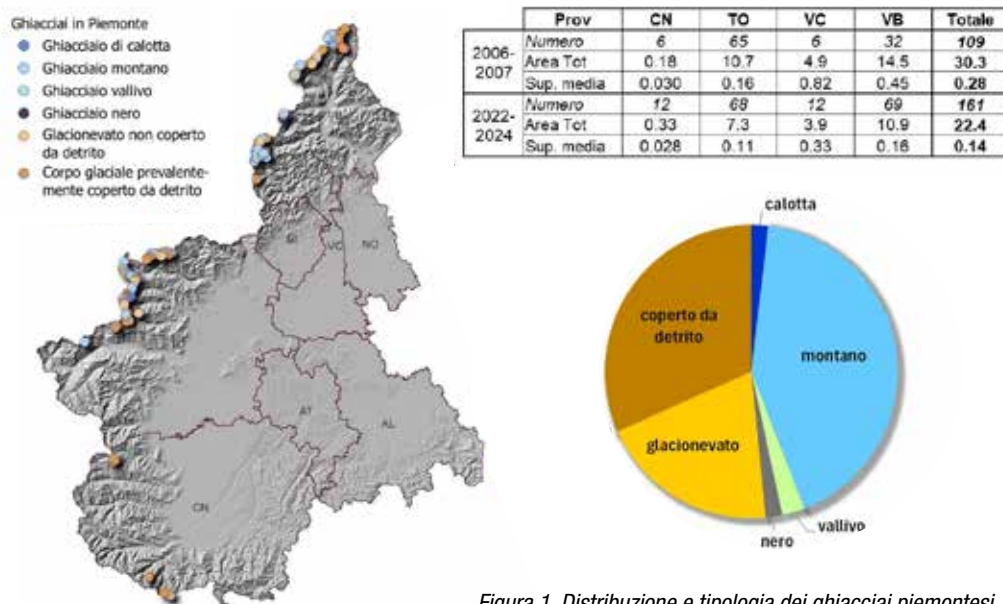


Figura 1. Distribuzione e tipologia dei ghiacciai piemontesi.

¹ <https://geoportale.arpa.piemonte.it/app/public/?pg=mappa&ids=6880d779243e4bfbaf6f6fbfa525c67>

² <http://www.glaciologia.it/i-ghiacciai-italiani/>

³ https://iris.unito.it/bitstream/2318/1574316/1/07_GFDQ_38_2_Salvatore_175_198%281%29.pdf

1. CONOSCENZA / AMBIENTE GLACIALE APPROFONDIMENTI

La cartografia dell'estensione dei ghiacciai è stata redatta sulla base del riconoscimento dell'areale coperto dal ghiacciaio; in caso di copertura di neve fresca o copertura detritica sono state analizzate anche le ortofoto precedenti e, quando disponibili, le foto e le descrizioni raccolte durante le missioni di terreno. Ad ogni corpo glaciale è stata associata una tipologia che tiene conto dell'attuale stato di ciascuno:

- ghiacciai di calotta: ghiacciai che ricoprono le vette;
- ghiacciai montani: ghiacciai ubicati sui versanti montani;
- ghiacciai vallivi: ghiacciai che raccolgono la confluenza di più colate glaciali e fluiscono all'interno di un solco vallivo;
- ghiacciai neri: ghiacciai in prevalenza coperti di detrito che mostrano evidenze di dinamica (crepacci, terminale, etc.);
- glacionevati non coperti da detrito: corpi glaciali privi di dinamica, con prevalente ghiaccio affiorante;
- corpi glaciali prevalentemente coperti da detrito: corpi privi di dinamica, riconoscibili solo per radi affioramenti di ghiaccio al di sotto una continua copertura detritica.

Ai poligoni sono associate inoltre informazioni sull'estensione e sulle quote massime, medie, minime di ogni corpo glaciale. Si prevede infine un aggiornamento annuale del livello informativo ghiacciai, base per un efficace sistema di osservazione e controllo delle trasformazioni della criosfera.



Figura 2. Ghiaccio sepolto del ghiacciaio di Caprera, sul versante occidentale del Monviso, ottobre 2024.

Crediti

ARPA Piemonte

Dipartimento rischi naturali e ambientali, Struttura semplice "Geologia e Nivologia"

Le campagne glaciologiche di ARPA Piemonte hanno beneficiato di collaborazioni con:



Monitoraggio dell'ambiente glaciale in Piemonte

Dal 2022 ARPA Piemonte ha avviato una campagna di osservazione e monitoraggio dell'ambiente glaciale piemontese e delle instabilità correlate, su stimolo di questo stesso tavolo di lavoro. L'organizzazione del monitoraggio segue una logica multiscala a livelli di approfondimento crescenti; il punto di partenza è una baseline dei ghiacciai piemontesi, livello minimo, uniforme e standardizzato di conoscenza che comprende osservazioni, foto e video, informazioni geografiche sull'ubicazione, sull'estensione, sulla tipologia dei ghiacciai e sulla correlazione con eventi di instabilità. In questa fase è risultata di grande importanza la collaborazione con il Comitato Glaciologico Italiano (CGI) e il CNR-IRPI, il Parco Nazionale Gran Paradiso, la Società Meteorologica Italiana. I sorvoli in elicottero sono stati eseguiti col supporto del Settore Protezione Civile della Regione Piemonte e del Soccorso Alpino e Speleologico Piemontese.

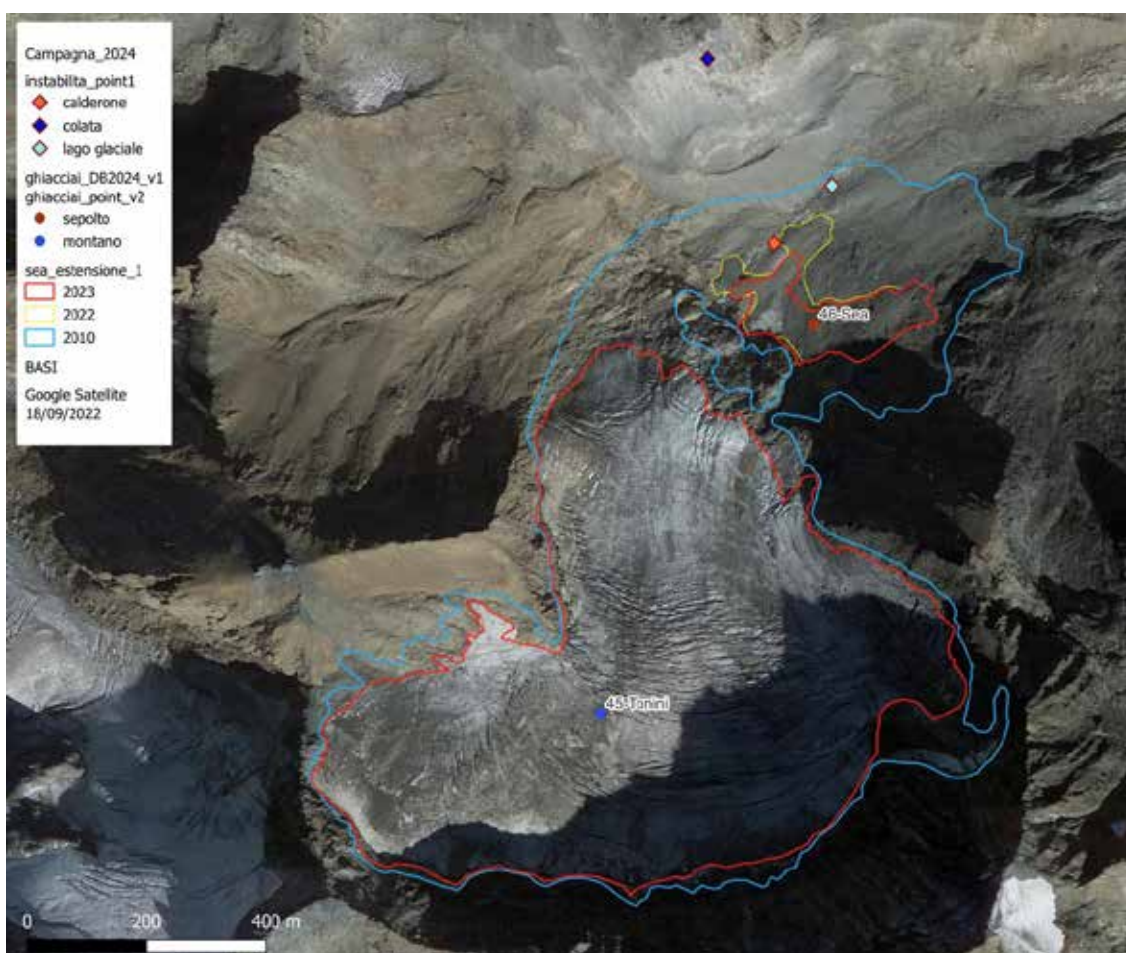


Figura 1. Esempio della baseline cartografica dei ghiacciai Tonini e Sea, alla testata della val Grande di Lanzo (TO): sono riportati i limiti dei ghiacciai per le annate in cui sono stati rilevati, il numero CGI, il nome e la tipologia del ghiacciaio, gli elementi di instabilità presenti, la cartografia e la data di ripresa.

1. CONOSCENZA / AMBIENTE GLACIALE APPROFONDIMENTI

Il monitoraggio è articolato in più livelli di approfondimento associati a specifiche priorità di rivisitazione:

- 1) per tutti i corpi glaciali piemontesi: popolamento della baseline, costituita da ubicazione, nome, codice, poligono dell'intero perimetro (con indicazione dell'anno dell'ortofoto utilizzata per tracciare i limiti); rivisitazione completa ogni due anni. La baseline piemontese è attualmente aggiornata al 2022-2024 ed è pubblicata sul geoportale di ARPA Piemonte¹;
- 2) per i ghiacciai di tipo "B"² (aree ad alta frequentazione) è previsto un sorvolo annuale con riconoscimento qualitativo dello stato evolutivo attraverso foto, video, note e delle trasformazioni avvenute nel corso dell'ultimo anno mediante confronto con la campagna precedente; le risultanze sono raccolte in una relazione glaciologica annuale³ e nelle schede CGI⁴;
- 3) per i ghiacciai di tipo "A" (interferenza diretta con aree antropizzate) sono previste più visite annuali e approfondimenti specifici, in particolare il confronto quantitativo delle trasformazioni avvenute nel corso dell'ultimo anno in termini di estensione areale, volumetrica dei ghiacciai, ubicazione ed estensione delle instabilità mediante confronto di modelli 3D multitemporali; le risultanze sono raccolte negli approfondimenti della relazione glaciologica annuale (ad esempio Figura 2).

Nel caso si osservino importanti trasformazioni morfologiche e/o l'attivazione di particolari instabilità la classificazione viene aggiornata e di conseguenza tipo e frequenza di rivisitazione.

¹ <https://geoportale.arpa.piemonte.it/app/public/?pg=mappa&ids=6880d779243e4bfbaf6f6fbfa525c67>

² Classificazione proposta da Regione Valle d'Aosta (tavolo del 04/08/2022).

³ Per il 2022: https://www.arpa.piemonte.it/sites/default/files/media/2023-11/relazione_preliminare_ghiacciai_luglio_2022%20-1.pdf

per il 2023: <https://relazione.ambiente.piemonte.it/2024/levoluzione-dellambiente-glaciale-nelle-alpi-piemontesi>
e https://www.arpa.piemonte.it/sites/default/files/media/2024-05/Relazione_glaciologica_2023.pdf;

per il 2024: <https://www.arpa.piemonte.it/media/7234>.

⁴ <http://www.glaciologia.it/i-ghiacciai-italiani/le-campagne-glaciologiche/>

1. CONOSCENZA / AMBIENTE GLACIALE APPROFONDIMENTI

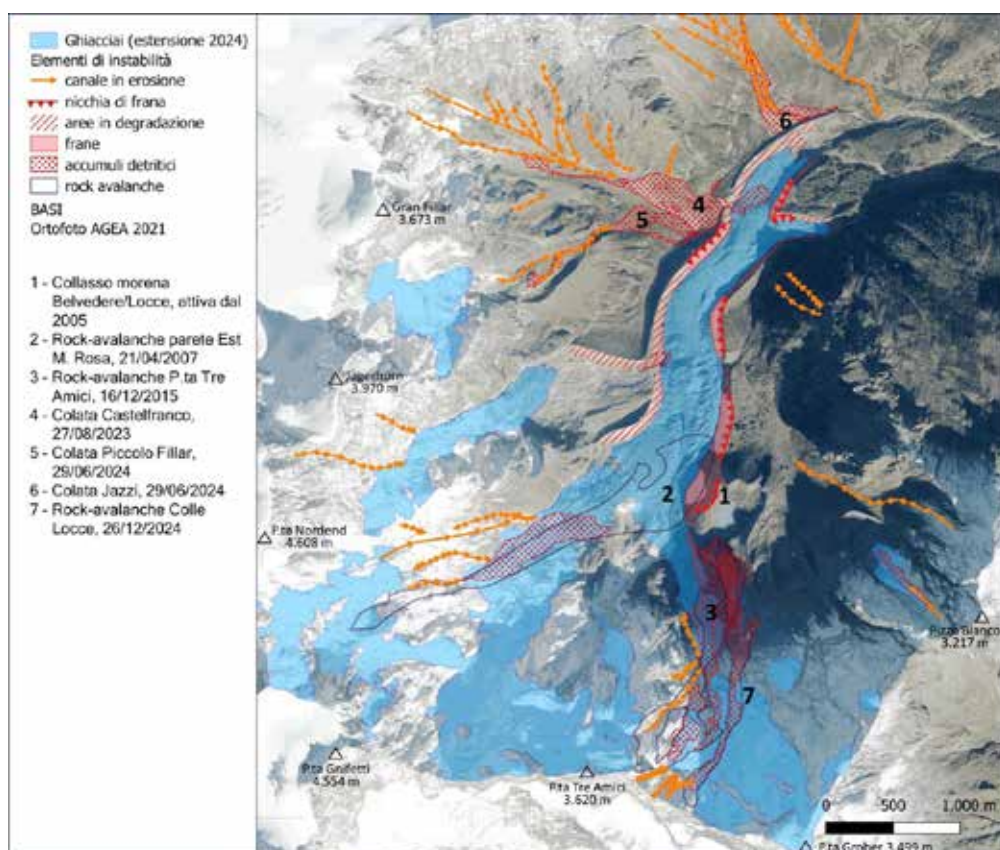


Figura 2. Carta delle instabilità geomorfologiche attive e sintesi dei principali eventi che hanno coinvolto la parete est del Monte Rosa e la conca glaciale del Belvedere negli ultimi anni (elaborazione ARPA Piemonte).

Crediti

ARPA Piemonte

Dipartimento rischi naturali e ambientali, Struttura semplice “Geologia e Nivologia”

Monitoraggio laghi glaciali

Nell'estate 2005, dopo un inverno scarso di precipitazioni nevose, in Alto Adige si sono verificati alcuni eventi di rapido svasso di laghi glaciali. In particolare, sono ben documentati (banca dati ED30 dell'Agenzia per la Protezione Civile) due eventi significativi che hanno interessato la Val Ridanna e la Val di Fosse.

Nel primo caso, in concomitanza con un forte temporale estivo, si è aperta una breccia profonda 10 m e larga 5 m attraverso un lembo laterale della fronte che delimitava il lago proglaciale del ghiacciaio di Malavalle e circa un milione di metri cubi di acqua sono rapidamente defluiti verso valle, fortunatamente senza produrre danni alle persone e alle cose. Nel secondo caso, lo Stockferner è stato interessato da un vero e proprio GLOF con conseguente colata detritica di bel tempo e interessamento di un itinerario escursionistico tra Casere di Dentro e Rablà.



Figura 1. Canale formatosi in corrispondenza della lingua del ghiacciaio di Malavalle a valle del lago proglaciale parzialmente vuotato (a sinistra) e punto di emersione dell'acqua endoglaciale liberata dallo Stockferner.

A seguito di questi eventi sono state avviate numerose iniziative di screening dei laghi glaciali altoatesini a cominciare dalla loro mappatura e classificazione sulla base delle ortofoto del 2008 e del 2011 e distinguendo le seguenti tipologie:

- tipo 1: laghi proglaciali (di sbarramento morenico);
- tipo 2: laghi periglaciali (laghi nel permafrost);
- tipo 3: laghi subglaciali marginali;
- tipo 4: potenziali accumuli d'acqua intraglaciali o subglaciali;
- tipo 5: laghi supraglaciali.

1. CONOSCENZA / AMBIENTE GLACIALE APPROFONDIMENTI

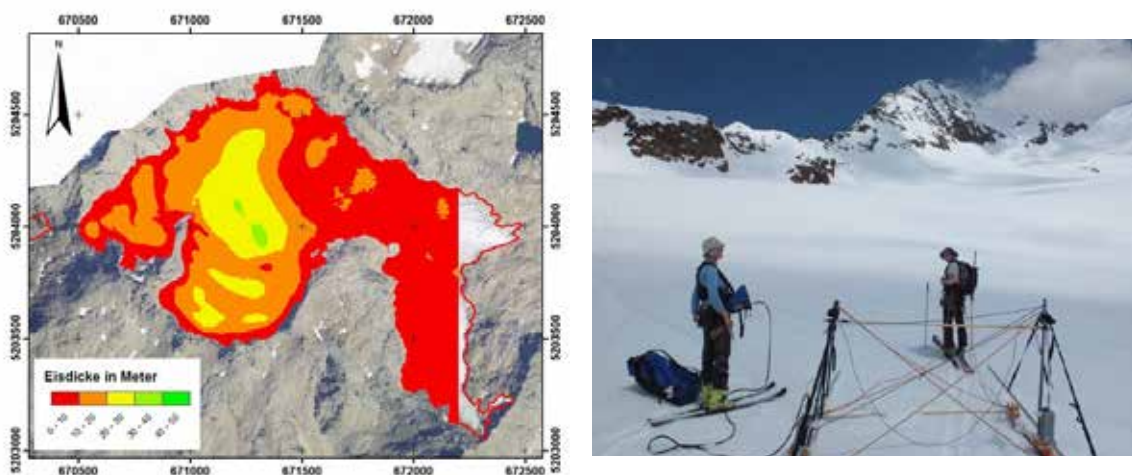


Figura 2. Carta delle profondità della Vedretta del Montarso e assetto di misura.

L'identificazione dei potenziali accumuli d'acqua intraglaciale è avvenuta in prima istanza in base a criteri geomorfologici volti al riconoscimento di possibili depressioni del bedrock al di sotto dei ghiacciai, più frequenti in zone relativamente pianeggianti subito a monte di tratti più ripidi e canalizzati segnati dalla presenza di crepacci e seracchi. Per mezzo di un buon numero di campagne georadar è stato poi possibile verificare le ipotesi geomorfologiche grazie alle misure di profondità sul campo effettuate con un GPR (ground penetrating radar) della GSSI con antenne a MLF (Middle Low Frequency) e frequenze centrali di 80 MHz e 40 MHz, a seconda dei casi.

La mappatura e la classificazione dei laghi glaciali altoatesini conta 88 laghi proglaciali, 491 laghi periglaciali, 2 laghi subglaciali marginali, 23 potenziali accumuli d'acqua intraglaciali e 3 laghi supraglaciali.

Attualmente, l'attenzione maggiore è rivolta agli effetti a cascata che possono interessare i laghi glaciali nella loro interazione con i ghiacciai oppure con altri pericoli naturali, frane, crolli e valanghe su tutti. In questo contesto, sono stati individuati cinque laghi glaciali da attenzionare che, nel 2023 e 2024, sono stati sottoposti a rilievo integrato mediante tecnica mista batimetrica con trimarano telecomandato dotato di ecoscandaglio multibeam, per la parte sommersa, e rilievo lidar attraverso sensore DJI Zenmuse L1 montato su drone DJI M300 RTK, per la modellazione della porzione emersa delle sponde e del territorio circostante. Contestualmente ai rilievi sono stati svolti sopralluoghi esplorativi che, con parere esperto, in quattro casi su cinque hanno escluso la criticità del sito rispetto alla tipologia di evento esplorato.



Figura 3. Misure batimetriche sul lago proglaciale della Vedretta Fredda in Valle di Riva di Tures e hillshade del DTM elaborato.

Nell'estate 2025 la morena che delimita il quinto di questi laghi sarà invece sopposta a prospezione sismica a rifrazione per valutarne le struttura, riconoscere eventuali discontinuità e individuare la posizione del bedrock. Il passo successivo sarà quella della simulazione numerica dello scenario di danno che potrebbe derivare da un eventuale dam-break del cordone morenico di contenimento del lago proglaciale.

In estrema sintesi, l'approccio adottato è quello di lavorare per passi successivi a cominciare dallo screening, per continuare con l'individuazione di eventuali criticità, fino alla esplorazione di dettaglio, alla simulazione numerica degli scenari di rischio, per concludere con l'eventuale monitoraggio in tempo reale.

► 1.2 AMBIENTE PERIGLACIALE

Il cambiamento climatico interessa da vicino non solo i ghiacciai ma anche le aree ad essi adiacenti e più in generale tutti quegli ambienti dove la criosfera (neve, ghiacciai e permafrost) gioca un ruolo cruciale nel controllare i processi morfogenetici del territorio. Se la relazione tra cambiamento climatico, regresso glaciale e l'insorgere di condizioni di instabilità è in qualche modo lineare e ben documentabile (e documentata da numerosi studi), meno conosciute sono le trasformazioni che coinvolgono le altre componenti della criosfera (in particolare il permafrost) e gli effetti di tali trasformazioni sulle dinamiche dell'ambiente periglaciale. Sappiamo infatti che spessore e permanenza al suolo della copertura nevosa si stanno riducendo in modo sensibile (soprattutto alle quote medio-basse), così come lo *snow water equivalent* (*s.w.e*), mentre il permafrost si sta riducendo di estensione e riscaldando a tutte le profondità, con aumenti significativi dello spessore dello strato attivo. Allo stato attuale delle conoscenze, per alcuni di questi elementi disponiamo esclusivamente di misure puntuali o di dati ricavati da modelli numerici. Particolarmente critica è la valutazione della distribuzione e della temperatura del permafrost e dei trend in atto. Per questi motivi, l'attribuzione di singoli processi a specifici meccanismi riconducibili al cambiamento climatico e alle trasformazioni della criosfera ad esso correlate è spesso complessa e al momento limitata da numerose lacune in ambito conoscitivo. Ciò nonostante, molteplici studi basati su dati statistici documentano in modo sempre più inequivocabile un chiaro trend di crescita dell'instabilità naturale negli ambienti periglaciali. Ad esempio, delle 17 più significative valanghe di roccia documentate a partire da inizio 1900 nelle Alpi Italiane a quote superiori a 1500 m, 7 sono avvenute nel XX secolo e ben 10 da inizio anni Duemila. I processi invocati come responsabili di questa tendenza sono principalmente la perdita di coesione degli ammassi rocciosi per effetto della degradazione del permafrost, la loro maggior esposizione all'azione degli agenti atmosferici (tra cui l'infiltrazione di acqua piovana e i cicli di gelo/disgelo) dovuto all'effetto combinato della scomparsa della copertura glaciale, della minore durata e spessore del manto nevoso ed alla decompressione dei versanti conseguente al ritiro dei ghiacciai. Se i versanti in roccia sono stati i primi a manifestare condizioni di disequilibrio rispetto alle modificate condizioni climatiche e ambientali, in anni recenti anche le coperture detritiche (in particolare i depositi glaciali della Piccola Età Glaciale e quelli esposti dal progressivo recesso glaciale) sono interessate da profondi rimaneggiamenti in occasione di eventi meteorologici intensi; degradazione della criosfera, da una parte, e aumento dell'intensità e della quota delle precipitazioni liquide, dall'altra, rappresentano il contesto in cui si sviluppano fenomeni di colata detritica con frequenza e magnitudo inattese. Lo studio di questa tipologia di instabilità appare, dunque, prioritario in quanto alcuni dei recenti eventi alluvionali occorsi sull'arco Alpino hanno evidenziato come tali eventi possano avere degli impatti molto significativi sulle infrastrutture poste nel fondovalle (vedasi ad esempio i recenti eventi alluvionali del 29-30 giugno e 4-5 settembre 2024 in Piemonte e Valle d'Aosta); in tale ambito, un processo di mappatura delle aree interessate dall'espansione della Piccola Età Glaciale e una valutazione dei processi di instabilità che possano interessare questi settori appare estremamente importante anche tenendo conto, ove disponibili, dei dati della cartografia geologica e geotematica CARG (CARTografia Geologica) alla scala 1:50.000 con rilevamento effettuato in scala 1:10.000.

1.2.1 DEFINIZIONE DEI PROCESSI DI INSTABILITÀ CONSIDERATI

Nel contesto delle trasformazioni in atto dell'ambiente glaciale e periglaciale, i principali processi d'instabilità da considerare sono i seguenti:

- a. *Crolli/scivolamenti/ribaltamenti e valanghe di roccia*: il cedimento dei versanti in roccia può avvenire con meccanismi differenti (crollo, scivolamento, ribaltamento) e coinvolgere per ciascun singolo evento volumi compresi tra qualche metro cubo e milioni di metri cubi. Quando i volumi coinvolti raggiungono le centinaia di migliaia di metri cubi, la reologia del processo può cambiare ed evolvere in un movimento tipo flusso, in grado di percorrere notevoli distanze e prendere in carico ulteriore materiale lungo il tragitto. Si parla in questo caso di "valanghe di roccia" (Hungr *et al.*, 2001). Nelle Alpi Italiane, l'evento più tristemente noto è quello della Val Pola (32 M di m³, 4,6 km di distanza percorsa, coefficiente di mobilità pari a 0,25). L'ambiente glaciale e periglaciale può amplificare questi fenomeni, aumentandone in modo significativo volume e mobilità attraverso i seguenti meccanismi: scivolamento su superfici ghiacciate/coperte di neve, con minore attrito rispetto al substrato roccioso; canalizzazione ad opera delle morene; incorporazione di altri tipi di materiale (es. ghiaccio).
- b. *Colate detritiche*: in ambienti glaciali e periglaciali le colate detritiche possono originarsi in corrispondenza di morene, oppure da falde detritiche al piede di versanti rocciosi soggetti a erosione, in corrispondenza di fronti di *rock glacier* in via di destabilizzazione e a partire da depositi fluvioglaciali all'interno di canali ad elevata pendenza. Le aree periglaciali sono favorevoli alla formazione di colate detritiche per la presenza di notevoli quantità di materiale sciolto non consolidato, le pendenze elevate, il possibile contributo della fusione di neve e ghiaccio, e forti precipitazioni convettive. I livelli caratterizzati da permafrost possono agire da barriera per la percolazione dell'acqua in profondità, producendo una locale saturazione del materiale sovrastante non congelato. Infine, le aree periglaciali di recente deglaciazione possono risultare prive di una copertura vegetale in grado di esercitare un'efficace protezione dagli agenti atmosferici. Sebbene le precipitazioni intense (associate o meno a temperature elevate con fusione nivo/glaciale) siano la principale causa d'innescio, la degradazione del permafrost da sola può fornire l'acqua necessaria allo sviluppo di questi processi: ne sono un esempio le colate originatesi nell'estate 2024, in assenza di precipitazioni, dal *rock glacier* di Livigno.
- c. *Catene di processi*: nel contesto delle profonde trasformazioni in atto negli ambienti di alta quota, questi eventi stanno ricevendo in anni recenti una crescente attenzione, per l'intensità che possono raggiungere e perché in alcuni casi rappresentano una novità rispetto a quanto noto per il passato. Si tratta in pratica di una sequenza di fenomeni che possono prendere avvio a seguito di un processo d'instabilità iniziale, conferendo all'evento dimensioni e distanza di propagazione elevate e spesso difficilmente prevedibili. L'esempio più recente di tale tipologia di fenomeni è rappresentato dall'evento avvenuto il 28 maggio 2025 a Blatten,

nelle Alpi svizzere. La frana causata dal crollo del ghiacciaio Birch ha ricoperto di ghiaccio, fango e rocce il 90% del villaggio e ostruito il fiume Lanza, che attraversava il territorio comunale, provocando la formazione di un lago il cui livello, fortunatamente, dal 30 maggio 2025 ha iniziato a scendere attraverso il passaggio dell'acqua nei depositi di frana. Nei giorni precedenti, il monitoraggio e l'osservazione di frane di dimensioni minori avevano portato all'evacuazione completa del Comune, limitando al massimo la perdita di vite umane. L'evento precedente più noto nelle Alpi europee è quello del Pizzo Cengalo (CH) del 23 agosto 2017, che ha causato vittime e danni alle infrastrutture. Un cedimento di 3 milioni di m³ ha generato una valanga di roccia che ha percorso 3,2 km, rimuovendo oltre 1 milione di m³ di ghiaccio di ghiacciaio e detrito dall'accumulo di una precedente frana del 2011. Questo processo, di per sé non straordinario per l'area, tanto che il versante era monitorato da tempo, ha tuttavia, in modo inaspettato, innescato una serie di colate detritiche: la prima colata detritica si è verificata dopo 30 s, seguita da dieci colate detritiche nelle 9,5 ore successive, e da due ulteriori eventi due giorni dopo, in totale assenza di pioggia (Walter *et al.* 2020). Questi eventi, per la loro complessità e per la novità che in alcuni casi rappresentano (come il caso del Pizzo Cengalo appena descritto), pongono sfide rilevanti per la valutazione di suscettibilità, il monitoraggio e la modellazione.

Una casistica degli eventi documentati sopra i 1500 m di quota nelle Alpi Italiane tra il 2000 e il 2023 è disponibile all'indirizzo <https://geoclimalp.irpi.cnr.it/catasto-frane-alpi/>.

Valutazione delle condizioni di stabilità geo-idrologica di strutture di alta quota

I cambiamenti climatici hanno un impatto crescente sulle condizioni di stabilità di ammassi rocciosi e depositi detritici a quota elevata. Il progetto RESALP-Resilienza Strutture Alpine si pone come obiettivo quello di valutare le eventuali criticità di natura geo-idrologica di bivacchi e rifugi del Club Alpino Italiano a una quota superiore ai 2800 m.

Il progetto è supportato dal CNR-IRPI attraverso la definizione di una metodologia di indagine univoca utilizzata dai vari rilevatori del progetto che è finalizzata alla compilazione di una monografia operativa, un documento con una struttura predefinita che si pone l'obiettivo di definire un approccio codificato all'analisi delle condizioni di stabilità dei depositi detritici e dell'ammasso roccioso su cui sono state costruite le strutture del CAI. Il progetto rappresenta il primo esempio di screening delle condizioni di stabilità geo-idrologica di strutture di alta quota alla scala dell'Arco Alpino Italiano.

I contenuti della monografia operativa sono così suddivisi:

- **valutazione sintetica del manufatto;**
- **inquadramento geologico e geomorfologico** dell'area del bivacco e delle aree prospicienti;
- descrizione delle **condizioni di stabilità dell'edificio** e identificazione dei possibili **danni**;
- eventuali **proposte di monitoraggio** finalizzate ad un incremento delle conoscenze dello stato di stabilità della struttura;
- proposte di **indagini suppletive** atte a incrementare il quadro conoscitivo dell'interazione edificio/basamento;
- **valutazione complessiva** dello stato di stabilità dell'opera e sulle possibili attività per un suo eventuale **rinforzo/ricollocaimento/abbandono**;
- ulteriori indicazioni (facoltativo).

Oltre alla valenza operativa, questo screening avrà anche un importante ritorno in termini metodologici e scientifici, in quanto permetterà la raccolta sistematica di dati relativi alle condizioni di stabilità geo-idrologica delle strutture di alta quota, che rappresentano un osservatorio privilegiato per lo studio degli effetti del cambiamento climatico a quote elevate. Il progetto fornisce inoltre conoscenze utili alla mitigazione degli effetti del cambiamento climatico e può essere utilizzato come modello di riferimento per attività analoghe in altri settori delle Alpi o in aree potenzialmente interessate da processi di degradazione del permafrost.

1. CONOSCENZA / AMBIENTE PERIGLACIALE APPROFONDIMENTI



 PROGETTO RESALP - SCHEDA DI CLASSIFICAZIONE DEL DANNO															
Data rilevamento	gg	me	aaaa	ID CAI											
Struttura CAI				Coordinate											
Comune			Prov.		X	Y	Z								
Tipo di costruzione				N											
Materiale portante				E											
Data di costruzione	gg	me	aaaa	S											
Piani		Posizione rispetto al dissesto		W											
				Descrizione											
				Estensione del danno						G0	G1	G2	G3	G4	G5
				< 1/3											
				1/3 < danno < 2/3											
				> 2/3											
Descrizione e schema del danno															
Interventi di ristrutturazione/consolidamento/sottrazione/inserimento chiodi e/o tiranti/peggiori:															
Osservazioni:															

Figura 1. Scheda di valutazione delle condizioni di stabilità della struttura e del suo intorno, liberamente tratta e modificata da Del Soldato et al., 2017.

Riferimento: <https://www.irpi.cnr.it/project/resalp/>

Riferimento bibliografico: M. Del Soldato, S. Bianchini, D. Calcaterra, P. De Vita, D. Di Martire, R. Tomás, N. Casagli (2017) A new approach for landslide induced damage assessment, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 8:2, 1524-1537.

Catasto delle frane di alta quota nelle Alpi Italiane: dal dataset allo smartphone

Lo sviluppo di processi d'instabilità in alta quota è il risultato della complessa combinazione di fattori predisponenti (geologia, topografia...) e di fattori preparatori ed innescanti, spesso legati a fattori climatici, tra i quali la temperatura gioca un ruolo chiave nella criosfera. I catasti di eventi pregressi rappresentano uno strumento fondamentale, poiché consentono di approfondire la comprensione dei processi condizionanti e determinanti, ottimizzare la valutazione della suscettibilità all'instabilità e meglio definire gli impatti attesi.

A questo scopo, ed in particolare al fine di migliorare la conoscenza dei principali elementi climatici associati all'innescio di movimenti in massa in alta quota, il gruppo di ricerca GeoClimAlp del CNR-IRPI ha realizzato un catasto degli eventi d'instabilità documentati nel periodo 2000-2023 nelle Alpi italiane a quote superiori a 1500 m. Gli eventi catalogati includono un'ampia gamma di processi, tra cui predominano crolli di roccia e colate detritiche (Figura 1). Il catasto rappresenta un prodotto unico nel suo genere a livello internazionale (Nigrelli *et al.* 2024¹).

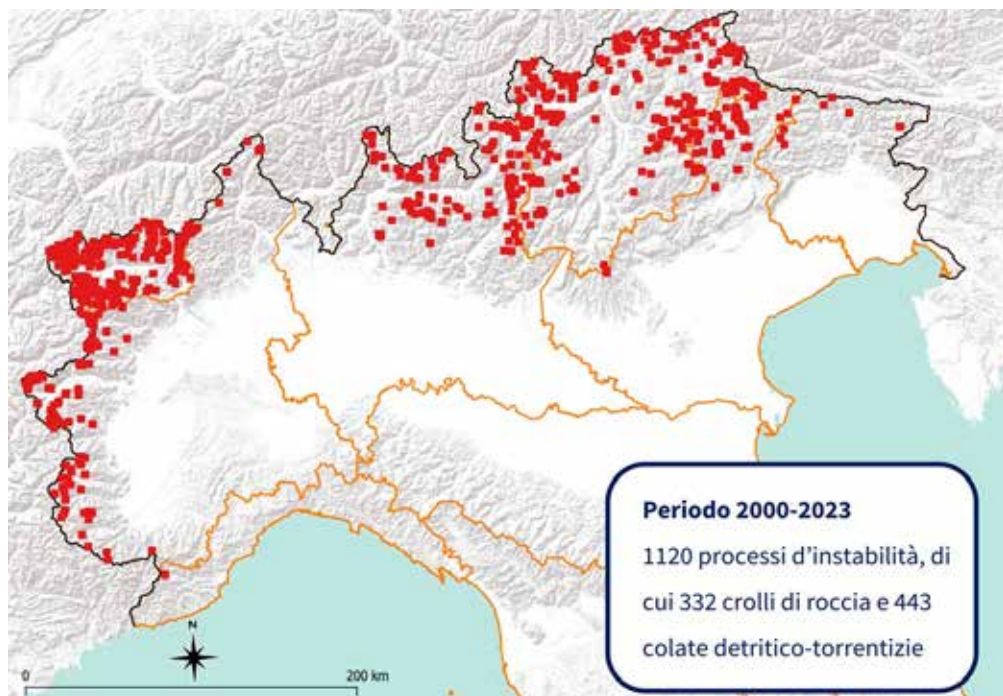


Figura 1 - Distribuzione degli eventi d'instabilità di versante contenuti nel "Catasto delle frane di alta quota nelle Alpi Italiane" (fonte: <https://geoclimalp.irpi.cnr.it/catasto-frane-alpi>).

¹ Nigrelli G., Paranunzio R., Turconi L., Luino F., Mortara G., Guerini M., Giardino M., Chiarle M. (2024) – First national inventory of high-elevation mass movements in the Italian Alps. *Computers and Geosciences*.
<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2024.105520>

1. CONOSCENZA / AMBIENTE PERIGLACIALE APPROFONDIMENTI

Le informazioni contenute nel catasto per ciascun evento sono le seguenti:

UBICAZIONE (SPAZIO-TEMPORALE)	CARATTERISTICHE
Nome evento (località)	Tipo di processo
Regione	Volume
Comune	Litotipo/materiale coinvolto
Coordinate	Condizioni di permafrost
Quota	
Esposizione	
Pendenza	
Data	
Ora	
Accuratezza dell'ubicazione spaziale	
Accuratezza della collocazione temporale	

Considerata la principale finalità del catasto, i dati vengono riferiti al punto altimetricamente più elevato da considerarsi quale zona di inizio dei processi. Particolarmente importanti sono le informazioni che riguardano tipologia, data e volume dell'evento e le coordinate del punto di distacco, da cui poi ricavare, in assenza di dati puntuali, gli altri dati.

Nonostante le numerose fonti d'informazione e banche dati oggi disponibili, gli eventi d'instabilità in ambiente periglaciale sono ancora documentati in modo sporadico, poiché sovente coinvolgono aree poco frequentate, le immagini telerilevate possono essere oscurate da nuvole, ombre o neve e i detriti freschi, che si depositano su accumuli più vecchi, possono essere difficili da riconoscere.

Il catasto può essere utilizzato online e offline, anche mediante smartphone, con la possibilità di inserimento di nuovi eventi o di aggiunta di informazioni su eventi già censiti, il tutto in forma gratuita (Figura 2).

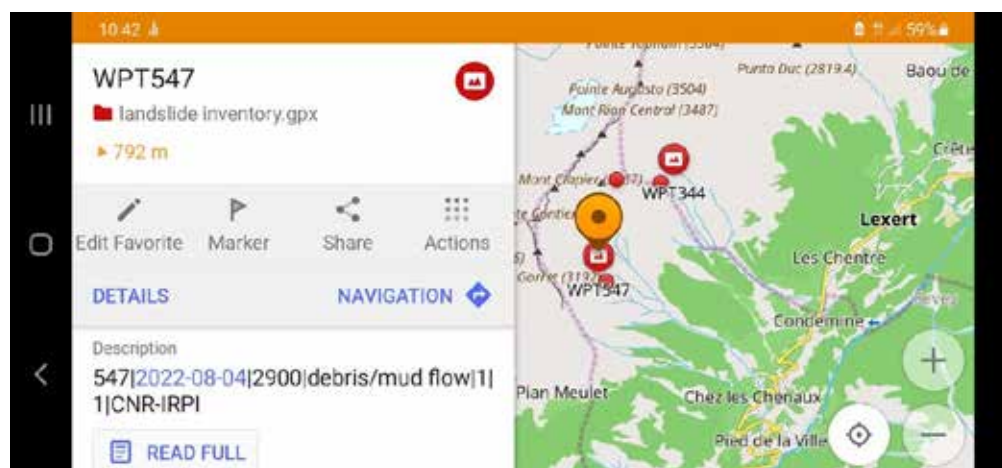


Figura 2. Esempio di utilizzo offline del catasto mediante smartphone (istruzioni d'uso in Nigrelli et al. 2024).

Accordi di collaborazione tra Regione Lombardia ed Enti locali promossi a seguito di eventi di dissesto e finalizzati ad approfondire le conoscenze e condividere gli interventi di mitigazione: il caso di Livigno

Per approfondire le conoscenze su aree interessate, anche potenzialmente, da dissesti idraulici o idrogeologici, Regione Lombardia promuove la realizzazione di studi specifici, estesi ad interi sottobacini idrografici, aste fluviali o versanti, condotti in accordo con gli Enti locali, in attuazione dell'art. 61 del D.Lgs. 152/2006 e degli artt. 2 e 6 della L.R. 15 marzo 2016. Le modalità per la realizzazione prevedono:

- la stipula di accordi che coinvolgano tutti gli Enti interessati, Università e centri di ricerca. Tali accordi prevedono, nella maggior parte dei casi, un cofinanziamento da parte di tutti i sottoscrittori;
- la costituzione di un Gruppo tecnico di accompagnamento, costituito da rappresentanti designati dagli Enti sottoscrittori;
- il coinvolgimento degli ulteriori enti locali e *stakeholder*;
- l'assegnazione di specifici incarichi, da parte di uno degli enti sottoscrittori, per la realizzazione delle attività previste dallo studio.

Le specifiche per la realizzazione degli studi sono concordate tra i sottoscrittori, sulla base del fenomeno che si vuole indagare. A seguito della conclusione degli studi, Regione Lombardia procede alla loro formalizzazione, quali riferimento obbligatorio per i Comuni, per l'aggiornamento degli strumenti di pianificazione urbanistica e di protezione civile, anche proponendo all'Autorità di bacino distrettuale del Fiume Po l'adozione di varianti di aggiornamento degli strumenti di pianificazione di bacino, inserendo nella programmazione regionale, o nelle proposte regionali per la programmazione statale, degli interventi di mitigazione individuati come necessari.

IL CASO DI LIVIGNO

A seguito del verificarsi, nel corso del triennio 2021-2023 e con intensificazione nel 2024, di fenomeni di colata detritica nel bacino idrografico del Torrente Rin da Clus in Comune di Livigno (SO), la Regione ha stipulato un accordo con il Comune di Livigno per approfondire le conoscenze sul fenomeno specifico e, più in generale, sul fenomeno della fusione dei *rock glaciers* in conseguenza del cambiamento climatico in atto. Le attività previste nell'accordo, stipulato nel novembre 2024, erano già state avviate, contestualmente all'intervento di somma urgenza attuato dalla Regione a protezione dell'abitazione e delle infrastrutture presenti sul conoide, anche per delineare il quadro di conoscenza preliminare dei fenomeni.

Sono stati progettati e realizzati sistemi sperimentali di monitoraggio, per la definizione di fattori di controllo geomorfologico e geoidrologico dei *rock glaciers* e la modellazione della dinamica della fusione del permafrost e del conseguente innesco di colate

1. CONOSCENZA / AMBIENTE PERIGLACIALE APPROFONDIMENTI

detritiche, anche in assenza di eventi pluviometrici, utilizzando quale bacino idrografico pilota quello del Rin da Clus. Le attività previste dall'accordo sono così articolate:

Analisi complessiva dei dati disponibili, finalizzata ad orientare efficacemente le attività di studio e definire uno specifico programma delle attività (realizzazione di rilievi topografici, analisi geomorfologica e studio del permafrost e *rock glaciers*).

Monitoraggio dei meccanismi di innesco delle colate, al fine di documentare i processi che generano le colate nella testata della Val di Clus (relazione tra temperatura, piovosità e presenza di permafrost/ghiaccio sepolto nella Val di Clus, per stabilire come si genera il deflusso superficiale che innesca le colate di detrito). Tale fase prevede la:

- progettazione e realizzazione del sistema sperimentale di monitoraggio idrogeologico conoscitivo e allarmistico, sulla base della tecnologia esistente e disponibile sul mercato e dell'eventuale utilizzo di nuovi dispositivi da sperimentare;
- verifica e ottimizzazione del sistema di monitoraggio sperimentale e ai fini allarmistici sulla Val di Clus, per valutarne la funzionalità e proporre opportune modifiche e/o integrazioni.

I risultati attesi sono i seguenti:

- Analisi dei rilievi LiDAR e commento ragionato sulle risultanze geomorfologiche, alla luce del trend morfologico conseguente anche ai cambiamenti climatici e tendenza evolutiva attuale.
- Caratterizzazione e quantificazione per tratti d'alveo omogenei della tendenza evolutiva passata ed attuale (es. sedimentazione/incisione) lungo le diverse aste fluviali.
- Valutazione dei meccanismi di innesco generativi delle colate detritiche, oltre ai contributi degli apporti detritici e influenza geomorfologica da parte del *rock glacier* soggetto a fusione accelerata.
- Realizzazione, implementazione e ottimizzazione del sistema di monitoraggio del bacino del Rin da Clus anche per comprendere e definire scenari evolutivi connessi ai cambiamenti climatici in atto in ambienti di alta montagna.
- Ridefinizione degli scenari di pericolosità idrologica e di pericolosità e rischio torrentizio per l'aggiornamento e perfezionamento dei Piani di Protezione civile.

Sulla base del quadro conoscitivo preliminare – realizzato anche tramite tecniche di interferometria satellitare-SAR, *Digital Image Correlation*, sopralluoghi in sito nonché delle analisi climatologiche – è stata formulata la proposta di sistema di monitoraggio sperimentale come di seguito configurata:

Stagione autunnale 2024

- a. materializzazione e rilievo topografico di 20 capisaldi di riferimento all'interno dell'area del *rock glacier* (n° 16) e della Deformazione Gravitativa Profonda di Versante-DGPV (n° 4);
- b. installazione di fotocamere nei pressi del *rock glacier*;
- c. monitoraggio della temperatura del suolo (GST) mediante il posizionamento di 10 termometri Ibutton distribuiti nell'area studio per valutare il regime termico del suolo su 365g (escluse le missioni) periodo di attività ottobre 2024-ottobre 2025;
- d. elaborazione DSM e Ortofoto voli drone realizzati e da realizzare in area d'indagine e su conoide comprensivo delle operazioni di sovrapposizione e analisi dei dati;

1. CONOSCENZA / AMBIENTE PERIGLACIALE APPROFONDIMENTI

- e. installazione 5 antenne GNSS, 1 antenna master, 3 antenne nella zona del rock glacier, 2 antenne nella zona del DGPV con trasferimento dei dati in tempo reale;
- f. attività di analisi ed elaborazione mediante routine di calcolo automatica di dati satellitari interferometrici e ottici comprensiva dell'acquisto delle necessarie immagini satellitari;
- g. monitoraggio ed elaborazione dei dati nivo-meteo delle stazioni già esistenti e implementazione di nuova stazione all'interno dell'area in esame;
- h. installazione 5 *Trihedral Corner Reflector* per rilievi satellitari tipo SAR.

Stagione primaverile 2025

- a. realizzazione di 4 sondaggi geognostici con prelievo di campioni all'interno dell'area DGPV e installazione di 2 tubazioni inclinometriche e 2 piezometriche; realizzazione di 1 sondaggio geognostico con prelievo di campioni all'interno dell'area RG e installazione di 1 tubazioni inclinometrica comprensiva di cavo TDR per misure ecometriche;
- b. realizzazione di campagna geofisica mediante prospezione elettriche e sismiche a rifrazione;
- c. caratterizzazione granulometrica e geotecnica dei campioni provenienti dai sondaggi geognostici e dal prelievo superficiale del permafrost esposto.

Gli esiti del monitoraggio non sono disponibili alla data di pubblicazione di questo documento (dicembre 2025) perché ancora in corso.

COMUNICAZIONE

2

2. COMUNICAZIONE

► 2.1 IL RUOLO DELLA COMUNICAZIONE NELLA RISPOSTA AL RISCHIO

I cambiamenti climatici stanno modificando profondamente i territori di alta quota, aumentando la frequenza e l'intensità dei fenomeni di destabilizzazione in ambiente glaciale e periglaciale: questi eventi non sono più eccezionali, ma fanno parte di una nuova normalità che impone, quindi, nuove strategie, non solo in termini di previsione, prevenzione e gestione del rischio, ma anche in materia di comunicazione, informazione e diffusione delle conoscenze di protezione civile.

La comunicazione gioca infatti un ruolo essenziale nel migliorare la risposta al rischio degli individui, delle comunità, delle Istituzioni, nella consapevolezza che la sua gestione è un compito condiviso. Ciascun cittadino deve infatti sentirsi partecipe e al contempo responsabile. Perché questo accada è fondamentale lavorare alla costruzione di un rapporto di fiducia attraverso una comunicazione tempestiva, chiara e trasparente.

Per essere efficace, tale comunicazione deve inoltre contemplare – con contenuti, strumenti e modalità adeguate – le diverse fasi di gestione del rischio: il tempo ordinario, l'allertamento, le situazioni di emergenza e di post-emergenza.

Nel tempo ordinario, l'attenzione va focalizzata sulla prevenzione, sulla consapevolezza, sulla preparazione. Immediatamente prima di un possibile evento, ovvero nella fase di allertamento, il focus è sulla diffusione delle allerte e sulla promozione dei comportamenti adeguati.

A evento in corso, specie laddove questo determini una emergenza, è necessario richiamare i comportamenti corretti, fornire aggiornamenti sull'evoluzione della situazione, informare su attività e misure messe in campo per fronteggiarla.

Nel post-emergenza, infine, occorre fornire le informazioni utili per il ritorno alle normali condizioni di vita e, contestualmente, avviare un percorso di confronto e condivisione delle "lezioni apprese".

Per organizzare al meglio le attività, dovrebbe essere redatto un Piano di comunicazione in cui siano specificati gli ambiti di applicazione, gli obiettivi, gli attori, i target di riferimento, i contenuti, le azioni e gli strumenti.

2.2 GLI AMBITI DI APPLICAZIONE

Gli ambienti glaciali e periglaciali sono associati all'alta montagna, dove i fenomeni di dissesto sono endemici e solitamente l'esposizione della popolazione è limitata, dal momento che si tratta di zone poco frequentate e appannaggio degli esperti. Tuttavia, l'aumento dell'instabilità degli apparati glaciali può portare ad un progressivo aumento dei fenomeni di interferenza con le aree antropizzate, le infrastrutture e le zone frequentate dagli escursionisti.

Per questo motivo, la comunicazione del rischio dovrà essere declinata in relazione ai diversi ambiti potenzialmente esposti – Aree antropizzate, Territorio aperto e Territorio aperto ad alta frequentazione – così come classificati al Capitolo 1 di questo documento.

Nell’ambito delle aree antropizzate, andranno poi considerati i siti attenzionati (muniti di sistemi di monitoraggio e allertamento), che richiedono una specifica attività di comunicazione di protezione civile sia interna al sistema, sia rivolta all’esterno.

Per ciascuno di questi ambiti le attività di comunicazione saranno integrate, scalari e personalizzate anche in base al target di riferimento e alla fase di gestione del rischio: ordinaria, di allertamento, di emergenza, di post-emergenza.

2.3 GLI OBIETTIVI DELLA COMUNICAZIONE

Per sviluppare una strategia comunicativa efficace sui rischi glaciali è necessario, prima di tutto, definirne gli obiettivi.

Nella comunicazione **in ordinario** è prioritario:

- sensibilizzare sugli effetti del cambiamento climatico;
- incrementare la conoscenza dei fenomeni per minimizzare l’esposizione al rischio;
- promuovere la consapevolezza del rischio e i comportamenti di autoprotezione, incoraggiando lo sviluppo della capacità individuale;
- informare sulle attività di previsione e prevenzione messe in campo dal sistema di protezione civile per la gestione del rischio;
- favorire l’accesso alle informazioni relative ai siti attenzionati e, più in generale, ai dati tecnico-scientifici.

Una comunicazione del rischio efficace presuppone la costruzione di un rapporto di fiducia con i diversi target, tenendo conto dell’incertezza connaturata al rischio e amplificata dai cambiamenti climatici. I vari attori devono, infatti, non solo comunicare il rischio in modo coerente, accurato, chiaro e trasparente, ma anche dare conto dell’incertezza insita nelle previsioni. Tale incertezza è amplificata dal disequilibrio negli ambienti glacializzati e di alta montagna, quest’ultimo acutizzato dal cambiamento climatico.

Le priorità della comunicazione, pertanto, vanno definite non solo rispetto ai target di riferimento, ma anche rispetto ai singoli ambiti e alle diverse fasi operative.

Nelle fasi di **allertamento ed emergenza** è fondamentale fornire un’informazione corretta e tempestiva su:

- l’evento, temuto o in corso, e le allerte, in particolare quelle relative alle situazioni di rischio presenti nei siti attenzionati;
- le attività di soccorso e assistenza alla popolazione messe in campo per fronteggiare le criticità;
- l’attivazione di componenti e strutture operative del sistema di protezione civile;

2. COMUNICAZIONE

- i provvedimenti adottati e, più in generale, le indicazioni utili al cittadino per la propria tutela e per il superamento della fase emergenziale (comportamenti di autoprotezione, numeri verdi, ecc.).

Nella fase di **post-emergenza** è fondamentale fornire le informazioni utili per il ritorno alle normali condizioni di vita, con particolare riguardo alle misure di sostegno alla popolazione e alle attività produttive, nonché per la continuità scolastica e amministrativa.

La pianificazione della comunicazione in emergenza dovrebbe essere sviluppata all'interno del Piano di protezione civile, con la definizione di tempistiche, procedure, modalità e strumenti, che saranno periodicamente testati anche nell'ambito di attività esercitative.

2.4 GLI ATTORI DELLA COMUNICAZIONE NEL SISTEMA DI PROTEZIONE CIVILE

In ambito normativo, il principale riferimento in materia è il Codice della Protezione Civile (Decreto Legislativo n.1 del 2 gennaio 2018). Secondo tale norma, il Servizio Nazionale della Protezione Civile opera in base al **principio di sussidiarietà** a livello centrale, regionale e locale attraverso le autorità di protezione civile: il Presidente del Consiglio dei Ministri in qualità di autorità nazionale, i Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome di Trento e Bolzano, i Sindaci e i Sindaci metropolitani in qualità di autorità territoriali.

Il Codice, inoltre, individua le attività di protezione civile: la previsione, la prevenzione, la gestione e il superamento dell'emergenza. La comunicazione interessa trasversalmente tutte queste attività, dal tempo ordinario, all'emergenza e al suo superamento.

Il Codice contempla esplicitamente la comunicazione di protezione civile tra le **attività di prevenzione non strutturale**. In particolare, tra queste attività, ricadono la diffusione della conoscenza e della cultura di protezione civile (anche con il coinvolgimento delle istituzioni scolastiche) per promuovere la resilienza delle comunità e l'adozione di comportamenti consapevoli e misure di autoprotezione da parte dei cittadini; l'informazione alla popolazione su scenari di rischio, norme di comportamento e pianificazione di protezione civile.

La prima autorità di protezione civile responsabile dell'informazione alla popolazione è il Sindaco, la figura territorialmente più vicina ai cittadini. È suo il compito di informare su scenari di rischio, pianificazione di protezione civile, situazioni di pericolo determinate dai rischi naturali o dall'attività dell'uomo.

GLI ATTORI DELLA COMUNICAZIONE NEL RISCHIO GLACIALE E PERIGLACIALE

Oltre ai soggetti della filiera istituzionale, Comuni, Regioni e Province Autonome, al Servizio Meteomont dei Carabinieri Forestali e al Soccorso Alpino della Guardia di

Finanza, sono diversi gli attori che possono giocare un ruolo significativo nella comunicazione del rischio glaciale e periglaciale come, ad esempio:

- Comunità Montane;
- Enti /Fondazioni/Associazioni di settore (CAI, ecc.);
- Enti gestori di impianti, rifugi, strutture turistico-ricettive, ecc.;
- Scuole di sci, operatori del turismo montano, guide alpine, ecc.;
- Enti, Associazioni di soccorso.

L'azione comunicativa integrata e coerente di una molteplicità di attori può contribuire a creare consapevolezza e indirizzare chi vive e frequenta l'alta montagna verso comportamenti corretti. In quest'ottica, assume particolare rilevanza l'individuazione a monte dei soggetti competenti per le diverse tematiche correlate alla gestione del ciclo del rischio.

Modalità comunicative e strumenti potranno, ovviamente, essere diversi a fronte di obiettivi di comunicazione comuni. Essenziale per raggiungere tali obiettivi sarà il ruolo delle Istituzioni e dei soggetti che contribuiranno a comunicare il rischio.

A questo proposito, sarà utile lavorare alla costruzione di una **rete di attori della montagna** che condivida obiettivi e strategie e favorisca, attraverso propri canali e strumenti, la diffusione dei messaggi provenienti dalle fonti ufficiali, sia in ordinario sia in emergenza. Tale rete, coordinata a livello istituzionale, sarà formata da professionisti della comunicazione afferenti a diversi ambiti (mondo accademico, professionisti della montagna, associazionismo, ecc.).

Nell'ambito della rete, dovrebbe essere quindi individuato un **nucleo strategico multidisciplinare**, con il ruolo di incentivare il confronto tra soggetti diversi e tradurre le esperienze in azioni comunicative da testare sul campo.

2.5 I TARGET DI RIFERIMENTO

La definizione dei target di riferimento consiste nell'individuazione del pubblico a cui è destinata la comunicazione, per adattare il linguaggio, gli strumenti e i contenuti in base a caratteristiche e necessità. Va infatti chiarito che, in questo contesto come in altri, il primo passo per una comunicazione del rischio che si possa definire efficace è la conoscenza dei bisogni informativi dei destinatari.

Non meno importante nella costruzione del processo comunicativo è la percezione che i destinatari hanno del rischio. La percezione, infatti, può variare sia in funzione delle conoscenze e delle esperienze soggettive (es. pubblico generalista, rispetto a quello esperto), sia in funzione del contesto. Differenze di difficile valutazione, da cui discende, tuttavia, una comunicazione comprensibile ed efficace, soprattutto in emergenza.

Tra gli elementi che incidono sulla percezione, si possono citare: la volontarietà o meno

2. COMUNICAZIONE

dell'esposizione al rischio; il rapporto tra i benefici dati dalla fruizione di un ambiente e i potenziali rischi a cui espone; l'abitudine alla convivenza con il rischio; la visibilità/tangibilità della fonte di rischio. Alla luce di questo, appare particolarmente utile, prima di redigere un piano di comunicazione, realizzare un'indagine ad hoc per conoscere i bisogni informativi e la diversa percezione del rischio da parte dei destinatari.

Percepire il rischio, poi, non è in sé garanzia di conoscenza e messa in atto dei comportamenti corretti da adottare. Sono infatti numerose le variabili che incidono su questo aspetto, come l'età, la presenza di fragilità o disabilità, la valutazione della probabilità di essere coinvolti in prima persona, gli eventuali atteggiamenti fatalistici, ecc. I target ed eventualmente i sotto-target (es. giovani, adulti, categorie vulnerabili) dovranno tenere conto degli ambiti di riferimento classificati al Capitolo 1:

- 1) **Aree antropizzate:** sono aree in cui la presenza di elementi antropici, insieme a una massiccia e costante presenza umana, configurano condizioni di rischio. Richiederebbero, quindi, un monitoraggio dei fenomeni, perlomeno di tipo conoscitivo e, per le situazioni individuate come critiche, un monitoraggio con finalità di allertamento (siti attenzionati). A tale ambito è associato un target ampio e variegato, che coinvolge i fruitori di tali zone: dal residente, al lavoratore, al turista. Laddove siano presenti siti attenzionati, ovvero sottoposti a monitoraggio strumentale per finalità di allertamento, deve essere attuata una comunicazione codificata e proceduralizzata nel Piano di protezione civile comunale.
- 2) **Territorio aperto:** in ragione delle difficoltà di accesso alle aree glacializzate, a tale ambito è associato un target più ristretto che coinvolge una parte della popolazione formata da escursionisti esperti, alpinisti, guide alpine, professionisti della montagna, che hanno conoscenza degli ambienti glaciali, acquisita anche attraverso percorsi di formazione tecnica e di autoprotezione.
- 3) **Territorio aperto ad alta frequentazione:** per la facile accessibilità (es. grazie a impianti di arroccamento), a tale ambito è associato un target esteso che include residenti, turisti e fruitori meno esperti dell'ambiente montano.

Non trascurabile, in tutte le fasi di gestione del rischio, la comunicazione rivolta agli operatori dell'informazione che, soprattutto in situazioni di crisi, hanno necessità di attingere a un set di dati validati e pronti per la diffusione. Il ruolo dei media, in ordinario e più ancora in emergenza, è infatti fondamentale per amplificare il messaggio delle fonti ufficiali.

Più in generale, tutte le attività di comunicazione saranno rivolte a costruire nel quotidiano un rapporto di fiducia con le Istituzioni, facilitando la riconoscibilità delle fonti ufficiali, di fondamentale importanza nelle situazioni in cui è necessaria un'azione di protezione civile.

2.6 I CONTENUTI

Una comunicazione del rischio efficace partirà dai seguenti contenuti, declinati in relazione a scenari, obiettivi e target dettagliati nei paragrafi precedenti:

- fenomeni e rischi in un contesto di cambiamento climatico;
- norme di comportamento (in ordinario, in allertamento e in emergenza);
- procedure e buone pratiche per frequentare l'alta montagna in sicurezza;
- tecniche alpinistiche;
- condizioni di percorsi e rifugi (percorribilità e accessibilità stagionale);
- quadro meteorologico e glacio-nivologico (fonti informative e strumenti);
- pianificazioni di protezione civile (eventuali scenari di evento e di rischio, allertamento e modelli di intervento);
- numeri di emergenza e chiamate di soccorso (modalità e procedure).

La comunicazione nelle fasi di allertamento ed emergenza dovrà richiamare i contenuti veicolati nella fase ordinaria di comunicazione del rischio attraverso modalità e strumenti già riconoscibili e consolidati nell'uso per il cittadino.

A questi contenuti si aggiungeranno quelli specifici sulle azioni del sistema di protezione civile per la previsione e la prevenzione dell'evento e per la gestione dell'eventuale fase emergenziale, nonché di quella di ripristino.

2.7 LE AZIONI E GLI STRUMENTI DI COMUNICAZIONE

Si propone di seguito una panoramica, non esaustiva, di azioni e strumenti che possono essere utilizzati per la comunicazione del rischio.

Le azioni e gli strumenti di comunicazione potranno comprendere:

- incontri e open-day;
- seminari e webinar tematici;
- momenti di sensibilizzazione nell'ambito di esercitazioni su terreni impervi e glacializzati;
- sezioni dedicate su siti internet;
- blog tematici;
- azioni specifiche sui social media;
- campagne integrate di comunicazione;
- prodotti editoriali (pieghevoli, brochure, manifesti) e/o multimediali (video, podcast);
- app;
- simulazioni, videogame, realtà virtuale, realtà aumentata;
- segnaletica/cartellonistica;
- eventi (es.: mostre, convegni);
- piattaforme per la diffusione/divulgazione dei dati;
- numeri verdi.

2. COMUNICAZIONE

Come indicazione generale, è utile ricordare che non esiste uno strumento in assoluto “migliore” e che l’approccio più efficace è quello che adotta una comunicazione multi-canale e multi-strumento: una comunicazione integrata in cui il messaggio sia ridonato e variamente declinato per i diversi target e per il perseguimento degli specifici obiettivi.

2.8 LA COMUNICAZIONE DEL RISCHIO E DI EMERGENZA PER I DIVERSI AMBITI DI RIFERIMENTO

AREE ANTROPIZZATE

La presenza umana e di elementi antropici, configura in queste aree condizioni di rischio e può richiedere un monitoraggio dei fenomeni (siti attenzionati).

Target

A tale ambito è associato un target ampio e variegato, che coinvolge i fruitori di tali zone: dal residente, al lavoratore, al turista, all’escursionista. A questo target, in base agli esiti del monitoraggio strumentale del sito attenzionato, è rivolta una comunicazione codificata nel Piano comunale di protezione civile.

Contenuti prioritari della comunicazione in ordinario

- Piano di protezione civile (scenari di evento e di rischio, allertamento e modelli di intervento);
- norme di comportamento (in ordinario, in allertamento e in emergenza);
- numeri di emergenza e chiamate di soccorso (modalità e procedure).

Contenuti prioritari della comunicazione in fase di allertamento e in emergenza

Oltre a richiamare i contenuti già veicolati in ordinario, l’attività di comunicazione ha il compito di fornire informazioni corrette e tempestive su:

- l’evento, temuto o in corso, e le allerte derivanti anche dal monitoraggio dei fenomeni;
- le indicazioni utili al cittadino per la propria tutela e per il superamento della fase emergenziale (comportamenti di autoprotezione, numeri verdi, ecc.);
- le attività di soccorso e assistenza alla popolazione messe in campo per fronteggiare le criticità;
- l’attivazione di Componenti e Strutture operative del sistema di protezione civile;
- i provvedimenti adottati.

Contenuti prioritari della comunicazione nel post-emergenza

- informazioni utili per il ritorno alle normali condizioni di vita;
- misure di sostegno alla popolazione e alle attività produttive;
- informazioni sulla continuità scolastica e amministrativa.

TERRITORIO APERTO

Si tratta di aree di accesso meno facile e che comunque richiedono conoscenze alpinistiche e di movimentazione in aree con terreni innevati/glacializzati.

Target

A tale ambito è associato un target ristretto che coinvolge escursionisti esperti, guide alpine, professionisti della montagna e, più in generale, soggetti che hanno conoscenza degli ambienti glaciali, acquisita anche attraverso percorsi di formazione.

Contenuti prioritari della comunicazione in ordinario

- fenomeni e rischi del territorio in un contesto di cambiamento climatico;
- procedure e buone pratiche per frequentare l'alta montagna in sicurezza;
- tecniche alpinistiche;
- condizioni di percorsi e rifugi (percorribilità e accessibilità stagionale);
- quadro meteorologico e glacio-nivologico (fonti informative ufficiali e strumenti);
- numeri di emergenza e chiamate di soccorso (modalità e procedure).

Contenuti prioritari della comunicazione in emergenza

Oltre a richiamare i contenuti già veicolati in ordinario, l'attività di comunicazione ha il compito di fornire informazioni corrette e tempestive su:

- l'evento temuto o in corso;
- le attività di soccorso e assistenza messe in campo per fronteggiare le criticità;
- l'attivazione di Componenti e Strutture operative del sistema di protezione civile;
- i provvedimenti adottati.

TERRITORIO APERTO AD ALTA FREQUENTAZIONE

Si tratta di aree facilmente accessibili, ad esempio grazie a impianti di arroccamento.

Target

A tale ambito è associato un target più esteso che include residenti, turisti e fruitori anche poco esperti dell'ambiente montano.

Contenuti prioritari della comunicazione in ordinario

- fenomeni e rischi del territorio in un contesto di cambiamento climatico;
- procedure e buone pratiche per frequentare l'alta montagna in sicurezza;
- condizioni di percorsi e rifugi (percorribilità e accessibilità stagionale);
- quadro meteorologico e glacio-nivologico (fonti informative ufficiali e strumenti);
- numeri di emergenza e chiamate di soccorso (modalità e procedure).

Contenuti prioritari della comunicazione in emergenza

Oltre a richiamare i contenuti già veicolati in ordinario, l'attività di comunicazione ha il compito di fornire informazioni corrette e tempestive su:

- l'evento temuto o in corso;
- le attività di soccorso e assistenza messe in campo per fronteggiare le criticità;
- l'attivazione di Componenti e Strutture operative del sistema di protezione civile;
- i provvedimenti adottati.

Sito web SottoZERO - Report annuale sui ghiacciai valdostani

Dal 2005 la Regione Autonoma Valle d'Aosta ha istituito la **Cabina di Regia dei Ghiacciai Valdostani (CRGV)**, presieduta dalla Struttura regionale Attività geologiche, co-presieduta dal Dipartimento Ambiente della Regione e coordinata dalla Fondazione Montagna sicura, che riunisce l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta-ARPA, il Soccorso Alpino Valdostano, l'Unione Valdostana Guide di Alta Montagna, il Comitato Glaciologico Italiano-CGI, il Consiglio Nazionale delle Ricerche CNR-IRPI, il Parco Nazionale del Gran Paradiso-PNGP, la Compagnia Valdostana delle Acque-CVA, la Società Meteorologica Italiana-SMI, il Centro funzionale e pianificazione della Presidenza della Regione. L'obiettivo è mettere in comune le conoscenze glaciologiche, i dati operativi dei rilievi annuali e favorire le sinergie nelle attività di studio e monitoraggio dei ghiacciai, nonché diffondere, attraverso apposite attività divulgative, anche su web, e didattico-formative, le conoscenze scientifiche acquisite e i risultati degli interventi.

Un prodotto informativo, di sensibilizzazione ed educativo, aggiornato annualmente, che informa sullo stato di (non) salute dei 184 ghiacciai ancora esistenti nella Regione (che detiene circa 1/3 della superficie glacializzata nazionale), della Cabina di Regia dei Ghiacciai Valdostani è il sito web **SottoZERO-Report annuale sui ghiacciai valdostani** <https://www.sottozerovda.it/i>.

Sottoscritto e validato da tutti gli Enti CRGV, SottoZERO è composto da indicatori, alimentati attraverso una stretta collaborazione tra i tecnici di Fondazione Montagna sicura, che ne assicura il coordinamento, di ARPA Valle d'Aosta, della SMI-Società Meteorologica Italiana e del Centro funzionale e pianificazione della Presidenza della Regione. SottoZERO ha l'obiettivo di offrire uno sguardo d'insieme, a livello regionale, sullo stato attuale della criosfera e sulla sua evoluzione nell'ultimo ventennio. Sono stati individuati 14 indicatori suddivisi in 5 macro-aree: ghiacciai, rischio glaciale, permafrost, risorsa idrica nivale e meteo. Attraverso infografiche accattivanti, è di facile lettura ed è completato da didascalie esplicative per agevolarne la comprensione.

Nell'ultimo aggiornamento relativo all'anno 2024 sono stati pubblicati:

- la variazione frontale 2024, che si attesta a -12.5 metri (l'anno precedente, 2023, era stata -14.5 metri);
- il bilancio di massa, che risulta pari a -850 millimetri di acqua equivalente (contro i -1845 millimetri dell'anno precedente);
- il numero di giornate di allertamento per rischio glaciale (53);
- lo spessore dello strato attivo di permafrost scongelato in estate pari a 6.9 metri (contro i 7.6 metri dell'anno precedente);
- la temperatura media della parete Nord del Cervino pari -11.9 °C (in linea con il valore medio storico pari a -11.92 °C);
- l'altezza massima della neve, che si attesta a 141 centimetri contro i 90 centimetri della passata stagione, ma in linea con il valore medio storico pari a 141 centimetri;

2. COMUNICAZIONE APPROFONDIMENTI

- la cumulata annua della neve fresca, che raggiunge i 591 centimetri contro i 358 centimetri della passata stagione e superiore persino alla media storica di 480 centimetri;
- la risorsa idrica nivale, pari a 1220 milioni di metri cubi (+ 13% rispetto al valore medio 2001-2023);
- la precipitazione annua di pioggia e neve fusa, che si attesta a 1239 millimetri (+ 28% rispetto al valore medio 2002-2023);
- la temperatura media della stagione estiva, che si attesta a 11.6 °C, inferiore ai 12.9 °C della passata stagione, ma che comunque fa registrare un'anomalia di +0.3 °C rispetto alla media del periodo 2002-2023;
- la temperatura media annua che si attesta a 4.7 °C -inferiore ai 5.1 °C della passata stagione, ma che comunque fa registrare un'anomalia di +1 °C rispetto alla media del periodo 2002-2023.

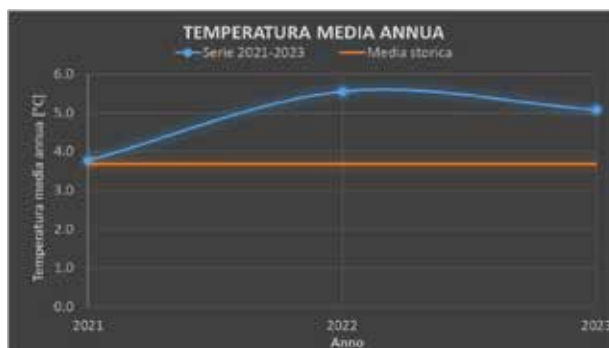
Il sito web “**sottoZERO**” <https://www.sottozerovda.it/> nel 2025 è chiamato a svolgere un ruolo di collettore delle informazioni e degli eventi promossi da Regione Autonoma Valle d'Aosta, Forte di Bard, ARPA Valle d'Aosta e Fondazione Montagna sicura nell'ambito dell'**Anno Internazionale per la Conservazione dei Ghiacciai**.



2. COMUNICAZIONE APPROFONDIMENTI



Temperature





SICURI in MONTAGNA, 25 anni di passione e prudenza

A cura di Elio Guastalli

SICURI in MONTAGNA, il progetto della Direzione nazionale del Corpo nazionale soccorso alpino e speleologico e del Club alpino italiano, si avvia verso il traguardo dei 25 anni; eravamo ad inizio millennio quando, con l'indimenticabile Daniele Chiappa "Ciapin", si diede vita a quest'idea per parlare di prevenzione degli incidenti in montagna.

La sfida: rendere la montagna un luogo più sicuro riducendo gli incidenti umanamente evitabili. Il nome venne da sé: *SICURI in MONTAGNA*; un sintagma, un breve titolo che pone il termine sicurezza in capo alla persona. L'intento, da subito, è stato quello di parlare di prevenzione degli incidenti in montagna come giusto mix fra passione e prudenza, sollecitando le persone a gestire il proprio comportamento con competenza e responsabilità, facendo i conti con i propri limiti. La prevenzione vista come fatto di cultura e come dovere di non esporre sé stessi e i compagni di gita a rischi eccessivi, a volte incontrollabili. Una montagna da vivere liberamente, perché la libertà è propedeutica all'assunzione di responsabilità: liberi di comportarsi bene. La prima attività fu organizzata in Lombardia il 4 giugno 2000 con *SICURI in FERRATA*. Presto ci si accorse che in altre regioni nascevano attività analoghe. In quegli anni un incidente fatale in valanga segnò un gruppo di amici della sottosezione *FALC* di Milano; con loro, attraverso una collaborazione spontanea, nacquero i primi campi neve ai Piani di Bobbio, in Valsassina, per parlare di preparazione della gita, ricerca ARTVa e autosoccorso, soccorso organizzato e altro.



2. COMUNICAZIONE APPROFONDIMENTI



Dal 2006 il progetto *SICURI in MONTAGNA* è stato fatto proprio dalla Direzione Nazionale del CNSAS con l'obiettivo di concludarlo, sempre più, come punto di riferimento di quanti, strutture CAI, Enti e Amministrazioni sensibili, vogliono impegnarsi sul fronte della prevenzione. Molti i consensi e i patrocini raccolti, fra i quali quello del Dipartimento di Protezione Civile. Da allora, con regolarità, vengono organizzate due giornate nazionali, una invernale la terza domenica di gennaio e l'altra estiva, la terza domenica di giugno. Convegni, presidi, escursioni guidate, campi neve dimostrativi e molto altro, sono le attività che parlano di prevenzione, di responsabilità e consapevolezza, di amore per la montagna.

SICURI in MONTAGNA continua ad avere una vocazione informativa tesa a sollecitare attenzioni, prudenze, rivolgendosi ai grandi numeri; a volte, si mettono in campo anche semplici momenti didattici ma la formazione, per definizione, è in capo alle Scuole del CAI, alle Guide Alpine, ai corsi di formazione che a vari livelli si organizzano.

Fare bilanci è sempre difficile, per certi versi impossibile; tuttavia, possiamo dire che negli anni si è potuto cogliere una maggiore attenzione nell'uso delle attrezzature di autoprotezione, ad esempio in ferrata e in neve fresca. Diversamente, accentuato anche dal periodo post-pandemico, preoccupano le persone che si avvicinano alla montagna in modo frettoloso, con scarsa consapevolezza. Altro problema evidente rimane la tendenza diffusa di "destagionalizzare" la montagna; ne è prova la frequentazione della montagna innevata senza solide competenze di base. Sempre per quanto riguarda l'ambiente invernale, si continua a legare la prevenzione al solo rischio da valanga, ovvero alla ricerca con ARTVa, tralasciando problemi ed esigenze assai più complesse.

Oggi, *SICURI in MONTAGNA* può contare sull'impegno di molte persone che formano una cordata che parla di passione per la montagna e d'impegno per ridurre gli incidenti; l'obiettivo condiviso fa capo alla speranza che la cultura della prevenzione diventi sempre più coinvolgente.

Il Blog AINEVA

Il **Blog AINEVA** (<https://bollettini.aineva.it/blog>) dedicato alla neve e valanghe rappresenta un valido esempio di informazione tecnica e scientifica qualificante e di alto rigore tecnico che consente di diffondere i messaggi ad una comunità di utenti più attenta ai contenuti ed alla ricerca di approfondimenti affidabili. Ogni singolo post del blog è caratterizzato da un titolo, un riferimento geografico ed una data di emissione e contiene un testo, sintetico ma caratterizzato da una prosa semplice ma scientificamente corretta e rigorosa e non sensazionalistica che illustri l'argomento con il supporto di foto, video e grafici derivanti dalla rete di osservazione e monitoraggio o dalla modellistica. L'esempio del Blog AINEVA è strutturato per aree geografiche (Regioni e Province afferenti ad AINEVA) ed è multilingue (IT, EN, DE) consentendo agli utenti di filtrare gli argomenti/post secondo le proprie esigenze. Questo approccio consentirebbe all'impalcatura comunicativa sul rischio glaciale e periglaciale di spaziare tra i vari argomenti individuati dal gruppo conoscenza e di adattarsi ai diversi ambiti di applicazione: siti monitorati, siti ad alta frequentazione e ambiti glacializzati. Consentirebbe, inoltre, utilizzando più registri comunicativi di essere utilizzabile per campagne di sensibilizzazione per la cittadinanza, per gli operatori della formazione e per valorizzare il ruolo dei Professionisti della montagna nonché per raggiungere gli obiettivi didattici del livello di base ed alcuni obiettivi preliminari del livello intermedio di formazione.



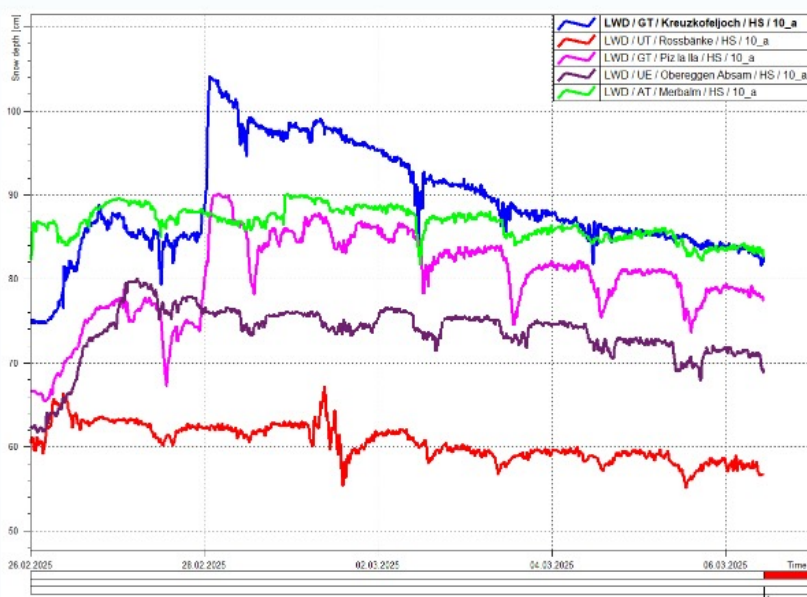
La homepage del **Blog AINEVA** dedicato alla neve e valanghe consente agli utenti che leggono il bollettino di previsione valanghe di approfondire singoli temi o gli scenari di pericolo su base regionale solitamente con una cadenza settimanale o bisettimanale. Nel periodo di mancata emissione dei bollettini di previsione valanghe il blog assume anche valenza di nota informativa.

Blog

Pericolo di valanghe generalmente debole - Tre brevi analisi degli incidenti da valanga avvenuti nel Latemar, Dolomiti di Sesto e Braiesgiovedì 06/03/2025, 11:04 **Alto Adige**

La situazione valanghiva è migliorata continuamente negli ultimi giorni, e i punti pericolosi sono rari. Il pericolo di valanghe aumenta nella seconda parte della giornata a causa del problema di neve bagnata, mentre il vento ha causato localmente la formazione di alcuni accumuli di neve ventata. Da lunedì prossimo il tempo sarà variabile con neve fresca.

A metà della scorsa settimana, nelle zone centrali e orientali della provincia si sono verificate delle nevicate, talvolta a carattere di rovescio nevoso. Le precipitazioni a carattere di rovescio sono tipiche della stagione calda, alla quale ci stiamo avvicinando sempre di più, ma può accadere anche in altri periodi che le precipitazioni possano variare notevolmente a scala locale.



Evoluzione dell'altezza del manto nevoso nelle varie stazioni. A metà della scorsa settimana (26 febbraio), era presente un po' di neve fresca in tutte le stazioni, ma solo pochi centimetri a Pian dei Cavalli in Val d'Ultimo (rosso) e a Malga Merbe in Valle Aurina (verde); ha nevicato maggiormente nelle Dolomiti. Le differenze nella quantità di neve fresca sono state ancora maggiori con i rovesci nevosi nella notte tra venerdì 27 febbraio e sabato 28 febbraio. Mentre alla stazione Passo Poma di Longiarù (blu) e alla stazione Piz La lla di Corvara (rosa) sono caduti circa 15-20 cm, le altre stazioni non hanno registrato nessuna nevicata. Di conseguenza, il manto nevoso si è assestato maggiormente dove è caduta più neve fresca, altrimenti molto meno.

Queste precipitazioni hanno aumentato il pericolo di valanghe, che è stato valutato come grado 2, moderato, al di sopra del limite del bosco, a causa del problema di neve ventata. Mentre la nevicata di mercoledì è avvenuta con venti moderati da nord-est, la neve fresca del 27/28 febbraio è caduta con vento quasi assente. Questo ha fatto sì che gli accumuli di neve ventata fossero ricoperti dalla neve fresca.

Nelle immagini, due estratti da due diversi blog che consentono approfondimenti specifici su singole tematiche con il supporto di foto, grafici di dati dalla rete di osservazione e misura, diagrammi da modelli di simulazione del manto nevoso. Si noti anche, nella seconda immagine, che specifiche parti del testo (opportunamente evidenziate) possono fornire un collegamento a glossari o ad altre pagine di approfondimento tecnico-scientifico predisposte all'uopo.

La Piattaforma Climadat: uno strumento per la conoscenza, la diffusione delle informazioni e la sensibilizzazione della popolazione sull'adattamento ai cambiamenti climatici

F. GIORDANO, M. PANTALEONI, E. DE MAIO Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, **F. BAFFO** Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica

La Piattaforma Nazionale sull'Adattamento ai Cambiamenti Climatici, denominata Climadat, è stata promossa dal Ministero della Transizione Ecologica (MiTE), oggi Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) e realizzata dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

La Piattaforma, pubblicata nel dicembre 2022, ha come scopo principale quello di favorire lo scambio di informazioni tra l'amministrazione centrale, gli Enti locali e tutti i portatori di interesse, a partire dai cittadini, rispetto al tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici, rappresentando così lo strumento informativo principale su questo tema in Italia. Essa è strutturata secondo le sezioni di seguito riportate (Figura 1).

Conoscere i cambiamenti climatici: si compone di una parte introduttiva finalizzata a illustrare, ad un utente non esperto, che cosa sono i cambiamenti climatici, quali sono i fenomeni naturali e i processi antropici che vengono considerati tra le principali cause delle variazioni del clima, quali sono le possibili conseguenze o impatti sui diversi sistemi ambientali e sui settori socio-economici. Sono inoltre introdotte le due strategie che a livello internazionale e nazionale sono implementate al fine di poter fronteggiare le cause e le conseguenze dei cambiamenti climatici, ovvero la mitigazione e l'adattamento. Agli utenti interessati ad approfondire è fornita inoltre la possibilità di scendere nel dettaglio dei concetti introdotti e di accedere ai siti delle più autorevoli fonti di informazione a livello nazionale e internazionale.

Dati e indicatori: permette di navigare, consultare e scaricare dati e indicatori relativi allo stato, alle variazioni e alle tendenze del clima in Italia, elaborati nell'ambito del Sistema nazionale per la raccolta, l'elaborazione e la diffusione dei dati climatici SCIA, di accedere tramite WebGIS alla consultazione sul territorio italiano dei dati e degli indicatori sul clima degli ultimi 50 anni nonché, attraverso gli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici, di fornire un primo quadro conoscitivo sui possibili impatti connessi ai cambiamenti climatici sui sistemi naturali e sui settori economici.

Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC): mette in condivisione tutti i materiali ufficiali relativi al PNACC.

Quadro normativo, politiche e misure di adattamento: delinea il contesto istituzionale ai diversi livelli di governance, da quello europeo fino a quello locale italiano.

In primo piano: offre lo strumento denominato "Nella tua zona" che consente la ricerca



Figura1. La Homepage della Piattaforma Climadat.

di contenuti georeferenziati, propone una rassegna di buone pratiche, cioè azioni già attuate o in corso di attuazione in Italia, mirate a ridurre la vulnerabilità agli effetti negativi dei cambiamenti del clima e a limitare i danni derivanti dagli impatti presenti e futuri. Infine, permette all’utente di collaborare attivamente proponendo contributi, documenti, link utili per la pubblicazione nella Piattaforma.

Con particolare riferimento agli ambienti glaciali e periglaciali, la Piattaforma già oggi rappresenta uno strumento utile a divulgare elementi conoscitivi di base come, ad esempio, le cause e le conseguenze dei cambiamenti climatici, le variazioni del clima passato e gli scenari climatici futuri, le strategie di mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici (Sezione: Conoscere i cambiamenti climatici). Nella sezione dedicata a “Impatti, vulnerabilità e adattamento” è proposto un quadro di sintesi inerente ai possibili impatti dei cambiamenti climatici sui settori naturali e sui sistemi socio-economici. Sul tema della montagna si segnala, nello specifico, il settore “Ambiente alpino e appenninico”, ma si evidenziano anche altri settori di possibile interesse come Ecosistemi terrestri, Suolo e territorio, Risorse idriche, Agricoltura, Energia, Foreste e Turismo. Inoltre, nella Sezione “Dati e indicatori”, la Piattaforma rende accessibili dati e indicatori relativi allo stato, alle variazioni e alle tendenze del clima in Italia e agli impatti dei cambiamenti climatici nei settori sopra citati. In questo contesto si segnalano, in particolare, gli indicatori relativi al “Bilancio di massa dei ghiacciai” e allo “Stato termico del permafrost”, disponibili tra gli “Indicatori di impatto” all’interno del settore “Ambiente alpino e appenninico” (Figura 2).



Figura 2. La pagina relativa all'indicatore "Bilancio di massa dei ghiacciai" all'interno del settore "Ambiente alpino e appenninico".

La Piattaforma, inoltre, consente l'accesso ai materiali prodotti nell'ambito del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC), con riferimento agli aspetti conoscitivi relativi al tema della "Criosfera e montagna" e le relative azioni di adattamento di potenziale interesse in quest'ambito (es. Dissesto geologico, idrologico e idraulico, Ecosistemi terrestri, Foreste, Risorse idriche, Turismo, Energia). La Piattaforma è uno strumento dinamico e in continuo aggiornamento. Pertanto i contenuti potranno essere arricchiti con nuove informazioni, documenti e materiali relativi all'ambiente di montagna e ai rischi connessi.



Programma pluriennale di ricerca MONTAGNA, RISCHIO E RESPONSABILITÀ

Il programma pluriennale di ricerca *Montagna Rischio e Responsabilità* della Fondazione Courmayeur Mont Blanc, coordinato dall'avvocato Waldemaro Flick, presidente vicario dell'Osservatorio sul sistema montagna "Laurent Ferretti" della Fondazione, e dall'avvocato Maurizio Flick, componente del Comitato scientifico della Fondazione, è stato avviato nel 1993. In oltre trent'anni di intensa attività di ricerca e di confronto ha consentito alla Fondazione di assumere una leadership in quest'area, riconosciuta a livello nazionale ed internazionale. Importante la sinergia attivata, sin dal 2005, con la Fondazione Montagna sicura, grazie alla sigla di un accordo di collaborazione rinnovato negli anni.

Il percorso è iniziato con una prima ricognizione generale dei problemi. Nel 1994 si è affrontata la responsabilità del maestro di sci e della guida alpina, nel 1995 ci si è occupati della responsabilità dell'ente pubblico, nel 1996 di alpinismo, sci e soccorso alpino e nel 1997 si è trattato il tema della via assicurativa. L'attività è proseguita in modo continuativo nel corso degli anni affrontando il rischio e la responsabilità in montagna mediante diversi profili. Convegni di argomento strettamente giuridico sono stati affiancati da incontri che hanno riguardato specifiche problematiche delle professioni della montagna e temi d'interesse dei pubblici amministratori, oltre agli aspetti di tipo assicurativo.



Tra le iniziative promosse, anche le *Giornate della prevenzione e del soccorso in montagna*, organizzate congiuntamente alla Fondazione Montagna sicura ed al Soccorso alpino della Guardia di Finanza, che hanno esaminato, nel corso di ciascuna iniziativa, tematiche specifiche: comunicazione e montagna, educare e rieducare alla montagna, *domaine skiables* e sci fuori pista, ecc...

Nel 2010 la Fondazione, in collaborazione con Fondazione Montagna sicura, ha realizzato, nell'ambito del Progetto Interreg Resamont, lo studio giuridico comparato *Du piolet à internet. Applicazioni transfrontaliere di telemedicina in montagna*, volto ad approfondire e confrontare la legislazione sulla telemedicina e sulla medicina di montagna in Francia, Italia e Svizzera (pubblicato nei volumi nn. 20 e 21 della Collana, rispettivamente in lingua italiana e francese).

2. COMUNICAZIONE APPROFONDIMENTI

A tutte le iniziative congressuali ha fatto seguito la pubblicazione del volume degli atti, consentendo di divulgarne i risultati ad un pubblico più ampio. A questo ciclo si è affiancata, anno dopo anno, una raccolta di dottrina, legislazione e giurisprudenza a livello di singola nazione. Al codice italiano, francese, spagnolo, svizzero e austriaco si è aggiunto, nel 2008, l'aggiornamento multimediale dei Codici della montagna raccolti in unico CD.

Nel 2020 le Fondazioni Courmayeur Mont Blanc e Montagna sicura hanno siglato un accordo specialistico nell'ambito del progetto "SKIALP@GSB-Scialpinismo nella Valle del Gran San Bernardo (Valle d'Aosta e Vallese)" del Programma di Cooperazione transfrontaliera Interreg Italia-Svizzera 14/20. Grazie a tale accordo è stato realizzato lo *Studio giuridico comparato Italia- Svizzera sulla promozione della pratica dello scialpinismo tra la valle del Gran San Bernardo e la località svizzera di Verbier*, diretto e coordinato dall'avvocato Waldemaro Flick. Lo Studio giuridico è raccolto nel volume n. 24 della Collana *Montagna Rischio e Responsabilità* della Fondazione.

Nel 2023 ha preso avvio il progetto pluriennale su *Sport outdoor*, promosso dalle Fondazioni Courmayeur Mont Blanc e Montagna sicura, teso ad individuare un quadro di riferimento sulle responsabilità che si possono prefigurare in capo ai tanti soggetti che, a diverso titolo, possono essere coinvolti in caso di incidenti nell'ambito di attività sportive svolte in montagna. Dopo aver affrontato, nel 2023, il *Trail running* (gli atti del Convegno sono raccolti nel volume n. 25 della Collana) e, nel 2024, lo scialpinismo (Convegno su Sport outdoor. Lo scialpinismo, Courmayeur, 19 aprile 2024).

I volumi della collana *Montagna, Rischio e Responsabilità* sono consultabili sul sito della Fondazione www.fondazionecourmayeur.it.

Bacino sperimentale della Bessanese: dalla ricerca alla comunicazione del rischio in ambiente glaciale e periglaciale

Il bacino glaciale della Bessanese (Balme, TO) è dal 2014 un'area sperimentale di alta quota, strumentata dal CNR-IRPI per lo studio delle dinamiche geomorfologiche in corso di evoluzione e le relazioni tra le principali variabili meteorologiche, con specifico riferimento ai processi di instabilità naturale (in particolare frane e colate detritiche) e agli impatti dei cambiamenti climatici in atto. L'area è stata scelta per la varietà di forme e processi in uno spazio ristretto, per l'intensa interazione tra geosfera e criosfera e per la presenza di una delle poche stazioni meteorologiche automatiche di alta quota dell'arco alpino italiano, gestita da ARPA Piemonte e attiva dal 1988.

Grazie all'appoggio logistico fornito dal Rifugio Gastaldi del CAI Torino, ben presto l'area è divenuta un punto di riferimento per molte attività di ricerca e, allo stesso tempo, un luogo privilegiato per la divulgazione e la formazione in campo sul tema dei rischi naturali, anche alla luce degli attuali cambiamenti climatici e dei possibili scenari futuri (Figura 1).



Figura 1. Area sperimentale della Bessanese e ubicazione degli elementi citati nel testo.
Sullo sfondo l'Uja di Bessanese (3604 m s.l.m.).

2. COMUNICAZIONE APPROFONDIMENTI

Le attività di comunicazione, formazione e divulgazione hanno ricevuto un deciso impulso quando, nel 2022, ARPA Piemonte, CAI Piemonte, CAI Torino, CNR-IRPI e Museo Nazionale della Montagna hanno stipulato una apposita convenzione finalizzata alla valorizzazione del bacino glaciale della Bessanese e del vecchio Rifugio Gastaldi del CAI Torino. Tale convenzione ha dato avvio a una fitta serie di iniziative, tra cui un nuovo allestimento della sede staccata del Museo della Montagna

in un locale del vecchio Rifugio, la realizzazione di una “Saletta del presente” adatta per incontri e presentazioni multimediali nel vecchio Rifugio. Sono state condotte numerose attività di ricerca scientifica sviluppate congiuntamente e, non ultimo, molte attività di formazione e sensibilizzazione svolte direttamente in campo e rivolte a studenti universitari, tecnici e frequentatori della montagna (Figura 2). Le attività assolvono alla missione dei promotori nel creare quella cultura diffusa necessaria affinché la società moderna sia maggiormente consapevole, alimentando una cultura volta alla conoscenza delle modificazioni in atto in alta quota e alla prevenzione dei rischi naturali.



Per approfondimenti:

<https://geoclimalp.irpi.cnr.it/>

[bacino-della-bessanese/](https://webgis.arpa.piemonte.it/agportal/apps/bacino-della-bessanese/)

[https://webgis.arpa.piemonte.it/agportal/apps/](https://webgis.arpa.piemonte.it/agportal/apps/MapJournal/index.html?appid=88744c3e-748949429df4fd4b8026ea6d)

[MapJournal/index.html?appid=88744c3e-](https://webgis.arpa.piemonte.it/agportal/apps/MapJournal/index.html?appid=88744c3e-748949429df4fd4b8026ea6d)

[748949429df4fd4b8026ea6d](https://webgis.arpa.piemonte.it/agportal/apps/MapJournal/index.html?appid=88744c3e-748949429df4fd4b8026ea6d)

Figura 2. Locandina degli eventi divulgativi organizzati da ARPA Piemonte nell'estate 2024.

FORMAZIONE

3

3. FORMAZIONE

► 3.1 STRUMENTI METODOLOGICI PER UN PIANO FORMATIVO SUL RISCHIO

Il presente documento ha l'obiettivo di fornire una proposta di azioni sulle quali impostare un piano formativo, organizzato su più livelli, che consenta a più categorie di discenti, differenziate per caratteristiche e necessità, di acquisire una comprensione approfondita dei rischi associati ai fenomeni di dissesto che avvengono negli ambienti glaciali e periglaciali e il possesso di nuove competenze/abilità atte a fronteggiarli. Tale proposta è basata sulle esperienze realizzate da diversi soggetti che operano in questo ambito. Occorrerà, *in primis*, individuare/suggerire risposte ai seguenti quesiti durante le fasi iniziali della progettazione:

- **Perché formare?** Quali conoscenze, abilità, e capacità di azione volte a gestire e minimizzare l'esposizione al rischio durante lo svolgimento di attività lavorative e non in ambiente glaciale e periglaciale vogliamo far sviluppare agli utenti di questa formazione? Per rispondere occorrerà definire i fabbisogni individuali, del ruolo lavorativo e delle organizzazioni e il tema verrà trattato nel paragrafo 3.3.
- **Chi vogliamo formare?** I destinatari della formazione possono frequentare due ambiti territoriali distinti mutuabili dalle definizioni presenti negli allegati 1 e 2 alla Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 12 agosto 2019 pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 231 del 2 ottobre 2019: "territorio antropizzato" vs "territorio aperto" cui si aggiunge il terzo ambito delle aree in "territorio aperto ad alta frequentazione" già ampiamente discussi nel paragrafo 1.1.2 del presente documento. Il primo ambito (territorio antropizzato) riguarda quindi in modo più specifico le finalità di protezione civile mentre il secondo (territorio aperto) riguarda, in senso lato, il dovere di attuare azioni di conoscenza/sensibilizzazione/informazione/formazione a scopo di prevenzione degli incidenti tenendo presente che tali ambiti sono percorribili dall'utente a suo esclusivo rischio e pericolo poiché non sono soggetti ai compiti di vigilanza e gestione. Una prima risposta a questo tema viene fornita nel paragrafo 3.2.
- **Come intendiamo erogare la formazione?** Occorrerà individuare modalità e strumenti adatti a ciascuna categoria d'utenza. Una prima risposta a questo tema viene fornita nel paragrafo 3.3.

Le possibili soluzioni partono dalla strutturazione di tre distinti livelli formativi:

- 1 - Livello di base;
- 2 - Livello intermedio professionalizzante;
- 3 - Livello avanzato e di specializzazione.

Tra i tre livelli formativi sarà opportuno definire una progressione obbligatoria, individuata per ciascuna categoria di utenti secondo i fabbisogni formativi delle varie figure di discenti individuate, separando le iniziative di sensibilizzazione/prevenzione/divulgazione (si veda in merito il Capitolo 2) dai livelli formativi intermedi ed avanzati. I corsi più corposi potranno essere suddivisi in due o più moduli separati al fine di favorirne la fruibilità e la compatibilità con gli impegni lavorativi degli utenti. Si noti, inoltre, che non tutte le categorie d'utente dovranno obbligatoriamente seguire il percorso di formazione completo strutturato sui tre livelli. Solo il primo Livello di base è destinato a tutte le categorie d'utenza mentre nel prosieguo della formazione potranno esistere percorsi separati ed indipendenti a seconda dei fabbisogni individuati.

Il **Livello di base** dovrebbe consentire a tutte le categorie di discenti di acquisire quel minimo di nozioni/competenze/abilità/capacità di azione atte a raggiungere gli obiettivi minimi della formazione così declinabili:

1. comprendere nelle linee generali i fenomeni glaciali e periglaciali e le loro dinamiche;
2. inquadrare i principali rischi associati a questi fenomeni anche alla luce dei cambiamenti climatici;
3. sviluppare le competenze minime per la valutazione e la gestione dei rischi;
4. promuovere la consapevolezza e la preparazione nelle comunità vulnerabili.

Il **Livello intermedio professionalizzante** dovrebbe consentire a ciascuna categoria di discenti, in funzione dei bisogni formativi e dei ruoli, di acquisire nozioni/competenze/abilità/capacità di azione avanzate atte a raggiungere gli obiettivi intermedi della formazione attraverso la frequentazione anche di più moduli formativi:

1. comprendere nel dettaglio i fenomeni glaciali e periglaciali e le loro dinamiche;
2. identificare i rischi associati a questi fenomeni anche alla luce dei cambiamenti climatici;
3. sviluppare le competenze intermedie per la valutazione e la gestione dei rischi;
4. padroneggiare tecniche di comunicazione volte ad aumentare la consapevolezza e la preparazione nelle comunità vulnerabili;
5. padroneggiare le tecniche di soccorso e gestione delle emergenze legate ai rischi negli ambienti glaciale e periglaciale.

Il **terzo livello formativo (livello avanzato e di specializzazione)** dovrebbe avere come obiettivo la formazione dei formatori e dovrebbe, altresì, soddisfare la domanda di aggiornamento professionale obbligatorio per i professionisti abilitati e l'alta specializzazione per dottorandi, ricercatori universitari e professionisti. Naturalmente questi moduli formativi dovrebbero essere progettati ed erogati in collaborazione/sinergia con Università, Politecnici, Centri di ricerca italiani e stranieri e con le varie Fondazioni/Associazioni/Enti che seguono queste tematiche. Per tale livello formativo si potrebbero, periodicamente, organizzare "Scuole Estive" rivolte principalmente alla formazione e specializzazione post-laurea con particolare attenzione alle attività in campo (es. cartografica specialistica, modellistica, telerilevamento e monitoraggio strumentale etc.). Tale livello dovrebbe consentire ad alcune selezionate categorie di discenti, in funzione dei bisogni formativi e dei ruoli, di acquisire nozioni/competenze/abilità/capacità di azione avanzate atte a raggiungere gli obiettivi più ambiziosi della formazione attraverso la frequentazione anche di più moduli formativi:

1. sviluppare capacità di studio, analisi avanzata e ricerca sui fenomeni glaciali e periglaciali e le loro dinamiche;
2. sviluppare capacità d'identificazione ed analisi dei rischi diretti ed indiretti associati a questi fenomeni anche alla luce dei cambiamenti climatici;
3. sviluppare le competenze avanzate per la valutazione e la gestione dei rischi;
4. implementare e progettare tecniche di comunicazione volte ad aumentare la consapevolezza e la preparazione nelle comunità vulnerabili;
5. consentire/consolidare la specializzazione in soccorso e gestione delle emergenze in scenari complessi.

3. FORMAZIONE

3.2 DEFINIZIONE DELLE CATEGORIE DI UTENTI DELLA FORMAZIONE IN BASE ALLE ORGANIZZAZIONI E AI RUOLI RICOPERTI DA CIASCUN UTENTE E ALL'AMBITO TERRITORIALE DI AZIONE

I destinatari della formazione possono venir suddivisi in due macrocategorie principali per ciascuno degli ambiti territoriali già individuati e descritti:

- a) l'utenza professionale o che svolge attività lavorativa in ambiente montano;
- b) l'utenza sportivo-ricreativa e la cittadinanza.

Per ciascuna categoria d'utenza e per ciascun ambito territoriale dovranno, in fase di progettazione, essere individuati i bisogni individuali, del ruolo lavorativo e dell'organizzazione e i relativi obiettivi formativi. Come detto, infatti, le principali categorie individuabili presentano necessità di formazione e livelli di esposizione al rischio estremamente variegati e disomogenei.

In linea generale, le due macrocategorie di utenza destinatarie della formazione sono adatte per il Livello formativo di base. Ciascuna macrocategoria d'utenza necessiterà, pertanto, di una strutturazione dei moduli didattici che consenta il raggiungimento degli obiettivi minimi di formazione per questo livello.

Per il Livello intermedio professionalizzante e per il Livello avanzato e di specializzazione questo documento, in maniera non esaustiva, propone la seguente segmentazione per categoria d'utenza:

- **operatori professionali della montagna** (guide alpine, accompagnatori di media montagna, guide ambientali escursionistiche, rifugisti, maestri di sci, gestori e personale tecnico impianti a fune e aree sciabili, ecc.);
- **fruitori dell'alta montagna e accompagnatori non professionali** (alpinisti, sci alpinisti, skyrunners, istruttori CAI, ecc.);
- **amministratori locali e personale tecnico delle Amministrazioni** con particolare attenzione per i Comuni nei quali sono presenti sistemi di monitoraggio con finalità di allertamento e/o condizioni di rischio glaciale e periglaciale per le aree antropizzate (Comuni, Comunità Montane, Unioni dei Comuni Montani, Province, Regioni, ecc.);
- **tecnici e personale della protezione civile** (Dipartimento della Protezione Civile, Centri Funzionali Decentrati, Strutture operative, ecc.) con particolare attenzione a chi eroga servizi di soccorso ed emergenza (Vigili del Fuoco, Corpo Nazionale Soccorso Alpino e Speleologico, Soccorso Alpino della Guardia di Finanza, Esercito Italiano, Aeronautica Militare-Centro SAR, ecc.);
- **professionisti del settore ambientale/pianificazione del territorio e progettisti di opere** (ingegneri, geologi, forestali, architetti e urbanisti, biologi e naturalisti, ecc.);
- **tecnici e personale degli impianti idroelettrici**;
- **operatori della comunicazione** (giornalisti, social-media manager);
- **operatori del diritto** (legislatori, giuristi, giudici, avvocati, operatori di polizia giudiziaria);
- **comunità** (con focus particolare su operatori della formazione e approcci educativi integrati nei percorsi scolastici del primo e secondo ciclo d'istruzione).

I moduli didattici, gli obiettivi formativi e il complessivo percorso sui due livelli potranno variare in funzione dei bisogni formativi di ciascuna categoria ed eventuale sottocategoria d'utenza individuata.

3.3 INDIVIDUAZIONE DI CONOSCENZE, ABILITÀ E CAPACITÀ DI AZIONE VOLTE A GESTIRE E MINIMIZZARE L'ESPOSIZIONE AL RISCHIO IN AMBIENTE GLACIALE E PERIGLACIALE PER CATEGORIE DI UTENTI E AMBITO TERRITORIALE DI AZIONE

Per ciascuna categoria d'utenza sarà necessario valutare il livello d'istruzione in ingresso e le eventuali competenze specifiche già possedute sul tema, il ruolo professionale ricoperto, gli ambiti territoriali d'azione.

Sulla base di queste informazioni sarà possibile analizzare e definire i bisogni formativi di ciascuna categoria d'utenza e le nozioni/competenze/abilità/capacità di azione che dovranno essere acquisite/consolidate al termine di ciascun modulo formativo/livello di formazione.

Questa progettazione, infatti, dovrà adottare una moderna concezione della didattica che definisca, per ciascuna materia d'insegnamento, gli obiettivi di formazione od obiettivi didattici (graduabili in sei classi) per ciascuna categoria d'utenza secondo i criteri del curriculum vitae Europass articolato per qualifiche e competenze: conoscenza (sapere), abilità (saper fare), orientare le azioni (saper essere, saper interagire/ collaborare).

Si propone di suddividere i fabbisogni e gli obiettivi di formazione (graduabili) in due macro-categorie:

- a) Fabbisogni ed obiettivi di formazione tipici del Livello di base che si concretizzano in semplici iniziative di formazione rivolte principalmente a sensibilizzare e divulgare il tema dei pericoli naturali in ambiente glaciale e periglaciale e dei rischi connessi. Tale formazione dovrà essere strettamente sinergica con gli obiettivi del sottogruppo di lavoro "comunicazione", si vedano in proposito il Capitolo 2 e le conclusioni;
- b) Fabbisogni e obiettivi di formazione tipici del Livello intermedio professionalizzante e del Livello avanzato e di specializzazione che consentono lo sviluppo di conoscenze, abilità e capacità di azione volte a gestire e minimizzare l'esposizione al rischio durante lo svolgimento di attività lavorative e non in ambiente glaciale e periglaciale anche in scenari particolarmente complessi e sfidanti.

Ove necessario, i moduli didattici possono venir calibrati in funzione del livello di formazione dell'utenza mediante appositi test in entrata, in itinere e alla fine di ciascun modulo formativo ove vengano testati i livelli di conoscenza presenti e acquisiti.

3. FORMAZIONE

SCHEMA TIPO DI PROGETTAZIONE DI MODULO FORMATIVO

Articolazione del progetto di modulo formativo:

- 1) Introduzione al corso (testo descrittivo).
- 2) Panoramica (testo descrittivo).
- 3) Esplicitazione del numero di *goals* (competenze) che il discente deve acquisire secondo una graduazione per obiettivi raggiungibili (suddivisi in sei livelli successivi) nell'ambito del corso (testo descrittivo).
- 4) Esplicitazione dei prerequisiti necessari (testo descrittivo) e verifica a cura dell'organizzazione all'atto dell'iscrizione al corso.
- 5) Un eventuale test d'ingresso (selettivo) al corso per la valutazione delle nozioni, conoscenze ed esperienze preesistenti.
- 6) Esplicitazione della struttura del corso (testo descrittivo – sia nel catalogo dell'offerta formativa sia all'inizio del corso – programma del corso) definita per Moduli Didattici (MD) sotto strutturati in n Unità Didattiche (UD) teoriche e/o pratiche costituite da n Oggetti Formativi (OF – argomenti). Ove siano previsti test di verifica selettivi in itinere, il non superamento del test obbliga alla nuova fruizione del Modulo Didattico (MD) sino al raggiungimento degli obiettivi didattici minimi prefissati.

Ciascun **Corso** è costituito da n Moduli Didattici (MD) utili ad acquisire una serie di competenze/abilità.

Ciascuno **Modulo Didattico** (MD) è costituito da n Unità Didattiche (UD – Lezioni frontali o attività pratiche);

Ogni **Unità Didattica** (UD) è costituita da n Oggetti Formativi (OF – argomenti);

Ciascun **Oggetto Formativo** (UD) può essere costituito da n Content Object (CO – sotto argomento o unità di contenuto);

A ciascun **Modulo Didattico** (MD) è associato uno specifico dominio di competenza che deve essere acquisito da parte del discente mediante il raggiungimento dei *Goals* (competenze) costituiti ciascuno da una serie di Obiettivi Didattici graduati in più livelli ciascuno.

Si inserisce, a titolo di esempio, uno schema tipo di progettazione di un modulo formativo (Allegato 1 al Capitolo 3).

INDIVIDUAZIONE DEI FABBISOGNI INDIVIDUALI DI FORMAZIONE PER CATEGORIE DI UTENTI

Come già discusso nel paragrafo 3.2, per ciascuna categoria d'utenza e per ciascun ambito territoriale dovranno, in fase di progettazione, venir individuati i bisogni individuali, del ruolo lavorativo e dell'organizzazione e i relativi obiettivi formativi.

Per il Livello di base si propone una possibile articolazione in moduli didattici che consentano il raggiungimento degli obiettivi minimi di formazione propri per questo livello:

Modulo 1: Introduzione agli ambienti glaciali e periglaciali ed ai pericoli connessi, anche alla luce dei cambiamenti climatici

- Definizione di ambiente glaciale e periglaciale.
- Tipologie di ghiacciai e loro distribuzione geografica/altimetrica.
- Morfologie dell'ambiente glaciale e periglaciale.
- Introduzione ai processi di formazione ed alle dinamiche evolutive dei ghiacciai.

Modulo 2: Pericoli associati ai fenomeni glaciali e rischi connessi in territorio aperto e aree antropizzate

- Definizione di territorio aperto, territorio aperto ad alta frequentazione, aree antropizzate (siti attenzionati vs non attenzionati).
- Introduzione alla valutazione dei pericoli e comprensione della loro evoluzione alla luce dei cambiamenti climatici: cadute di seracchi o valanghe di ghiaccio. GLOF e inondazioni/rotte glaciali; valanghe miste di ghiaccio e neve; frane e colate detritiche.
- Introduzione alla valutazione dei rischi e comprensione della loro evoluzione alla luce dei cambiamenti climatici: livelli di esposizione e di danno potenziale (impatti ambientali e socioeconomici).
- Casi studio di eventi estremi.

Modulo 3: Pericoli associati ai fenomeni periglaciali e rischi connessi in territorio aperto e aree antropizzate

- Definizione e caratteristiche del permafrost e dei *rock-glaciers*.
- Introduzione alla valutazione dei pericoli e comprensione della loro evoluzione alla luce dei cambiamenti climatici: degradazione e fusione del permafrost con decadimento delle caratteristiche geotecniche di suoli e ammassi rocciosi; crolli/scivolamenti/ribaltamenti in roccia; valanghe di roccia; colate detritiche e processi erosivi fluvio-glaciali in alveo; catene di processi.
- Introduzione alla valutazione dei rischi e comprensione della loro evoluzione alla luce dei cambiamenti climatici: livelli di esposizione e di danno potenziale (impatti ambientali e socioeconomici).
- Casi studio di eventi estremi.

Modulo 4: Introduzione alla metodologie di monitoraggio

- Monitoraggi di Primo Livello a bassa frequenza di acquisizione: catasti/inventari dei ghiacciai e le cartografie storiche.
- Monitoraggi di Secondo Livello a media ed elevata frequenza di acquisizione: telerilevamento e mappe satellitari; laser scanner terrestri; fotogrammetria terrestre; stazione totale robotizzata; GNSS e interferometria satellitare.

Modulo 5: Introduzione alla metodologie di valutazione dei pericoli e di gestione dei rischi connessi

- Introduzione alle tecniche di monitoraggio in situ e di *early warning*.
- Panoramica sulle opere di protezione (argini deviatori, dighe di contenimento) e sulle misure di pianificazione territoriale a scopo preventivo.

3. FORMAZIONE

- Introduzione alle tecniche di valutazione del rischio.
- Illustrazione delle strategie di mitigazione del rischio e adattamento.
- Modelli di piani di emergenza per eventi glaciali/periglaciali.

Modulo 6: Sensibilizzazione e preparazione della comunità

- Importanza della comunicazione del rischio, tema dell'incertezza conoscitiva.
- Fasi della comunicazione del rischio: pre-allertamento; allertamento; emergenza; post evento; valutazione/verifica.
- Soggetti che devono comunicare e i target di riferimento.
- Contenuti della comunicazione per ambito di applicazione: per siti monitorati; per siti ad alta frequentazione; per ambiti glacializzati; montagna, rischio e responsabilità per amministratori e operatori del diritto.
- Bisogni informativi degli utenti.
- Percezione del rischio nella comunità (volontarietà dell'esposizione; rapporto rischi/benefici; abitudine alla convivenza con il rischio; visibilità e tangibilità del rischio; fattore umano e interazione sociale).
- Diritto: rischio; responsabilità individuale e collettiva; autoresponsabilità.
- Comunicazione efficace; comunicazione tra esperti, Istituzioni e cittadinanza.
- Adeguamento della pianificazione territoriale ai rischi glaciali e periglaciali e sviluppo di piani di emergenza.
- Coinvolgimento della comunità nella gestione del rischio.
- Casi studio ed esempi di comunicazione efficace ed efficiente.

Modulo 7: Tecniche di movimentazione e soccorso in ambiente glaciale e periglaciale

- Introduzione alle tecniche di movimentazione in ambiente con le relative procedure di minimizzazione del rischio (tecniche di pianificazione delle attività di movimentazione e valutazione dei pericoli e dei rischi connessi; analisi del terreno e valutazione dei pericoli in situ; topografia e orientamento anche con GPS; tecniche di gestione del gruppo e di mitigazione del rischio durante la movimentazione; attrezzature e DPI per ambienti innevati, glacializzati, montani impervi in alta quota e loro utilizzo; progressione tecnica su ghiaccio e terreno impervio montano di alta quota e uso della corda; catena di assicurazione, materiali e tecniche), eventuale parte pratica in ambiente.
- Introduzione alle tecniche di soccorso (strategie d'intervento nella ricerca di persone disperse; sgombero di impianti a fune; tecnologie applicate alla ricerca e al soccorso; gestione delle risorse umane nel soccorso; recupero in crepaccio; recupero in ambiente impervio e ad alta quota; recupero su cascata di ghiaccio; caratteristiche dell'elicottero, procedure d'imbarco/sbarco e uso del verricello, movimentazione a bordo e terminologia aeronautica nelle comunicazioni con l'equipaggio; autosoccorso e soccorso organizzato in valanga; primo soccorso, stabilizzazione e trasporto dell'infortunato; aspetti psicologici), oltre a eventuale parte pratica in ambiente; comparazione e standardizzazione delle procedure d'intervento e soccorso; procedure di coordinamento tra Enti di Soccorso; casi studio ed esempi di soccorso. Per le categorie d'utenza professionali, già in possesso di elevate conoscenze/competenze/abilità preliminarmente accertate e certificate sarà

possibile riconoscere alcune esenzioni dai moduli didattici di base e/o facilitazioni di accesso ai moduli didattici più avanzati.

Per i livelli intermedio professionalizzante e avanzato e di specializzazione i moduli didattici verranno differenziati per ciascuna categoria/sottocategoria d'utenza variando/adattando i moduli didattici nonché le unità didattiche e gli oggetti formativi in funzione degli obiettivi didattici individuati.

Per alcune categorie d'utenza (tecnici e personale dei servizi di soccorso ed emergenza; operatori professionali della montagna) i moduli didattici potranno privilegiare le attività pratiche quali modalità formative.

DEFINIZIONE DEI REQUISITI D'INGRESSO, DEGLI OBIETTIVI DELLA FORMAZIONE E DEI RISULTATI ATTESI PER CIASCUNA CATEGORIA DI UTENTI E AMBITO TERRITORIALE DI AZIONE

I requisiti d'ingresso (nozioni/competenze/abilità/capacità di azione) preliminarmente necessari per ciascun modulo didattico vanno definiti, almeno, per le due macrocategorie d'utenza individuate (vedi Capitolo 3.2) e preferibilmente per ciascuna categoria anche tenendo conto dell'ambito territoriale ove si esporranno al rischio glaciale e periglaciale.

Per il Livello di base i requisiti d'ingresso sono minimi od anche nulli (diploma di scuola secondaria inferiore) poiché tale livello si propone di far acquisire gli obiettivi didattici minimi in assoluto (sensibilizzazione/consapevolezza e conoscenze di base sul tema). Per i livelli intermedio professionalizzante e avanzato e di specializzazione i requisiti d'ingresso si alzano in funzione della categoria/sottocategoria d'utenza ed eventualmente dei moduli didattici già frequentati e superati.

La tabella riportata nella pagina che segue, propone una possibile classificazione, in base agli ambiti territoriali presi in considerazione, dei moduli formativi secondo una scala d'importanza (da 1 a 5) per le due macro-categorie d'utenza: utenza professionale o che svolge attività lavorativa in ambiente montano (colore azzurro); utenza sportivo-ricreativa e la cittadinanza (colore giallo):

3. FORMAZIONE

MODULO FORMATIVO	TERRITORIO APERTO	TERRITORIO APERTO AD ALTA FREQUENTAZIONE	AREE ANTROPIZZATE
Modulo 1: Introduzione agli ambienti glaciali e periglaciali e ai pericoli connessi	5	5	5
	4	4	4
Modulo 2: Pericoli associati ai fenomeni glaciali e rischi connessi in territorio aperto e aree antropizzate	5	5	5
	5	5	5
Modulo 3: Pericoli associati ai fenomeni periglaciali e rischi connessi in territorio aperto e aree antropizzate	3	3	3
	3	3	3
Modulo 4: Metodologie di monitoraggio	4	4	4
	3	3	3
Modulo 5: Metodologie di valutazione dei pericoli e di gestione dei rischi connessi	5	5	5
	5	5	5
Modulo 6: Sensibilizzazione e preparazione della comunità	2	2	2
	4	4	4
Modulo 7: Tecniche di movimentazione e soccorso in ambiente glaciale e periglaciale	5	5	5
	5	5	5

GRADUAZIONE DEGLI OBIETTIVI DI FORMAZIONE IN BASE AI FABBISOGNI INDIVIDUALI DELLE CATEGORIE DI UTENTI INDIVIDUATE IN MODULI DIDATTICI, UNITÀ DIDATTICHE, OGGETTI FORMATIVI E SOTTO ARGOMENTI

Alla luce delle esigenze formative emerse e dell'opportunità di graduare i percorsi formativi su livelli crescenti di conoscenza risulta necessario implementare un sistema di governance che permetta di garantire omogeneità nella fruizione dei differenti corsi per l'utente finale. In particolare, risulta importante la definizione relativamente ai requisiti di accesso ai vari corsi delle interdipendenze tra i differenti moduli formativi proposti al fine di poter offrire un pacchetto formativo coerente ed efficace. A tal fine si inserisce una proposta dettagliata di sistema di *governance* del percorso formativo globale (Allegato 2 al Capitolo 3).

DEFINIZIONE DI DURATA, MODALITÀ FORMATIVA, MATERIALE DIDATTICO NECESSARIO PER CIASCUN MODULO

Al fine di definire la durata di ciascun modulo didattico è fondamentale avere chiari gli obiettivi di apprendimento di ciascun modulo didattico. Analogamente a quanto già discusso nel paragrafo precedente, sarà necessario condurre un'analisi dei fabbisogni formativi attraverso questionari, interviste o *focus group* specifici per ciascuna categoria di discenti individuata al fine di definire il livello di competenza che le varie categorie e sottocategorie di discenti devono raggiungere al termine di ciascun modulo didattico.

Inoltre, sarà anche opportuno valutare la quantità di obiettivi di apprendimento che dovranno essere raggiunti per ciascun modulo didattico al fine di ottenere un bilanciamento complessivo del carico di lavoro sia per i discenti sia per i docenti. Infatti, contenuti più ampi o complessi richiederanno più unità didattiche ed oggetti formativi nonché più tempo per essere spiegati dai docenti e per essere recepiti ed assimilati dai discenti.

Solitamente le lezioni frontali richiederanno da 1 a 2 ore per presentare i concetti chiave, le attività pratiche (laboratori, *workshops* pratici od esercitazioni in campo) richiederanno da 2 a 4-5 ore per lo svolgimento, le discussioni di gruppo ed i *feedback*/analisi di casi studio richiederanno circa 1 ora ed in generale i docenti dovranno essere in grado di adattare con flessibilità l'erogazione delle unità didattiche e degli oggetti formativi in base al ritmo di apprendimento dei discenti che potrà variare fortemente sia tra le diverse categorie d'utenza sia tra i diversi discenti.

Le modalità formative per l'erogazione di ciascun modulo didattico dovranno essere scelte, sempre in base all'analisi dei fabbisogni formativi, e risultare appropriate in base agli obiettivi didattici e alle categorie di discenti.

Indicativamente:

- Le **lezioni frontali** (in aula o tramite *webinar*) risultano ideali per introdurre ed illustrare più o meno approfonditamente i nuovi concetti.
- Le **attività pratiche** (laboratori, *workshops* pratici od esercitazioni in campo) risultano utili per applicare, in contesti reali o in simulazioni il più possibile realistiche, le conoscenze apprese nelle lezioni frontali.
- Le **discussioni di gruppo** e i ***feedback*/analisi di casi studio** favoriscono l'interazione e il confronto tra discenti consentendo una migliore fissazione dei concetti e lo scambio reciproco di esperienze.
- La **formazione attraverso l'e-learning** risulta una soluzione alternativa alle lezioni frontali a condizioni che si possano utilizzare piattaforme online per fornire contenuti e attività in modo flessibile e più consono alle singole esigenze dei discenti. È però indispensabile che i moduli didattici, le unità didattiche e gli oggetti formativi siano stati specificamente progettati per questa modalità di fruizione e ciò comporta un notevole investimento di tempo e risorse.
- La **combinazione di modalità formative** (*blended learning*) combina le diverse modalità appena illustrate e può massimizzare l'*engagement* specie per alcune categorie d'utenza non più abituata alla formazione.

3. FORMAZIONE

Il **materiale didattico** da predisporre per ciascun modulo formativo potrà includere:

- Slides, cartografie anche in formato digitale, fotografie e materiale audio/video per supportare le lezioni frontali da cui potranno essere ricavati files pdf da distribuire ai discenti per lo studio.
- Documenti di lettura: articoli, report e documentazione per i casi di studio utili per approfondire i temi trattati nelle lezioni frontali o per supportare attività pratiche (laboratori e *workshops*).
- Strumenti pratici: strumenti di misura e monitoraggio, software, dispositivi di protezione individuali, attrezzatura alpinistica e attrezzatura da soccorso per lo svolgimento di attività pratiche (*workshops* pratici od esercitazioni in campo).
- Risorse online: Link a video, webinar e altre risorse pertinenti od anche piattaforme di *e-learning*.

Poiché i docenti che erogheranno i singoli moduli formativi provengono da una pluralità di Enti con esperienze e metodologie di didattica anche molto differenziate sarà necessario ed opportuno ricercare modalità di progettazione condivisa di tutto il percorso formativo nonché di condivisione ed uniformazione delle metodiche. Stessa attenzione dovrà essere rivolta alla formazione dei formatori ed all'uniformazione degli stili di erogazione/tecniche di didattica.

Tutto il materiale didattico dovrà rispondere ai criteri di accessibilità (sia in formato cartaceo sia in formato digitale) al contempo tutelando la proprietà intellettuale dei contenuti ove necessario ed opportuno.

Anche per il materiale didattico, dopo l'erogazione di ogni modulo didattico sarà necessario raccogliere *feedback* dai discenti riguardo alla durata, alle modalità e ai materiali utilizzati. Questo aiuterà a identificare aree di miglioramento.

Modulo formativo **Cambiamenti climatici e rischi in alta montagna - Ridurre i rischi legati al cambiamento climatico nella pratica del mestiere di Guida**, nell'ambito del percorso formativo per Aspiranti Guide Alpine Valdostane

Nella Regione Autonoma Valle d'Aosta, compete al Collegio professionale dell'Unione Valdostana Guide di Alta Montagna (UVGAM) la formazione iniziale e continua delle Guide di Alta Montagna.

L'UVGAM, a seguito della donazione delle Famiglie di Nicolò Morano e di Federico Daricou (Guida alpina valdostana), deceduti nel 2019 in un tragico incidente in alta montagna, ha istituito un modulo aggiuntivo nel percorso di formazione delle Aspiranti Guide Alpine Valdostane dedicato ad approfondire gli effetti del cambiamento climatico sulla criosfera, con particolare attenzione ai rischi della montagna e alla pratica in sicurezza dell'attività professionale.

Nel settembre 2025 è prevista un'ulteriore edizione dello stage denominato *Cambiamenti climatici e rischi in alta montagna-Ridurre i rischi legati al cambiamento climatico nella pratica del mestiere di Guida*, nell'ambito del percorso formativo per Aspiranti Guide Alpine, che si tiene per ogni edizione presso la sede di Villa Cameron della Fondazione Montagna sicura, a Courmayeur, anche tenuto conto che UVGAM è Ente socio della Fondazione la quale opera espressamente negli ambiti dei rischi in alta montagna.

Le sessioni comportano la presenza in aula con moduli dedicati ai rischi emergenti nell'attuale contesto di cambiamento climatico, con attenzione ai crolli in roccia, al permafrost, ai rischi glaciali, alla neve e alle valanghe, agli effetti del cambiamento climatico sulla criosfera in generale. L'attività complessiva, della durata in media di quattro giorni, comporta anche un'uscita sul terreno per condurre valutazioni pratiche ed approfondimenti operativi.

Il modulo Morano/Daricou rappresenta a tutti gli effetti un percorso pionieristico di attenzione all'evoluzione dell'alta montagna nella pratica professionale.

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE

Il Gruppo di Lavoro, riunendo esperti provenienti da Comunità scientifica, soggetti di protezione civile con particolare riguardo al Soccorso alpino, Amministrazioni regionali e organizzazioni di settore, ha svolto un ruolo determinante nel favorire un confronto multidisciplinare, attraverso lo scambio di esperienze sui temi trattati. In virtù di questa sinergia, è stato possibile arricchire le riflessioni con contributi specialistici, individuare lacune conoscitive e consolidare metodologie omogenee per la mappatura, il monitoraggio e la comunicazione del rischio.

Il coinvolgimento della Comunità scientifica, in particolare, si conferma un requisito imprescindibile per garantire un'analisi quanto più attendibile delle prospettive future: solo un'attività di ricerca coordinata e interdisciplinare, infatti, è in grado di garantire un'approfondita comprensione dei processi glaciali e periglaciali, il corretto affinamento dei modelli predittivi e la validazione rigorosa di nuove tecnologie di monitoraggio. Il dialogo costante tra ricercatori, tecnici e amministratori, pertanto, favorirà l'adozione di soluzioni innovative e tempestive, indispensabili in un contesto di cambiamenti climatici che evolve con sempre maggiore rapidità, introducendo scenari critici nuovi e complessi che devono essere tempestivamente identificati ed analizzati al fine di formulare delle strategie di gestione e mitigazione del rischio efficaci e sito specifiche.

Contestualmente, è stata evidenziata l'importanza di coinvolgere la cittadinanza locale e i frequentatori delle aree alpine, affinché diventino, sempre più, parte attiva di un processo di prevenzione condivisa. Sensibilizzare e formare la popolazione, infatti, non significa soltanto trasmettere nozioni tecniche, ma favorire un'autentica cultura della responsabilità individuale e collettiva, basata sul buon senso e sulla capacità di riconoscere tempestivamente i segnali di pericolo. In questo senso, ogni escursionista, guida alpina o semplice appassionato della montagna può trasformarsi in un "osservatore-vigilante", in grado di contribuire con segnalazioni e feedback al miglioramento continuo delle strategie di allertamento e di mitigazione del rischio.

Alla luce delle evidenze raccolte e delle analisi condotte, emergono alcuni elementi fondamentali per migliorare la gestione del rischio glaciale, suddivisi sulla base delle tre principali tematiche sviluppate nel documento, ovvero conoscenza, comunicazione e formazione.

Appare in tutti i contributi e approfondimenti che solo attraverso un approccio coordinato, basato sulla collaborazione tra Istituzioni, Comunità scientifica e cittadini, è possibile affrontare in modo efficace le sfide poste dai cambiamenti climatici e dalla crescente instabilità degli ambienti glaciali e periglaciali.

Il quadro conoscitivo attuale sull'ambiente glaciale e periglaciale è ancora in evoluzione e fortemente influenzato da rapide variazioni indotte dai cambiamenti climatici, circostanza che rende complesso fornire misure di gestione del rischio che possano applicarsi, indistintamente, ai suddetti ambienti. In questo contesto, la classificazione degli ambienti glaciali rappresenta uno strumento utile per differenziare gli ambiti territoriali (aree antropizzate, territorio aperto ad alta frequentazione, territorio aperto),

ciascuno caratterizzato da specifici livelli di esposizione ai fenomeni di dissesto. Tale differenziazione appare particolarmente rilevante alla luce dell'aumentata frequentazione turistica e della crescente dinamicità dei processi, i quali impongono un continuo aggiornamento delle conoscenze e una gestione proattiva del rischio. Se purtroppo i processi appaiono più veloci e impattanti delle capacità di risposta, il sistema di protezione civile deve sapersi adattare, modificando il proprio *modus operandi* e adattandolo alle capacità di risposte rapide a processi sempre più imprevedibili.

In relazione all'attuale instabilità e variabilità degli ambienti glaciali, fortemente condizionati dagli effetti dei cambiamenti climatici, si prospetta la necessità di rafforzare ulteriormente l'attività conoscitiva, attraverso l'adozione di metodologie dinamiche e integrate. Le future azioni, in particolare, dovrebbero focalizzarsi sull'aggiornamento continuo dei catasti glaciali e lacustri, sull'impiego sistematico di modelli numerici per la simulazione degli scenari di rischio e sull'estensione dei monitoraggi sito-specifici, specialmente nei settori più critici. La classificazione degli ambiti in base alla presenza antropica e alla frequentazione rappresenta sicuramente un valido punto di partenza, che andrà integrato con analisi predittive e strumenti decisionali orientati alla gestione preventiva e all'allertamento tempestivo. Il recente evento di Blatten (Alpi svizzere) del 28 maggio 2025, citato al Capitolo 1, ha evidenziato l'importanza di dette attività: seppure non si sia potuta evitare la totale distruzione del paese, un attento monitoraggio ed una buona gestione dell'emergenza hanno evitato che il suddetto evento determinasse anche un elevato numero di vittime. L'interazione tra conoscenza scientifica, tecnologia e operatività sul territorio sarà cruciale per le attività di previsione e prevenzione degli effetti prodotti dai processi esaminati.

Considerata la limitata conoscenza attuale dei processi di instabilità periglaciale e la loro elevata variabilità, le prospettive future devono orientarsi verso un rafforzamento sistematico della ricerca e della raccolta dati. È auspicabile lo sviluppo di un framework nazionale per il monitoraggio periglaciale che, anche integrando osservazioni sul campo e tecniche di telerilevamento, consenta di delineare con maggiore precisione le dinamiche evolutive in atto e i loro impatti anche sulle aree di fondovalle, spesso fortemente antropizzate. Solo partendo da un quadro conoscitivo solido, infatti, sarà possibile definire strategie di gestione del rischio e misure di mitigazione efficaci. Le future attività dovranno, quindi, promuovere una maggiore sinergia tra Comunità scientifica e soggetti del territorio, con l'obiettivo di trasformare la frammentazione attuale in un sistema integrato di osservazione e valutazione del rischio.

Le attività di approfondimento e condivisione svolte nell'ambito del sottogruppo tematico "Formazione" hanno permesso di definire gli elementi essenziali di un'azione strategica di formazione che possa fornire conoscenze, abilità e capacità di azione tali da consentire ai diversi soggetti interessati di adottare le più efficaci misure di mitigazione del rischio negli ambienti glaciali e periglaciali. In particolare, il lavoro svolto ha consentito di individuare, pur se per macro categorie, i soggetti che alimentano la domanda formativa in questo specifico settore, definendo i criteri per analizzare i bisogni e formulare una proposta formativa che possa soddisfare le specifiche esigenze del possibile discente,

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE

dall'utente non esperto al professionista della montagna. È stato, quindi, definito un modello formativo incrementale, articolato su tre livelli (base, intermedio e avanzato), ricomprendente obiettivi e conoscenze graduati coerentemente con le esigenze di ogni soggetto, a seconda degli ambiti territoriali nei quali si troverà a muoversi e operare, sulla base del proprio ruolo all'interno del sistema e al livello di esposizione al rischio.

Al fine di fornire criteri utili a impostare i diversi percorsi di formazione sono stati individuati gli elementi base delle differenti tipologie di corso; sono stati delineati i lineamenti di un possibile sistema di *governance* che propone la definizione di requisiti d'ingresso ai differenti livelli formativi suggerendo, per ognuno di essi, le più efficaci modalità di docenza e il materiale didattico da rendere disponibile. Il modello formativo proposto non intende imporre standard o requisiti minimi, cui i differenti territori dovrebbero uniformarsi, ma piuttosto fornire uno strumento che ogni territorio può utilizzare adattandolo alle proprie specificità e alle proprie esigenze. Per tale motivo il modello formativo incrementale risulta particolarmente efficace nell'adattarsi ai differenti contesti, rispondendo in modo differenziato ai bisogni di discenti con ruoli, competenze e ambiti territoriali diversi. Anche per dare evidenza ad alcune esperienze virtuose, sono stati riportati, in specifici allegati oppure box, esempi di percorsi formativi già realizzati.

In esito al lavoro svolto, è emersa evidente l'opportunità di costituire un sistema di relazioni nell'ambito della formazione, per favorire ogni azione, basata sulla sussidiarietà orizzontale e verticale, che possa agevolare la realizzazione di un modello formativo efficace sul territorio nazionale e, al tempo stesso, valorizzare le eccellenze didattiche che già operano su specifici settori e in determinate aree geografiche.

Le prospettive future nel campo della formazione devono valorizzare l'approccio modulare emerso dal lavoro del Gruppo, strutturato su livelli differenziati in base ai ruoli e agli ambiti di intervento. La sfida sarà rendere questo modello stabile, replicabile e aggiornabile, garantendo percorsi formativi flessibili, ma rigorosi, in grado di accompagnare l'evoluzione dei rischi legati alla criosfera. La formazione dovrà essere concepita come un processo continuo, in cui teoria e pratica si integrano, e dove l'esperienza diretta nei contesti alpini diventa parte integrante dell'apprendimento. È auspicabile, inoltre, un rafforzamento della governance del sistema formativo, mediante una maggiore interconnessione con le azioni di comunicazione e informazione. Solo così sarà possibile creare una comunità competente, quindi preparata ad affrontare in modo proattivo e consapevole le sfide poste dai cambiamenti in atto.

La comunicazione e la formazione rappresentano strumenti strategici imprescindibili per la gestione del rischio glaciale e periglaciale, avendo l'obiettivo comune di accrescere una cultura del rischio basata sulla consapevolezza e sulla responsabilità, individuale e collettiva. Pur nelle differenze, date dalle specificità dei diversi ambiti disciplinari, a partire da questo fondamentale punto in comune è importante strutturare una cooperazione tra le parti, soprattutto nella definizione dei contenuti che, in alcuni casi (si pensi ad esempio al livello formativo di base), potranno anche coincidere.

In contesti in cui l'imprevedibilità e la dinamicità dei fenomeni naturali rendono impossibile un controllo totale, è fondamentale infatti che gli interventi di riduzione del rischio si adeguino alla situazione contingente e che l'informazione non solo raggiunga il pubblico in modo tempestivo e trasparente, ma anche che sia chiara, contestualizzata e orientata all'autoprotezione. Anche i materiali di supporto alle attività di comunicazione dovranno essere accomunati da accuratezza, chiarezza e coerenza; facilmente comprensibili e coinvolgenti, dovranno essere elaborati tenendo conto delle idee e delle buone pratiche già sperimentate nei territori.

A tale proposito, a partire dalla definizione degli ambiti territoriali potenzialmente esposti al rischio, il lavoro del sottogruppo dedicato alla comunicazione ha consentito di individuare obiettivi, target, contenuti e strumenti delle attività di comunicazione in relazione alle diverse fasi di gestione del rischio – il tempo ordinario, l'allertamento, le situazioni di emergenza e di post-emergenza – demandandone la declinazione specifica ai singoli Piani di comunicazione.

Particolarmente utile, inoltre, sarà il consolidamento di gruppi di lavoro interdisciplinari, che tengano insieme le diverse professionalità: operatori dell'informazione, comunicatori e formatori. Tanto più questi gruppi di lavoro saranno aperti a rappresentanti di comunità, enti e operatori di settore, tanto più utili ed efficaci saranno le strategie individuate, proprio perché definite a partire dalle reali esigenze dei destinatari dell'azione informativa, comunicativa o formativa.

Le aree antropizzate e il territorio aperto ad alta frequentazione sono gli scenari privilegiati di questa attività congiunta che potrà tradursi, ad esempio, nella progettazione e organizzazione di momenti di approfondimento e condivisione (come seminari, conferenze o open day), oltre che nella realizzazione di materiali da impiegare sia nelle attività formative di base sia in quelle mirate alla sensibilizzazione dei cittadini.

A questo proposito, si rammenta l'importanza di un investimento specifico nelle nuove generazioni, vero traino del cambiamento e del radicamento di una nuova consapevolezza sul tema dei rischi, della responsabilità diffusa, dell'adattamento, dell'autoprotezione.

Guardando al futuro, la comunicazione sul rischio in ambiente glaciale e periglaciale dovrà evolvere verso un approccio sempre più partecipativo, trasparente e orientato alla responsabilizzazione individuale e collettiva. Non si tratterà soltanto di trasmettere dati, ma di costruire una narrazione del rischio che coinvolga attivamente i cittadini, i professionisti della montagna e gli Enti locali. Sarà fondamentale consolidare una cultura condivisa del rischio, che promuova il buon senso, l'autoresponsabilità e la valutazione consapevole delle condizioni ambientali. In prospettiva, occorrerà anche sviluppare strategie comunicative "multicanale", in grado di raggiungere un uditorio eterogeneo e di attivare processi di prevenzione spontanei. L'obiettivo sarà quello di rendere ogni frequentatore della montagna un soggetto attivo, in grado di comprendere, anticipare e ridurre i propri livelli di esposizione.

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE

Si auspica, infine, che il presente documento tecnico e, in particolare, gli elementi rappresentati in termini di classificazione degli ambienti glaciali, del quadro conoscitivo in ambito periglaciale, delle strategie di comunicazione e dei percorsi formativi, possano fornire i primi strumenti utili a informare e sensibilizzare tutti i soggetti a vario titolo interessati, con il concorso delle Regioni e degli Enti coinvolti, circa gli impatti dei cambiamenti climatici in alta montagna e le connesse problematiche di sicurezza. Rimane, parimenti, fervido il desiderio che il presente documento possa stimolare e promuovere opportune politiche finalizzate a disciplinare la fruizione dei suddetti ambiti, attesa la necessità urgente di prevedere specifiche risorse dedicate a finanziare azioni strategiche relative alla conoscenza, alla comunicazione e alla formazione sui rischi in ambito alpino.

Allegato 1 al Capitolo 1

TABELLA 1A. DATI DISPONIBILI PER TIPOLOGIA, CON DEFINIZIONE DELL'AREA PRESA IN CONSIDERAZIONE, SCALA, RISOLUZIONE E ANNO DI AGGIORNAMENTO

CATASTO GHIACCIAI						
Autore	Anno di aggiornamento	Scala (ove applicabile)	Risoluzione (ove applicabile)	Estensione	Note e link	
Regione Autonoma Valle d'Aosta Fondazione Montagna sicura	2019			Regione Autonoma Valle d'Aosta		
Provincia Autonoma di Bolzano	2023, 2016-2017, 2005, 1997, 1983			Alto Adige	MapView	1983 solo analogico, 2023 in fase di pubblicazione
Comitato Glaciologico Italiano	2005-2006			Arco Alpino Italiano		
Università di Milano	2011, 2005			Arco Alpino Italiano		
Regione Piemonte Settore Sistema Informativo Territoriale e Ambientale	2015			Regione Piemonte	Link	Le superfici dei ghiacciai sono derivate dal Nuovo Catasto dei Ghiacciai italiani (2015)
ARPA Piemonte	2024, 2022	1:5000	n.d.	Regione Piemonte	Link	

Regione Lombardia	2013, 1954				Regione Lombardia	Link	Estensione ghiacciai al 1954, 1981-1983, 1989-1991, 1999, 1997-1999, 2003, 2007, 2012, indice di bilancio al 2013, lunghezza al 2003 e 2007	Banca dati Ghiacciai di Lombardia (costruita in accordo con Università degli Studi di Milano, Servizio Glaciologico Lombardo, Comitato Glaciologico Italiano)
Regione del Veneto (ARPA Veneto, CVA Arabba)	2024 CNR-ISP / 2014, 2009, 2004, 1999, 1980-1982, 1959-1962, 1910	1:10000			Regione del Veneto, bacino del Piave			GIS Ghiacciai interno con tutte le campagne. Versione pubblica in fase di ultimazione
CATASTO LAGHI GLACIALI								
Autore	Anno di aggiornamento	Scala (ove applicabile)	Risoluzione (ove applicabile)	Estensione				
Regione Autonoma Valle d'Aosta Fondazione Montagna sicura	2019			Regione Autonoma Valle d'Aosta	Link			
Provincia autonoma di Bolzano	2013			Alto Adige				Report n.7 progetto Interreg ITA-CH ClimOpt
DTM								
IGM			10m	Nazionale				

Regione Autonoma Valle d'Aosta	2008		2m	Regione Autonoma Valle d'Aosta					Vdi. Geocatalogo Prodotti 2023 e 2016/17 ricavati da foto aeree con dense matching solo per le aree glacializzate
Provincia Autonoma di Bolzano	2023, 2016-2017, 2013, 2004-2006		Varie, 2016/17 e 2023 50cm	Alto Adige				MapView	
Regione Lombardia	2015		5 x 5 m	Regione Lombardia		Link			Fonti utilizzate per predisporre il DTM sono: 1. Il Data Base Topografico regionale per circa l'80% del territorio (in particolare gli strati informativi inerenti la morfologia: curve di livello, punti quotati e break line); 2. I rilievi Lidar di risoluzione 1 m x 1 m lungo le aste dei corsi d'acqua e, per limitate porzioni in cui i dati non erano disponibili, con dati altimetrici della precedente edizione del DTM regionale 20 m x 20, di fonte Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 edizione 1982-1994

Regione Piemonte Settore Sistema Informativo Territoriale e Ambientale	2011		5 x 5 m	Regione Piemonte	Link	Ripresa aerea ICE 2009/2011	
ARPA Veneto			5 m	Regionale	Link		
ORTOFOTO							
Regione Autonoma Valle d'Aosta	2021, 2018, 2015, 2012, 2005, 1999		30-15 cm	Regione Autonoma Valle d'Aosta	Link	Link	
Provincia Autonoma di Bolzano	2023, 2020, 2016-2017, 2015, 2014, 2011, 2008, 2006, 2003, 1999, 1992-1997, 1989-1990, 1982-1985		Variabile, nel 2023 10 cm	Alto Adige	MapView		Vdi. GEocatalogo Nel caso dei voli dedicati ai ghiacciai copertura delle sole aree glacializzate
Regione Lombardia	2021, 2018-2019, 2015, 2012, 2007, 2003, 1998, 1975, 1954			Regione Lombardia (con l'esclusione del 2018-2019 che copre solo le province di Bergamo, Brescia e Sondrio)	Link		

Regione Piemonte Settore Sistema Informativo Territoriale e Ambientale	2023, 2018, 2016, 2013, 2010, 2006, 1985-1992 / AGEA 2021, 2018, 2015			Regione Piemonte	Link	Geoservizi WM	
ELEMENTI ANTROPICI							
Regione Lombardia Banche dati relative all'uso e copertura del suolo	2021, 2018, 2015, 2012, 2009, 2007, 1999, 1980, 1954			Regione Lombardia	Link		
Provincia Autonoma di Bolzano				Alto Adige	MapView		In parte anche nel browser di protezione civile con accesso protetto
Regione Piemonte Settore Sistema Informativo Territoriale e Ambientale	Land Cover 2010			Regione Piemonte	Link	Geoservizi WMS	
CATASTO EVENTI PREGRESSI							
Provincia Autonoma di Bolzano	ED30			Alto Adige	Catasto eventi naturali		Eventi con origine in ambiente glaciale Generalmente nella categoria colate detritiche

Allegato 1 al Capitolo 2

DIRITTO, SCIENZA E COMUNICAZIONE NELLA GESTIONE DEL RISCHIO AMBIENTALE: LIMITI, RESPONSABILITÀ E PROSPETTIVE PER UNA STRATEGIA EFFICACE

A cura di Maurizio Flick¹

La crescente complessità dei rischi ambientali, accentuata dai cambiamenti climatici, impone strategie di prevenzione e gestione più efficaci e interdisciplinari. Eventi disastrosi un tempo rari, come frane, inondazioni, crolli o altre calamità, stanno diventando parte di una “nuova normalità” con cui società e Istituzioni devono imparare a convivere. In questo contesto, nessun singolo strumento può offrire soluzioni definitive: il diritto, da solo, non è in grado di eliminare il pericolo, e la scienza, pur fondamentale, deve poter dialogare efficacemente con le Istituzioni e la cittadinanza. Una gestione efficace del rischio richiede dunque un approccio integrato che unisca diritto e scienza, con la comunicazione e la trasparenza a fare da ponte tra i due ambiti e a favorire una diffusa cultura del rischio.

Occorre anzitutto riconoscere i limiti del diritto nella gestione del rischio. La fiducia che spesso si ripone in leggi più severe o in sentenze esemplari, nella speranza di eliminare a monte il pericolo, è in gran parte illusoria. Il sistema giuridico può e deve stabilire regole di comportamento, attribuire responsabilità e sanzionare le violazioni, ma non può prevenire ogni evento né garantire una sicurezza assoluta. Pretendere che dopo ogni disastro la giustizia individui un colpevole e offra risposte semplici a questioni complesse rischia di produrre quella che si potrebbe definire una “giustizia emotiva”: un uso simbolico del diritto per placare le paure collettive, più che per affrontare in modo razionale le cause dei fatti. In realtà il diritto ha confini ben precisi e, se gli si chiede di farsi carico di tutte le incertezze del reale, se ne sovvertono equilibrio e funzione, creando false aspettative e potenziali cortocircuiti istituzionali.

In parallelo, il rapporto tra scienza e diritto è spesso segnato da incomprensioni reciproche che ostacolano una gestione coerente del rischio. La scienza lavora con modelli probabilistici e margini di incertezza, mentre il diritto tende a ricercare spiegazioni certe e responsabilità definite: questa differenza di approccio può generare attriti e malintesi. Se esperti scientifici e decisori istituzionali non comunicano efficacemente, misure anche indispensabili possono essere ritardate o osteggiate. Ad esempio, una conoscenza tecnica solida ma esposta in modo poco chiaro può indurre valutazioni giuridiche errate, così come scelte politiche che ignorano le evidenze scientifiche rischiano di rivelarsi miopi o controproducenti. Diviene perciò necessario costruire un'alleanza autentica tra diritto e scienza, in cui le evidenze empiriche vengano integrate nei processi decisionali e, reciprocamente, le istituzioni giuridiche comprendano i limiti e la natura probabilistica delle previsioni scientifiche.

¹ Maurizio Flick è componente del Comitato scientifico della Fondazione Courmayeur, ricercatore di Diritto agrario e alimentare nell'Università di Padova e avvocato.

La comunicazione, sostenuta dalla trasparenza, svolge un ruolo di cerniera fra scienza e diritto. Una divulgazione chiara e onesta dei dati sul rischio consente sia ai decisori pubblici sia ai cittadini di comprendere la natura dei pericoli e le ragioni delle misure adottate. Solo grazie a una comunicazione efficace si può alimentare una vera cultura del rischio nella società: cittadini consapevoli del contesto e informati sulle possibili minacce saranno in grado di adottare comportamenti adeguati e di sostenere le politiche di prevenzione necessarie. La trasparenza, in particolare, è fondamentale per costruire fiducia reciproca: rendere pubblici i dati scientifici e spiegare con chiarezza ciò che è noto e ciò che rimane incerto aiuta a evitare sia allarmismi infondati sia false sicurezze. In definitiva, un flusso comunicativo aperto e bidirezionale tra Istituzioni, Comunità scientifica e popolazione rende più razionale e condivisa ogni decisione relativa alla gestione del rischio.

La complessa struttura della gestione del rischio coinvolge dunque una pluralità di attori istituzionali e sociali, con ruoli complementari. Gli amministratori pubblici devono pianificare e intervenire sul territorio basandosi sulle migliori conoscenze disponibili, ma si trovano spesso a mediare tra tutela della sicurezza, interessi economici e pressioni politiche. Questi equilibri delicati, se gestiti male o comunicati in modo inadeguato, possono condurre a ritardi nelle decisioni o a misure inefficaci. Dal canto suo, l'autorità giudiziaria interviene *ex post* per accertare eventuali responsabilità quando si verificano danni, ma le sue valutazioni dovrebbero poggiare su criteri tecnici solidi e non sul clamore emotivo suscitato dall'evento. Il coordinamento tra Istituzioni, Comunità scientifica e società civile risulta quindi essenziale: una gestione integrata dei ruoli evita conflitti di competenza, sovrapposizioni o vuoti decisionali che altrimenti finirebbero per aggravare le conseguenze delle calamità.

Particolarmente delicata, in questo quadro, è la questione della responsabilità giuridica e dell'applicazione del concetto di colpa nei contesti di rischio ambientale. La colpa in ambito legale può assumere forme diverse – negligenza, imprudenza, imperizia – a seconda che si riferisca, ad esempio, a un amministratore che sottovaluta un pericolo noto, a un tecnico che compie valutazioni errate, o a un cittadino che ignora deliberatamente regole di sicurezza. Tuttavia, non ogni esito drammatico di un evento naturale è riconducibile a una colpa umana. Si individuano anzi derive opposte da evitare: da un lato la tendenza a perseguire penalmente esperti o funzionari per non aver impedito eventi in realtà imprevedibili, dall'altro il rifiuto o il ritardo nell'attuare misure precauzionali scientificamente fondate, che finiscono per amplificare danni altrimenti evitabili. Il primo approccio genera un clima di timore che può spingere gli esperti a tacere o a esprimersi con eccessiva cautela; il secondo configura una sorta di "colpa istituzionale", quando l'inerzia di fronte alle evidenze scientifiche conduce a disastri annunciati. Diviene dunque fondamentale, nell'accertare le responsabilità, distinguere ciò che era effettivamente prevedibile e prevenibile da ciò che costituiva invece una fatalità inevitabile. Una giustizia equilibrata deve sanzionare la vera negligenza, ma al contempo evitare la ricerca di capri espiatori quando il controllo umano sul fenomeno era impossibile. Applicare il concetto di colpa con prudenza permette di perseguire i comportamenti realmente colpevoli

senza inibire la collaborazione tra scienza e Istituzioni, preservando così la fiducia collettiva nella gestione del rischio.

Accanto a queste considerazioni sulle Istituzioni, vi è un ulteriore elemento cruciale: l'autoresponsabilità diffusa, sia individuale sia collettiva. Rafforzare la responsabilità personale e comunitaria non significa sollevare gli organi pubblici dai loro doveri, ma riconoscere che la sicurezza comune dipende anche dai comportamenti di ciascuno. Chiunque – dal singolo cittadino al grande operatore economico – ha un ruolo nella prevenzione: rispettare le norme di sicurezza, mantenersi informati sui rischi del proprio territorio e adottare misure di autoprotezione sono tasselli di un sistema di difesa partecipato. In passato, comunità costrette a convivere con pericoli naturali (si pensi ai villaggi in zone sismiche o ai paesi di montagna esposti a valanghe) sviluppavano empiricamente una “cultura del rischio” fatta di conoscenze tramandate e prudenza condivisa. Oggi questa consapevolezza si è in parte affievolita, complice la maggiore dipendenza dalle soluzioni tecnologiche e dall'intervento pubblico, quasi che questi potessero annullare ogni minaccia. È quindi necessario un cambiamento culturale che, tramite l'educazione e la partecipazione, restituisca ai cittadini la piena consapevolezza dei pericoli e degli strumenti per mitigarli. Una popolazione informata e partecipe, che comprenda le ragioni delle misure di prevenzione e sappia come reagire in caso di emergenza, diventa essa stessa un fattore di riduzione del rischio. In un'epoca in cui i cambiamenti climatici amplificano la frequenza degli eventi estremi e le informazioni (non sempre corrette) circolano istantaneamente, costruire questa coscienza diffusa e resiliente è un investimento sociale imprescindibile.

Per tradurre questi principi in pratiche efficaci di gestione del rischio, occorre agire lungo diverse direttrici operative. Un primo ambito riguarda la formazione e la diffusione del sapere scientifico in forme accessibili a tutti gli attori coinvolti. I dati tecnici sui fenomeni naturali – dalla stabilità di pendii e ghiacciai alla pericolosità sismica o idrogeologica – vanno comunicati con linguaggio chiaro, evitando il gergo specialistico che ne ostacola la comprensione da parte di amministratori locali, operatori e cittadini. Incontri periodici, materiali divulgativi mirati e piattaforme informative aperte favoriscono una condivisione delle conoscenze che rende più consapevoli sia i decisori pubblici sia le comunità esposte ai pericoli.

In secondo luogo, occorre integrare stabilmente la consulenza scientifica nei processi decisionali pubblici. Le autorità dovrebbero avvalersi in modo permanente di comitati tecnici interdisciplinari per valutare i rischi connessi a interventi sul territorio, piani urbanistici o piani d'emergenza, così che ogni decisione sia vagliata alla luce delle evidenze più aggiornate. Al contempo, il quadro normativo va sottoposto a costante manutenzione: molte leggi in materia di tutela del territorio e protezione civile risalgono a periodi in cui i cambiamenti climatici e altre nuove minacce non erano ancora adeguatamente contemplate. È indispensabile adeguare criteri e standard di sicurezza alle conoscenze attuali, introducendo normative flessibili capaci di tenere conto dell'evoluzione dei rischi.

Parallelamente, l'impiego delle nuove tecnologie può migliorare significativamente il monitoraggio ambientale e la rapidità delle risposte. Strumentazioni come sensori avanzati, droni e sistemi satellitari permettono di sorvegliare in continuo le aree più fragili, rilevando in tempo reale segnali di instabilità e attivando allarmi precoci. Affinché tali sistemi siano efficaci, i dati raccolti dovrebbero essere accessibili attraverso piattaforme aperte, garantendo la massima trasparenza e il coinvolgimento sia degli esperti sia della popolazione. Inoltre, si possono sviluppare sistemi di allerta mirati per le persone direttamente esposte ai pericoli. Applicazioni mobili e pannelli informativi "intelligenti" possono avvisare tempestivamente chi vive o transita in zone a rischio – dal singolo escursionista al gestore di infrastrutture locali – fornendo istruzioni su come comportarsi. Questi strumenti, integrati nei piani di protezione civile, riducono la probabilità di incidenti e migliorano la preparazione della comunità di fronte alle emergenze. Tutte queste innovazioni tecniche e normative devono infine accompagnarsi al coinvolgimento attivo del pubblico: solo cittadini consapevoli e formati possono infatti trarre pieno beneficio dagli strumenti predisposti, applicando le indicazioni e i protocolli di sicurezza nella vita quotidiana.

Significativamente, alcune esperienze istituzionali recenti hanno confermato l'efficacia di questo approccio integrato. In contesti alpini particolarmente esposti a calamità naturali, la collaborazione fra Enti locali, Comunità scientifica e soggetti specializzati ha portato all'istituzione di osservatori permanenti sul territorio, a sistemi avanzati di monitoraggio e a iniziative capillari di formazione della popolazione. Tali progetti – avviati nell'area del Monte Bianco e in altre zone montane – hanno migliorato la capacità di previsione e gestione dei fenomeni di dissesto, riducendo l'impatto degli eventi avversi e accrescendo la resilienza delle comunità. Dall'insieme di queste riflessioni emerge in conclusione che solo una strategia sinergica e multidisciplinare può affrontare la complessità del rischio ambientale contemporaneo. Il diritto rimane essenziale nel definire regole e responsabilità; la scienza apporta conoscenze e strumenti previsionali; la comunicazione diffonde consapevolezza e partecipazione. Integrando tali elementi e promuovendo una responsabilità condivisa, non si potrà eliminare ogni pericolo – obiettivo utopico – ma si riuscirà quanto meno ad attenuarne le conseguenze e a preparare la società ad affrontarlo con maggiore lucidità e capacità di adattamento.

Allegato 1 al Capitolo 3

MODULO 1A - CORSO D'INTRODUZIONE ALLA NIVOLOGIA E METEOROLOGIA ALPINA

Si riporta la strutturazione di un modulo formativo di base nel campo della nivologia e meteorologia alpina.

Obiettivi: fornire conoscenze di base sulla meteorologia alpina, sulla nivologia, sulle valanghe, sul bollettino valanghe.

Contenuto: illustrazione dei principali fattori e processi che controllano i fenomeni atmosferici, nel periodo invernale, in ambiente montano. Illustrazione dei principali fattori e processi che controllano la formazione, in atmosfera, delle particelle di precipitazione e delle altre idrometeore solide. Criteri generali di classificazione delle particelle di precipitazione (forme principali). Illustrazione dei principali fattori e processi che controllano la trasformazione, al suolo, della neve (metamorfismi e scambi termici con l'atmosfera, azione del vento, del sole e della pioggia). Definizione del concetto di valanga e delle tipologie principali. Concetti generali sulla scala di pericolo valanghe e sul bollettino valanghe.

Risultati attesi: l'allievo comprende, nei principi generali, quali siano i principali fattori e processi meteorologici e nivologici che controllano la formazione in atmosfera e la tipologia di precipitazione solida (a scala sia sinottica sia regionale/locale) nonché le successive trasformazioni al suolo della neve stagionale (nelle linee generali – metamorfismi, interazioni con vento, sole/temperatura dell'aria, pioggia). L'allievo è in grado di ricordare e riconoscere (su foto) le principali forme dei cristalli e grani di neve (classi principali) secondo i criteri appresi (forma, colore, dimensione). L'allievo è in grado di definire il concetto di valanga e di ricordare i criteri di classificazione riconoscendo, in foto, le diverse tipologie. L'allievo è in grado di riconoscere, in foto e nelle sue linee generali, il terreno valanghivo e le principali caratteristiche morfologiche/vegetazionali predisponenti un possibile distacco. L'allievo conosce la definizione generale di pericolo valanghe e rischio valanghe, conosce la scala del pericolo ed è in grado di illustrare le principali differenze tra i singoli gradi. L'allievo conosce la struttura generale del bollettino valanghe ed è in grado di leggere/interpretare le informazioni principali (grado di pericolo, luoghi pericolosi, situazioni tipo).

Durata: 10 ore con frequenza obbligatoria previo superamento di tutti i test in itinere e del test finale.

Periodo di svolgimento: il corso può venir erogato anche online on-demand e non esiste un periodo prefissato per lo svolgimento del modulo. Il corso è attivabile, una volta completata l'iscrizione, mediante User Id e Password di autenticazione rilasciata al singolo utente che potrà fruire del corso nei giorni e negli orari più consoni alle proprie esigenze sino al completamento del corso.

Modalità formativa: Formazione online su piattaforma web di e-learning con test selettivi in itinere e finale.

Numero partecipanti: trattandosi di formazione online on-demand non esiste un numero di partecipanti prefissato.

Materiale didattico: files pdf protetti delle pubblicazioni AINEVA: La Neve; Le Valanghe; Meteorologia Alpina; Guida all'interpretazione del bollettino valanghe.

Persone interessate: questa formazione si rivolge a tutta l'utenza che voglia acquisire competenze di base certificate nel settore della nivologia, della meteorologia di montagna e dei pericoli e rischi connessi sia per iniziare un percorso formativo professionalizzante sia per esigenze/interessi personali.

Prerequisiti: essere in possesso del diploma di scuola secondaria inferiore.

Allegato 2 al Capitolo 3

PROPOSTA DI MODELLO DI GOVERNANCE DI FORMAZIONE

A ciascuno Modulo Didattico (MD) è associato uno specifico dominio di competenza che deve essere acquisito da parte del discente mediante il raggiungimento dei *goals* (competenze) costituiti ciascuno da una serie di Obiettivi Didattici graduati in 6 livelli.

La graduazione degli obiettivi di formazione in base ai fabbisogni individuali delle categorie di discenti migliora l'efficacia dell'apprendimento e, soprattutto, aumenta anche la motivazione e l'engagement dei partecipanti consentendo di affrontare le diverse esigenze e di massimizzare il potenziale di ciascun discente.

La graduazione in livelli deve partire dal primo grado che consiste nella ritenzione dei concetti/nozioni fondamentali presentati. In crescendo, i livelli seguiranno le capacità di descrivere ed impiegare anche in maniera articolata e pratica i concetti assimilati.

Per ogni livello del singolo Obiettivo Didattico si assegnano un massimo di 5/30. L'acquisizione del titolo per ciascun corso, con il massimo del punteggio, di tutti i livelli per il singolo Obiettivo Didattico assegna un massimo di 30/30.

Il raggiungimento del valore minimo per ciascun Obiettivo Didattico corrisponde a 21/30. Trattandosi, infatti, di situazioni potenzialmente rischiose per il discente è richiesta una padronanza delle nozioni/competenze/abilità/capacità di azione ben superiore alla semplice sufficienza (18/30).

L'acquisizione del singolo dominio di competenza è data dal valor medio di tutti gli obiettivi didattici che deve raggiungere o superare la soglia minima di 21/30. Il superamento del corso avviene se il valor medio di tutti i Moduli Didattici ha raggiunto almeno i 21/30.

Per stabilire i diversi domini di competenza desiderabili e i *goals* che dovranno essere raggiunti sarà necessario condurre un'analisi dei fabbisogni formativi attraverso questionari, interviste o *focus group* specifici per ciascuna categoria di discenti individuata. Tale analisi consentirà d'identificare le conoscenze pregresse, le competenze e le aspettative dei discenti. Come già accennato, i discenti potranno essere suddivisi in categorie e sottocategorie basate anche su fattori come il livello di esperienza, il ruolo professionale, l'età, e le motivazioni per partecipare al corso.

Ciascun modulo formativo dovrà individuare degli obiettivi generali della formazione che siano rilevanti per tutti i discenti (specie se più categorie parteciperanno allo stesso modulo formativo). Ed esempio: la comprensione dei rischi glaciali e periglaciali.

Come già discusso all'inizio del Capitolo 3, i tre distinti livelli formativi presentano obiettivi generali della formazione distinti:

1 - Livello di base. Comprendere i concetti base dei fenomeni glaciali e periglaciali sviluppando una consapevolezza dei rischi connessi nei diversi ambiti territoriali individuati ed una minima capacità di risposta/mitigazione del rischio.

2 - Livello intermedio professionalizzante. Acquisire e padroneggiare capacità di analisi dei casi studio e di scenari reali semplici sapendo anche applicare tecniche di monitoraggio di primo livello ed attuare piani di gestione e minimizzazione del rischio.

3 - Livello avanzato e di specializzazione. Acquisire e padroneggiare capacità avanzate di analisi di scenari reali anche complessi sapendo anche applicare tecniche di monitoraggio di secondo livello e sviluppare ed attuare piani di gestione e minimizzazione/mitigazione del rischio.

Per ciascun modulo didattico e/o unità didattica potranno essere predisposti oggetti formativi diversificati (video, articoli, casi studio, esercitazioni pratiche) che rispondano ai diversi livelli di competenza e interesse di ciascuna categoria/sottocategoria d'utenza. Le metodologie didattiche utilizzate per erogare i moduli didattici potranno anche essere miste e di tipo attivo quali laboratori, simulazioni/esercitazioni pratiche in campo e discussioni di gruppo, adattandole in base al livello di esperienza dei discenti.

Sia durante l'erogazione dei moduli didattici sia al termine sarà importante attuare un monitoraggio (test di gradimento, elicitare il feedback continuo dei discenti, favorire le discussioni costruttive durante i momenti formativi) che consenta di monitorare i progressi e le difficoltà dei discenti e di implementare/correggere la didattica anche in corso d'opera in base ai feedback ricevuti e alle esigenze emergenti dei discenti. In particolare, sarà fondamentale valutare, al termine di ciascun modulo e/o livello di formazione, il raggiungimento degli obiettivi formativi e raccogliere feedback sui contenuti e le metodologie che potranno/dovranno essere migliorate.

Tutti i discenti dovranno essere incoraggiati e sostenuti nel riflettere sul proprio apprendimento e su come applicare le competenze acquisite nel loro contesto professionale/organizzativo. Questo aspetto è particolarmente importante per amministratori e tecnici che siano chiamati a operare nel settore della protezione civile e nell'eventuale gestione di emergenze sul territorio legate al rischio glaciale e periglaciale. Ove necessario si potrà offrire ai discenti, che necessitino di ulteriore assistenza, supporto individuale attraverso tutoraggio o *mentorship*.

Al termine dei moduli formativi potranno anche essere rese disponibili risorse supplementari quali, ad esempio, letture consigliate, webinar e forum di discussione per approfondire le tematiche trattate.

A titolo di esempio, si riporta la suddivisione in Moduli Didattici attualmente vigente con la suddivisione in Unità Didattiche e Oggetti Formativi per un modulo didattico d'esempio: Corso 2a AINEVA "Osservatore nivologico". E anche proposta una possibile graduazione in sei obiettivi didattici progressivi, con le possibili competenze/abilità che l'utente dovrebbe acquisire al termine di tale modulo formativo:

Competenze/abilità	5 punti per ciascun obiettivo, max 30 punti per ciascuna competenza/abilità. Il titolo si consegue se la media dei punti acquisiti per tutte le competenze richieste => 21/30					
	1	2	3	4	5	6
Conoscere il concetto di valanga	Saper definire le caratteristiche del manto nevoso necessarie alla formazione delle valanghe	Saper catalogare la tipologia di valanga in base alla tipologia di distacco, alla posizione del piano di scorrimento, alla presenza di acqua liquida	Saper catalogare la tipologia di valanga in base alla dimensione	Saper catalogare la tipologia di valanga in base al percorso seguito	Saper catalogare la tipologia di valanga in base alla tip di moto	Saper catalogare la tipologia di valanga in base alle caratteristiche del deposito (rugosità, acqua liquida, materiale estraneo)
Conoscere il concetto di pericolo valanghe	Saper definire il concetto di pericolo valanghe	Saper descrivere, nelle linee generali, i 5 gradi di pericolo della scala (icone, aggettivo descrittivo)	Saper descrivere i fattori (sovraccarico, grado di consolidamento) che concorrono a definire il pericolo valanghe	Conoscere/saper distinguere i singoli gradi di pericolo valanghe sulla base dei fattori: sovraccarico, grado di consolidamento.	Saper analizzare il pericolo valanghe in funzione delle situazioni tipo e della variabilità spaziale e temporale	Saper analizzare il pericolo valanghe in funzione delle situazioni tipo e della variabilità spaziale e temporale
Conoscere il concetto di rischio valanghe	Saper definire il concetto di rischio valanghe	Saper descrivere la differenza tra pericolo e rischio valanghe	Saper descrivere i fattori che concorrono a definire il rischio valanghe	Saper analizzare il rischio valanghe in funzione del grado di pericolo, dei luoghi pericolosi descritti (esposizione, quota)	Saper analizzare il rischio valanghe in funzione del grado di pericolo valanghe e della tipologia di terreno (trappole morfologiche)	Saper analizzare il rischio valanghe in funzione del grado di pericolo valanghe, delle situazioni tipo e della variabilità spaziale e temporale dell'esposizione
Saper riconoscere, descrivere e classificare il terreno valanghivo	Saper identificare e descrivere un sito valanghivo (nelle sue linee generali)	Saper individuare e descrivere le singole caratteristiche morfologiche/vegetazionali/nivologiche di un terreno valanghivo	Saper applicare criteri classificativi per l'individuazione del terreno valanghivo su un terreno montuoso	Saper individuare un percorso sicuro (sia in salita sia in discesa) su un terreno montuoso	Saper individuare un percorso non sicuro (sia in salita sia in discesa) su un terreno montuoso	Saper descrivere come le caratteristiche del terreno (morfologia/vegetazione) possano influenzare la meccanica del distacco di una valanga
Saper individuare e descrivere le proprietà del manto nevoso	Saper descrivere i fattori che controllano la formazione e l'evoluzione del manto nevoso (neve stagionale al suolo)	Saper descrivere la formazione del manto nevoso (neve stagionale al suolo) e come i diversi fattori possono interagire (nelle linee generali)	Saper descrivere il concetto di gradiente termico e di metamorfismo del manto nevoso (tipi e fasi evolutive - nelle linee generali)	Saper descrivere uno strato fragile e/o un'interfaccia di strato debole	Saper individuare e descrivere (secondo i parametri principali) uno strato fragile e/o un'interfaccia di strato debole	Saper descrivere come le caratteristiche del terreno (morfologia/vegetazione) possano influenzare l'evoluzione del manto nevoso (variabilità degli strati deboli)
Saper misurare/osservare e registrare dati meteorologici	Saper descrivere i principali parametri meteorologici che possono essere misurati/osservati	Saper descrivere come e quando tali parametri meteorologici devono essere misurati/osservati e con quali strumenti	Saper descrivere le codifiche utilizzate per registrare tali parametri meteorologici	Saper misurare e registrare tali parametri meteorologici	Saper decodificare i dati meteorologici registrati e sapere dove reperire tali dati	Saper interpretare i dati meteorologici registrati
Saper misurare/osservare e registrare dati nivologici	Saper descrivere i principali parametri nivologici che possono essere misurati/osservati	Saper individuare e registrare i singoli strati del manto nevoso (superfici di strato)	Saper misurare/descrivere le singole proprietà fisico/meccaniche per ciascun strato del manto nevoso	Saper plottare i dati nivologici registrati	Saper interpretare (nelle linee generali) un profilo nivologico	Saper interpretare (nel dettaglio) un profilo nivologico

La finalità del glossario che segue è fornire una sintetica descrizione dei termini citati nel documento tecnico, nonché di definire un'esaustiva guida alla terminologia specifica degli ambienti glaciali e periglaciali. Il glossario completo è presente nella traduzione italiana del documento *GAPHAZ 2017: Assessment of Glacier and Permafrost Hazards in Mountain Regions – Technical Guidance Document*, a cura di Davide Bosso (supervisione di Marta Chiarle, Giovanni Mortara e Guido Nigrelli).

COLATA DETRITICA - DEBRIS FLOW: miscela di acqua e sedimenti ad elevata densità (~ 2 g/cm³), estremamente mobile (fino a 20m/s) e con elevata forza d'impatto, in cui acqua e sedimenti si muovono alla stessa velocità, come un unico corpo. Può essere caratterizzata da uno o più pulsazioni ed è in grado di trasportare in sospensione anche blocchi di grandi dimensioni. La quantità di sedimenti trasportata è molto variabile, ma generalmente determina il 50-70% del volume totale. *Bruschi (2008), Tropeano e Turconi (2005)*



Foto: T. Margueraz (CNR-IRPI)

FRANCO IDRAULICO - LAKE FREEBOARD: in un lago glaciale, è la differenza di quota fra il pelo libero dell'acqua ed il culmine dello sbarramento. *Mercalli et al. (2002)*



Lago del Rocciamelone (SMI, 2004)

FLUSSI IN MASSA - MASS FLOW: qualsiasi miscela solido-liquida che si muove, sotto l'effetto della gravità, come un fluido non newtoniano. La letteratura anglosassone identifica diversi tipi di flussi in massa sulla base del tipo di materiali coinvolti (roccia, sedimento, ghiaccio).

Hungr et al. (2001)

LAGO GLACIALE - GLACIAL LAKE: specchio d'acqua che si può formare davanti alla fronte di un ghiacciaio (L. Proglaciale), sulla sua superficie (L. Epiglaciale) o lato (L. di contatto o marginale). *Smiraglia (1992)*



Ghiacciaio Sett. Del Breuil (G. Nigrelli, 2023)

PERIGLACIALE - PERIGLACIAL: aggettivo che si riferisce ad ambienti la cui morfologia è modificata in modo significativo da processi di gelo-disgelo; nelle Alpi includono le aree comprese fra il limite delle nevi perenni e il limite superiore del bosco. Tipicamente, ma non in modo esclusivo, tali ambienti si collocano al margine di aree glacializzate del presente e del passato.

Carton e Pelfini (1988), French (2018)



Bacino glaciale della Bessanese (CNR-IRPI)

PERMAFROST - PERMAFROST ACTIVE LAYER

TABLE BASE: terreno che rimane sotto gli 0 °C per almeno 2 anni consecutivi. Si compone di:

- strato attivo (strato superficiale che scongela durante l'estate e congela durante l'inverno);
- tavola (strato al di sotto del quale la temperatura rimane costantemente sotto gli 0 °C);
- base del permafrost (strato al di sotto del quale la temperatura è > 0 °C per effetto del flusso geotermico).

Guglielmin (1997)



Fonte: ARPA Piemonte

PICCOLA ETÀ GLACIALE - LITTLE ICE AGE (PEG):

periodo compreso fra (circa) il 1300 ed il 1850, in cui si sono registrati importanti avanzamenti dei ghiacciai in tutto il mondo.

Orombelli (2013)

ROCK GLACIER - ROCK GLACIER: elemento morfologico costituito da blocchi angolosi e caratterizzato da numerose contropendenze, solcature ed ondulazioni, a forma di arco convesso verso valle. Si origina per deformazione plastica di accumuli detritici sotto l'effetto della gravità in presenza di ghiaccio all'interno del detrito. I rock glacier sono distinti in "attivi", "inattivi" e "relitti" e la loro formazione è comunemente associata alla presenza di permafrost (in passato, se "relitti"; al presente, se "attivi").

Carton e Pelfini (1988)



Valnontey (CNR-IRPI)

ROTTA GLACIALE - GLACIAL LAKE OUTBURST FLOOD (GLOF):

piena improvvisa dovuta allo svuotamento di un lago glaciale, a seguito del collasso/sormonto, sifonamento dello sbarramento (in ghiaccio, roccia, morena)

Chiarle et al. (2015)



Lago Effimero, 2003 (CNR-RPI)

Alean J. (1985), *Ice avalanches: some empirical information about their formation and reach*. Journal of Glaciology, 31, 324-333. <https://doi.org/10.3189/S0022143000006663>

Allen S., Frey H., Haeberli W., Huggel C., Chiarle M., Geertsema M. (2022), *Assessment Principles for Glacier and Permafrost Hazards in Mountain Regions*. Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.356>

Ancey C., Bardou, E., Funk, M., Huss, M., Werder, M. A., & Trewthela, T. (2019), *Hydraulic reconstruction of the 1818 Giétro glacial lake outburst flood*. Water Resources Research, 55(11), 8840-8863. <https://doi.org/10.1029/2019WR025274>

Ballantyne C. K. (2002), *Paraglacial geomorphology*. Quaternary Science Reviews, 21(18-19), 1935-2017. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(02\)00005-7](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(02)00005-7)

Barry R. (2008), *Mountain weather and climate*. Cambridge University Press, 506 pp.

Bruschi A. (2008), *Colate detritiche*. Dario Flaccovio Editore, 184 pp.

Carton A., Pelfini M. (1988), *Forme del paesaggio di alta montagna*. Zanichelli, 134 pp.

Castiglioni G.B. (2000), *Geomorfologia*. UTET, Torino, 436 pp.

Chiarle M., Deline P., Giardino M. (2015), *Pericolosità naturale in ambiente glaciale e periglaciale: passato, presente e futuro delle Alpi*. In: Comitato Glaciologico Italiano (a cura di) *Itinerari glaciologici sulle montagne italiane*, Società Geologica Italiana, vol. I, 71-82.

Chiarle M., Viani C., Mortara G., Deline P., Tamburini A., Nigrelli G. (2022), *Large glacier failures in the Italian Alps over the last 90 years*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 45(1), 19-40. DOI 10.4461/GFDQ.2022.45.2.

Dematteis N., Giordan D., Troilo F., Wrzesniak A. & Godone D. (2021), *Ten-Year Monitoring of the Grandes Jorasses Glaciers Kinematics. Limits, Potentialities, and Possible Applications of Different Monitoring Systems*. Remote Sensing, 13 (15), 3005. <https://doi.org/10.3390/rs13153005>

Faillietaz, J., Funk, M. & Vincent C. (2015), *Avalanching glacier instabilities: Review on processes and early warning perspectives*. Reviews of geophysics, 53 (2), 203-224. doi: 10.1002/2014RG000466

Farinotti D., Huss M., Bauder A., Funk M., Truffer M. (2009), *A method to estimate the ice volume and ice-thickness distribution of alpine glaciers*. Journal of Glaciology, 55(191):422-430. doi:10.3189/002214309788816759

French H.M. (2018), *The Periglacial Environment*. Wiley Blackwell, Chichester, 563 pp.

Fujita, K., Sakai, A., Takenaka, S., Nuimura, T., Surazakov, A. B., Sawagaki, T., & Yamanokuchi, T. (2013), *Potential flood volume of Himalayan glacial lakes*. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(7), 1827-1839. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1827-2013>

GAPHAZ (2017). *Valutazione della pericolosità associata a ghiacciai e permafrost in aree montane - Documento di orientamento tecnico*. A cura di Allen, S., Frey, H., Huggel, C. et al. Standing Group on Glacier and Permafrost Hazards in Mountains (GAPHAZ) della International Association of Cryospheric Sciences (IACS) e della International Permafrost Association (IPA). Zurigo, Svizzera / Lima, Peru, 72 pp. www.gaphaz.org. Traduzione italiana a cura di CNR-IRPI e DPC. <https://www.protezionecivile.gov.it/it/pubblicazione/valutazione-della-pericolosita-associata-ghiacciai-e-permafrost-aree-montane/>

Giordan D., Dematteis N., Allasia P. & Motta E. (2020), *Classification and kinematics of the Planpincieux Glacier break-offs using photographic time-lapse analysis*. *Journal of Glaciology*, 66 (256), 188-202. doi: 10.1017/jog.2019.99

Grove J. M. (2004), *Little Ice Ages-Ancient and Modern*. Routledge I and II.

Guglielmin M. (1997), *Il permafrost Alpino. Concetti, morfologia e metodi di individuazione (con tre indagini esemplificative in Alta Valtellina)*. Quaderni di Geodinamica Alpina e Quaternaria, vol. 5, CNR, 117 pp.

Haeberli, W. (1983), *Frequency and characteristics of glacier floods in the Swiss Alps*. *Annals of Glaciology*, 4, 85-90. <https://doi.org/10.3189/S0260305500005280>

Halliday D. and Resnick R. (1984), *Fondamenti di Fisica*. Casa Editrice Ambrosiana, Milano. 994 pp.

Hungr O., Evans S.G., Bovis M., Hutchinson J.N. (2001), *Review of the classification of landslides of the flow type*. *Environ. Eng. Geosci.* VII, 221-238.

Islam, N., Carrivick, J. L., Coulthard, T., Westoby, M., Dunning, S., & Gindraux, S. (2025), *A growing threat of multi-hazard cascades highlighted by the Birch Glacier collapse and Blatten landslide in the Swiss Alps*. *Geology Today*, 41(5), 200-205.

ISPRA (2013), https://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/manuali-lineeguida/MLG_84_2013.pdf

Jacquemart, M., Weber, S., Chiarle, M., Chmiel, M., Cicoira, A., Corona, C., Eckert, N., Gaume, J., Giacona, F., Hirschberg, J. and Kaitna, R. (2024), *Detecting the impact of climate change on alpine mass movements in observational records from the European Alps*. *Earth-Science Reviews*, p.104886.

Kaushik, S., Singh, T., Joshi, P. K., & Dietz, A. J. (2022), *Automated mapping of glacial lakes using multisource remote sensing data and deep convolutional neural network*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 115, 103085. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103085>

Margreth, S., & Funk, M. (1999), *Hazard mapping for ice and combined snow/ice avalanches – two case studies from the Swiss and Italian Alps*. Cold Regions Science and Technology, 30(1-3), 159-173. [https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(99\)00027-0](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(99)00027-0)

Margreth S., Faillettaz, J., Funk M., Vagliasindi M., Diotri F., Broccolato M. (2011), *Safety concept for hazards caused by ice avalanches from the Whymper hanging glacier in the Mont Blanc Massif*. Cold regions science and technology, 69(2-3), 194-201. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2011.03.006>

Margreth, S., Funk, M., Tobler, D., Dalban, P., Meier, L., & Lauper, J. (2017), *Analysis of the hazard caused by ice avalanches from the hanging glacier on the Eiger west face*. Cold Regions Science and Technology, 144, 63-72.

Matiu, M., Crespi, A., Bertoldi, G., Carmagnola, C. M., et al. (2021), *Observed snow depth trends in the European Alps: 1971 to 2019*, The Cryosphere, 15, 1343–1382. <https://doi.org/10.5194/tc-15-1343-2021>, 2021

Mercalli L., Cat Berro D., Mortara G., Tamburini A. (2002), *Un lago sul ghiacciaio del Rocciamealone, Alpi occidentali: caratteristiche e rischio potenziale*. Nimbus 23-24, 3-6.

Millan, R., Mouginot, J., Rabatel, A. et al. (2022), *Ice velocity and thickness of the world's glaciers*. Nat. Geosci. 15, 124–129 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00885-z>

Noetzli, J., Isaksen, K., Barnett, J. et al. (2024), *Enhanced warming of European mountain permafrost in the early 21st century*. Nat Commun 15, 10508. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-54831-9>

Ogier, C., Fischer, M., Werder, M. A., Huss, M., Hupfer, M., Jacquemart, M., ... & Farinotti, D. (2025), *Definition, formation and rupture mechanisms of water pockets in alpine glaciers: insights from an updated inventory for the Swiss Alps*. Journal of Glaciology, 1-32. <https://doi.org/10.1017/jog.2025.43>

Orombelli G., Ravazzi C., & Cita M. B. (2005), *Osservazioni sul significato dei termini LGM (UMG), Tardoglaciale e postglaciale in ambito globale, italiano ed alpino*. Alpine and Mediterranean Quaternary, 18(2), 147-155.

Orombelli G. (2013), *Le glaciazioni*. In: Provenzale A. (a cura di) - Il mutamento climatico, Società Editrice Il Mulino, Bologna, 67-92.

- Panizza M.** (2015), *Manuale di geomorfologia applicata*. Franco Angeli Ed., 536 pp.
- Paranunzio R., Chiarle M., Laio F., Nigrelli G., Turconi L., Luino F.** (2018), *New insights in the relation between climate and slope failures at high-elevation sites*. Theoretical and Applied Climatology. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2673-4>
- Pierson T.C.** (2005), *Hyperconcentrated flow–transitional process*. in Jakob M., Hungr O. Debris-flow hazards and related phenomena, Vol. 739, Berlin: Springer.
- Pudasaini, S. P.** (2012), *A general two-phase debris flow model*. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 117(F3).
- Reinthal, J., & Paul, F.** (2025), *Reconstructed glacier area and volume changes in the European Alps since the Little Ice Age*. The Cryosphere, 19(2), 753-767. <https://doi.org/10.5194/tc-19-753-2025>
- Rinzin, S., Dunning, S., Carr, R. J., Sattar, A., & Mergili, M.** (2025), *Exploring implications of input parameter uncertainties in glacial lake outburst flood (GLOF) modelling results using the modelling code r. avaflow*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 25(6), 1841-1864.
- Salvatore M. C., Zanoner T., Baroni C., Carton A., Banchieri F. A., Viani C., Giardino M. & Perotti L.** (2015), *The state of Italian glaciers: a snapshot of the 2006–2007 hydrological period*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 38 (2), 175-198. doi: 10.4461/GFDQ.2015.38.16
- Schindelegger, A., & Kanonier, A.** (2019), *Natural Hazard Risk Governance, Status Quo in the EUSALP Region*. EUSALP Action Group 8.
- Smiraglia C.** (1992), *Guida ai ghiacciai ed alla glaciologia: forme, fluttuazione, ambienti*, Zanichelli, 240 pp.
- Smiraglia C. & Diolaiuti G.** (Eds.) (2015), *The New Italian Glacier Inventory*. Ev-K2-CNR, Bergamo Publ., 400 pp.
- Tamburini A. & Mortara G.** (Eds.) (2009), *Il Ghiacciaio del Belvedere e l'emergenza del Lago Effimero*. Regione Piemonte. Bussoleno: Societa' Meteorologica Subalpina 192 pp.
- Tropeano D., Turconi L.** (2005), *Colate rapide di detrito nelle Alpi: conoscere per prevenire*. Quaderni di idronomia montana "Sistemazioni idraulico –forestali nelle Alpi Occidentali" a cura di Anselmo V. ; ed. BIOS, 19/2, 273-282.

Vincent, C., Descloitres, M., Garambois, S., Legchenko, A., Guyard, H., & Gilbert, A. (2012), *Detection of a subglacial lake in Glacier de Tête Rousse (Mont Blanc area, France)*. Journal of Glaciology, 58(211), 866-878. doi:10.3189/2012JoG11J179.

Walter, F., Amann, F., Kos, A., Kenner, R., Phillips, M., de Preux, A., ... & Bonanomi, Y. (2020), *Direct observations of a three million cubic meter rock-slope collapse with almost immediate initiation of ensuing debris flows*. Geomorphology, 351, 106933. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106933>

Ringraziamenti

Si esprime un sentito ringraziamento a tutti i membri del Gruppo di Lavoro che, con competenza specialistica, spirito di servizio e costante partecipazione hanno reso possibile l'elaborazione del presente documento. I contenuti prodotti sono il risultato della collaborazione tra Istituzioni, Enti scientifici e professionisti che hanno messo a disposizione la propria esperienza con grande senso di responsabilità.

Si rivolge, infine, un particolare ringraziamento alla Segreteria Tecnica per l'attività svolta con continuità e rigore metodologico, la quale ha assicurato il costante coordinamento dei lavori, la gestione dei contributi pervenuti e il supporto operativo necessario al raggiungimento degli obiettivi prefissati.

Rischio glaciale e periglaciale in ambiente alpino: un quadro metodologico

Dipartimento della Protezione
Civile-Presidenza del Consiglio
dei Ministri. Prima edizione
in versione digitale dicembre 2025

Progetto grafico e impaginazione

Silvia Alessandrini

Foto di copertina

Francesco Leone
*Ghiacciaio del Fréboudze,
Val Ferret, Courmayeur (AO)*

ISBN

9791281195042



PROTEZIONE CIVILE

Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile