

Indirizzi e numeri telefonici dei Servizi Valanghe AINEVA dell'Arco Alpino Italiano

REGIONE PIEMONTE

ARPA Piemonte
Dipartimento Rischi naturali e ambientali
Via Pio VII 9 - 10135 Torino
Tel 011 19681340 - fax 011 19681341
http://www.arpa.piemonte.it
e-mail: dip.rischi.naturali.ambientali@arpa.
piemonte.it

REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA

Assessorato Opere pubbliche, difesa del suolo e edilizia residenziale pubblica Direzione assetto idrogeologico dei bilanci montani Ufficio neve e valanghe Loc. Amérique 33/A - 11020 Quart (AQ) Tel. 0165 776600/1- fax 0165 776804 http://appweb.regione.vda.it e-mail: u-valanghe@regione.vda.it

REGIONE LOMBARDIA

ARPA Lombardia
Settore Tutela delle Risorse e Rischi Naturali
U.O. Centro Nivometeorologico
Via Monte Confinale 9 - 23032 Bormio (S0)
Tel. 0342 914400
http://www.arpalombardia.it
e-mail: nivometeo@arpalombardia.it

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

Servizio prevenzione rischi
Ufficio previsioni e pianificazione
Via Vannetti 41 - 38122 Trento
Tel. 0461 494870 - Fax 0461 238305
Bollettino Nivometeorologico
Tel. 0461 238939
Self-fax 0461 237089
http://www.meteotrentino.it
e-mail: ufficio.previsioni@provincia.tn.it

PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO

Ufficio Meteorologia e Prevenzione
Valanghe
Viale Druso, 116 - 39100 Bolzano
Tel. 0471 416141 - Fax 0471 416159
http://www.provincia.bz.it/valanghe.report
e-mail: Hydro@provincia.bz.it
meteo@provincia.bz.it

REGIONE DEL VENETO

ARPA-Veneto Centro Valanghe di Arabba Via Pradat 5 - 32020 Arabba (BL) Tel. 0436 755711 - Fax 0436 79319 http://www.arpa.veneto.it e-mail: cva@arpa.veneto.it

REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA

Direzione centrale risorse agroalimentari, forestali e ittiche - Servizio foreste e corpo forestale - Struttura stabile centrale per l'attività di prevenzione del rischio da valanga Via Sabbadini 31 - 33100 Udine Tel. 0432 555877 - Fax 0432 485782 http://www.regione.fvg.it e-mail: neve.valanghe@regione.fvg.it

REGIONE MARCHE

Servizio Protezione Civile
Centro Funzionale Multirischi
Via del Colle Ameno, 5 - 60126 Ancona
Tel. 071 8067743 - Fax 071 8067709
http://protezionecivile.regione.marche.it
e-mail: spc.centrofunzionale@regione.marche.it

Sede AINEVA

Vicolo dell'Adige, 27 38122 Trento Tel. 0461 230305 - Fax 0461 232225 http://www.aineva.it e-mail: aineva@aineva.it

Gli utenti di "NEVE E VALANGHE"

- Sindaci dei Comuni Montani
- Comunità Montane
- Commissioni Locali Valanghe
- · Prefetture montane
- Amministrazioni Province Montane
- Genii Civili
- Servizi Provinciali Agricoltura eForeste
- Assessorati Reg./ProvincialiTurismo
- APT delle località montane
- Sedi Regionali U.S.T.I.F.
- Sedi Provinciali A.N.A.S.
- Ministero della Protezione Civile
- Direzioni dei Parchi Nazionali
- Stazioni Sciistiche
- Scuole di Sci
- Club Alpino Italiano
- Scuole di Scialpinismo del CAI
- Delegazioni del Soccorso Alpino del CAI
- Collegi delle Guide Alpine
- Rilevatori di dati nivometeorologici
- Biblioteche Facoltà Univ. del settore
- Ordini professionali del settore
- Professionisti del settore italiani e stranieri
- Enti addetti ai bacini idroelettrici
- Redazioni di massmedia specializzati
- Aziende addette a: produzione della neve, sicurezza piste e impianti, costruzione attrezzature per il soccorso, operanti nel campo della protezione e prevenzione delle valanghe.



Rivista dell'AINEVA ISSN 1120 - 0642 Aut. Trib. di Rovereto (TN) N° 195/94NC del 28/09/1994

Direttore Responsabile Alfredo PRAOLINI

ARPA Lombardia Coordinamento Redazionale: ARPA Lombardia

Comitato di redazione:

Mauro AZZINI, Walter BEOZZO, Mauro VALT, Fabio GHESER. Erika SOLERO, Giovanna BURELLI, Stefano SOFIA, Elena BARBERA, Igor CHIAMBRETTI, Alfredo PRAOLINI

Comitato scientifico editoriale:

Secondo BARBERO, Paolo SANDRONI, Gianni MARIGO, Michela MUNARI, Valerio SEGOR, Luisa PASTORE, Gabriele AMADORI, Mauro GADDO

Segreteria di Redazione:

Vicolo dell'Adige, 27 38122 TRENTO Tel. 0461/230305 Fax 0461/232225

Videoimpaginazione e grafica: MOTTARELLA STUDIO GRAFICO

www.mottarella.com Cosio Valtellino (SO)

Referenze fotografiche: Foto di copertina: Andrea Toffaletti

Cristalli a calice - Val di Genova (TN) dopo lungo anticiclone

Se non diversamente specificato in didascalia, le foto contenute negli articoli sono degli autori.

Hanno collaborato a questo numero:

Serena Mottarella, Stefania Del Barba, Nadia Preghenella, Monica ROSSI.

Gli articoli e le note firmate esprimono l'opinione dell'Autore e non impegnano l'AINEVA.

- Neve
- **Valanghe**
- Cartografia
- ¹ Opere di difesa e distacco artificiale
- Incidenti da valanga, prevenzione e sicurezza in montagna
- Meteorologia alpina
- Climatologia
- Glaciologia
- Aspetti giuridici
- **Altro**



EDITORIALE

2020, "anno bisesto anno funesto"!

Dal 29 febbraio il motto è sulla bocca di tutti e, a tutt'oggi, purtroppo non è anacronistico parlarne. La prolungata situazione di emergenza causata dalla pandemia in corso, ha sensibilmente modificato la "normalità" in tutti i campi: lavoro, hobby e sport, scuola e manifestazioni ma, soprattutto, nei rapporti umani. Anche l'attività di previsione e prevenzione svolta dagli Uffici valanghe AINEVA ha subìto un radicale ridimensionamento: i tecnici, per quanto possibile, si sono avvicendati nei turni di emissione dei bollettini neve e valanghe e nell'operatività in campo per mantenere un vigile monitoraggio del manto nevoso a scopo di protezione civile. Le attività di AINEVA però non si sono mai interrotte, anche grazie ai frequenti momenti d'incontro virtuale, vitali per la prosecuzione degli scambi tecnico-scientifici che alimentano i molti progetti.

- Quest'anno ha preso il via una fase sperimentale di compilazione di un nuovo format di Bollettino, già in uso nelle Provincie Autonome di Trento e Bolzano e in Tirolo, che introduce la previsione del pericolo per fasce altimetriche e l'utilizzo sistematico della matrice europea. A partire dalla stagione 2021-2022 se ne prevede l'adozione da parte di tutti gli Uffici AINEVA e probabilmente anche delle altre Regioni d'oltralpe. Anche per la banca dati degli incidenti da valanga è stato approvato un importante progetto di revisione finalizzato a rendere il database più dinamico e completo.
- A gennaio 2021 si svolgerà la parte teorica del primo corso online per "Osservatore nivologico", che si concluderà con le esercitazioni in campo non appena le restrizioni sanitarie lo permetteranno. La revisione della didattica ha messo a fuoco la necessità di poter disporre, anche al di là della situazione contingente, di una piattaforma per lo svolgimento delle lezioni teoriche "a distanza".
- È stata approvata l'istituzione di un registro dei Previsori Valanghe, titolati in base ai requisiti maturati e alle esperienze acquisite durante i lunghi anni di incarichi all'interno delle Regioni, supportate da periodici aggiornamenti a livello nazionale ed internazionale. Conseguentemente è in via di progettazione una formazione ad hoc per quanti in futuro sceglieranno di intraprendere questa professione.
- La Rivista "Neve e Valanghe" raggiunge il prezioso traguardo dell'uscita del n. 94; nel contempo si è fatto in modo che l'utenza più interessata abbia l'opportunità di consultare sul sito internet tutti i contributi pubblicati dal n. 0 del 1984, anche attraverso la classificazione degli argomenti per aree tematiche;
- Il Comitato di Redazione ha elaborato una prima edizione del concorso fotografico "OBIETTIVO NEVE E VALANGHE 2020". La foto prima classificata occupa la copertina di questo numero.

Il "funesto" 2020 entrerà negli annali nivologici, in particolare per le Regioni italiane del Nord-Est, per via delle abbondanti nevicate della prima settimana di dicembre, che hanno comportato l'emissione di un indice di pericolo 5 MOLTO FORTE per diversi giorni. Ora il manto nevoso è copioso su tutti i settori, fino a quote medie-basse, buon presupposto per una stagione sportiva che si spera possa sbloccarsi in tempo utile.

Alfredo Praolini
Direttore Responsabile





Problemi tipici valanghivi Prime analisi sul loro utilizzo nei bollettini valanghe

- 10 Ridurre l'esposizione al rischio di valanghe Gestione del rischio valanghe per sciatori e ciaspolatori
- Il caso studio della valanga di "Testa Grigia Orsio" Del 24/11/2019 Gressoney La Trinité Valle D'aosta
- Dietro le quinte del bollettino valanghe:
 Nuovo portale web per gestire i dati dei rilievi itineranti in Valle d'Aosta

PROBLEM Prime analisi sul loro utilizzo nei bollettini valanghe ALANGHIVI

Mauro Valt

ARPAV Centro Valanghe di Arabba, Via Arabba-Pradat 5, 32020 Livinallongo del Col di Lana (BL) mauro.valt@arpa.veneto.it

TYPICAL AVALANCHE PROBLEMS

Early analyses on their use in avalanche reports

In the winter seasons from 2018 to 2020, more than 37,000 typical avalanche issues were described in the 110 areas observed by AINEVA in which the Alpine range and the Apennines have been subdivided. "Winddrifted snow" was the most frequently described scenario, followed by "wet snow". These two snow types accounted for 78% of scenarios. The days with "persistent weak layers" were just above 10% while "gliding snow avalanches" scenarios were also relatively frequent (4%). "New snow" accounted for 8% of scenarios with a higher impact, compared with the other types, on the growth of the avalanche danger degree. Most of the known avalanche accidents occurring in the period (150 as a whole) were caused by "wind-drifted snow (68%) and in lower percentages than 15% by "new snow" or "wet snow". There were few avalanche accidents caused by "persistent weak layers" in the 3 winter seasons considered (4%). Nelle stagioni invernali dal 2018 al 2020 sono state descritti oltre 37.000 problemi tipici valanghivi nelle 110 aree in cui sono suddivisi l'Arco alpino e gli Appennini aderenti all'AINEVA. Lo scenario maggiormente utilizzato è stato "neve ventata", seguito da "neve bagnata". Queste due tipologie hanno caratterizzato il 78% delle situazioni. Le giornate con "strati deboli persistenti" sono state poco più del 10% mentre sono state relativamente frequenti anche le situazioni con "valanghe da slittamento" (4%). La "neve fresca" ha rappresentato l'8% delle situazioni con una incidenza maggiore, rispetto alle altre, in relazione all'aumentare del grado di pericolo valanghe. Gli incidenti da valanghe noti nel periodo (in tutto 150) sono avvenuti in gran parte con "neve ventata" (68%) e in percentuali inferiori al 15% con "neve fresca" o "neve bagnata". Pochi gli incidenti con problema tipico di "strati deboli persistenti" per le 3 stagioni invernali analizzate (4%).



INTRODUZIONE

Nel corso degli ultimi anni, i Servizi valanghe europei hanno concordato l'utilizzo di una serie di immagini grafiche definite "problemi tipici valanghivi" allo scopo di rendere maggiormente comprensibile al fruitore del bollettino valanghe, le situazioni di pericolosità dominante in montagna.

Ogni problema valanghivo – "neve fresca", "neve ventata", "strati deboli persistenti" (di seguito "neve vecchia"), "neve bagnata" e "valanghe da slittamento" ha un'origine diversa e richiede un comportamento adeguato (www.slf.ch/it/ bollettino-valanghe-e-situazione-nivologica/info-bollettino-valanghe/problemi-tipici-valanghivi.html). La storia della creazione di questa simbologia è molto lunga e prende il via in Italia intorno al 2002 e in Nord America pochi anni dopo. Successivamente diversi Servizi valanghe, con approcci metodologici diversi, hanno creato proprie simbologie (es. Scozia, Canada, etc.) e alcuni autori hanno proposto con successo le loro idee. Tra questi: Stephan Harvey in "Mustererkennung in der Lawinenkunde" del 2007; Harvey, Schweizer, Ryhner, Nigg e Asler in "Attenzione Valanghe" del 2009; Pascal Haegeli, Roger Atkins e Karl Klassen in "Decision Making in Avalanche Terrain: a fieldbook for winterbackcountry users". Infine, Patrick Nairz e Rudi Mayer, nel loro libro "Lawinen" (2011), hanno illustrato le 10 situazioni di pericolo più comuni in Austria, attraverso l'illustrazione di incidenti da valanga e la descrizione delle relative condizioni nivometeorologiche. Nel 2014 Jernej Burkeljca e Jaka Ortar hanno pubblicato su "The Avalanche Riview"un riassunto della situazione di utiizzo delle varie simbologie (Fig. 1) con lo schema dei diversi approcci (Fig. 2). Nella riunione dei Servizi valanghe europei (EAWS) del 2005 a Roma, sono state ampiamente discusse le diverse proposte elaborate dai vari Paesi e si è concordato di realizzare una simbologia nuova per illustrare il principale problema valanghivo che determina un certo grado di pericolo valanghe.

Due anni dopo, nella riunione del giugno 2017 a Monaco (D), i Servizi valanghe europei hanno approvato le icone e le descrizioni esplicative dei "5 Problemi tipici valanghivi" https://www.avalanches.org/wp-content/uploads/2019/05/Problemi_Tipici_Valanghivi-EAWS.pdf.

I 5 PROBLEMI TIPICI VALANGHIVI

I problemi valanghivi hanno lo scopo di descrivere le situazioni che si verificano sul terreno innevato e che determinano il pericolo di valanghe. Le definizioni comprendono una caratterizzazione generale del problema, le valanghe attese, una descrizione della loro tipica distribuzione spaziale e dell'ubicazione dello strato debole all'interno del manto nevoso, una caratterizzazione del meccanismo di distacco, una descrizione della durata

tipica del problema e del periodo e, infine, alcune indicazioni per l'utenza sportiva. In sintesi i problemi valanghivi (Fig. 3) sono:

a. Neve fresca

Il problema deriva dalle nevicate in corso o dalla neve fresca caduta poco prima. Il fattore scatenante principale è la quantità critica di neve fresca. Questa dipende da numerosi fattori, come ad es. vento, temperatura o proprietà della superficie del manto di neve vecchia (da slf.ch). Questa è una situazione facile da riconoscere per la presenza diffusa in tutte le esposizioni.

b. Neve ventata

La neve ventata si forma quando la neve degli strati superficiali viene trasporta e deposta dal vento.

La distribuzione della neve ventata è irregolare e dipende molto dalla morfologia dei luoghi. Tendenzialmente gli accumuli si trovano in zone al riparo dal vento, nei canaloni, nelle conche, dietro ai cambi di pendenza e in altre zone sottovento, nelle radure del bosco e più spesso oltre il limite superiore del bosco.

Andando in montagna è raccomandabile aggirare gli accumuli da vento su terreno ripido, in particolare nelle aree ove il manto nevoso cambia spessore da sottile a consistente o muta da duro a soffice.

c. Neve vecchia

Il termine esatto è "Strati deboli persistenti" ma la dizione "neve vecchia", uti-

▶ PAGE 24 THE A					ALANCHE REVIEW			VOL. 32, NO. 4, APRIL 2014		
North America	Tyrol Val d'Aran Cat		Catalonia	Scotland	Lombardia (grouped for brevity)		Veneto primary/secondary		Types - EAWS glossary	
Loose dry	The second snowfall	New snow	Wet snow	Wind transport		on ground		Weak cohesion powder	Dense-flow avalanche	
Loose wet	Glide	Wind-transported snow	Slab	Weak layers in snowpack	New snow	on old snow	New snow	New snow on old snow	Full-depth slab avalanche	
Wet slab	Rain	Old snow	Loose snow	Weak layers to be buried		on compact basal layer (autumn)		New snow on ground	Ground avalanche	
Glide	Cold on warm or Warm on cold	Wet snow (temperature)	Loose snow & slab	Wet snow		on surface hoar		Recent snow on crust or thin weak layer	Full-depth avalanche	
Storm snow	Snow after prolonged cold period	Wet snow (rain)		Cornice	Slab	on facets	Slab	Old snow on crust or thin weak layer	Glide avalanche	
Wind slab	Cold, loose fresh snow and wind	Glide			2190	on hard smooth crust		Full depth	Ice avalanche	
Persistent slab	Snowless areas in snowy winter					on crust and facets	Wind, wind slab	Soft wind slab	Loose-snow avalanche	
Persistent deep slab	Buried surface hoar				Wind slab			Weak cohesion wet	Powder avalanche	
Cornice fall	Buried graupel				Wind slab above new snow		Wet snow	Wet surface-layer snow	Slab avalanche	
	Spring situation				Soft wind slab			Full-depth wet snow	Surface-layer slab avalanch	
					Wet surface layer					
					Wet snow full depth (spring)					
able 1: A color	tion of concepts describ			On ground facets (spring)						

Fig. 1

Fig. 2

lizzata anche dagli Svizzeri, è più facile da comprendere per un frequentatore occasionale della montagna.

Questo problema compare quando all'interno del manto di neve vecchia sono presenti uno o più strati fragili. Gli strati fragili inglobano al loro interno cristalli sfaccettati, brina di profondità o brina di superficie ricoperta.

Questa condizione può presentarsi in forma diffusa sul territorio o concentrata su piccola scala. Può essere presente in tutte le esposizioni, più frequentemente però sui pendii ombreggiati e piuttosto riparati dal vento.

Nelle giornate che presentano questo problema valanghivo, occorre evitare i grandi pendii ripidi e procedere, sia in salita che in discesa, con la massima cautela. E' necessario procedere con attenzione nei punti scarsamente innevati e nelle zone in cui si passa da poca a molta neve.

d. Neve bagnata

Questa situazione tipica è legata all'indebolimento del manto nevoso durante la giornata per la presenza di acqua liquida dovuta alla fusione o eventualmente alla pioggia. Il gelo notturno porta alla formazione delle croste da rigelo.

E' una situazione facile da riconoscere in montagna, però occorre pianificare attentamente le tempistiche dell'escursione e valutare con cura anche le zone di scorrimento delle valanghe.

e. Valanghe da slittamento

Questa situazione è stata frequentemente osservata negli inverni recenti (2009, 2014 e 2020) e vede l'intero manto nevoso scivolare su una superficie liscia (ad es. pendio erboso o rocce lisce). Un'alta attività di queste valanghe da scivolamento di neve si verifica tipicamente in presenza di un manto nevoso spesso con pochi o nessuno strato fragile. Le valanghe per scivolamento di neve possono verificarsi sia con un manto nevoso asciutto e freddo, sia con un manto bagnato isotermico a 0 °C.

Si tratta di valanghe la cui evoluzione è

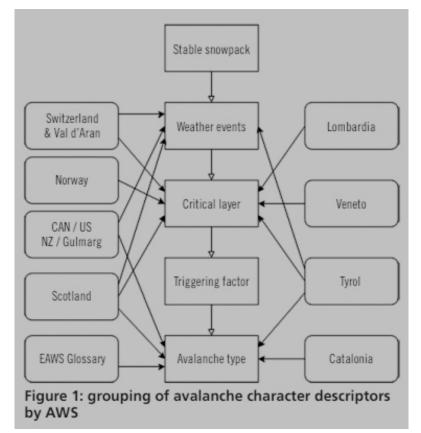




Fig. 3

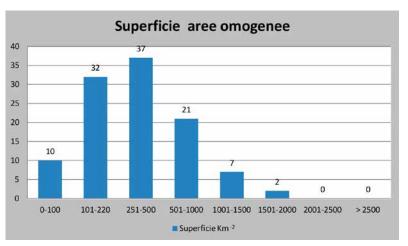


Fig. 4

difficile da prevedere e valutare, anche se spesso si preannunciano con delle rotture da scivolamento (le cosiddette "bocche di balena").

SCOPO DEL LAVORO

Lo scopo del presente lavoro è di analizzare le prime 3 stagioni invernali di utilizzo comune dei "Problemi valanghivi" (2017-2018, 2018-2019, 2019-2020) da

parte di tutti i Servizi valanghe italiani associati in AINEVA, sulla piattaforma comune di elaborazione dei bollettini valanghe.

La piattaforma, realizzata da One Team Srl, su commessa di AINEVA che ne è proprietaria, permette l'inserimento delle informazioni contenute nei bollettini valanghe locali, la pubblicazione del bollettino unico AINEVA e la gestione

Fig. 5

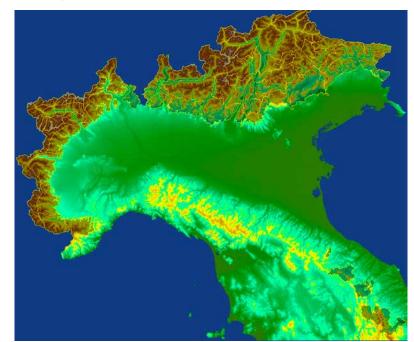
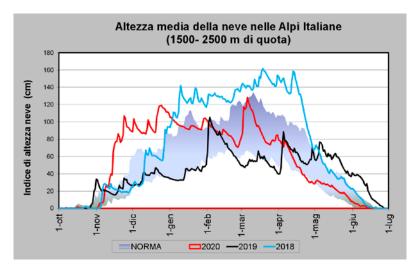


Fig. 6





dei dati storici attraverso dei tools di facile accesso.

Questa analisi è rivolta a comprendere l'utilizzo temporale dei problemi valanghivi durante la stagione invernale, le tipologie più ricorrenti, l'eventualità che alcune situazioni tipiche siano maggiormente legate ad alcuni gradi di pericolo valanghe e agli incidenti da valanga avvenuti nel periodo considerato.

AREA DI ANALISI

Il lavoro è sviluppato sulle aree montane di competenza degli Uffici valanghe delle Alpi e degli Appennini afferenti ad AINEVA, per una superficie totale di circa 46.000 Km², suddivisa fra le 8 Regioni e Province Autonome (Piemonte, Valle d'Aosta, Lombardia, Trentino, Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia–Giulia e Marche), con una suddivisione in 110 aree nivometeorologiche. Le aree omogenee hanno dimensioni molto variabili, con valore medio di 422 km². Le diverse dimensioni dipendono dalla differente morfologia e climatologia delle zone alpine e appenniniche.

Le aree più piccole si trovano nella Regione Valle d'Aosta, della Provincia Autonoma di Bolzano e della Provincia Autonoma di Trento, le più vaste nelle fasce Prealpine di Piemonte, Veneto e Lombardia.

BASE DEI DATI

Il data base è formato dalle singole aree omogenee con associato il grado di pericolo e la situazione valanghiva vigente alle ore 00:00 di ogni giornata di emissione del bollettino. Pertanto, le variazioni giornaliere non sono considerate nel presente lavoro.

Il periodo di riferimento inizia il 1° novembre e si conclude il 30 aprile, per oltre 37.000 record analizzati.

Nel presente lavoro, per ogni parametro analizzato, quale il "grado di pericolo valanghe" e il "problema valanghivo", è stata considerata la superficie dell'area omogenea e non il numero di casi per quel parametro; ciò per ridurre al minimo le possibili anomalie rappresentate

Fig. 7

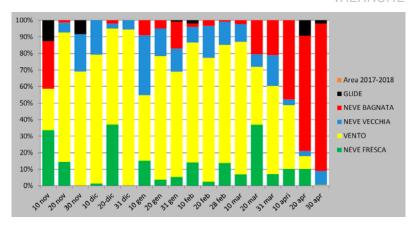
dalla comparazione di territori molto frammentati con altri di grandi superfici.

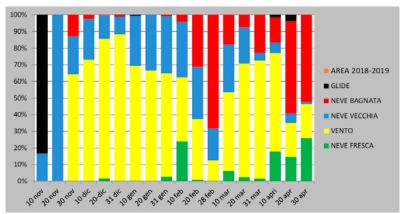
LE STAGIONI INVERNALI

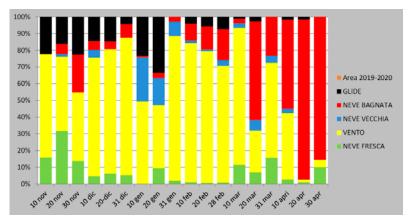
L'utilizzo dei diversi gradi di pericolo e dei problemi valanghivi è strettamente legato alle condizioni meteorologiche, all'innevamento (Fig. 6) e alle condizioni di instabilità del manto nevoso di ogni stagione invernale.

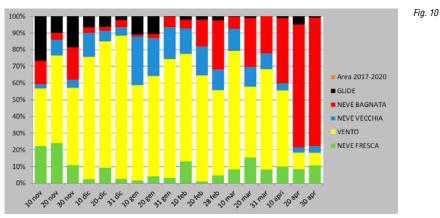
La stagione invernale 2017-2018 è stata complessa, abbondante di nevicate, ricca di episodi piovosi fino in quota, di periodi freddi e con una frequente attività valanghiva. La quantità di neve fresca caduta è stata nella norma ma il periodo freddo di marzo ha fermato l'ablazione e i primi giorni di aprile gli spessori di neve al suolo erano superiori alla media. E' seguito poi un rapido riscaldamento con un' accelerata fusione del manto nevoso che ha determinato la fine dell'inverno. Nella Fig. 7 è riportato l'utilizzo in percentuale, per decade del mese, delle varie tipologie di situazioni tipiche. Le situazioni da "neve fresca" sono ricorrenti lungo tutta la stagione, come anche le situazioni da "neve bagnata" che sono quasi sempre presenti con un deciso e progressivo aumento dalla prima decade di marzo in poi.

La stagione invernale 2018-2019 è stata inizialmente caratterizzata dagli eventi della tempesta VAIA, con anche molta neve in quota, seguiti da un lungo periodo protrattosi fino a fine gennaio con poche precipitazioni nevose. Dopo una prima intensa nevicata agli inizi di febbraio, cui è succeduto un periodo mite, sono arrivate le abbondanti nevicate di aprile e maggio. Le nevicate tardive hanno formato un manto nevoso che è durato fino oltre la metà del mese di giugno su gran parte del territorio alpino, complici anche le fresche temperature di maggio. Nella Fig. 8 si nota, dopo l'episodio della prima decade di febbraio, una decisa presenza di situazioni da "neve fresca" in aprile, mente durante la gran parte dell'inverno prevalgono le situazioni da "neve ventata" e da "neve









vecchia" (stradi deboli persistenti). L'elevata frequenza di situazioni da "valanghe da slittamento" della prima decade del mese di novembre, è viziata da una scarsa popolazione di bollettini emessi in quel periodo.

La stagione invernale 2019-2020 è stata caratterizzata da abbondanti nevicate nel mese di novembre e in modo minore a dicembre: poche situazioni con Fig. 8

Neve Nalanghe

VALANGHE

forti venti, ma che hanno comunque ridistribuito il manto nevoso, scarsità di precipitazioni nei mesi di gennaio e febbraio, temperature miti per tutta la stagione invernale, che hanno favorito la fusione del manto nevoso a partire già da febbraio, eccezion fatta per le nevicate di inizio febbraio. Nella Fig. 9 è evidente il lungo perdurare di condizioni dovute a "valanghe da slittamento", sia nella prima parte dell'inverno che nel mese di gennaio. E' evidente anche la decisa presenza di situazioni di neve bagnata dalla seconda decade di marzo, temporaneamente rallentate dal freddo di fine mese.

ANALISI DEI DATI

Raggruppando in un'unica popolazione i dati delle 3 stagioni invernali, è possibile effettuare le prime valutazioni sull'utilizzo dei problemi valanghivi e l'eventuale correlazione con il grado di pericolo. Innanzitutto, l'andamento della frequenza per decade dei vari problemi valanghivi traccia una prima idea della nivologia generale delle Alpi in queste

3 stagioni (Fig. 10): il vento è determinante nella creazione delle situazioni più critiche; situazioni da "neve bagnata" sono attese anche nel pieno dell'inverno meteorologico (dicembre, gennaio e febbraio) e le situazioni da neve vecchia (strati deboli persistenti) sono relativamente poche. Le situazioni da "valanghe da slittamento" sono molto presenti, specie nella prima parte dell'inverno. In generale (Fig. 11) il problema valan-

ghivo più utilizzato (realmente diffuso) è stato "neve ventata" con il 54% dei casi, seguito da "neve bagnata" con il 23% e da "neve vecchia" con il 10% dei casi. Le situazioni da "neve fresca" sono state l'8% e quelle da "valanghe di slittamento" il 4% circa.

La somma dei problemi valanghivi conseguenti a fenomeni che si possono comprendere con la sola osservazione attenta del terreno e del territorio, come una nevicata, l'azione del vento, il caldo che fonde la neve e la formazione di bocche da balena, rappresenta l' 89% dei casi. Pertanto, si può affermare che, in queste 3 stagioni invernali, la maggior parte delle problematiche erano osservabili e che solo in poco più di una situazione su 10 era necessaria una conoscenza delle condizioni interne del manto nevoso.

La correlazione fra grado di pericolo valanghe e "problema valanghivo" (Fig. 12) evidenzia un aumento dell'utilizzo della situazione da "neve fresca" con l'aumentare del pericolo valanghe, a cui si contrappone un minor utilizzo delle situazioni da "neve bagnata". Le situazioni da "neve ventata" sono frequenti quasi in egual misura durante la stagione, mentre le situazioni da "neve vecchia" sono maggiormente relegate ai bassi gradi di pericolo valanghe.

INCIDENTI E SITUAZIONI TIPICHE

Nel periodo novembre 2017 - maggio 2020 sono stati inseriti nel data base Al-NEVA oltre 150 incidenti da valanga; per 130 di essi è stato possibile individuare il problema tipico valanghivo espresso nel bollettino per la zona dell'incidente. I rimanenti incidenti sono avvenuti generalmente in periodi in cui il bollettino non era stato emesso o sono avvenuti in Appennino.

Il 68% degli incidenti è avvenuto in aree che presentano generalmente un problema tipico valanghivo da "neve ventata", il 14% in aree con un problema da "neve fresca" e percentuali minori in aree con le altre situazioni, come si può osservare in Fig. 13. Questa situazione è anche coerente con la persistenza, nelle stagioni invernali, delle situazioni da "neve ventata" (vedi Fig. 11).

Di contro, si rileva l'elevato numero di incidenti (14%) con situazioni da "neve fresca", rispetto al verificarsi di questa situazione (10%, Fig. 6), inferiore a quella da "neve bagnata" (23%). Gli incidenti con "neve vecchia" con il 4% dei casi sono pochi rispetto al numero di giornate invernali con tale situazione. In generale, sulla base dei dati di queste 3 stagioni invernali, è possibile affermare che ogni 100 giornate si hanno: 46 incidenti da valanga con situazioni da "neve

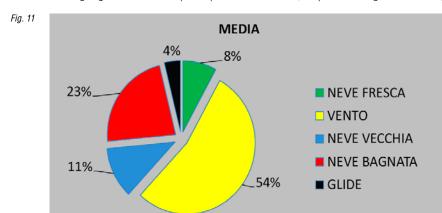


Fig. 12

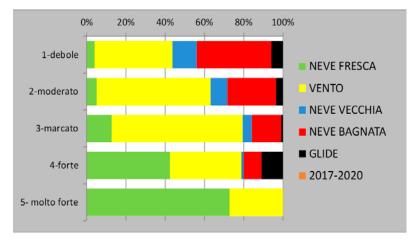


Fig. 13

fresca", 30 incidenti con situazione di "neve ventata", 13 con "neve bagnata", 10 con "neve vecchia" e 14 con "valanghe da slittamento".

Per quanto riguarda il grado di pericolo del giorno dell'incidente e il problema valanghivo (Fig. 14):

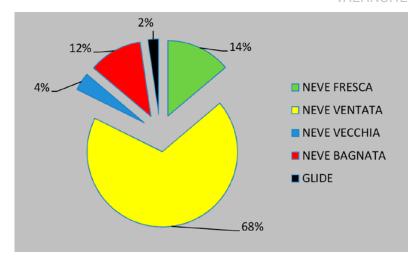
- gli incidenti con "neve fresca" sono avvenuti in gran parte con grado 4-forte o grado 3-marcato;
- gli incidenti con "neve vecchia" si sono verificati con gradi di uno step inferiore;
 gli incidenti con situazioni di "neve bagnata" hanno avuto luogo principalmen-
- te con grado 2-moderato e 3-marcato, ma anche con grado 1-debole e 4-forte; - gli incidenti con situazioni da "neve ventata" sono avvenuti con tutti i gra-

di, ma principalmente con il 3-marcato.

CONCLUSIONE

Lo studio sull'utilizzo dei "problemi tipici valanghivi" sull'Arco alpino e su parte degli Appennini offre diversi spunti di analisi sulle condizioni della neve di ogni stagione invernale. Appare evidente che certe situazioni, come "neve fresca", sono utilizzate con gradi di pericolo superiori e che, per le 3 stagioni passate, sono state anche le situazioni con il più elevato numero di incidenti da valanga. Occorre anche sempre tenere presente che l'andamento meteorologico e nivologico di una stagione invernale determina la maggior o minor presenza nella popolazione dei dati di un "problema valanghivo" rispetto ad un altro.

Le stagioni per le quali è stato possibile promuovere un'indagine sono solo 3 perché solo dal 2017 vengono utilizzati in EAWS i "Problemi valanghivi". Tuttavia, l'analisi permette diverse considerazioni, ad esempio: si osserva uno scarso utilizzo delle situazioni da "neve vecchia"



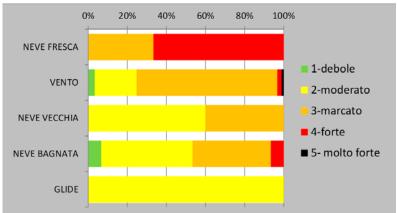


Fig. 14

(strati deboli persistenti) e i lunghi periodi con "neve ventata", che forse si intrecciano fra loro in modo ancora poco noto o difficile da illustrare ai fruitori dei bollettini valanghe.

RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è stato possibile grazie alla collaborazione di tutti gli Uffici valanghe aderenti all'AINEVA. Un particolare ringraziamento a Roberto Motta di One Time e, soprattutto, a Paolo Cestari di Meteotrentino – PAT per il supporto informatico e la gestione delle varie problematiche inerenti alla creazione e al funzionamento della banca dati da cui sono stati attinti i dati.



Siti di riferimento

https://www.aineva.it/pubblicazioni/il-bollettino-valanghe-e-la-scala-di-pericolo-2/

https://static1.squarespace.com/static/59d2a0f0e9bfdf20d6d654b7/t/5a5fbbb824a694f8d83e0d61/1516223431491/TAR3204_ALL_LoRes.pdf) https://www.slf.ch/it/bollettino-valanghe-e-situazione-nivologica/info-bollettino-valanghe/problemi-tipici-valanghivi.html https://www.avalanches.org/wp-content/uploads/2019/05/Problemi_Tipici_Valanghivi-EAWS.pdf .

Gestione del rischio valanghe per sciatori e ciaspolatori

al RIDURRE L'ESPOSIZIONE AL RIDURRE L'ESPOSIZI

Alain Duclos

guida alpina, ingegnere, nivologo, formatore, perito presso la Corte di Appello di Chambéry www.data-avalanche.org

REDUCE EXPOSURE TO THE RISK OF AVALANCHES: 4 vigilance modes and 6 parameters to keep an eye on

The difficulty we often encounter in avalanche risk management is due to a statistical problem: avalanche is rare. The conditions for this complex phenomenon that lead to the sliding of the slab are relatively exceptional, compared to all those that do not allow its occurrence. That's why even an imprudent practitioner can escape the accident for many years ... and believe himself very competent. However, it did nothing but benefit from a normal favorable probability. The relative rarity of accidental avalanches means that one cannot learn only from one's own experience. An increase in avalanche safety can only come from the systematic use of a proven method, although this approach seems restrictive as long as it is new. Subsequently, our ability to adapt evolves, the objectives change ... and the pleasure of walk across the mountain, with greater safety, often increases.

4 modalità di vigilanza basate su 6 parametri da ricordare

La difficoltà che spesso incontriamo nella gestione del rischio valanghe è dovuta a un problema statistico: la valanga è rara. Le condizioni per questo complesso fenomeno che portano allo scivolamento del lastrone sono relativamente eccezionali, rispetto a tutte quelle che non ne consentono il verificarsi. Ecco perché anche un praticante imprudente può sfuggire all'incidente per molti anni... e credersi molto competente. Tuttavia, non ha fatto altro che beneficiare di una normale probabilità favorevole.

La relativa rarità delle valanghe accidentali fa sì che non si possa imparare solo dalla propria esperienza. Un aumento della sicurezza rispetto alle valanghe può venire solo dall'uso sistematico di un metodo collaudato, anche se questo approccio sembra restrittivo fintanto che è nuovo. In seguito, la nostra capacità di adattamento evolve, gli obiettivi cambiano... e il piacere di percorrere la montagna, con maggiore sicurezza, spesso aumenta.



VALANGHE

Se degli incidenti da valanga si sono verificati con condizioni che la guida considerava particolarmente pericolose, allora questi sono casi eccezionali. No, gli incidenti da valanga si verificano durante la pratica abituale. Abituale per la guida che subisce l'incidente, abituale per una grande parte delle guide che, come lei, fino al momento dell'incidente hanno beneficiato di una grande dose di fortuna. L'esperienza personale non è sufficiente per progredire nella gestione di questo tipo di rischio: i segnali evidenti di allerta sono troppo rari (contrariamente allo sci ripido per esempio). Ecco perché la valanga è così spesso una grande sorpresa: «Ero a mille miglia dall'immaginare che sarebbe successo lì, adesso, così improvvisa e così voluminosa». Conseguenze: incidenti molto gravi, molte vittime... che avrebbero potuto essere ridotte o anche inesistenti, se solamente si fosse immaginata la possibilità di una valanga. L'indice di pericolo del bollettino valanghe ci aiuta poco (troppi morti con pericolo 2-moderato o 1-debole) e i molteplici metodi proposti in tutto il mondo non ci hanno permesso di ridurre gli incidenti in valanga: motivi sufficienti per spronarci a esplorare ancora. La via del "sistema di vigilanza¹", mostrata dal ricercatore americano lan Mc Cammon² 10 anni fa, merita di essere sviluppata.

Formalizzando un approccio che definisce le "modalità di vigilanza", l'obiettivo non è quello di fornire ricette (e ancor meno certezze) per stimare la stabilità di un pendio. Si tratta solo di aiutare il montanaro a non essere completamente sorpreso dalla valanga; essere diffidenti quando bisogna esserlo, essere rilassati rispetto a questo problema quando è possibile³. Perché? Soprattutto perché

le catastrofi con molte vittime avvengono quando il leader del gruppo non aveva nessun dubbio sulla sicurezza. Al contrario, quando una guida è diffidente, generalmente sa limitare il rischio. Quando è convinto di un pericolo, in genere sa come evitarlo (a seconda del singolo pendio) o addirittura rinunciare (a seconda dell'itinerario). Quando è opportuno essere in modalità "normale", "diffidente", "allertata"... o "azzardata"? Ci sembra che prendere in considerazione solo 6 parametri possa sempre essere di aiuto.

QUATTRO MODALITÀ DI VIGILANZA

Bisogna usare la propria immaginazione. Salvo eccezioni, il pericolo di valanghe non è visibile. Si tratta quindi di visualizzare la possibile valanga, senza nessun indizio evidente a priori. Pertanto, solo un montanaro adeguatamente formato è in grado di realizzare questo lavoro. Se uno ha l'abilità di visualizzare dove può verificarsi la valanga e quanto può essere grande, allora possono essere prese buone decisioni (Tab. 1). Sul terreno (3a tappa del metodo 3x3), le riflessioni possono essere queste:

- Immaginiamo un rilievo poco pendente, con un po' di neve fresca. Se l'inclinazione del pendio è sempre inferiore a 30° (compresi i pendii sopra di me), allora siamo nella prima situazione. E' necessaria solo una "vigilanza normale". Non bisogna prendere particolari precauzioni e, per esempio, gli sciatori possono salire in gruppo e poi scendere insieme.
- Man mano che avanziamo, i pendii cambiano e anche gli spessori della neve. Il leader dell'escursione deve allora visualizzare i pendii con un'inclinazione superiore a 30°, soprattutto se sono carichi di neve recente. Il suo ruolo sarà quindi di evitare di passare sotto questi pendii e ancor più di attraversarli. Questo è in genere quello che succede in salita, poiché non vi è alcun vantaggio ad affrontare dei rischi. Siamo nella seconda situazione: gli sciatori devono essere in modalità

Fig. 1 - Quattro modalità di vigilanza: identificare la propria situazione rispetto al pericolo di valanghe e il proprio posizionamento rispetto all'assunzione di rischi.



diffidente, e la scelta più prudente è quella di evitare il pericolo.

- Immaginiamo ora che sia il momento della discesa. Gli sciatori hanno un buon livello tecnico e apprezzerebbero fare le curve su alcuni pendii un po' più ripidi (sopra i 30°). E perché no? A questo punto, è importante conoscere gli obiettivi dei partecipanti. Se non vogliono assumere alcun rischio e se la stabilità dei pendii sopra i 30° non è certa, allora bisogna ritornare nella situazione n°2: diffidare ed evitare il pericolo. Se invece al contrario il rischio è accettato e conosciuto da tutti i partecipanti, allora il percorso, lungo pendii dove una valanga è possibile, è fattibile. La domanda da porsi è «se una valanga parte nella sua estensione massima, una parte del gruppo può essere in sicurezza? La (o le) persona(e) travolta(e) potrà essere soccorsa efficacemente?». Se la risposta è sì, allora siamo nella situazione n.3: modalità allertata. La valanga è possibile ma possiamo ridurre il rischio. Altrimenti siamo nella situazione n°4.
- La **modalità azzardata** è sovente difficile da ammettere. E' molto più semplice considerare, senza prove⁴, che la stabilità di un grande pendio, a più di 30° e coperto di neve fresca farinosa, è certa. Ma con quali argomenti? E' la situazione n°4. E' quella che provoca le catastrofi più gravi: molte persone travolte che non possono essere soccorse prima di morire (Fig.1).

E' importante che queste 4 tipologie di situazioni siano ben comprese. La ricerca degli indizi sulla base dei 6 parametri serve solo a identificare meglio la situazione nella quale ci si trova, al fine di evitare al meglio il pericolo, gestire meglio il rischio oppure optare per la rinuncia.

SEI PARAMETRI CHIARAMENTE IDENTIFICATI

Poiché le guide credono di essere obbligate a confrontarsi con innumerevoli parametri, si ritrovano affogate da tropPericolo valanghe: 6 parametri da sorvegliare

A seconda del tuo livello, dal principiante...

| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...

| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal principiante...
| A seconda del tuo livello, dal princi

Fig. 2 - I 6 parametri semplici sono ordinati in base al livello di abilità richiesto per analizzarli. In alto, riteniamo che anche un principiante sia in grado di comprendere un indice di pericolo preso dal bollettino valanghe o una proposta di itinerario su una carta delle pendenze. In basso, si ritiene che siano necessari una solida esperienze e un alto livello di competenza per identificare gli strati di neve recente in superficie oppure degli strati deboli sepolti.



Fig. 3 - Questa rappresentazione dei 6 parametri dovrebbe spingerci a considerarli nell'ordine che ciascuno preferisce, senza tuttavia dimenticarne nessuno. In montagna il professionista probabilmente osserverà per prime le valanghe recenti. Al contrario, il cittadino lontano dalla montagna per tutta la settimana probabilmente si interesserà di più all'indice di pericolo del bollettino...

pe informazioni, dalle quali estraggono solo ciò che alla fine supporta una scelta che era già stata fatta ...intuitivamente. Ecco perché consigliamo di utilizzarne solo 6, prioritariamente, che devono essere sufficientemente chiare per guidare lucidamente le nostre decisioni (Figg.2 e 3).

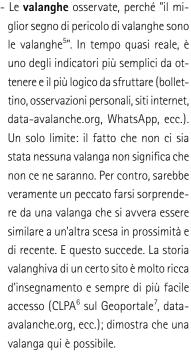
Foto - Nuova neve + inclinazione + strato debole sepolto sono i parametri che ci avevano portato a decidere di sciare riducendo il rischio, pur sapendo che una valanga era possibile. Il grado di pericolo previsto dal bollettino era di 1 su 5 (nevicata probabilmente non prevista).

Foto A.Duclos.



- L'indice di pericolo valanghe del giorno, su una scala europea a 5 livelli, è un parametro comprensibile, ma che troppo spesso gioca un ruolo molto importante nel nostro processo decisionale. «vado qui con pericolo 3-marcato, là solamente con pericolo 2-moderato, ecc.»... Questo vuol dire dimenticarsi che numerosi incidenti mortali avvengono con pericolo 2-moderato e che la maggior parte avvengono con pericolo 3-marcato (almeno in Francia). È una scorciatoia facile che tuttavia non dovrebbe farci trascurare il resto dei nostri 6 parametri.
- La soglia dei 30° è ormai ammessa: una valanga può partire oltre, ma non se è meno ripido (eccetto in alcuni casi particolari di neve bagnata). Attenzione:

bisogna ben definire le zone di DISTAC-CO delle valanghe! Una volta partita la valanga, se c'è sufficiente velocità, il flusso può in effetti arrivare nel piano sottostante e anche risalire su una collina o sul versante opposto. Come conoscere questa inclinazione? In fase di preparazione, è più o meno facile a seconda dei paesi in cui siamo, in base alla disponibilità o meno, su internet, delle cartine con le pendenze. Una volta sul terreno, le eventuali App associate al GPS costituiscono ancora lo strumento migliore. Inoltre, un clinometro adattato e/o il buon vecchio metodo dei 2 bastoncini da sci (triangolo equilatero) consentono di valutare con precisione la pendenza del pendio sotto i piedi, ma non quella dei pendii distanti, al di sopra o davanti.





- Spesso facile da individuare, la **fusione** mostra dei segni di instabilità evidenti che provocano distacchi spontanei più o meno vasti (vedere punto qui sotto). È quindi è sufficiente stare attenti agli orari, alle esposizioni e alle quote. Talvolta, curiosamente, dei **riscaldamenti senza fusione** provocano dei picchi valanghivi. Infine, gli effetti del riscaldamento variano molto in funzione della stratigrafia (strato debole sepolto oppure no).
- Nuovi sovraccarichi: è necessaria una solida esperienza per valutare gli spessori di neve fresca, identificare gli accumuli causati dal vento, stimare da quando sono lì. E tuttavia è uno dei fattori determinanti, all'origine delle instabilità, sovente creatore di disequilibri all'inter-
- no del manto nevoso. Il sondaggio con il bastoncino fornisce un aiuto prezioso, ma purtroppo non è sufficiente. Rimane una domanda fondamentale: per quanto tempo uno strato di neve dovrebbe essere considerato "nuovo" e quindi un fattore di instabilità? L'attività valanghiva osservata fornisce parte della risposta.
- Gli strati deboli sepolti: necessari per il distacco di lastroni, purtroppo sono mal conosciuti, difficili da rilevare e con effetti quasi imprevedibili. I più celebri sono quelli formati da "cristalli a calice", spesso identificabili tramite sondaggio col bastoncino e riconoscibili a occhio nudo. Sarebbe un peccato lasciarsi sorprendere dallo scivolamento di una massa di neve su una tale base. Tuttavia, l'assenza di uno strato di cristalli a

calice non dovrebbe portare sistematicamente a conclusioni ottimistiche. Adesso sappiamo che la neve recente può giocare questo ruolo di strato debole e anche la neve formata da piccoli cristalli angolari e pure la neve umida. I "test di stabilità" (CT, ECT, PST8) permettono di osservare bene i meccanismi di scivolamento dei blocchi di neve su questi strati deboli vari. Dopo l'incidente, questi test mettono sempre in evidenza lo strato debole responsabile della valanga; d'altra parte, capita spesso che vengano evidenziati strati fragili e che non si verifichino valanghe... Anche se gli affondamenti (whoumph) e i distacchi di lastroni sono segni indiscutibili di presenza di strati deboli sepolti, almeno localmente (Foto 1).

Fig. 4 - Nessuno dei parametri è preoccupante. L'analisi porta a decidere di non mettere dei vincoli (scelte multiple).

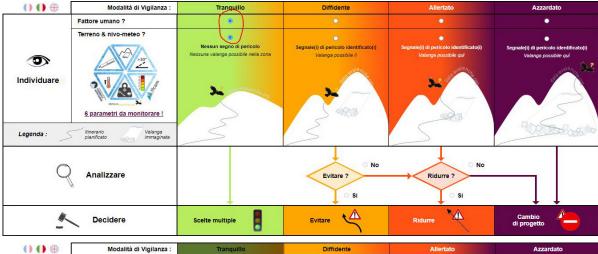


Fig. 5 - Almeno uno dei parametri indica che il pericolo di valanghe esiste altrove. L'analisi mostra che può essere evitato, il che porta alla decisione prudente di evitare il pericolo.

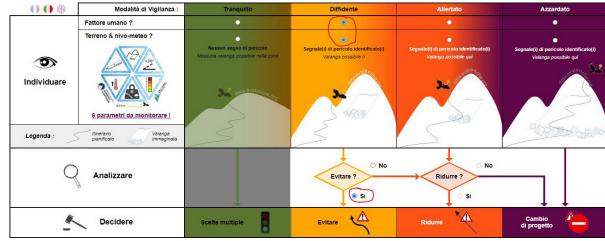


Fig. 6 - Almeno uno dei parametri indica che esiste il pericolo di valanghe. L'analisi conclude che non sarà evitato (scelta dei partecipanti o obbligo). Dobbiamo quindi porre la domanda sulla possibilità di ridurre il rischio. Se la risposta è sì, può essere ragionevole esporsi al pericolo prendendo precauzioni.

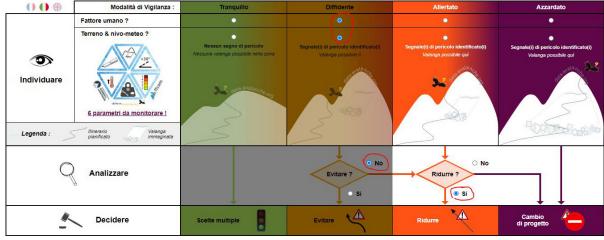
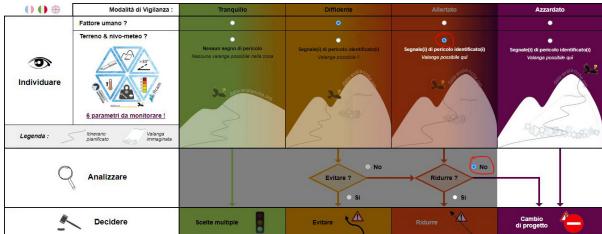


Fig. 7 -Uno o più parametri indicano che il settore da percorrere è pericoloso. L'analisi mostra che non è possibile ridurre il rischio. La decisione prudente dovrebbe quindi essere quella di rinunciare all'intero percorso pianificato.



INDIVIDUARE I SEGNALI DI PERICOLO, ANALIZZARLI... E DECIDERE!

L'esperienza mostra che i professionisti coinvolti in un incidente da valanga avevano generalmente accesso alle informazioni necessarie, che sovente ne avevano conoscenza, ma non ne avevano tenuto conto per decidere. Questo significa che la formazione è raramente una condizione sufficiente per sfuggire all'incidente da valanga. Le 4 modalità di vigilanza ci sembrano un approccio realista e abbastanza facile da applicare. I 6 parametri dovrebbero contribuire a un migliore apprezzamento delle aree pericolose e dei momenti di pericolo. Tuttavia bisogna crederci, decidere quale condotta adottare e attenersi ad essa. Dei ricercatori francesi⁹, che lavorano sul sistema di vigilanza, hanno proposto un modello di riflessione semplice che ci porta dall'osservazione fino alla decisione, passando per l'analisi (Figg. 4,5,6,7). Questa rappresentazione, pur essendo ancora imperfetta, permette tuttavia di comprendere bene il processo proposto. Coerente con il metodo 3x3, tiene anche in considerazione il fattore umano, la cui importanza è ben nota, e tuttavia è mal conosciuto il modo di padroneggiarlo. I fattori "terreno" e "nivo-meteo", visti attraverso i 6 parametri, potrebbero costituire una difesa dalle trappole dell'inconscio (trappole euristiche).

Questo modello si trova sul web qui (anche in versione italiana e inglese):
HYPERLINK "https://projects.listic.univ-smb.fr/cime/vigilance"https://projects.
listic.univ-smb.fr/cime/vigilance
Ti consigliamo di giocarci cliccando a piacimento, iniziando dalle righe "Individuare". La tua opinione ci interessa!

Note

- ¹ Modalità di vigilanza: « The bounded vigilance model », nella sua versione originale di lan Mc Cammon.
- ² Articolo presentato a l'ISSW di Davos nel 2009 (Human factors in avalanche accidents: Evolution and interventions)... prima che lan lasciasse la comunità di ricercatori sulla neve e le valanghe
- ³ Compatibile con l'approccio 3x3, l'analisi per le modalità di vigilanza può essere applicata più o meno completamente a ciascuna tappa, dalla preparazione dell'escursione fino alla valutazione fine dell'itinerario
- ⁴ E' il ricercatore Philip Ebert (University of Stirling) che ci suggerisce di riflettere sulla (grande) differenza tra "assenza di evidente pericolo" e "evidente assenza di pericolo".
- ⁵ Citazione di Bruce Tremper, USA
- ⁶ CLPV : Carta di localizzazione probabile delle valanghe redatta, in Francia, da IRSTEA, Grenoble Saint-Martin-d'Hères.
- ⁷ Esempio francese, HYPERLINK "https://www.geoportail.gouv.fr/"https://www.geoportail.gouv.fr/ oppure vedi molti Geoportali regionali italiani
- ⁸ CT = column test, ECT = Extended column test , PST = propagation saw test.
- ⁹ Frédéric Pourraz e alt., Università Savoie Mont Blanc, Lavoratorio LISTIC, Politecnico di Annecy, Francia.



Note e considerazioni personali

del traduttore dell'articolo Stefano Pivot, nivologo e guida alpina Dopo aver letto una prima volta l'articolo direte: «ecco, ci mancava proprio l'ennesimo metodo di riduzione del rischio... un altro blablabla che sembra spiegare e chiarire tutto, ma poi in pratica quando siamo alla base del pendio le cose non sono chiare, non si capisce niente e alla fine si fa come viene...decidendo d'istinto!».

Perché quindi perdere tempo per cercare di imparare e mettere in pratica un altro sistema di gestione del rischio valanghe? Sappiamo che in montagna il rischio zero non esiste, ma questa non può essere una scusa per contare solo sulla fortuna (anche se questa è a nostro favore, visto che, secondo Bruce Tremper – famoso nivologo americano – un pendio valanghivo è stabile per il 95% del tempo). La prendo larga: Alain Duclos ha tutte le carte in regola per proporre un metodo che accontenta tutti perché ha una formazione trasversale che soddisfa numerosi punti di vista, dai praticoni ai razionali. Alain è ingegnere, guida alpina, nivologo di fama mondiale e anche pisteur sécouriste: nella boxe diremmo che ha riunificato tutti i titoli.

Quali sono i punti forti di questo metodo?

A mio avviso è un metodo onesto e realista. Non ti illude dicendo che, con accorgimenti (che non siano lo stare a casa...), sarai al riparo da tutte le valanghe. Siamo onesti: purtroppo, se frequentiamo la montagna innevata, non è possibile evitare sempre tutte le valanghe e questo è evidente per mille motivi (la nivologia è una scienza giovane, non ha ancora tutte le risposte; non abbiamo il radar e quindi non vediamo la composizione degli strati dentro il manto nevoso e la loro grande variabilità spaziale...per non andare troppo nel complicato e parlare di strati deboli temporanei...ecc.). Questo metodo cerca di evitarci le grandi sorprese, quelle valanghe inaspettate che travolgono tutto il nostro gruppo, magari con conseguenze mortali. Funziona?

Come tutti i metodi sarà sicuramente migliorato in futuro; intanto vi posso portare la mia esperienza: l'ho utilizzato nelle ultime 3 stagioni nelle giornate di scialpinismo, sia nell'attività personale con amici, sia nella didattica e nella formazione, sia nei rilievi nivologici dell'ufficio neve e valanghe regionale e sia nell'attività di guida alpina, con risultati molto positivi. Ovviamente non è il primo metodo che uso. Come voi, mi sono incuriosito e appassionato ai vari metodi proposti negli ultimi 30 anni, a cominciare dalla base, il 3x3 di Munter, ancora attuale e valorizzato anche da questo metodo. Per esempio, ho avuto anche l'occasione di apprendere, direttamente da W. Munter e P. Kimmig l'interessante Nivocheck. Con altre guide abbiamo iniziato a mettere le crocette sull'apposito schemino: ottimi spunti di riflessione, ma un utilizzo pratico sul campo troppo macchinoso rispetto al sistema di vigilanza qui proposto.

In generale, il lato negativo di questi metodi è la trappola euristica in cui cadiamo: non sapendo decidere se il pendio che vogliamo percorrere sta su oppure no, demandiamo questa scelta al metodo, sentendoci così un po' più sollevati dalla responsabilità di decidere, in particolare se stiamo accompagnando un gruppo, magari anche numeroso (> 5 persone), come accade diverse volte con le scuole o le gite del Club Alpino Italiano. Il Metodo di vigilanza punta invece alla gestione di un'eventuale valanga: se la valanga è possibile nella zona che voglio percorrere, evito quella zona; se non è possibile evitarla, la gestisco; se non è possibile gestirla, rinuncio.

Vi esorto a provarlo, a metterlo in discussione e a proporre dei miglioramenti: usiamo l'intelligenza e l'esperienza collettiva per migliorare la nostra sicurezza!

IL CASO STUDIO ALANGA della VALANGA di TESTA GRIGIA Andrea Debernardi e Nathalie Durand Ufficio neve e Valanghe - Fondazione Ufficio neve e Valanghe - Fondazione IL CASO STUDIO ALCASO STUDIO DEL 24/11/2019 GRESSONEY LA TRINITÉ VALLE D'AOSTA

Ufficio neve e Valanghe - Fondazione Montagna sicura, Villa Cameron, Loc. Amérique 33, 11020 Quart (A0), Italy

Valerio Segor e Alessandro Plater

Ufficio neve e valanghe, Assetto idrogeologico dei bacini montani, Assessorato finanze, innovazione, opere pubbliche e territorio Regione Autonoma Valle d'Aosta, Loc. Amérique 33, 11020 Quart (A0), Italy

THE CASE STUDY OF THE AVALANCHE OF "TESTA GRIGIA ORSIO" OF 11/24/2019 Gressoney La Trinité -Aosta Valley- Italy

The work analyze the nivometeorological conditions that caused the "Testa Grigia Orsio" avalanche of 11/24/2019, to describe its dynamics and related damage, with the aim of adapting and relocate the avalanche barriers that have been destroyed. The study will be supported by the historical information collected in the regional Avalanche Cadastre and by "good advice" given by the local avalanche committee. In questo articolo analizziamo le condizioni nivo-metereologiche che hanno determinato la valanga 01-114 detta "Testa Grigia Orsio" caduta il 24/11/2019. Ne descriveremo la dinamica ed i relativi danni, con l'ottica di un riposizionamento e adeguamento delle opere di protezione attiva sul bacino valanghivo anche a seguito dell'analisi storica del sito con il materiale raccolto nel corso dei decenni nel Catasto Valanghe Regionale. Proprio questo strumento, ogni anno arricchito di nuovi dati e pertanto sempre aggiornato, ha permesso di recuperare le informazioni e foto storiche relative al fenomeno valanghivo che descriviamo in questo articolo.

Durante la fase di studio della valanga hanno collaborato diversi professionisti che si occupano di problematiche valanghive da vari punti di vista, quali la previsione valanghe, il monitoraggio e gestione del rischio a livello locale e la progettazione di opere paravalanghe. Sicuramente l'unione di più professionalità ha permesso di sviscerare la problematica in maniera più completa, conferendo un valore aggiunto allo studio.



INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La Regione autonoma Valle d'Aosta si trova nella parte più nord-occidentale dell'Italia. Si tratta di una regione molto piccola ma spiccatamente "montana", infatti più del 60% del suo territorio si sviluppa al di sopra dei 2.000 m di quota. Diverse valanghe di grandi e grandissime dimensioni interessano il suo territorio che ne è, quindi, fortemente condizionato. Per questo motivo da decenni l'amministrazione regionale raccoglie informazioni su questi fenomeni naturali all'interno di un database informatizzato sviluppato ad hoc: il Catasto Valanghe Regionale che viene aggiornato ogni anno e che attualmente comprende informazioni su 2257 siti valanghivi, dai quali sono stati censiti 11307 eventi. Dall'analisi di questi dati ne emerge un dato particolarmente significativo per il catasto: il 17% del territorio regionale è interessato da valanghe.

La Valle di Gressoney è la prima e più orientale vallata della Valle d'Aosta. Si sviluppa sulla riva sinistra orografica della Dora Baltea, delimitata a nord dal Vallese, a ovest dalla Val d'Ayas, a sud dalla Dora Baltea e ad est dalle province di Biella e Vercelli ed è attraversata dal fiume Lys che nasce dall'omonimo ghiacciaio posto sulle pendici del Monte Rosa (4634 m). Ad oggi il Catasto Valanghe in questa valle censisce 270 siti valanghivi dai quali sono stati documentati 1430 eventi valanghivi. Questi numeri indicano come la Valle di Gressoney, complice la sua estensione e la sua marcata acclività, sia la vallata valdostana con più siti valanghivi censiti.

INQUADRAMENTO METEOROLOGICO

Dovessimo sintetizzare con poche parole e aggettivi la stagione invernale 2019/20 possiamo certamente dire: tanta neve in autunno inoltrato e a dicembre, poca a gennaio e nella seconda parte di marzo, pochissima soprattutto ad aprile, tanto vento che accompagna le principali nevicate e ancora vento intenso in assenza di nevicate e pioggia in alta quota che a più riprese rende molto dure le croste superficiali.

Come successo nell'inverno precedente (2018/19), novembre è un mese caratterizzato da intensi flussi perturbati che apportano neve per la prima volta nella stagione anche a quote di media montagna, andando così a costituire la struttura e il fondo del manto nevoso per la stagione invernale 2019/20. Durante le intense nevicate si verificano numerosi eventi valanghivi che in alcune zone della regione coinvolgono anche i fondovalle e la viabilità regionale e comunale.

Il mese inizia bene con le prime nevicate al di sopra dei 1800-2000 m s.l.m..

Dal 4 al 7 novembre flussi perturbati di moderata intensità interessano la porzione occidentale e le vallate del Gran Paradiso

Tra il 14 e il 15/11 una nuova nevicata interessa buona parte del territorio regionale. Si misurano nella zona del Cervino fino 80 cm di neve fresca e anche 50 cm nella valle centrale. Si tratta della prima nevicata intensa che dà inizio alla stagione invernale 2019-2020. Iniziano infatti a verificarsi anche le prime valanghe.

Fig.1 - Particolare della zona di distacco della valanga, denominata "Conca Sorrelet". A destra il Pentespetz con i suoi 3136 m di quota.

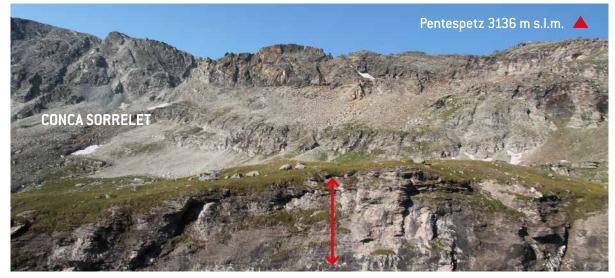
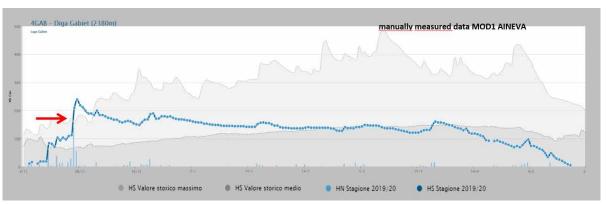


Fig. 2 - Grafico relativo ai quantitativi di neve fresca (HN) e neve al suolo (HS) misurati durante la stagione invernale 2019/20 presso la stazione di modello 1-AINEVA della Diga del Gabiet (2350 m. s.l.m.). La freccia rossa sulla sinistra indica la nevicata del mese di novembre.



Ma è dalla seconda metà di novembre che gli apporti nevosi sono maggiori: in pochi giorni cade più di un metro e mezzo di neve nelle vallate orientali, localmente anche di più. In particolare tra la sera del 22 e la mattina del 25 novembre una intensa perturbazione apporta importanti quantitativi di neve ad una quota decisamente bassa. Se da un lato questa condizione riduce i problemi idrogeologici sul reticolo idrografico, dall'altro lato facilita la formazione e lo scorrimento di valanghe. In queste condizioni si "attivano" così molti bacini valanghivi che da tempo non erano percorsi da valanghe.

I flussi perturbati sono tipici delle circolazioni autunnali, che si distinguono per avere precipitazioni intense, continue e localmente anche con caratteristiche di rovescio. Le correnti che accompagnano i flussi sono di provenienza meridionale e vanno a interessare maggiormente le vallate poste a confine con il Piemonte. In queste vallate si misurano con difficoltà a fine nevicata, sia a causa del vento forte in quota, sia a causa del vistoso assestamento del manto, anche 190-250 cm di neve fresca. Vicino al bacino valanghivo oggetto di studio i guardiani della Diga del Gabiet (CVA energie), posta in sx idrografica a 2350 m di quota, misurano tra il 23 e il 24 novembre - giorno della caduta della valanga - 190 cm di neve fresca come riportato nel modello 1 Aineva (Fig. 2). Nel contempo i venti moderati accumulano molta neve sui pendii con esposizione settentrionale.

Le vallate maggiormente interessate sono la Valle di Champorcher, la Valle di Gressoney e i valloni di Clavalité (Fenis) e Saint Marcel. Tra il 22 e il 25 novembre si segnala una intensa attività valanghiva spontanea, con circa 40 valanghe individuate da parte del Corpo Forestale regionale e delle Commissioni locali valanghe. Alcuni di questi eventi raggiungono dimensioni considerevoli e in particolar modo i comuni di Pontboset, Champorcher, Gaby, Gressoney-Saint-Jean e Gressoney-La-Trinité vedono la viabilità di fondovalle raggiunta in più punti da masse di neve molto umida o fradicia.

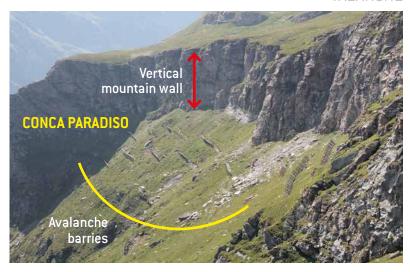


Fig.3 - La zona denominata "Conca Paradiso", a circa 2400 m s.l.m., è la porzione al di sotto dell'evidente salto di roccia dove sono posizionati i paravalanghe. La parte sommitale del salto di roccia è il limite superiore della perimetrazione storica della valanga.

Il 23 di novembre il bollettino valanghe prevede un grado di pericolo 4-forte in aumento a 5-molto forte nei settori orientali per poi scendere a 4-forte il giorno successivo. Situazione alquanto delicata, erano diversi anni che non compariva un grado 5-molto forte sul bollettino valanqhe regionale.

In questo breve periodo (tra il 23 e il 24 novembre) si verificano numerose valanghe con caratteristiche diverse a seconda della quota. Possiamo distinguerne di due principali categorie:

Sotto il limite del bosco – la combinazione di suolo non gelato e temperature miti (con pioggia su neve fino a 2000 m di quota e manto nevoso umido anche fino a 2600 m di quota), portano alla formazione di numerose valanghe di fondo o da slittamento;

Sopra il limite del bosco e alle quote più alte - grazie al vento ed a temperature più rigide, si verificano valanghe a lastroni di superficie di neve asciutta. Alcune di queste valanghe sono anche molto grandi e riescono a raggiungere i fondovalle e le strade comunali e regionali con accumuli però di neve tipicamente primaverile, proprio come la valanga oggetto di approfondimento.

DESCRIZIONE DELL'EVENTO DEL 24 NOVEMBRE 2019

La valanga che raggiunge la magnitudo maggiore è la numero 01-114 detta "Testa Grigia Orsio" del comune di Gressoney-La-Trinité. Si tratta di una valanga conosciuta, di cui il Catasto Valanghe Regionale ha già raccolto 36 date di caduta dal 1975 ad oggi.

La massa nevosa inizia la sua corsa a circa 2970 m s.l.m. dalla dorsale rocciosa che discende dal Pentespetz (3136 m s.l.m.) posta sul versante idrografico destro della Valle di Gressoney all'altezza dell'abitato di fondovalle Obre Eselbode. La porzione principale del lastrone si distacca da una località denominata sulla carta tecnica regionale Woalegrét ed è molto ampio e occupa buona parte del bacino valanghivo superiore. Le dimensioni e la collocazione in cartografia del distacco sono in parte stimate e in parte documentate dalle immagini raccolte dalla Commissione Locale Valanghe competente. Infatti, dopo il distacco, il maltempo ha proseguito e ha ricoperto molte tracce della valanga (Fig. 1). Dopo la sua caduta si depositano ancora 40-60 cm di neve e il vento moderato dai quadranti sud-orientali prosegue il suo lavorio su un manto nevoso che, alle quote più alte, rimane freddo, asciutto e facilmente trasportabile. Si genera così una valanga molto grande, che sicuramente ha una porzione nubiforme considerevole. La massa in movimento è in grado di raccogliere neve più umida al di sotto dei 2400 m. In concomitanza di una barra rocciosa la valanga acquista più velocità e forza riuscendo ad erodere altra neve fino al terreno (Fig. 3).

A circa 2400 m di quota, nella zona denominata localmente "Conca Paradiso", a valle del salto di roccia più marcato, il flusso valanghivo, ormai formato da

VALANGHE

neve molto umida, riesce a strappare e trasportare verso valle molti dei ponti da neve che fungevano dal 1978 (anno di installazione delle opere) da protezione attiva. La valanga scorre rapidamente verso valle, sradicando o stroncando parecchie conifere d'alto fusto poste lungo il ripido e roccioso versante che separa i pascoli subalpini con il fondovalle abitato. Il flusso, suddiviso in più rami, raggiunge poi il torrente Lys e i prati limitrofi, fino a 1630 m di quota, dove l'accumulo può allargarsi fino a voler quasi raggiungere il versante idrogra-

fico opposto, quello sinistro, dove però riesce ad arrivare solo la componente di aerosol. Il "soffio" "intonaca", senza apportare danni, alcuni edifici della frazione Obre Eselbode, posti sul fondovalle sul versante idrografico sinistro (Fig. 4). Da notare come la massa di neve si depositi formando vistose ed ampie digitazioni sporche di terra, tipiche di una valanga primaverile, mentre sia anche presente una porzione non particolarmente corposa di frazione nubiforme. Le tracce della sua presenza si possono notare sulla intonacatura di un caseggiato e sul rimaneggiamento che subisce la neve superficiale sul fondovalle: sono infatti evidenti delle zone, dove ad una prima analisi, non sembra esserci accumulo ma guardando con maggiore attenzione si nota un deposito di picco-

del manto nevoso. Si tratta di una valanga dalle dimensioni rilevanti: si stima al distacco un'ampiezza di circa 650 m tra lastrone principale e secondario, copre un dislivello di circa 1350 m e un percorso di 2300 m lineari sul piano topografico. L'accumulo molto ampio presenta una larghezza di quasi 350 m ed una lunghezza di 200 m (Figg. 4, 5 e 6). Provoca danni ingenti alle strutture paravalanghe che vedono fortemente ridotta la loro funzione preventiva di distacco di masse nevose nella porzione mediana del bacino valanghivo (Figg. 11 e 12).



Fig.5 - Particolare della zona di accumulo della valanga del 24/11/2019. Come si vede, la parte densa dell'accumulo ha lambito il parcheggio.

case, storicamente,

"soffio" della valanga.



Fig.6 - Zona di accumulo della valanga del 24/11/2019 vista frontalmente



LA STORIA DEL SITO VALANGHIVO

Come precedentemente accennato si tratta di una valanga conosciuta e temuta dagli abitanti di Gressoney La Trinité. Dalle numerose foto storiche presenti non si riesce però a determinare con precisione una zona di distacco superiore alla quota delle barre rocciose (Conca Paradiso), dove per altro viene "chiusa" la perimetrazione dell'evento storico presente a Catasto prima della valanga di novembre 2019.

L'evento valanghivo che più è rimasto

nella memoria degli anziani del luogo è quello che si verifica alle 23:00 del 10 marzo del 1975. La valanga arreca numerosi danni alle abitazioni di Obre Eselbode poste più vicino al torrente Lys in sx idrografica, distrugge uno scuolabus parcheggiato sotto al viadotto della strada regionale ed investe tre prefabbricati per souvenirs posti nel piazzale Collettesand (Figg. 7, 8 e 9).

Queste informazioni ci fanno capire come la valanga, caratterizzata da neve asciutta, riesca a raggiungere anche la strada regionale. Il condominio Monterosa, posto in destra idrografica, viene investito e subisce danni ai tamponamenti in mattoni e, al piano terreno, la neve invade dei locali. Le strutture portanti in c.a. non sembrano subire danni. Molto probabilmente questo edificio argina la valanga, che, al contrario, avrebbe superato con maggiore forza il Lys raggiungendo più facilmente Eselbode. L'evento del 1975 è quello più grande censito all'interno del catasto ed è quello che ha determinato la costruzione dei ponti da neve.

La zona di distacco di questa valanga non è stata documentata, pertanto non si può presupporre che questo evento si sia staccato dalla parte sommitale del bacino valanghivo mentre è più logico ipotizzare che sia da individuarsi nella zona denominata "Conca Paradiso", a circa 2400 m di quota, viste le scelte mitigatorie poste in essere.

CONFRONTO TRA GLI EVENTI PASSATI E QUELLO DEL 24/11/2019

La parte più interessante, analizzando l'evento in oggetto ed i dati storici, è proprio la determinazione della zona di distacco della valanga. Infatti, prima dell'ultimo evento, per il Catasto Valanghe, questa coincideva proprio con il limite superiore della barra rocciosa (2550 m s.l.m.). Da questo dato sono anche state definite le carte di pericolosità valanghiva degli ambiti inedificabili (L.R. della Valle d'Aosta 11/98 art. 37).





Fig.7 - Particolare dell'autobus investito dal flusso valanghivo del 10 marzo 1975.

Fig. 8 - Particolare della frazione Obre Eselbode fotografata dalla strada che porta verso la fraz. di Staffal. 10 marzo 1975.

Fig. 9 - Particolare del viadotto della strada regionale che porta a Staffal, invaso dall'accumulo della valanga. 10 marzo 1975.

Fig. 10 - Perimetrazione dell'evento del 24/11/2019 a seguito della ricerca fatta.

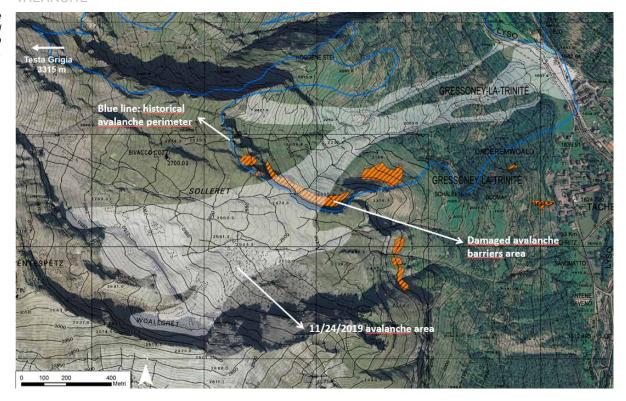


Fig. 11 e 12 - Particolare delle opere paravalanghe danneggiate dall'evento del 24/11/2019 - zona "Conca Paradiso".





L'evento di novembre 2019 ci dimostra che in realtà la zona di distacco si può trovare anche ben più a monte. Purtroppo, anche in questo caso, la totale determinazione dell'area non è stata possibile a causa del brutto tempo sopraggiunto proprio dopo la caduta della valanga. Solo la testimonianza di due quide alpine locali facenti parte della Commissione Locale Valanghe ha permesso di determinare, almeno in parte, una porzione del distacco avendolo visto direttamente, durante un breve sprazzo di bel tempo, dagli impianti di risalita posti sul versante opposto a quello da cui si è originata la valanga.

Per cercare di definire la dinamica dell'evento sono stati necessari diversi sopralluoghi in campo per cercare di ricostruire quanto realmente avvenuto. Con il supporto della Commissione locale valanghe si è giunti pertanto a diverse ipotesi di distacco, con ancora punti interrogativi aperti non facilmente risolvibili, neppure con l'eventuale supporto di programmi di modellizzazione del fenomeno (Fig. 10).

PARAVALANGHE

L'impianto di ponti da neve in acciaio (tipo Mair Dk 3.0 m) è stato eseguito dalle

squadre regionali in amministrazione diretta a partire dal 1978 in avanti suddiviso in 3 settori distinti. La fila posta più in alto si trova a 2340 m s.l.m. a ridosso del salto di roccia molto evidente. Fino alla valanga del 24/11/2019 le strutture erano per lo più in buono stato e, salvo alcuni minori danneggiamenti a causa della caduta di qualche masso, rispondenti al loro ruolo di mitigazione attiva in quella porzione di bacino ove storicamente in passato erano stati notati numerosi distacchi capaci di originare valanghe pericolose per l'abitato di fondovalle.

Su circa 900 m lineari di barriere installate ne sono state fortemente danneggiate o del tutto divelte circa 250 m, concentrate prevalentemente nella parte più centrale sotto al salto di rocce denominato "Conca Paradiso". L'Amministrazione regionale - s.o. Assetto Idrogeologico dei Bacini Montani - ha affidato, durante l'estate/ autunno 2020 ad una ditta specializzata, l'intervento di ripristino dell'impianto fermaneve, provvedendo a riparare alcuni ponti ancora recuperabili ed a far sostituire quelli completamente asportati con 68 strutture ad ombrello (Erdox Neve -Nome commerciale) di pari caratteristiche, scelti per velocità d'installazione in quanto caratterizzati da un unico ancoraggio (doppia fune da 22 mm, lungh. 5 m., iniezione da fondo foro con malta). Il costo dell'intervento si aggira sui € 285.000 più iva (Figg.11 e 12).

Per quanto riguarda la zona a monte posta sopra il salto di rocce, denominata localmente "Conca Solleret", e da cui si è originato, pur senza una sua certa localizzazione, il distacco principale nell'evento di novembre 2019, la scelta operata, al fine di poter meglio definire la situazione ed eventualmente procedere alla progettazione di un intervento attivo il più efficace possibile, è stata di procedere con un attento monitoraggio da parte della Commissione Locale Valanghe per almeno una stagione invernale (Fig. 13). Questa strategia si rende necessaria vista l'incertezza della reale zona di distacco. Il futuro approfondimento, unito ai dati raccolti subito dopo l'evento del novem-



Fig.13 - Immagine della parte alta della zona di distacco (Conca Sorrelet) fotografata il 29 aprile 2009 a seguito di un evento valanghivo. Anche in questo caso, il maltempo non ha permesso di fotografare la zona di distacco immediatamente dopo la valanga, pertanto le sue tracce sono state coperte soprattutto dal vento.



Fig. 14 - Momento di sopralluogo estivo da parte dei vari tecnici coinvolti.

bre 2019 e nel corso dei sopralluoghi di questa primavera ed estate, servirà a definire meglio le aree più critiche per il distacco, sulle quali sarà possibile valutare la posa di ulteriori ombrelli da neve. Tale eventuale intervento sarà condizionato dalle caratteristiche del sito, spesso tipizzato da grossi blocchi lapidei che non facilitano l'installazione di fermaneve ed in presenza di alcune balze rocciose, fortemente disgregate e da cui si innescano frequenti crolli, a monte della possibile zona di installazione. Il sito inoltre è oggettivamente molto ampio ed offre molteplici zone di distacco. L'analisi di tali situazioni sarà fondamentale soprattutto in un'ottica di analisi costi-benefici degli interventi mitigatori che si potranno mettere in campo.

CONCLUSIONE - l'unione fa la forza!

Sono ancora molteplici i punti interro-

gativi aperti e sicuramente non sarà il monitoraggio di una sola stagione invernale che ci permetterà di rispondere alle numerose domande. Sicuramente, ancora più di prima, questa valanga rientrerà nelle "sorvegliate speciali", sperando anche che il bel tempo ci possa aiutare a scoprire qualche piccolo segreto che per ora è ancora ben nascosto.

Concludendo, solo grazie all'apporto di più professionalità si è potuto portare avanti un approfondimento così completo, che ha ispezionato l'evento valanghivo in tutti i suoi aspetti e peculiarità (Fig. 14).

Un ringraziamento speciale va alle Guide Alpine Frachey Davide e Welf Arnoldo della Commissione locale valanghe di Gressoney per il loro continuo monitoraggio e per la disponibilità nel voler condividere le informazioni ed esperienze utili per lo studio di questa valanga.

DIETRO LE **QUINTE DEL** BOLLETTINO NUOVO NUOVALANGHE: Nuovo PORTALE WFR PER GESTIRE I DATI RILIEVI ITINERANTI **Nathalie Durand** Montagne sûre VALLE D'AOSTA ndurand@fondms.org

Fondazione Montagna Sicura -Ufficio Neve e valanghe

Stefano Pivot

Regione Autonoma Valle d'Aosta Assetto idrogeologico dei bacini montani Ufficio neve e valanghe stefano.pivot@invallee.net

NEW WEB PORTAL FOR THE MANAGEMENT OF ITINERANT MEASUREMENTS DATA IN THE AOSTA VALLEY

Different types of data are needed in order to draw up the snow and avalanche bulletin: automated stations, data gathered from stationary fields, etc. But the most important pieces of information, according to us, are those gathered during itinerant measurements, as they provide further indications, for example on stability, while covering a good portion of territory. This measurement activity has become more and more complex and articulated over the years, as it does not simply mean choosing one or two spots to carry out stability tests, such as ECT, RB or ST, but is a true "storytelling" to be told through different multimedia channels. The basic idea is to allow the surveyor to deny or confirm the information described in the avalanche report; he then becomes its maker, personally contributing to its drawing up. The information gathered then makes up the basis of the bulletin: on-site observation is still one of the fundamental types of information to be included in the report. A dedicated web portal has been created to make collection and classification of all gathered data easier. It is thus possible to solve two problems: management of measurements and sharing of information throughout the network of surveyors. This has led to the setting up of the "itinerant measurements" section within the "Aosta Valley Snow and Avalanche Portal". The portal can only be accessed by users with their own credentials and the "Itinerant measurements" section is subdivided into three main subjects. The "calendar" section allows users to schedule the itinerant measurement. The "Report" section, the central and most substantial section, includes all the information collected during measurement. Here users include information on the avalanche issues found, stability tests, snowcover and skiing conditions description, adding images and videos to the measurement report. The third and last "map" section shows all the measurements carried out in the last week in the form of polygons, making it possible to understand at a glance the areas of a region that have been observed and those that instead have been excluded.

Per poter elaborare e scrivere il bollettino neve e valanghe sono necessari diversi dati: stazioni automatiche, dati acquisiti dai campi fissi, ecc. Ma le informazioni che a nostro avviso sono più importanti sono quelle rilevate durante i rilievi itineranti perché offrono un altro tipo di indicazioni, per esempio sulla stabilità, riferendosi ad una buona porzione del territorio.

Questa attività di rilievo negli anni è diventata sempre più complessa e articolata; infatti essa non si riconduce alla sola scelta di un punto o due dove svolgere test di stabilità, come ECT, RB o ST, ma si tratta di una vera e propria "storytelling" da raccontare attraverso diversi canali multimediali.

L'idea di base è di permettere al rilevatore di smentire o confermare le informazioni descritte all'interno del Bollettino valanghe, diventandone in parte l'artefice, rendendolo partecipe in prima persona nella stesura dello stesso. Infatti, le notizie raccolte diventano la base del bollettino: l'osservazione in campo è ancora uno dei pilastri portanti delle informazioni utili da inserire al suo interno.

Per agevolare la raccolta e la catalogazione di tutte le informazioni, è stato ideato un portale web dedicato, così da poter risolvere due problematiche: l'organizzazione dei rilievi e la condivisione delle informazioni tra tutta la rete di rilevatori.

È nata così la sezione "rilievi itineranti" all'interno del "Portale Neve e Valanghe della VdA". Al portale è possibile accedere solo con delle apposite credenziali e all'interno la sezione dei "Rilievi itineranti" è suddivisa in tre argomenti principali. Nella sezione "calendario" è possibile programmare il rilievo itinerante. Nella sezione "Report" vengono inserite tutte le informazioni assunte durante il rilievo, è la parte centrale e più corposa. Qui vengono date indicazioni sui problemi valanghivi riscontrati, test di stabilità, descrizione del manto nevoso e della sciabilità, aggiungendo immagini e video al report del rilievo.

Nella terza e ultima sezione "mappa" è possibile visualizzare tutti i rilievi fatti nell'ultima settimana sotto forma di poligoni, così da capire con un unico colpo d'occhio, quali zone della regione sono state osservate e quali invece sono rimaste escluse.





RILIEVI ITINERANTI: COSA SONO?

Per poter elaborare e scrivere il bollettino neve e valanghe ovviamente dobbiamo basarci sui dati: dati nivometeo forniti dalle stazioni automatiche e dati che acquisiamo dai campi fissi con rilevatori veri e propri. Queste informazioni sono sicuramente fondamentali e molto utili, ma, i dati più importanti, sono quelli raccolti durante i rilievi itineranti, perché offrono un altro tipo di informazioni, per esempio sulla stabilità riferendosi ad una buona porzione dl territorio.

Questa attività di rilievo negli anni è diventata sempre più complessa e articolata; infatti essa non si riconduce alla sola scelta di un punto o due dove svolgere test di stabilità, come ECT, RB o ST, ma si tratta di una vera e propria "storytelling" da raccontare attraverso diversi canali multimediali.

L'idea di base è di permettere al rilevatore di smentire o confermare le informazioni descritte all'interno del Bollettino valanghe, diventandone in parte l'artefice, rendendolo partecipe in prima persona nella stesura dello stesso. Infatti, le notizie

raccolte diventano la base del bollettino: l'osservazione in campo è ancora uno dei pilastri portanti delle informazioni utili da inserire al suo interno.

Se volete approfondire, vi rimandiamo alla lettura dell'articolo "Un esempio di rilievo nivologico itinerante" Neve&Valanghe n. 91 (https://www.aineva.it/wp-content/uploads/Pubblicazioni/Rivista91/NV91_1. pdf).

CHI ESEGUE I RILIEVI?

Si tratta di personale altamente specializzato e qualificato. Cosa vuol dire? Innanzitutto sono persone che sanno muoversi in autonomia sul terreno innevato e quindi, di base, devono saper gestire autonomamente la loro uscita scialpinistica o in fuoripista in sicurezza. Inoltre, hanno seguito corsi specifici sulla nivologia: tutti i rilevatori hanno il titolo AINEVA di osservatore nivologico e un'esperienza pluriennale sul campo. Ulteriore valore aggiunto, hanno avuto una formazione specifica in materia di stabilità. L'Ufficio neve e valanghe ha puntato molto sulla formazione, perché è fondamentale che tutti i rilevatori abbiano un bagaglio formativo di base simile. Ne deriva che i dati rilevati sono sicuramente di qualità e sono confezionati seguendo gli stessi principi condivisi.

Novità di quest'anno: AINEVA offre un nuovo corso di specializzazione per raggiungere la formazione teorico-pratica necessaria ad effettuare questi rilievi itineranti (https://www.aineva.it/modulo-2ri-corso-di-specializzazione-in-rilieviitineranti-per-osservatore-nivologicomodulo-teorico-e-pratico/). L'unico requisito minimo di base per accedere al corso è di avere il titolo di osservatore nivologico AINEVA da almeno un anno. In Valle d'Aosta nel tempo abbiamo strutturato un'importante rete di rilevatori, i rilievi itineranti sono effettuati da: un gruppo specializzato di guide alpine formate e dirette dall'Ufficio neve e valanghe regionale, i componenti delle Commissioni locali valanghe, alcune squadre specializzate del Corpo Forestale della Valle d'Aosta, dei guardiaparco del Parco Nazionale del Gran Paradiso, dagli esperti militari neve e valanghe del Meteomont Truppe alpine, dal SAGF Soccorso Alpino Guardia di Finanza e, in ultimo, dai tecnici nivologi dell'Ufficio neve e valanghe.

Chi decide quando e dove fare un rilievo itinerante?

L'ufficio valanghe regionale coordina il gruppo di guide alpine, mentre gli altri enti, in termini di scelta del luogo da indagare e della data del rilievo, sono autonomi.

Tutti i dati dei rilievi vengono inoltrati all'Ufficio neve e valanghe regionale, che li utilizza sia per la redazione del Bollettino Neve e Valanghe sia per analisi dei dati per eventuali studi e approfondimenti; pertanto è fondamentale che tutta la documentazione relativa ai rilievi venga inserita nel portale web il giorno stesso del rilievo.

COME NASCE L'IDEA DI UN PORTALE WEB? QUALI ESIGENZE DOVEVAMO SODDISFARE?

Volevamo risolvere due problemi principali: come organizzare al meglio i rilievi e come condividere le informazioni tra tutta la rete dei rilevatori.

Riuscire ad avere un calendario dei rilievi evita eventuali possibili sovrapposizioni: teoricamente poteva accadere che si trovassero in una stessa zona diverse coppie di rilevatori di enti diversi, con sovrapposizioni inutili e ridondanti.

Inoltre, prima della creazione del portale web, i rilevatori inviavano il materiale raccolto tramite posta elettronica all'Ufficio Regionale. I dati inviati venivano catalogati all'interno della rete regionale e consultati solo dal personale dell'Ufficio neve e valanghe regionale. Pertanto, si andava incontro a due criticità: il download dei dati, che spesso richiedeva molto tempo (a seconda delle immagini o filmati inviati), e l'accesso dei dati, mancava una condivisione generalizzata delle informazioni. Adesso tutti i rilievi possono essere visti e consultati da tutta la rete dei nostri rilevatori, con indubbi vantaggi: appena viene inserito un rilievo sul portale web, tutti i rilevatori possono venirne a conoscenza e quindi essere immediatamente informati sulle condizioni nivologiche riscontrate. Inoltre, questa condivisone è anche un momento di confronto che favorisce la crescita formativa individuale: tutti possono migliorarsi, imparando dalle considerazioni fatte dai rilevatori più esperti. Poter avere uno standard di base simile per tutte le professionalità coinvolte è molto utile per il confronto dei dati, rendendo la loro lettura e analisi più facile da parte dell'utilizzatore finale.

STRUTTURA DEL PORTALE NEVE E VALANGHE VDA -SEZIONE "RILIEVI ITINERANTI"

Con ordine, illustriamo la struttura del Portale, così da poterne apprezzare tutte le sue potenzialità.

La sezione dei rilievi itineranti è inserita all'interno del Portale Neve e Valanghe VdA al quale si può accedere solo grazie a delle credenziali personali.

Una volta entrati all'interno del Portale, tutto ciò che viene fatto è tracciato, pertanto è possibile, da parte dell'amministratore, capire quanti sono gli accessi al portale e quale utenza ha aggiunto dei contenuti. Si ha pertanto la massima tracciabilità delle azioni eseguite, anche a tutela degli utenti stessi.

La sezione dedicata ai rilievi itineranti è suddivisa in tre argomenti principali:

- 1. CALENDARIO;
- 2. REPORT;
- 3. **MAPPA**.
- 1. CALENDARIO: programmare preventivamente la giornata di rilievo è fondamentale. In pratica questo strumento permette di "prenotare" la giornata, in modo tale che tutto il gruppo di rilevatori sappia che in quella determinata data, una squadra si troverà in una certa zona della Valle d'Aosta, più o meno specifica: valle laterale o versante idrografico di una valle laterale (es. nella valle del Gran San Bernardo oppure zona Col Serena/ Cresta di Corléans).

Questo aiuta a non sovrapporre squadre di enti diversi negli stessi luoghi e permette di meglio pianificare il lavoro da svolgere (Fig.1)

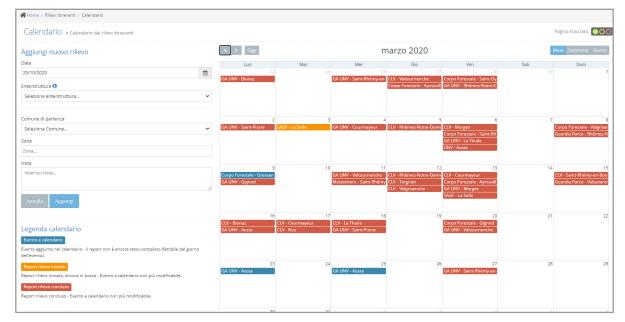
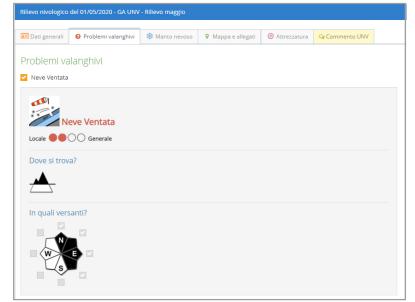


Fig.1 - Vista della pagina web dedicata al "Calendario". Sulla sinistra la parte in cui si inserisce la data del rilievo prevista e chi lo farà. Sulla destra la parte grafica dove visivamente si vedono i rilievi inseriti, utilizzando il sistema di Google Calendar, A seconda del colore del rilievo abbiamo diverse informazioni (legenda in basso a sinistra). Blu - il rilievo è stato programmato. ma non ancora eseguito. Giallo – rilievo eseguito in campo, però non ancora completamente inserito nella piattaforma. Rosso - rilievo eseguito e inserimento nella piattaforma concluso.

Fig.2 - Primo step da compilare all'interno del report: dati generali. Data, ente, rilevatori, zona rilevata e note.



Fig.3 - In questo report il rilevatore ha segnalato la presenza del problema valanghivo "Neve ventata". Per ogni problema valanghivo si indica la gravità del problema: sono disponibili 4 pallini da selezionare. Ad esempio, in questo caso la neve ventata è un problema "locale", dunque uno e due pallini; se invece fosse stato generalizzato su tutto il pendio, avrei indicato quattro pallini. Dove si trova il problema valanghivo? Solo in alta quota? Oppure sopra il limite del bosco (come indicato in questo caso). oppure dal fondovalle? E per concludere. su quali versanti? In questo caso il rilevatore ha indicato come versanti maggiormente sovraccaricati dal vento i nord, nord-est, est e sud-est.





2. REPORT: è la parte centrale e più corposa della piattaforma. Infatti, a ogni rilievo svolto corrisponde un "report" che contiene tutte le informazioni raccolte durante la giornata di sopralluogo.

Questa sezione è composta da diversi step, uguali per tutti i rilevatori: aspetto fondamentale che permette di avere un dato confrontabile tra tutti e una metodologia simile per svolgere il lavoro. Ogni passo completato viene immediatamente salvato, cosicché se viene meno la connessione *internet* non si perdono i dati inseriti.

Il primo passo, "dati generali" sono le informazioni principali del rilievo: chi lo ha fatto, dove e quando (Fig.2).

Come vedrete, le informazioni richieste

ricalcano quelle descritte nel bollettino. Il secondo step descrive il problema tipico valanghivo rilevato durante il sopralluogo. Il rilevatore ha a disposizione l'elenco di tutti i cinque problemi tipici valanghivi, ne può selezionare più di uno contemporaneamente. Ha a disposizione anche la voce "nessun problema tipico rilevato" (Fig.3).

Il terzo step è composto dalla descrizione del manto nevoso. Questa parte è la più impegnativa perché è necessario descrivere quanto osservato durante il rilievo. Si tratta di caselle di testo cosicché ciascun rilevatore può descrivere quanto osservato e ipotizzato come meglio crede e riesce. A fianco delle caselle di testo "editabili" abbiamo inserito un elenco degli aspetti a cui fare attenzione, che funga da traccia durante l'inserimento dei dati (Fig. 4).

Il quarto step prevede una serie di azioni quali:

- inserire sulla carta geografica la traccia GPS del percorso fatto (possibilmente in formato qpx);
- disegnare l'area osservata, di cui si danno le informazioni;
- caricare immagini e video in *Google* foto.

A seguire, una descrizione più approfondita di questa parte.

Disegnare l'area del territorio che è stata oggetto delle nostre osservazioni è molto importante perché permette di far capire agli altri rilevatori la porzione di territorio alla quale fa riferimento tutto ciò che è stato descritto. Per esempio, se ci sono condizioni di brutto tempo, con scarsa visibilità, ovviamente l'area osservata sarà limitata e prossima al percorso fatto con gli sci.

Al contrario, durante una giornata di bel tempo, in alta quota, da un punto estremamente panoramico, è possibile osservare grosse porzioni di territorio, anche sfruttando un potente zoom della macchina fotografica o un binocolo (Figg. 5 e 6).

3.MAPPA: nella sezione Mappa del portale si visualizzano tutti i rilievi fatti nell'ultima settimana, sotto forma di poligoni, così da capire con un unico colpo d'occhio, quali zone della regione sono state osservate e quali invece sono rimaste escluse e quindi, magari, dovranno essere indagate nel breve periodo.

In automatico la pagina web propone gli ultimi sette giorni dal giorno stesso in cui si entra nel Portale, ma è possibile effettuare delle ricerche specifiche applicando dei filtri sia sulle date dei rilievi, sia sui rilevatori (Fig. 7).

GESTIONE DEI FILE MULTIMEDIALI CON LA APP GOOGLE FOTO

Ogni rilievo è corredato da numerose immagini e video, spesso le fotografie parlano da sole e fanno ben capire la situazione in atto meglio di tante parole. E' importante che le immagini principali abbiano un'ottima risoluzione: spesso riguardandole si notano particolari preziosi che erano sfuggiti all'osservazione a occhio nudo.

Inoltre, diverse immagini vengono uti-

lizzate dall'Ufficio Neve e valanghe per varie pubblicazioni, o per il montaggio di contributi multimediali utili alla diffusione del Bollettino attraverso canali complementari, quali i social media o tramite RAI (TGR e Buongiorno Regione). Alla base poi, deve esserci sempre la possibilità che queste immagini possano essere visualizzate e condivise da tutto il gruppo di lavoro. La scelta per contenere tutto questo prezioso materiale è ricaduta sulla App Google Foto perché semplice, potente e ben fatta. Tra varie ipotesi considerate, questa App è stata quella che più si avvicinava alle necessità dell'Ufficio, anche se in alcuni casi, si sono riscontrate delle problematiche da gestire.

Operativamente, è stato creato uno specifico account dedicato ai rilievi itineranti e tutti i rilevatori hanno ricevuto le stesse credenziali per accedervi. All'interno della *App Google Foto* i rilevatori inseriscono le immagini/video relativi al rilievo eseguito. Ogni rilievo è contenuto all'interno di un album contraddistinto dalla data del rilievo, dal posto visitato e dai rilevatori. Volendo, in ogni foto si può inserire un commento che agevoli la comprensione (per esempio il nome della montagna fotografata, l'esposizione, ecc.) (Fig. 8).

Una volta creato l'album, questo viene connesso con il portale web tramite un "link". Questo collegamento viene copiato all'interno del portale dei rilievi

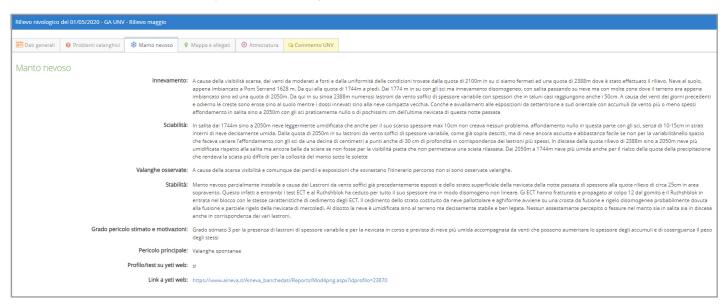
itineranti, in questo modo, chi accede al portale ha il link diretto per visualizzare le immagini dell'album, senza dover aprire la pagina dell'App di Google Foto. Le problematiche emerse sono per lo più di carattere informatico, come la sicurezza dell'account Google, lo spazio di archiviazione e la necessità di avere un traffico dati di una certa velocità per poter "caricare" le immagini e i video. Infatti, accedendo da computer e smartphone diversi, le regole di sicurezza dell'account sono messe a dura prova, con problemi per la gestione di questo aspetto.

La seconda problematica si riferisce allo spazio di archiviazione della *App*. Ogni account ha disponibile uno spazio di archiviazione pari a 30 GB, scegliendo di mantenere il formato originale delle immagini e dei video, opzione a nostro avviso indispensabile, a metà della stagione invernale abbiamo esaurito lo spazio di archiviazione disponibile. La problematica è stata risolta acquistando 100 GB di spazio al costo di 20 euro.

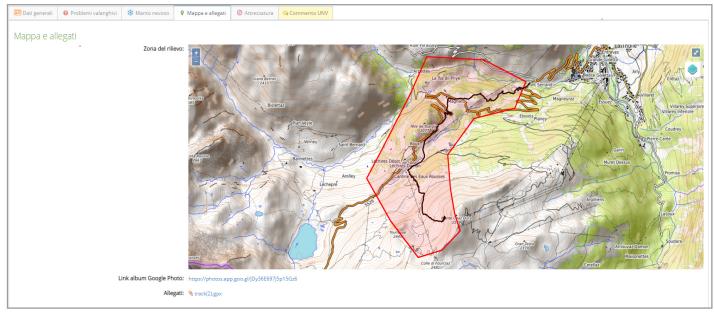
UN PO' DI NUMERI

gestione/archiviazione dei report eseguiti = dei rilievi itineranti fatti Durante la stagione invernale 2019/20 sono stati inseriti 161 report all'interno del portale web, tutti correlati da un album in *Google Foto* e da test di stabilità e profili nivologici inseriti su Yeti web Aineva.

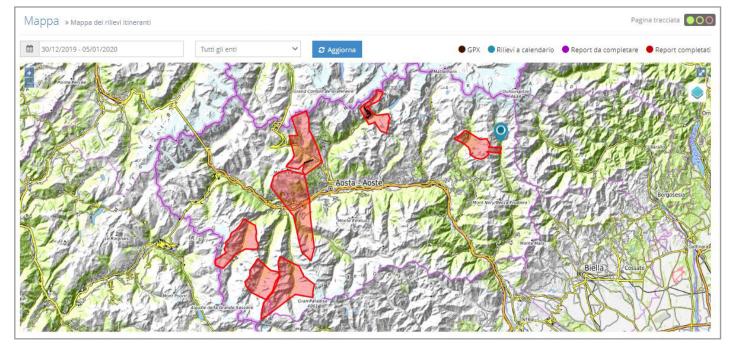
Fig.4 - La descrizione del manto nevoso è suddivisa in vari paragrafi che aiutano il rilevatore ad approfondire meglio e in sequenza quanto osservato. La descrizione ha una sua sequenza logica: si parte dalle osservazioni più semplici - l'innevamento e la sciabilità - ner concludere con gli aspetti tecnici più impegnativi, quale la stabilità. Si inizia quindi descrivendo l'innevamento: la quota neve, se disomogeneo/ omogeneo, come varia a seconda dei versanti, ecc. Poi la sciabilità sia in salita che in discesa. Le valanghe osservate: che tipo di valanghe, quante, dove. La parte più complicata è la descrizione della stabilità del manto nevoso. A supporto di tale descrizione vengono inseriti e descritti i test di stabilità e profili del manto nevoso eseguiti. Bisogna poi proporre un grado di pericolo "locale" stimato e spiegare il perché della scelta. Si indica poi qual è il pericolo principale, se è dovuto a valanghe provocate o valanghe spontanee. Si può poi inserire il link ai profili e ai test di stabilità inseriti sulla piattaforma italiana Aineva - Yeti weh

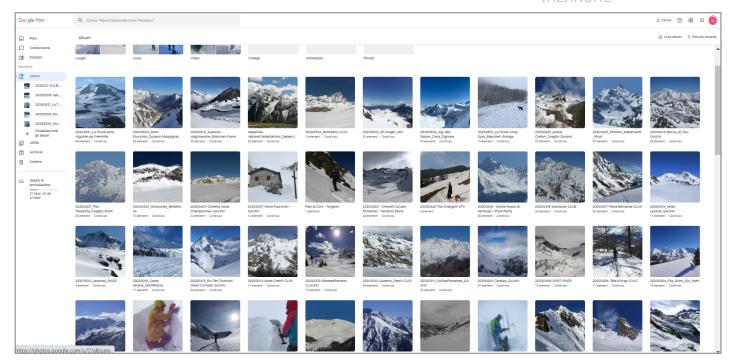


VALANGHE









All'interno della piattaforma è possibile filtrare per ciascuna stagione invernale, per ciascun nominativo o ente che abbia fatto il rilievo. Il filtro è molto veloce e potente. Si ha pertanto sempre il quadro complessivo del numero dei rilievi eseguiti e l'ente o il rilevatore che li ha eseguiti.

PROSPETTIVE PER IL FUTURO: WORK IN PROGRESS.

Un anno di utilizzo della piattaforma ci ha dimostrato di aver intrapreso la strada giusta. Superati i piccoli inconvenienti iniziali, dovuti al comprensibile rodaggio, tutti i rilevatori hanno ben apprezzato la potenzialità dello strumento, in particolar modo la possibilità di vedere i rilievi fatti dagli altri rilevatori e, inoltre, di poterli consultare in qualsiasi momento con qualsiasi dispositivo (pc, tablet, smartphone). Attualmente stiamo lavorando per far fronte alle diverse criticità emerse, in particolare la gestione dell'archivio dei rilievi e l'eventuale alternativa all'App Google Foto.

Questo strumento è stato presentato a tutto il *team* dei tecnici nivologi italiani AINEVA che l'ha accolto con entusiasmo. In AINEVA stiamo lavorando per condividere questo portale con tutti gli uffici regionali e provinciali AINEVA per raggiungere la massima condivisione dei dati raccolti da tutti i rilevatori e uniformare le metodologie di lavoro tra colleghi AINEVA.

Si valuterà inoltre anche la possibilità di rendere disponibile al grande pubblico una parte delle informazioni raccolte durante questi rilievi, al fine di integrare e approfondire le informazioni presenti all'interno del Bollettino valanghe.

Ringraziamenti

Un doveroso ringraziamento va a tutto il *team* di Ecometer S.n.C., in particolare Paolo Saudin, Alessia Treves e Hillary Martello per la loro professionalità, flessibilità e pazienza: sono stati bravissimi nel soddisfare le nostre esigenze, traducendole in un software semplice e potente e, nello stesso tempo, proponendo soluzioni innovative.

Fig.8- Come si presenta la schermata di Google Foto. Ogni "album" si riferisce ad un rilievo specifico contrassegnato dalla data del rilievo, località e ente che lo ha eseguito.

Nella pagina a fianco, dall'alto: Fig. 5 - Nell'immagine di destra si vede la porzione di mappa sulla quale è evidente la traccia GPS del percorso di salita (traccia nera) e l'area osservata (poligono rosso). In particolare questo rilievo è stato eseguito in una giornata con scarsa visibilità, pertanto l'area osservata

è limitata dal brutto

tempo.

Fig.6 - In questo caso, l'area osservata è molto più ampia rispetto a quella precedente (FigX) perché il rilievo è stato eseguito in una giornata di bel tempo e si è raggiunta una quota elevata che ha permesso una buona osservazione anche del versante opposto.

Fig.7 - In automatico sulla mappa si visualizzano sempre i rilievi eseguiti durante gli ultimi 7 giorni. Passando coni Il mouse sopra i poligoni disegnati si può accedere direttamente al report. In alto a sinistra è possibile fare una selezione di uno specifico periodo.



Informazioni tecniche della struttura informatica

a cura di Ecometer Snc

Il portale "Neve e Valanghe" è una piattaforma web totalmente basata su prodotti *Open Source* al fine di garantire l'abbattimento dei costi di gestione futuri. E' dotata di struttura web multilivello che consente agli amministratori del sistema di utilizzare funzioni differenti per organizzare e validare i dati introdotti dai singoli utenti.

La grafica dell'applicativo è strutturata sulla base degli standard Web di accessibilità ed è "Responsive" ovvero garantisce la migliore fruibilità possibile sia dal PC che dai dispositivi mobili

Per l'archiviazione dei dati viene utilizzato il database server PostgreSQL, che offre alcune funzionalità avanzate tra le quali PostGIS, che offre supporto nell'eseguire delle query spaziali per il trattamento di dati geografici.

L'applicazione utilizza diverse tecnologie e linguaggi standard fra i quali HTML5, CSS3, JavaScript, jQuery, AJAX, JSON e Mojolicious, un framework in Perl che consente di organizzare la struttura dell'applicativo secondo i canoni MVC permettendo al *Database* di comunicare con l'interfaccia grafica.





INDICATIVE INDICATIVE

Fabiano Monti ¹, Yves Bühler ², Paola Comin ³, Alberto Trenti ⁴, Ruggero Alberti ³, Alessandro Wolynski ³, Angelo Carriero ³, Luca Dellarole ¹, Luca Vallata ¹, Laila Compagnoni ¹

¹ Alpsolut s.r.l., Livigno, Italy ² WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Davos Dorf, 7260, Switzerland ³ Servizio Foreste e Fauna Provincia Autonoma di Trento ⁴ Servizio Prevenzione Rischi della Provincia Autonoma di Trento

INDICATIVE MAPS OF AVALANCHE DANGER ON A LARGE SCALE

The alpine territory, a highly anthropized and densely populated area, has been coexisting for centuries with the avalanche danger and thus preserves a strong historical memory of that. Knowing the avalanche activity that characterizes a region is the basis for the adoption of measures to mitigate risks. Over the years, this led to the drawing up of reliable avalanche danger maps that combine information from the avalanche cadastre with geomorphological studies, information on snow climatology and numerical modelling. The quality and exhaustiveness of these maps are not however the same for the whole territory: the remote areas, those mainly visited in summer periods or those that are rarely affected by avalanche events often have to count on incomplete information. Moreover, the diffusion of danger prone maps based on site-specific simulations of avalanche dynamics is strongly hindered by costs and time requirements. In the last few years, several automated methods have been developed to define all potential avalanche release areas (PRA) within vast territories and calculate, for each of these. avalanche dynamics simulations. Both PRAs and dynamic simulations can be calculated based on different return times characterised by the specific climatology of snowfalls on the area considered. This work outlines the necessary data and the methods used for the drawing up of indicative maps of avalanche danger, as well as their strengths and limits. It also describes three operational applications: i) the use of indicative maps of avalanche danger to support the PGT (territory government plan) of Livigno municipality; ii) identification of wood as an active protection in Province of Trento; iii) evaluation of possible avalanches within the areas affected by the Vaia storm in the province of Trento.

Il territorio alpino, fortemente antropizzato e densamente popolato, convive da secoli con il pericolo valanghe e ne conserva una forte memoria storica. La conoscenza dell'attività valanghiva che caratterizza una regione è alla base di molte misure per mitigarne i rischi. Negli anni, questo ha portato alla redazione di mappe dei pericoli affidabili che combinano le informazioni del catasto valanghe con analisi geomorfologiche, informazioni sulla climatologia della neve e la modellazione numerica.

La qualità ed esaustività di queste mappe non è, tuttavia, uniforme per tutto il territorio: le aree remote, quelle frequentate prevalentemente nei periodi estivi o quelle sporadicamente interessate da eventi valanghivi spesso dispongono di informazioni incomplete e lacunose. Inoltre, i costi e i tempi per la realizzazione di mappe di esposizione al pericolo basate sulle simulazioni sito-specifiche della dinamica valanghe ne limitano enormemente la diffusione.

Negli ultimi anni sono stati sviluppati degli approcci automatizzati per delimitare tutte le zone potenziali di distacco valanghe (PRA) presenti in territori estesi e calcolare, per ognuna di queste, le simulazioni di dinamica delle valanghe. Sia le PRA che le simulazioni di dinamica possono essere calcolate in funzione di diversi tempi di ritorno caratterizzati dalla specifica climatologia delle nevicate sul territorio in esame.

In questo lavoro sono presentati i dati necessari e le metodologie utilizzate per la realizzazione delle mappe indicative del pericolo valanghe, nonché i loro punti di forza e limiti. Sono, inoltre, mostrate tre applicazioni operative delle stesse: i) utilizzo delle mappe indicative del pericolo come supporto al Piano di Governo del Territorio per il Comune di Livigno; ii) identificazione del bosco con funzione di protezione attiva in Provincia di Trento; iii) valutazione delle possibili valanghe all'interno delle aree colpite dalla tempesta Vaia nella Provincia di Trento.



INTRODUZIONE

Nelle regioni montuose di tutto il mondo le valanghe sono una grave minaccia ed espongono al pericolo persone, edifici e vie di comunicazione. In Italia gli incidenti riguardano soprattutto persone impegnate in attività ricreativo-sportive (si vedano al riguardo le statistiche Al-NEVA, https://www.aineva.it/incidenti/), tuttavia il singolo episodio più grave degli ultimi 50 anni, è quello che ha coinvolto una struttura alberghiera a Rigopiano (PE, Abruzzo) il 18 gennaio 2017, causando il decesso di 29 persone che si trovavano "riparate" al suo interno. Al di là di questo tragico evento, si osserva come negli anni siano significativamente diminuite le vittime all'interno di abitazioni o lungo le vie di comunicazione, e ciò grazie soprattutto allo sviluppo di strumenti e infrastrutture sempre più adequati alla riduzione del rischio.

Nella maggior parte dei Paesi alpini, le carte del pericolo valanghe sono oggi uno strumento essenziale per la riduzione del pericolo (Bühler et al., 2018). Esse si basano sulle informazioni del catasto valanghe, sull'analisi morfologica del terreno, sulle indagini sul campo e sulle simulazioni numeriche delle valanghe combinate alle valutazioni di esperti ossia i Piani delle Zone Esposte a Valanghe (PZEV) (Rudolf-Miklau et al., 2014). Tuttavia, l'approccio classico al problema richiede la presenza di un catasto valanghe molto esteso e articolato e le perizie effettuate da esperti sono molto costose, sia sul piano economico, sia in termini di tempo di realizzazione. Questo ne limita fortemente la diffusione nei territori remoti (dove le informazioni storiche sono limitate) e laddove le implicazioni economiche non hanno consentito l'approfondimento da parte dei professionisti.

Le mappe indicative del pericolo di valanghe, invece, forniscono una visione d'insieme delle zone potenzialmente colpite da valanghe (Bühler et al., 2018). Queste carte hanno un livello di precisione e di dettaglio a volte inferiore rispetto ai PZEV, ma coprono in modo continuo

l'intero territorio e possono fornire un primo indizio sui pericoli potenziali delle valanghe. Le mappe di indicazione di pericolo valanghe offrono la possibilità di indicare tutte le aree potenzialmente a rischio di valanghe e, laddove è necessaria una valutazione più precisa e dettagliata, si potrà quindi procedere con la realizzazione di un PZEV.

COME SI CREA UNA MAPPA INDICATIVA DEL PERICOLO

Per la realizzazione delle mappe indicative del pericolo occorre, innanzitutto, effettuare l'analisi climatica e nivometeorologica dell'area di interesse. In questo modo si può valutare se le condizioni nivo-meteorologiche sono uniformi per l'intero territorio o se questo debba essere suddiviso in sotto-zone climatiche omogenee.

Per eseguire le simulazioni di dinamica delle valanghe non è solamente necessario identificare le zone di distacco e la loro posizione, ma anche lo spessore medio di distacco, misurato perpendicolarmente alla pendenza del versante.

Analisi nivo-climatica

Per ciascun sito di rilevamento, campi di misura manuali o stazioni nivo-meteorologiche automatiche, i dati dello spessore di distacco, in funzione dei diversi tempi di ritorno (es. scenario frequente con tempo di ritorno di 10-30 anni o scenario estremo con tempo di ritorno di 100-300 anni), sono ricavati analizzando il massimo annuale della variazione positiva dell'altezza neve in 3 giorni consecutivi (Δ HS3) (Salm et al., 1990). In relazione alla qualità e al numero dei dati disponibili, l'aggregazione dei parametri così ricavati può essere esequita seguendo approcci differenti: si possono effettuare delle medie tra i valori puntuali riportati ad una quota di riferimento o effettuando analisi regionali (Cordola and Tecilla, 2015; Kite, 1998; Cunnane, 1989; Maione e Moisello, 1993: Hosking e Wallis, 1997, Lu e Stedinger, 1992).

Preparazione degli strati informativi topografici

E' necessario predisporre tutti gli strati informativi topografici propedeutici alla realizzazione delle mappe. Alla base di tutti i calcoli c'è il modello digitale del terreno; la risoluzione consigliata è compresa tra i 5 e 10 m. Occorre poi uno strato informativo riguardante la presenza di una copertura forestale in grado di limitare il distacco di valanghe. In questo caso, il dato migliore è un rilievo LIDAR dal quale è possibile ricavare il grado di copertura del terreno da parte della vegetazione nonché la relativa altezza (in modo da identificare precisamente il bosco in grado di fornire protezione attiva). Qualora il dato LIDAR non fosse disponibile è possibile anche utilizzare degli strati informativi riguardanti l'uso e copertura del suolo, questi devono essere però ad una risoluzione adequata. Esistono inoltre soluzioni alternative per superare questo problema utilizzando, ad esempio, la combinazione di fotografie aeree nel visibile e immagini satellitari scattate nella banda del vicino infrarosso NIR.

In ultimo, è possibile specificare uno strato informativo riguardante la presenza di infrastrutture antropiche in modo da escludere le stesse dalle aree probabili di distacco valanghe, in quanto la presenza di edifici o strade interrompe la continuità della copertura nevosa in maniera analoga a quella di un bosco efficiente (ad esempio la presenza di un edificio lungo un pendio attorno i 30° esclude che l'edificio stesso possa rappresentare una zona di distacco).

Individuazione automatica delle zone probabili di distacco

Si deve procedere a calcolare tutte le zone probabili di distacco (PRA) in funzione dei differenti tempi di ritorno. Barbolini et al. (2000) e Maggioni e Gruber (2003) hanno avviato indagini per delineare automaticamente il PRA con risoluzioni dei modelli digitali del terreno (DTM) da 25 a 30 metri. Con la disponibilità di algoritmi DTM a più alta

risoluzione spaziale, sono stati sviluppati algoritmi raffinati (Barbolini et al., 2011; Buhler et al., 2013; Chueca Cia et al., 2014; Pistocchi e Notarnicola, 2013; Veitinger et al., 2016).

Ad oggi, il metodo disponibile per il calcolo delle PRA applicabile operativamente su larga scala è quello proposto da Bühler et al. (2018a, b); esso si basa sulla classificazione delle immagini basata su oggetti OBIA sviluppata per la classificazione dei dati di telerilevamento (Blaschke, 2010).

In Tabella 1 sono elencati tutti i dati informativi topografici impiegati come input all'approccio OBIA.

La procedura per l'individuazione delle PRA è sintetizzabile nei seguenti passaggi:

- Tutte le PRA sono identificate con il software Definiens Developer basato sullo strato Slope binary. Il risultato ottenuto deve essere interpretato come tutte le aree probabili di distacco derivate dalla pendenza del terreno;
- Queste aree sono raggruppate (segmentate) in poligoni omogenei sulla base delle differenti esposizioni e

- cambi di pendenza. Le PRA ottenuto sono rappresentative per lo scenario di pericolo frequente;
- 3. Si procede quindi ad una fase di semplificazione: le PRA con un'area infe-

Density

Forest

Infrastructures

- riore a 500 m2 e / o con una pendenza media inferiore a 30° sono quindi eliminate;
- 4. Tutti i poligoni sono nuovamente segmentati e/o esclusi in base alle carat-

DESCRIZIONE

tutta la Svizzera per quanto riguarda: pendenza, curvatura

e rugosità. Da quest'analisi, è stata derivata una funzione di

densità, che fornisce informazioni su quanto un pixel sia simile a quelli vicini presenti nelle zone di distacco.

Livello foresta binario (0 = no foresta, 1 = foresta). Questo

strato viene utilizzato per la eliminare le zone probabili

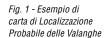
di distacco che ricadono all'interno di un bosco con caratteristiche strutturali idonee alla difesa attiva.

Livello binario (0 = no infrastrutture, 1 = infrastrutture). I tratti

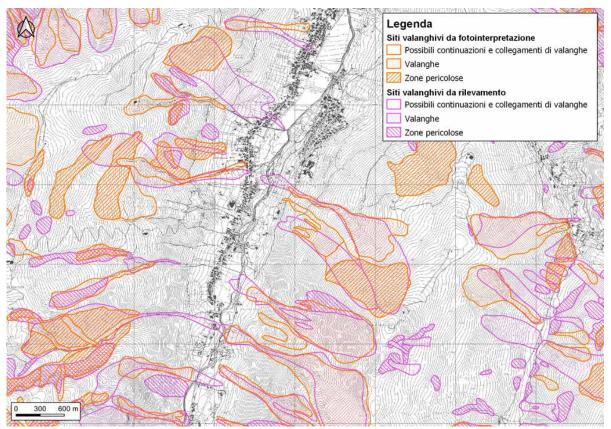
delle vie di comunicazione in galleria sono stati esclusi.

DATO	DESCRIZIONE
DTM	Modello digitale del terreno con risoluzione spaziale di 5 metri.
Hillshade	Rilievo ombreggiato del DTM utilizzato per la visualizzazione.
Slope	Pendenza tra 0° e 90 °
Slope binary	Questo strato binario è una combinazione della pendenza filtrata (> 28 ° e <60 °) e l'imprecisione del terreno. Le aree con rugosità del terreno troppo elevata (Sappington et al., 2007) sono escluse. Le soglie di pendenza delle zone probabili di distacco sono individuate tra i 26°-60° e la soglia per l'esclusione delle aree con rugosità del terreno elevata è ridotta.
Aspect sectors	Questo strato contiene le informazioni sull'esposizione delle celle classificate nei settori Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est, Sud, Sud- Ovest, Ovest e Nord-Ovest.
Fold	Questo strato è una versione migliorata della curvatura del terreno e descrive la concavità delle celle del raster; questo strato è importante per individuare i forti cambiamenti nella curvatura del terreno che delineano le aree probabili di distacco.
	Per questo strato sono state analizzate circa 5000 aree di attacco valanghe mappate manualmente provenienti da

Tabella 1 - Dati derivati dal modello digitale del terreno impiegati come input nell'approccio OBIA



(CLPV).



CARTOGRAFIA

Fig. 2 - Esempio delle
PRA calcolate per
uno scenario estremo
(a) e uno scenario
frequente (b). In grigio
sono indicate le PRA
individuate all'interno
delle zone attualmente
forestate (in cui il bosco
svolge la funzione di
prevenzione attiva del
distacco valanghe),
in azzurro le PRA in
territorio non coperto da
bosco maturo.

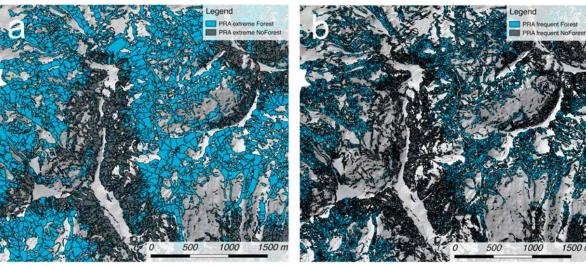
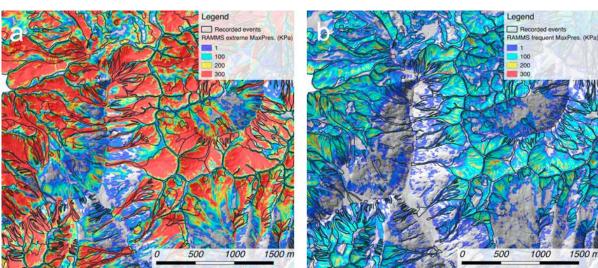


Fig. 3 - Esempio di output delle pressioni massime raggiunte dalle valanghe per lo scenario estremo (a) e quello frequente (b). Gli eventi registrati storicamente e mappati nelle CLPV sono delimitati in nero.



teristiche dello strato forest;

- 5. I poligoni delle PRA sono classificati in base alla loro esposizione (tramite lo strato aspect sectors);
- 6. Ora tutti i poligoni adiacenti con le medesime esposizioni sono da unire tra loro. Questa operazione è effettuata tramite un algoritmo di crescita delle PRA basato sugli strati density e slope. Ciò assicura che le PRA con pendenza e densità simili siano riunite. Grandi differenze nella pendenza e nella densità portano nuovamente alla separazione delle PRA;
- 7. Si procede infine con una nuova fase di semplificazione: i poligoni sono smussati ed eventuali piccoli buchi presenti all'interno dei poligoni eliminati. Alla fine di questo processo si ottengono le PRA utilizzabili per descrivere lo scenario estremo.

E' necessario, quindi, calcolare lo spes-

sore di distacco (d0), utilizzato dal modello RAMMS per definire la massa di neve che caratterizza la valanga, derivandolo dalla variabile di aumento dell'altezza della neve al suolo nei tre giorni ΔHS3 (formula 1) secondo il metodo standard delle linee guide Svizzere (adottato anche dall'Associazione Italiana Neve e Valanghe A.I.N.E.V.A.) (Salm et al., 1990).

Per questo scopo sono stati utilizzati i dati nivo-meteorologici ottenuti secondo la metodologia descritta in precedenza.

Questi valori misurati in campi pianeggianti devono ora essere corretti sulla base dell'altitudine e della pendenza delle differenti PRA. Successivamente, il valore iniziale dello spessore di distacco do * viene calcolato correggendolo con il coseno di 28° (do * = Δ HS x cos28 °). Quindi è aggiunto uno strato basale di 0,2 m per lo scenario frequente e 0,5 m

per lo scenario estremo. Infine, la pendenza delle PRA ψ è presa in considerazione dalla funzione f (ψ) (formula 2), supponendo che si possa accumulare meno neve in zone ripide rispetto alle aree più pianeggianti.

(1) $d0 = d0* \times f(\psi)$

(2) $f(\psi) = 0.291 / (\sin \psi - 0.202 \times \cos \psi)$ Questo calcolo è eseguito su base poligonale, in base all'altitudine media e alla pendenza media di ciascun poligono di PRA. Questi valori sono direttamente utilizzati dall'algoritmo per la determinazione delle PRA OBIA (Fig. 2). Per questo motivo è stato creato uno script python per ArcGIS.

SIMULAZIONI DI DINAMICA DELLE VALANGHE

Le informazioni raccolte ed elaborate nelle fasi precedenti sono utilizzate per effettuare le simulazioni della dinamica delle valanghe. I differenti scenari saranno ottenuti in funzione che si scelgano i valori di ΔHS3, derivati alla quota e alla pendenza media della rispettiva PRA, con tempo di ritorno estremi o frequenti. Con il modello di simulazione della dinamica valanghe RAMMS si devono quindi simulare, una ad una, tutte le probabili valanghe, utilizzando i rispettivi valori di spessore di distacco. A tale scopo, è stato appositamente sviluppato un nuovo modulo di RAMMS, RAMMS :: LSHM (Large Scale Hazard Mapping). Una volta determinate le differenti PRA, queste sono suddivise in funzione alla loro dimensione in: Molto piccole (T < 5000 m3), Piccole (S < 25'000 m3), Medie (M < 60'000 m3) e Grandi (L > 60'000 m3). In funzione della dimensione delle PRA, si utilizzeranno i rispettivi parametri di attrito μ e ξ seguendo la procedura classica del modello RAMMS (Christen et al., 2010).

Output delle elaborazioni

Gli output principali delle simulazioni sono i raster di pressione, altezza massima e velocità di flusso delle valanghe (per un determinato tempo di ritorno) (Fig. 3).

Se per una cella del raster sono transitate più valanghe, è riportato il valore massimo di pressione raggiunto tra tutte le valanghe (non la somma). Ad esempio, nel raster con le velocità massime raggiunte dalle valanghe, se per un pixel sono transitate più valanghe, è riportato il valore massimo di velocità raggiunta tra tutte le valanghe.

Inoltre, è possibile esportare uno strato informativo in forma di shape file contenente tutte le linee perimetrali delle singole valanghe. Questo strato informativo è utile per poter ricondurre una zona interessata da una valanga alla rispettiva area di distacco.

Mappe indicative del pericolo come strumento di supporto ai Piani di Governo del Territorio

Per il Comune di Livigno (SO) è stata elaborata una mappa del pericolo indicativo valanghe da utilizzare come supporto al proprio Piano di Governo del Territorio. Il centro abitato principale di Livigno è a 1816 m s.l.m. e il territorio, caratterizzato da un clima alpino continentale è storicamente interessato da fenomeni valan-

ghivi. Se per le vallate principali gli eventi valanghivi storici sono documentati da dati storici esaustivi, la stessa cosa non vale per il resto del territorio. Fino agli anni '50 l'abitato era isolato per diversi mesi l'anno, quindi anche la gente locale



Fig. 4 - Confronto tra il laser dell'uso e copertura del suolo 2018 (DUSAF 6.0) (destra) e il laser ottenuto dalla classificazione automatica tramite algoritmo di machine learning (sinistra).





non aveva modo di raccogliere informazioni esaustive per le aree più remote. Dalla seconda parte del secolo storico il piccolo abitato rurale si è trasformato in una località turistica molto sviluppata e rinomata a livello internazionale ed è sempre più marcata la necessità di disporre di strumenti che aiutino gli amministratori e i tecnici comunali a operare le scelte corrette per pianificare lo sviluppo del paese anche in termini di esposizione al pericolo valanghe.

Da qui l'idea condivisa con Regione Lombardia di affiancare agli strumenti classici di pianificazione territoriale anche le mappe indicative del pericolo.

Queste non sono da intendersi vincolanti in termini urbanistici ma appunto come solo uno strumento indicativo del pericolo. Attualmente esistono delle chiare norme riguardanti le limitazioni urbanistiche da adottare inerenti agli eventi valanghivi storici presenti all'interno del catasto regionale valanghe e per i P.Z.E.V.. Qualora però si voglia intraprendere una qualsiasi attività urbanistica al di fuori delle aree già attualmente assoggettate alle norme regionali e quindi anche alle norme del piano di governo del territorio comunale, ma che ricadono all'interno delle aree indicate come potenzialmente esposte al pericolo valanghe individuate dalle mappe indicative del pericolo, sarà necessario, prima di procedere con una qualsiasi concessione, effettuare una perizia di dettaglio sul pericolo effettivo valanghe (es. P.Z.E.V.). L'elaborazione delle mappe indicative del pericolo è stata effettuata seguendo le procedure indicate nel capitolo precedente. L'unica particolarità ha riguardato la creazione dello strato informativo sull'attuale copertura forestale. Poichè, per il Comune di Livigno, lo strato informativo regionale (mappa dell'uso e copertura del suolo 2018 (DUSAF 6.0)) non presentava una risoluzione adeguata, questo è stato rielaborato partendo da immagini satellitari (immagini dal satellite Sentinel II nella banda del NIR, risoluzione 10 m ricampionata a 1 m) e immagini aeree (Ortofoto scattata nel visibile con risoluzione del pixel a 1m). Tali immagini sono state utilizzate per calcolare degli indici di vegetazione: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), RGBVI (Red-Green_Blue Vegetation Index), GLI (Gap Light Index), VARI (Visual Atmospheric Resistance Index) e NGRDI (Normalized Green Red Difference Index). Sono stati poi calcolati, partendo dall'ortofoto, anche dei raster caratterizzanti la texture delle immagini. Tutti questi raster sono stati utilizzati per allenare un algoritmo di machine learning basato sul metodo delle Random

Forest. Sono stati individuati dei poiligoni di training che individuano quattro classi di copertura del suolo: foreste, cespuglieti, terreno alpino ed erba. Una volta elaborato tale algoritmo è stata classificato automaticamente tutto il territorio secondo le quattro classi definite in precedenza (Fig. 4). Quindi è stato effettuato un controllo manuale dei risultati e sono state corrette le discrepanze più evidenti.

Dalle informazioni a disposizione non era possibile valutare l'altezza da terra della copertura forestale. Per questa ragione, tutte le zone coperte da mughete sono state considerate come non forestate per lo scenario estremo così come le zone coperte da arbusteti o aree con con una copertura forestale rada. Nonostante il raster della copertura forestale possa presentare errori di stima rispetto la reale copertura forestale, è stato ritenuto più opportuno utilizzare il raster di copertura forestale ottenuto dall'algoritmo di machine learning rispetto quello regionale di copertura del suolo. Queste problematiche possono portare ad una sovrastima o, in minor misura, a una sottostima delle aree di distacco. In Figura 5 è possibile osservare tutte le zone potenziali di distacco individuate automaticamente per lo scenario estremo (300 anni), il quale è coerente con

CARTOGRAFIA

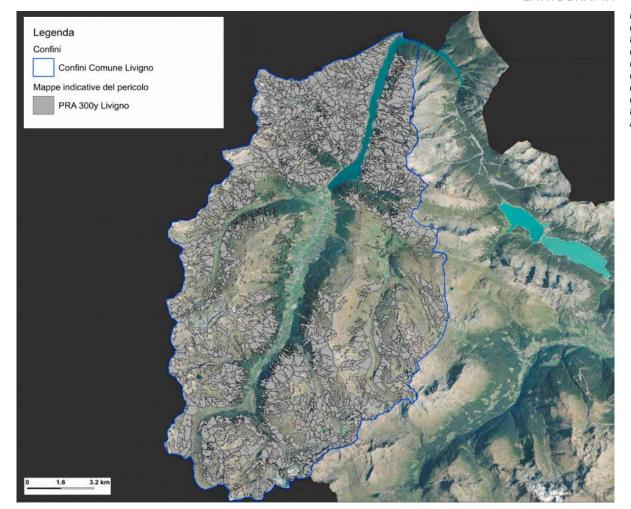


Fig. 5 - Ortofoto sulla quale sono riportate tutte le zone probabili di distacco (PRA) individuate all'interno del Comune di Livigno caratterizzate da una dimensione con un tempo di ritorno di 300 anni.

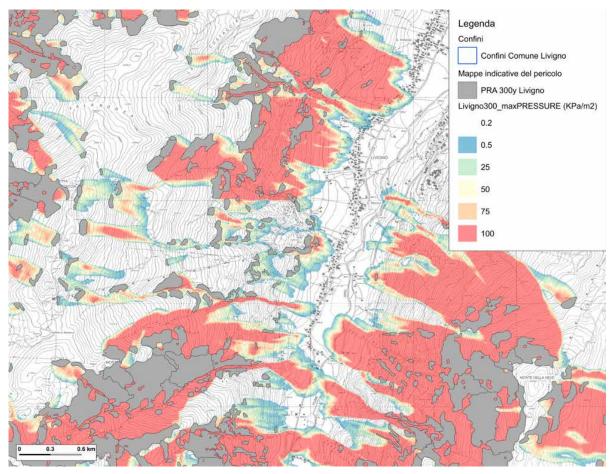


Fig. 6 - Mappa esemplificativa nella quale sono riportate le zone probabili di distacco (PRA) e i rispettivi risultati delle simulazioni di dinamica delle valanghe (pressione massima).

CARTOGRAFIA

lo scenario estremo indicato dalle linee guida svizzere per la zonazione delle aree di pericolo.

In figura 6 è riportato un dettaglio dei risultati ottenuti con le mappe indicative di pericolo nel quale sono visibili le aree di distacco per lo scenario estremo e i risultati delle relative simulazioni di dinamica delle valanghe (pressioni massime). Valutando i risultati ottenuti, è importante prendere in considerazione delle differenze sostanziali tra le mappe indicative del pericolo e i risultati i P.Z.E.V.:

I. Le opere di difesa attiva dal pericolo valanghe (es. opere fermaneve) non possono essere prese in considerazione nei processi di creazione delle mappe indicative del pericolo. Pertanto, in corrispondenza di siti valanghivi per i quali sono state realizzate delle opere di difesa, tendenzialmente, si avrà una sovrastima delle zone di scorrimento e deposito.

II. Ogni zona di distacco è simulata indipendentemente dalle altre, questo significa che all'interno delle mappe indicative del pericolo le estensioni delle zone soggette a valanghe, i valori di pressione e di velocità si riferiscono a distacchi singoli e mai simultanei. Nelle zone in cui in passato sono stati registrati distacchi simultanei le mappe indicative del pericolo sottostimano l'estensione massima dell'area coinvolta dai potenziali fenomeni valanghivi.

- III. Le simulazioni effettuate per le mappe indicative del pericolo non sono tarate e valutate manualmente per ogni sito valanghivo; esse sono frutto di processi automatici di calcolo. Questo significa che possono esserci delle differenze anche significative con la realtà. In particolare questo si evidenzia nell'individuazione delle zone di distacco.
- IV. All'interno degli algoritmi utilizzati per la definizione delle zone di distacco, l'effetto dell'attività eolica, che in molti casi può radicalmente cambiare gli scenari di distacco, non è preso in considerazione: ad esempio, in corrispondenza di dorsali, normalmente, i fenomeni valanghivi sono molto rari e comunque l'attività eolica, che influenza il manto nevoso anche durante i singoli episodi precipitativi, spesso porta alla suddivisione dei distacchi in aree più piccole di quanto non è attualmente identificabile dai metodi automatici
- V. Gli effetti di attrito generati dalla presenza di copertura forestale (come da indicazioni presenti in letteratura scientifica) non sono considerati all'interno della simulazione della dinamica delle valanghe estreme. Questo può portare ad una sovrastima delle zone di arresto rispetto ai fenomeni realmente osservati.
- VI. Per la realizzazione delle mappe non è considerata alcuna caratteristica del manto nevoso se non lo spessore

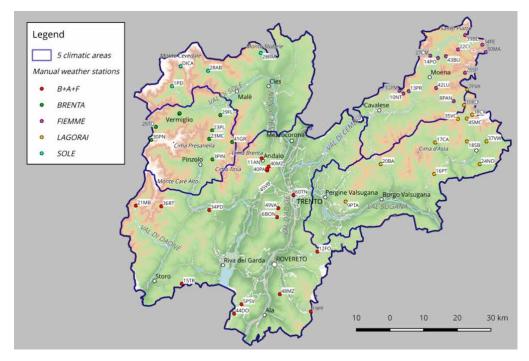


Fig. 8 - Dati di ΔHS3
delle singole stazioni in
rapporto con la quota
(a) e le distribuzioni
Generalizzate dei Valori
Estremi di ΔHS3 (GEV)
per le diverse aree
climatiche in funzione
del tempo di ritorno (b).

Fig. 7 - Mappa della

Provincia Autonoma di Trento suddivisa in

5 micro-aree con le rispettive stazioni di

misura manuali. Le

individuate sono: Bondone - Stivo -

aree micro-climatiche

Paganella + Adamello Sud - Tremalzo + Prealpi

- Piccole Dolomiti -

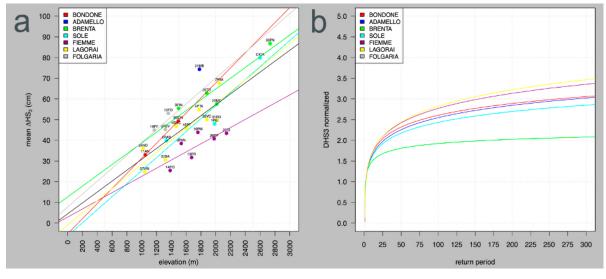
Folgaria (B+A+F); Brenta - Tonale (BRENTA);

Valle di Fiemme e Fassa

di Sole - Peio - Rabbi -

(FIEMME); Lagorai -Primiero (LAGORAI); Val

Rumo (SOLE).



di distacco in funzione della quota e pendenza dell'area di distacco stessa.

Per un determinato sito valanghivo o area esposta, nel caso di valutazioni professionali di dettaglio, si dovrà tenere conto di tutte queste limitazioni e distingui per procedere ad una valutazione dell'effettiva esposizione al pericolo valanghe (ad esempio accumuli dovuti all'attività eolica). L'elenco sopra indicato è da considerarsi come punto di partenza per la ricerca delle motivazioni di eventuali incoerenze tra gli studi di dettaglio e le mappe indicative del pericolo.

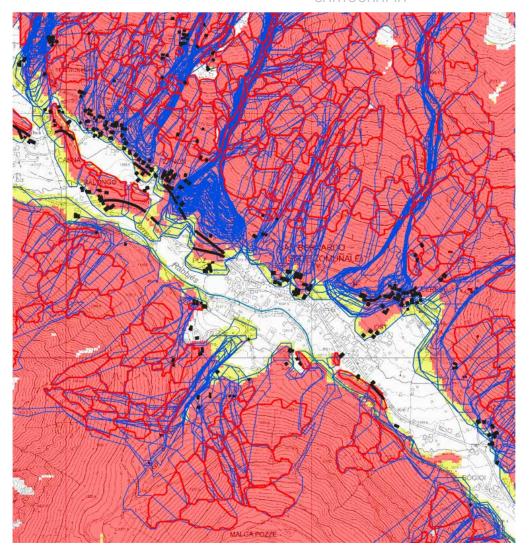
Le mappe indicative di pericolo non possono essere utilizzate in alcun modo in sostituzione dei Piani di Zona Esposta a Valanga (P.Z.E.V.).

Le differenze tra queste due tipologie di strumenti sono sostanziali: le zone potenziali di distacco valanghe alla base delle mappe indicative del pericolo sono state calcolate automaticamente, partendo da un modello digitale del terreno con una risoluzione di 5 m x 5m. Seppure le aree siano state calcolate come descritto in precedenza, presentano delle limitazioni e delle differenze rispetto a quanto osservabile nella realtà e quanto realizzabile nel dettaglio da un professionista.

Tali mappe indicative del pericolo possono quindi essere utilizzate solo come base di partenza per approfondimenti puntuali operati dai singoli professionisti. A parte che per i casi considerati in precedenza, tendenzialmente le mappe indicative del pericolo tendono a sovrastimare piuttosto che sottostimare le valanghe attese, sono quindi uno strumento estremamente utile per evitare di sottostimare la pericolosità di una determinata area.

MAPPA DEL BOSCO DI PROTEZIONE

I boschi di montagna hanno una funzione molto importante nella protezione contro le valanghe (Brang et al., 2006). Le condizioni del bosco influiscono sia



sul distacco delle valanghe sia sul loro scorrimento; d'altra parte, le valanghe sono il disturbo più importante che colpisce gli ecosistemi montani (Bebi et al., 2009). La struttura forestale è un fattore chiave che condiziona la sicurezza delle aree abitabili e ne limita l'espansione in vaste aree delle Alpi (Bebi et al., 2001). La funzione di mitigazione attiva dei boschi ha la potenzialità di impedire completamente l'innesco di una valanga (Bebi et al., 2009); la funzione passiva (cioè l'aumento dell'attrito della massa nevosa in movimento) è invece abbastanza limitata o nulla in caso di eventi di grandi dimensioni (Teich et al., 2012). La corretta gestione dei boschi nei paesaggi montani soggetti a valanghe può essere un efficace approccio di mitigazione del rischio valanghe (Teich e Baby, 2009). L'identificazione dei boschi di protezione è quindi di importanza cruciale per definire adequate misure tecniche e colturali

in grado di mantenere o migliorare la loro funzione.

Gli studi di dettaglio (come i PZEV) consentono di identificare con precisione il bosco con funzione protettiva, ma a causa dei loro costi sono applicati solo a situazioni molto definite e critiche (Gruber e Margreth, 2001). Anche se le carte indicative del pericolo sono meno dettagliate e precise delle carte dei pericoli, esse possono fornire una panoramica spaziale continuativa del pericolo di valanghe sulla base di simulazioni numeriche in grandi regioni (Bühler et al. 2018) e possono essere lo strumento migliore per identificare i boschi che svolgono una funzione protettiva contro le valanghe su grandi superfici. Considerando i limiti evidenziati anche in precedenza, la precisione di questo strumento è comunque sufficientemente adeguata per individuare corrette politiche di gestione del patrimonio forestale.

Fig. 9 - Potenziale interferenza valanghiva con le infrastrutture riconducibile alle zone di distacco attualmente mitigate dalla presenza di bosco di protezione.

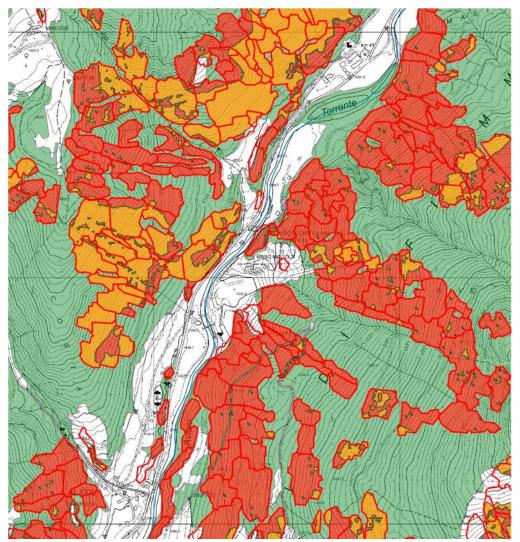


Fig. 10 - Mappa nella quale è visibile: in verde, il bosco; in rosso, il bosco di protezione attiva e già efficace; in arancio, le aree di bosco che potrebbero svolgere una funzione di protezione attiva ma attualmente presentano una copertura forestale insufficiente.

Nel 2004, le mappe indicative del pericolo sono state utilizzate per la prima volta nella valutazione delle funzioni di protezione dei boschi nell'ambito del progetto SilvProtect in Svizzera (Gruber e Baltensweiler 2004). Su incarico del Servizio Foreste e Fauna - Provincia Autonoma di Trento, nel 2019 la società Alpsolut con la collaborazione del WSL Instituto per lo studio della Neve e valanghe SLF, ha utilizzato un approccio automatizzato per la mappatura del pericolo valanghe per identificare le foreste che svolgono un ruolo protettivo nella mitigazione del rischio valanghe nella Provincia di Trento (Italia) all'interno del progetto europeo Rock the Alps.

Nella prima fase è stato necessario suddividere il territorio provinciale in zone climatiche omogenee. Il numero di serie storiche disponibili per questo processo è stato l'elemento chiave per individuare l'estensione di tali aree. Sostanzialmente

è stato necessario trovare un compromesso tra i dati disponibili utili a caratterizzate le condizioni nivo-climatiche e l'auspicio di poter dettagliare nel modo più realistico possibile l'intero territorio. In Figura 7 sono riportate la mappa del territorio provinciale, suddivisa in 5 zone climatiche e le stazioni di misura dei dati nivologici con serie temporali sufficientemente estese per fornire indicazioni statistiche robuste. In Figura 8 sono visibili i dati di ΔHS3 delle singole stazioni in rapporto con la quota (a) e la distribuzione Generalizzata dei Valori Estremi di ΔHS3 (GEV) per le diverse aree climatiche in funzione del tempo di ritorno (b).

Per questo progetto era disponibile uno strato informativo di dettaglio riguardante la copertura forestale. Questo è stato ricavato partendo dai rilievi LI-DAR effettuati in differenti campagne (a partire dal 2014) e aggiornato con fotografie aeree scattate in tempi differenti (le più recenti effettuate nel corso del 2018). La risoluzione spaziale di tale prodotto è di 1m. Per l'individuazione della copertura forestale in grado di mitigare il pericolo valanghe sono state selezionate le aree aventi una percentuale di copertura delle chiome maggiore del 50%, con un'altezza delle piante superiore ai 2 m (Frehner et al., 2005). L'informazione dell'altezza delle chiome è stata ricavata da un modello dell'altezza della copertura forestale (CMH) ricavato sottraendo le informazioni contenute nei rilievi LIDAR da quelle contenute nel DTM. Per la realizzazione delle analisi sopra descritte, il raster è stato esaminato tramite una finestra spaziale di 10 celle, ottenendo così informazioni con un dettaglio spaziale di 10m.

Le aree potenziali di distacco sono state individuate per due scenari: uno frequente (con un tempo di ritorno trentennale) e uno scenario estremo (con un tempo di ritorno centennale). Queste aree potenziali di distacco sono state individuate sia considerando il territorio con copertura forestale sia considerandolo senza. I boschi che ricadono in aree potenziali di distacco nello scenario privo di copertura forestale hanno una vocazione protettiva da valanghe. Laddove le simulazioni di dinamica delle valanghe con il modello RAMMS, effettuato per ogni singola PRA, intersecano infrastrutture potenzialmente esposte, il bosco può svolgere una funzione protettiva effettiva (Fig.9). Questa si esprime in modo attivo laddove la copertura e la struttura siao già sufficienti (Fig.10), mentre laddove la struttura del bosco sia insufficiente si possono orientare le caratteristiche dei popolamenti forestali verso strutture più efficienti attraverso la gestione (Fig.11).

PERICOLOSITÀ VALANGHE INDOTTA DALLA TEMPESTA VAIA

Nei giorni 27-29 ottobre 2018 la tempesta di Vaia ha principalmente interessato

CARTOGRAFIA

le regioni italiane del nord-est (Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia, Lombardia) con raffiche di vento spesso superiori ai 200 km/h; in particolare nella serata del terzo giorno si sono manifestate le raffiche più violente che hanno prodotto schianti forestali su superfici molto estese.

Nel complesso sono stati stimati 42.500 ha (Chirici et al., 2019) di boschi danneggiati, nel solo territorio della Provincia autonoma di Trento sono stati colpiti 19.500 ha di foreste per circa 4 milioni di metri cubi di legname (Figura 12), e di essi almeno 12.500 ha con danni superiori al 50%.

Nelle zone montane questo ha determi-

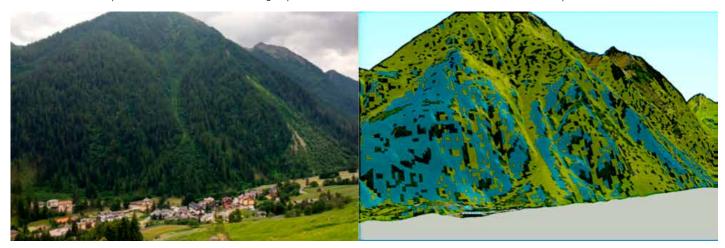
nato il disboscamento integrale di interi versanti causando la formazione di nuove aree prone al distacco di valanghe. Nel settembre 2019 la società Alpsolut, in collaborazione con WSL Instituto per lo studio della Neve e valanghe SLF, è stata incaricata dal Servizio Prevenzione Rischi della Provincia Autonoma di Trento della realizzazione di uno studio per l'individuazione delle zone potenziali di distacco e simulazione delle valanghe per le aree soggette agli schianti forestali in seguito alla tempesta Vaia. Il progetto consiste nella realizzazione di mappe di indicazione del pericolo basate sulla simulazione di dinamica delle valanghe per tutte le aree interessate dagli schianti forestali dovuti alla tempesta. L'obiettivo finale è quello di individuare tutti i nuovi siti valanghivi createsi in seguito alla perdita della funzione di mitigazione attiva dei boschi e discriminarli in funzione alla possibilità che questi potrebbero interessare delle infrastrutture.

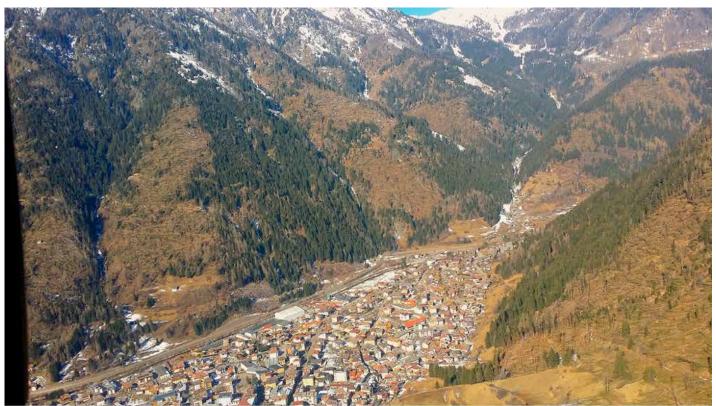
Tali mappe vogliono essere di supporto alle indagini e ai processi decisionali atti a identificare le priorità di intervento per il monitoraggio e per la messa in sicurezza dei nuovi siti valanghivi.

Le mappe indicative del pericolo, calcolate per lo scenario con tempo di ritorno di 10 anni (Fig. 13), sono utili a identificare tutte le infrastrutture esposte alle

Dall'alto: Fig. 11 - Confronto tra un'immagine di versante forestato caratterizzato da più siti valanghivi (destra) e la relativa rielaborazione tridimensionale (destra) dove sono evidenziati i boschi in arado di fornire un'azione di protezione attiva (azzurro) e quelli che invece non garantiscono tale azione per lo scarso grado di copertura o per l'insufficiente altezza (verde chiaro).

Fig. 12 - Abitato di Predazzo (Tn), sono visibili tutte le aree caratterizzate dagli schianti forestali dovuti alla tempesta Vaia.





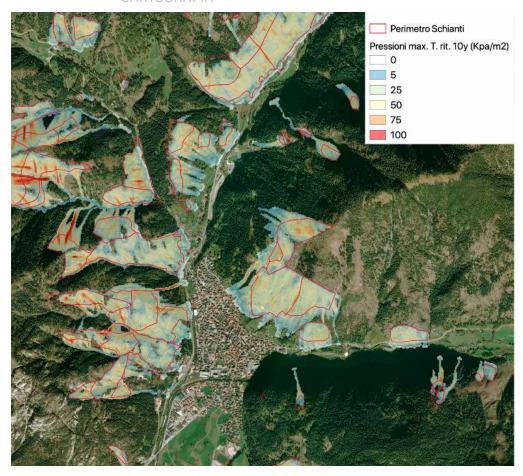


Fig. 13 - Mappe indicative del pericolo calcolate nelle zone interessate dagli schianti della tempesta Vaia per lo scenario con tempo di ritorno di 10 anni.

valanghe che possono verificarsi con un innevamento relativamente frequente. A questi siti valanghivi si deve dare priorità sia in termini di azioni di monitoraggio sia di realizzazione di opere di difesa. Le mappe indicative del pericolo calcolate invece per lo scenario con tempo di ritorno di 100 anni (Fig. 14) sono utili per individuare tutte le infrastrutture che potrebbero essere esposte a pericolo in caso di eventi eccezionali.

Potenzialità e limiti delle mappe indicative del pericolo

La validazione delle mappe indicative del pericolo è molto complessa, sopratutto per quanto riguarda le simulazioni estreme, in quanto i dati di riferimento significativi sono abbastanza limitati. Le valutazioni qualitative e parzialmente quantitative dei risultati indicano però una buona corrispondenza ed evidenziano le buone potenzialità dell'approccio (Compagnoni, 2020).

Il grado di precisione necessario alla pianificazione territoriale non permette l'impiego delle mappe indicative del pericolo (Fig. 15), tuttavia queste possono essere utilizzate come uno strumento di supporto per disciplinare la trasformazione urbanistica in aree dove non sono disponibili sufficienti informazioni storiche sugli eventi valanghivi.

Inoltre, queste mappe possono essere impiegate per quantificare il rischio valanghe in aree anche molto estese, mettendo in relazione le zone potenzialmente esposte al pericolo con le strutture e le infrastrutture presenti. Per quanto riguarda l'identificazione delle zone potenziali di distacco, vi sono margini di miglioramento sia integrando algoritmi che possano prendere in considerazione anche gli effetti dell'attività eolica sia migliorando la suddivisione delle stesse in funzione di caratteristiche del terreno che non prevedano la pre-classificazione in classi (es. classificazione delle esposizioni in 8 classi).

Allo stato attuale, non è ancora possibile impiegare questi approcci come strumento di supporto alla valutazione

Bibliografia

- Barbolini, M., Gruber, U., Keylock, C. J., Naaim, M., and Savim, F.: Application of statistical and hydraulic-continuum dense-snow avalanche models to five real European sites, Cold Reg. Sci. Technol., 31, 133–149, 2000.
- Barbolini, M., Pagliardi, M., Ferro, F., and Corradeghini, P.: Avalanche hazard mapping over large undocumented areas, Natural Hazards, 56, 451-464, 10.1007/s11069-009-9434-8, 2011.
- Bebi, P., Kienast, F., and Schönenberger, W.: Assessing structures in mountain forests as a basis for investigating the forests dynamics and protective function. Forest Ecology and Management, 145: 3–14, 2001.
- Bebi, P., Kulakowski, D., and Rixen, C.: Snow avalanche disturbances in forest ecosystems—State of research and implications for management. Forest Ecology and Management, 257(9): 1883–1892, 2009.
- Blaschke, T.: Object based image analysis for remote sensing, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65, 2-16, 10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004, 2010.
- Brang, P., Schönenberger, W., Frehner, M., Schwitter, R., Thormann, J.-J., Wasser, B.: Management of protection forests in the European Alps: an overview. Forest Snow and Landscape Research 80, 23–44, 2006.
- Brang, P., Schönenberger, W., Frehner, M., Schwitter, R., Thormann, J.-J., Wasser, B.: Management of protection forests in the European Alps: an overview. Forest Snow and Landscape Research 80, 23–44, 2006.
- Bühler, Y., Kumar, S., Veitinger, J., Christen, M., Stoffel, A., and Snehmani: Automated identification of potential snow avalanche release areas based on digital elevation models, Natural Hazards and Earth System Science, 13, 1321–1335, 10.5194/nhess-13-1321- 2013, 2013.
- Bühler, Y., von Rickenbach, D., Christen, M., Margreth, S., Stoffel, L., Stoffel, A. and Kühne, R. Linking mod- elled potential release areas with avalanche dynamic simu- lations: An automated approach for efficient avalanche hazard indication mapping, International Snow Science Workshop ISSW, Innsbruck, Austria, 2018a.
- Bühler, Y., von Rickenbach, D., Stoffel, A., Margreth, S., Stoffel, L., & Christen, M. (2018). Automated snow avalanche release area delineation–validation of existing algorithms and proposition of a new object-based approach for large-scale hazard indication mapping. Natural Hazards & Earth System Sciences, 2018(12).

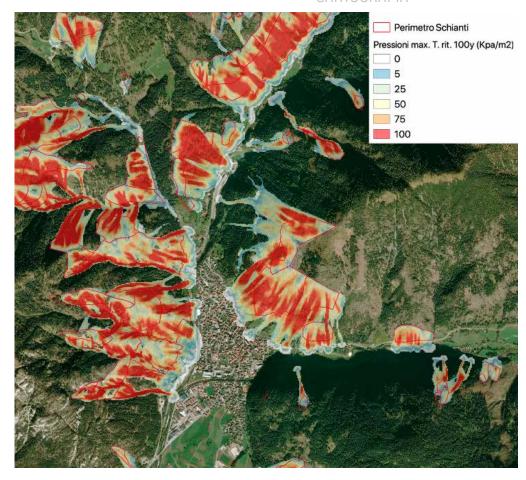
Nella pagina a fianco: Fig: 14 - Mappe indicative del pericolo calcolate nelle zone interessate dagli schianti della tempesta Vaia per lo scenario con tempo di ritorno di 100 anni. in tempo reale del pericolo valanghe: se da una parte esiste la necessità di avere DTM con risoluzioni maggiori per migliorare l'identificazione delle zone di distacco, dall'altra c'è la difficoltà dei modelli di dinamica delle valanghe attualmente impiegabili dai processi automatici a risolvere le simulazioni su dati spaziali molto risoluti e con spessori di distacco ridotti (compatibili a scenari di innevamento frequenti).

Ringraziamenti

Ringraziamo in particolare Daniele Bocchiola, Sergio Benigni, Lukas Stoffel, Stefan Margreth e Igor Chiambretti per il loro supporto tecnico.

Ringraziamo anche il Servizio Foreste e Fauna e il Servizio Prevenzione Rischi della Provincia Autonoma di Trento, nonché il Comune di Livigno per il sostegno economico.

Infine un sentito ringraziamento anche ai nostri partner: Ufficio turistico di Livigno, BlackDiamond e Pieps.



- Chirici G., Giannetti F., Travaglini D., Nocentini S., Francini S., D'Amico G., Calvo E., Fasolini D., Broll M., Maistrelli F., Tonner J., Pietrogiovanna M., Oberlechner K., Andriolo A., Comino R., Faidiga A., Pasutto I., Carraro G., Zen S., Contarin F., Alfonsi L., Wolynski A., Zanin M., Gagliano C., Tonolli S., Zoanetti R., Tonetti R., Cavalli R., Lingua E., Pirotti F., Grigolato S., Bellingeri D., Zini E., Gianelle D., Dalponte M., Pompei E., Stefani A., Motta R., Morresi D., Garbarino M., Alberti G., Valdevit F., Tomelleri E., Torresani M., Tonon G., Marchi M., Corona P., Marchetti M.: Forest damage inventory after the "Vaia" storm in Italy, 2019.
- Christen, M., Kowalski, J., and Bartelt, P.: RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain, Cold Regions Science and Technology, 63, 1 14, 10.1016/j.coldregions.2010.04.005, 2010.
- Chueca Cía, J., Andrés, A. J., and Montañés Magallón, A.: A proposal for avalanche susceptibility mapping in the Pyrenees using GIS: the Formigal-Peyreget area (Sheet 145-1; scale 1:25.000), Journal of Maps, 10, 203-210, 10.1080/17445647.2013.870501, 2014.
- Compagnoni L.: Confronto tra mappatura manuale e mappatura automatica per la definizione del pericolo valanghe. Caso di studio : comune di Livigno. Tesi magistrale, Politecnico di Milano, a.a. 2019/2020.
- Cordola, M., and Tecilla G.: Linee guida metodologiche per la perimetrazione delle aree esposte al pericolo di valanghe. Eds. Massimiliano Barbolini, and Luigi Natale. Pavia, 2005.
- Cunnane, C.: Statistical Distribution for Flood Frequency Analysis. WMO- Operational Hydrology Report, No. 33, 61 pp. 1989.
- Frehner, M., Brächt, W., Schwitter, R.: Continuità nel bosco di protezione e controllo dell'efficacia (NaiS). Istruzioni per le cure nei boschi con funzione protettiva, Ambiente-Esecuzione. Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio, Berna, 564 p, 2005.
- Gruber, U. and Baltensweiler, A.: SilvaProtect-CH, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, Schweiz, 2004.
- Gruber, U. and Baltensweiler, A.: SilvaProtect-CH, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, Schweiz., 2004.
- Gruber, U., Margreth, S.: Winter 1999: a valuable test of the avalanche-hazard

- mapping procedure in Switzerland. Annals of Glaciology 32, 328–332, 2001. Hosking, J.M.R. and Wallis J.R.: Regional Frequency Analysis. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 224 pp, 1997.
- Kite, G.W.: Frequency and Risk analysis in Hydrology, Littleton, CO, Water Resources Publications, No. 224; 1988.
- Lu, L.H. and Stedinger R.: Variance of Two- and Three- Parameter GEV/PWM Quantile Estimator: Formulae, Confidence Intervals and a Comparison. Journal of Hydrology,138, 247-267, 1992.
- Maggioni, M. and Gruber, U.: The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency. Cold Regions Science and Technology, 37(3): 407-419, 2003.
- Maione, U. and Moisello, U.:. Elementi di statistica per l'idrologia. La Goliardica Pavese Ed., Pavia, 299 pp. 1993.
- Pistocchi, A., and Notarnicola, C.: Data-driven mapping of avalanche release areas: A case study in South Tyrol, Italy, Natural Hazards, 65, 1313-1330, 10.1007/s11069-012-0410-3, 2013.
- Rudolf-Miklau, F., Sauermoser, S., and Mears, A.: The Technical Avalanche Protection Handbook, Wiley-VCH, Berlin, Germany, 2014.
- Salm, B., Burkhard, A. and Gubler, H.U.: Berechnung von Fliesslawinen. Eine Anleitung für den Praktiker mit Beispielen, Eidgenössisches Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF, Davos, 1990.
- ☐ Teich, M., and Bebi, P.: Evaluating the benefit of ava- lanche protection forest with GIS-based risk analyses—A case study in Switzerland. Forest Ecology and Management, 257(9): 1910–1919, 2009.
- Teich, M., Bartelt P., Grêt-Regamey A., and Bebi P.: Snow avalanches in forested terrain: influence of forest parameters, topography and avalanche characteristics on runout distance. Arctic, Antarctic, and Alpine Research 44:509-519, 2012.
- Veitinger, J., Purves, R. S., and Sovilla, B.: Potential slab avalanche release area identification from estimated winter terrain: a multi- scale, fuzzy logic approach, Natural Hazards and Earth System Sciences, 16, 2211-2225, 10.5194/nhess-16-2211-2016. 2016.





AFGHANISTAN evalanghe

Studio S.G.N. Servizi Geologici e Nivologici

dott.geol. Aldo Bariffi dott.geol. Matteo Lambrugo (collaboratore esterno) Via Martiri della Libertà 49 23822 Bellano Lc albarsgn@libero.it

IL PROGETTO DI RIABILITAZIONE DELLA STRADA DEL SALANG PASS

AFGHANISTAN AND AVALANCHES Rehabilitation project of the salang pass road

The Salang Pass road was built by the Soviets for military purposes in the 60s of the last century. It crosses the Hindu-Kush mountain range and connects the northern provinces of Afghanistan and Asia with the capital Kabul. Today it is an essential connection for the country's economy. In fact, a lot of goods, from fuel to opium, go through this road. The average count of daily transits is about 6000 vehicles, mainly trucks and cars, number that will certainly increase in the coming years. During the winter, the temporary closure of this road axis due to weather conditions or avalanche occurrences, causes sudden spikes in the costs of raw materials in the capital. Exposure to avalanche danger, which affects a significant portion of this road, represents one of the main problems that the Afghan Ministry of Transport intends to solve, thanks to the interest and economic support of the World Bank. A big boost in this sense came, unfortunately, from the catastrophic February 2010, when, within a week, a snowstorm hit the area, causing abundant snowfall accompanied by numerous avalanches. In that event, 171 victims were recorded on the Salang road, with vehicles blocked by snow and / or caught by avalanches. Currently, the average avalanche risk level on the Salang road is around 20 killed per year (GRF Davos 2017 report). In December 2018 I was contacted by an important Lebanese company to develop the avalanche study to support the Salang road rehabilitation project. In the following article we will describe the technical approach we have adopted, in a difficult context like the Afghan one.

La strada del Salang Pass è stata realizzata per scopi militari dai sovietici negli anni '60 del secolo scorso. Essa attraversa la catena montuosa dell'Hindu-Kush e mette in contatto le province settentrionali afgane e quelle asiatiche, derivate dallo smembramento dell'ex Unione Sovietica, con la capitale Kabul. Oggi è un collegamento fondamentale per l'economia del Paese. Attraverso questa strada transitano, infatti, un gran numero di merci, che vanno dal carburante all'oppio. Il conteggio medio dei transiti giornalieri è di circa 6000 mezzi, principalmente camion e auto, sicuramente in aumento nei prossimi anni. Durante l'inverno, la chiusura temporanea di questo asse viario per cause legate alle condizioni meteorologiche, determina, nella capitale, improvvise impennate nei costi delle materie prime. L'esposizione al pericolo di valanghe, che interessa una porzione rilevante di questa strada, rappresenta uno dei problemi principali che il Ministero dei Trasporti afgano intende risolvere, grazie all'interesse e al supporto economico della World Bank. Un grosso impulso in questo senso è arrivato, purtroppo, dal catastrofico febbraio 2010, quando, nell'arco di una settimana, una tempesta di neve ha interessato l'area, provocando abbondanti precipitazioni nevose accompagnate da numerose valanghe. In quell'occasione furono registrate 171 vittime sulla strada del Salang, con i mezzi bloccati dalla neve e/o travolti dalle valanghe. Attualmente, il livello medio di rischio valanga sulla strada del Salang, è stato calcolato in circa 20 morti all'anno (report GRF Davos 2017). Nel mese di dicembre 2018 sono stato contattato da un'importante Società di Ingegneria con sede a Beirut e con diverse filiali, soprattutto nell'area medio-orientale, per sviluppare la parte relativa al problema valanghe nell'ambito del progetto di riabilitazione della strada del Salang. La trattativa iniziale non è stata semplice, soprattutto per le incertezze legate alla disponibilità di una cartografia adeguata e di informazioni affidabili, che avrebbero potuto condizionare sia la metodologia sia i risultati. Nell'articolo che segue verrà descritto, a grandi linee, l'approccio tecnico che lo scrivente ha adottato, in un contesto difficile come quello afgano.



INQUADRAMENTO DELL'AREA E DEL PROBLEMA

L'economia afgana dipende in larga misura dalla transitabilità delle strade interne che collegano le diverse province. Uno di questi importanti assi viari è rappresentato dal "Salang corridor". Si tratta di un percorso di 85 km, che attraversa la catena montuosa dell'Hindu-Kush in corrispondenza del Salang Pass, a circa 3.500 metri di quota, e permette il collegamento tra la capitale Kabul e le province settentrionali dell'Afghanistan.

L'Hindu-Kush è una catena montuosa che si estende per circa 800 km in direzione E-W, con altitudini comprese tra 4.000 e 7.800 metri. Essa rappresenta una vera e propria barriera fisica tra le regioni centrali (aree di Parwan, Jalalabad, Kabul a sud e

Baghlan, Mazarsharif, Kunduz a nord). Esiste anche un percorso alternativo che attraversa la catena dell'Hindu-Kush: la strada Baghlan – Bamiyan (B2B), di 152 km, destinata in genere al traffico leggero e con un ridotto volume di passaggi, stimato intorno a 800 veicoli al giorno. Anch'essa risulta esposta al pericolo valanga ed è considerata comunque di importanza secondaria.

La costruzione della strada del Salang risale al 1964. In particolare, il vecchio tracciato preesistente, venne allargato e portato a 7 metri, si costruirono delle gallerie paravalanghe (21 in totale) e un lungo tunnel di 2.511 metri, che consentiva di bypassare il passo ad una quota di circa 3.400 m., ed evitare altre zone valanghive pericolose. Quando venne costruito, il tunnel del Salang Pass, era il più alto del mondo.

Nonostante le gallerie paravalanghe e il tunnel, ogni anno la strada del Salang, soprattutto nella parte al di sopra dei 2.700 metri di quota e per un tratto di circa 30 km, sia a nord che a sud del passo, viene interessata da abbondanti nevicate, accumuli di neve soffiata e valanghe che interrompono spesso la viabilità, anche per parecchi giorni. Ciò si riflette negativamente sull'economia locale in quanto sono sufficienti 2 o 3 giorni di chiusura della strada per vedere a Kabul i prezzi del carburante e dei beni di prima necessità aumentare anche del 30%. Alcuni dati riportano un costo di 2 milioni di \$ per ogni giorno di chiusura della strada.

Per queste ragioni la riabilitazione della strada del Salang è diventata urgente e molto più critica di quanto non lo fosse in precedenza. Il Governo dell'Afghanistan, con il supporto finanziario della Banca Mondiale, ha pertanto deciso di affrontare concretamente anche il problema del rischio di valanga, con specifico riferimento al tratto di strada al di sopra dei 2.700 m. (Figg. 1,2)

METODOLOGIA DI LAVORO

Lo studio di valutazione del rischio di valanga lungo la strada del Salang, nel tratto compreso tra la progressiva 32+550 e 62+747, è stato redatto con lo scopo di supportare il progetto di riabilitazione di questa importante via di comunicazione. Esso è stato sviluppato secondo i seguenti punti:

Fase 1

Raccolta della documentazione esistente (cartografia – dati nivometeo – catasto valanghe e rapporti sugli incidenti occorsi – valutazione studi pregressi);

Elaborazione, interpretazione e presentazione dei risultati, con stesura preliminare della carta di localizzazione probabile di valanga in scala 1:10.000;

Sopralluogo diretto con raccolta di testimonianze locali per la verifica, rettifica/ conferma e calibrazione dei risultati preliminari e stesura cartografia definitiva; Simulazioni di valanga lungo sezioni critiche per definire le caratteristiche dina-

Fig.1 - Afghanistan. E' visibile la catena dell'Hindu-Kush e la posizione del Salang Pass.

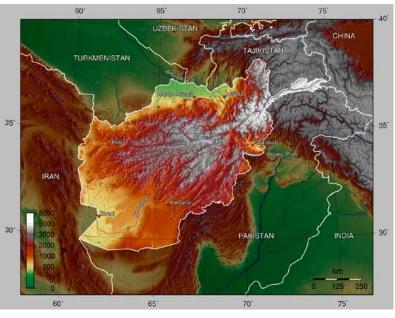
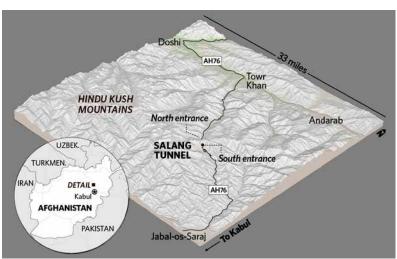


Fig.2 - Rappresentazione 3D dell'area di studio.



Relative Humidity (%)

miche dei fenomeni valanghivi (pressioni, velocità, altezza di flusso, ecc.);

Individuazione delle soluzioni possibili per la mitigazione del rischio, con raccomandazioni progettuali preliminari, in particolare per quanto riguarda gli aspetti costruttivi delle gallerie paravalanghe e le nuove possibili implementazioni e soluzioni;

Calcolo dei carichi di progetto per le nuove gallerie paravalanghe e/o per la riabilitazione di quelle esistenti, di concerto con il dipartimento strutturale, incaricato dello sviluppo del progetto.

Fase 2 (in attesa di realizzazione)

Analisi di approfondimento della dinamica valanghiva, condotte mediante simulazioni 2D, per casi specifici individuati attraverso lo studio della fase 1, prima e dopo l'intervento/i di mitigazione proposto/i, o per definire le procedure operative gestionali (distacco artificiale), da concordare con la committenza.

ASPETTI CRITICI CONNESSI CON LO SVILUPPO DELLO STUDIO

Fin da subito è apparsa evidente la difficoltà di reperimento di basi cartografiche adeguate, da utilizzare come modello digitale del terreno (DTM). Le stesse basi cartografiche dell'USGS, risalenti al 2005, sono alla scala 1:250.000 e utilizzabili solo per scopi generali. Di concerto con la committenza sono state quindi recuperate le basi DTM, ricavate da immagini satellitari. Dette basi sono state importate nel software IdrisiGis, che ha tuttavia evidenziato alcune anomalie nel trattamento e restituzione del DTM. Ciò ha reso necessario l'applicazione di filtri correttivi, che hanno consentito di ottenere un compromesso accettabile tra risoluzione e trattamento del dato ai fini del lavoro da svolgere nella prima fase.

La committenza ha poi messo a disposizione il rilievo topografico di dettaglio, eseguito lungo i 30 km circa di strada oggetto dello studio, con un'estensione laterale di circa 50-100 metri rispetto all'asse viario. Tale rilievo è stato integrato nel DTM

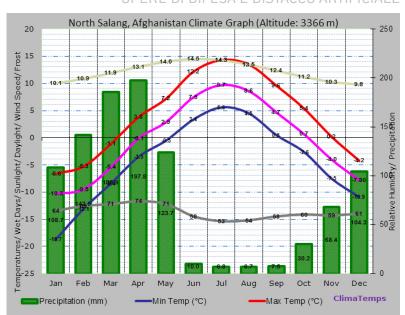


Fig.3 - Ricostruzione climatica - North Salang Met Station (3366 m).



Daylength (Hours)

Fig.4 - Vista di un tratto della strada del Salang in inverno.



Fig.5 - Valanga sulla strada del Salang.

e georeferenziato con coordinate UTM. Altra documentazione cartografica ha dovuto essere reperita con particolari ricerche sulla rete, attingendo ai seguenti riferimenti:

Average Temp (°C)

Open Street Map data (open source);

Orthophoto high resolution (ESRI Digital Globe – Arcinfo);

Google Earth Pro (open source).

Il reperimento dei dati nivometeo ha ugualmente posto diversi problemi, non sempre risolvibili, in quanto i dati forniti

sono risultati troppo generici, privi di continuità e raccolti senza un coordinamento specifico (Fig. 3). Essi sono riferiti a valori medi (ad esempio temperature e spessori neve). Non è risultato possibile, pertanto, elaborare dati statistici di riferimento per il calcolo degli spessori di neve da introdurre nei calcoli dinamici sulle valanghe per determinati tempi di ritorno, che hanno dovuto, pertanto, essere estrapolati e stimati. Un altro elemento critico è stata l'assenza di un catasto valanghe a cui fare riferimento. Ciò si è tradotto nell'impossibilità di operare correlazioni tra eventi valanghivi occorsi e condizioni nivometeo scatenanti, o calibrare meglio i parametri da introdurre nelle simulazioni dinamiche per la ricostruzione dei fenomeni in back analysis.

A livello generale è stato osservato come valori di temperatura inferiori ai -30°C siano comuni durante la stagione invernale, che risulta concentrata soprattutto nei primi 3 mesi dell'anno mentre, in primavera, a seguito della posizione geografica (35° di latitudine nord che corrisponde alla latitudine del nord Africa), l'irraggiamento solare diventa molto forte, fin dal mese di marzo. Ciò provoca frequenti valanghe primaverili. Infine, la presenza di tempeste di neve, tra gennaio e febbraio, favorisce gli accumuli nevosi lungo la carreggiata, con l'inevitabile e spesso prolungato blocco del traffico. Mediamente, la neve cumulata è stata stimata in circa 500-600 cm/anno alla quota dei 3.000 metri, con uno spessore massimo Hs di circa 300 cm. Allo stato attuale non esiste un servizio di monitoraggio valanga lungo la strada del Salang. In alcuni casi il servizio di manutenzione (Road Maintenance Service) organizza interventi di distacco artificiale con il supporto dell'esercito, mediante l'uso di razzi esplosivi ma ciò avviene senza una programmazione ed organizzazione particolari.

La ricostruzione di alcuni eventi valanghivi pregressi si è appoggiata pertanto unicamente a documentazioni generali e rapporti, che hanno riguardato eventi critici e/o eccezionali, avvenuti negli anni 2002, 2009, 2010, 2015, 2017 (Figg. 4,5). In particolare, quello del febbraio 2010, causò 171 vittime nell'arco di pochi giorni. Quella catastrofe fu il risultato di una serie di coincidenze concomitanti negative, legate alle condizioni della strada, alla rapidità negativa dell'evoluzione meteorologica, con nevicate abbondanti, accompagnate da forti venti e temperature molto basse La strada venne interessata da numerose valanghe e i soccorsi incontrarono molte difficoltà. Molte persone morirono assiderate nella propria vettura bloccata dalla neve, altri asfissiati all'interno delle gallerie e del tunnel del Salang, laddove le valanghe avevano ostruito le uscite ed altri vennero travolti dalle valanghe, in particolare un autobus con 50 persone. Fu una vera catastrofe e che potrebbe ancora ripetersi, a fronte delle condizioni impossibili in cui versa la strada e dell'elevato volume di traffico esistente.

STUDI VALANGHIVI PREGRESSI E CONSIDERAZIONI

A lavoro iniziato siamo venuti a conoscenza di alcuni studi pregressi, realizzati in tempi relativamente recenti per conto del governo afgano o della banca mondiale, sul tema delle valanghe, uno dei quali condotto nel 2017 dalla Società GRF (Global Risk Forum) di Davos, facente capo al Dott. W. Amman, già direttore dell'Istituto Federale per lo Studio della Neve e delle Valanghe e riferito proprio all'area di interesse. Tale studio è risultato indubbiamente utile per la messa a fuoco del problema nelle sue linee essenziali. Esso ha evidenziato che, la strada del Salang, nei 30 km oggetto di valutazione, è soggetta a rischio

valanga, anche in presenza di condizioni considerate ordinarie, valutate con spessori di neve al distacco compresi tra 0,30 e 0.50 cm. In tali situazioni la pressione delle valanghe, simulate con il software RAMMS, è risultata, infatti, sufficiente a danneggiare un mezzo in transito o a spingerlo fuori dalla carreggiata, con il possibile conseguente trascinamento a valle. GRF ha effettuato il calcolo del rischio sulla base di alcuni parametri legati al transito veicolare, alla velocità dei mezzi, all'estensione dei tratti a rischio valanga, ai costi di manutenzione delle opere di mitigazione esistenti (gallerie-tunnel), sulla base anche del valore attribuito alla vita umana in Afghanistan, stabilita in \$ 500.000 per persona, contro un valore di \$ 3.500.000 dei paesi occidentali. I risultati emersi hanno evidenziato che, il rischio valanghe calcolato per la strada del Salang, è di circa 20 morti/anno, ovvero pari a 10 milioni di dollari/anno. A fronte di ciò, le conclusioni di tale studio hanno portato a suggerire l'implementazione di un servizio di monitoraggio (Avalanche Warning Service), abbinato al distacco artificiale, piuttosto che alla proposta di opere di protezione e mitigazione del rischio valanga, che richiederebbero elevati investimenti.

Alcune considerazioni, sullo studio effettuato da GRF, sono necessarie per capirne i limiti nel contesto reale:

a) l'estrema difficoltà di implementazione di un Avalanche Warning Service nel contesto afgano, dove l'aleatorietà e il clima di perenne instabilità sociale e politica non consentirebbero lo sviluppo di quelle garanzie di serietà, affidabilità, coordinamento e continuità nel tempo che un servizio di questo tipo richiederebbe; inoltre, la gestione del rischio valanga attraverso il solo monitoraggio e il distacco artificiale, nel contesto specifico, comporterebbe una pressione psicologica e un carico di responsabilità, soprattutto durante i primi anni, molto elevato con un consequente e molto probabile incremento dei giorni di chiusura della strada per mancanza di esperienza e di validi riferi-

Tab.1 - a) Classificazione standard CAA; b) Classificazione CAA adattata.



Fig.6a - Carta clivometrica con localizzazione probabile di valanga (estratto tavola 3c, quadro meridionale con sezioni critiche di riferimento); in basso la legenda.

menti pregressi. E questo nella migliore delle ipotesi. Non solo ma a tutto ciò si aggiungerebbe anche il problema della sismicità elevata del territorio, che contribuisce ad aumentare le probabilità di distacchi spontanei inaspettati e/o difficilmente gestibili;

- b) nessun sopralluogo diretto è stato effettuato durante lo sviluppo dello studio sopraccitato per la verifica e validazione di assunzioni e risultati;
- c) il calcolo del rischio è stato effettuato considerando una velocità dei mezzi in transito, nei tratti a rischio, pari a 20 km/h. All'atto pratico, dopo il sopralluogo effettuato dallo scrivente, tale valore è risultato in molti casi sovrastimato, soprattutto per i mezzi pesanti. Inoltre, nel calcolo non sono stati considerati eventuali blocchi/arresti della circolazione a seguito di accumuli di neve lungo la carreggiata o per caduta di valanga, cosa risultata abbastanza frequente, come testimoniato dal servizio di manutenzione stradale. In considerazione dei molti tratti di strada ravvicinati tra loro e potenzialmente

interessati dalle valanghe, ciò si traduce in una evidente sottostima del rischio calcolato. Infatti, in caso di blocco della circolazione, molti mezzi possono risultare esposti al pericolo per lungo tempo, con un incremento drastico del rischio, che tenderebbe all'unità, soprattutto per il tratto di strada oggetto del nostro studio.

Il traffico veicolare lungo la strada del Salang è passato da un volume di circa 1.000 veicoli/giorno degli anni sessanta del secolo scorso ai 4.000-6.000 odierni. Le previsioni sono per un ulteriore incremento nei prossimi anni, con punte di 9.000-10.000 veicoli/giorno. L'attuale progetto di riabilitazione della strada del Salang si inserisce in questo contesto, così come l'evidente necessità di trovare soluzioni adeguate e realistiche da proporre per la mitigazione del rischio valanga ed è pertanto con questo obiettivo che è stato sviluppato il lavoro in oggetto.

ANALISI E VALUTAZIONI

L'elaborazione cartografica, effettuata con

500

250

LEGEND Salang road existing Salang gallery I tunnel existing and ID Secondary road North end point km 62+747 South start point km 32+550 Meteorological station - north Salang and south Salang River Major ridge line SLOPE ANGLE CLASS IN DEGREE Reclassification based on CAA rules (adapted) 0-12° (runout zone) 12°-20° / 60°-90° (avalanche track) 20°-28° / 52°-60° (avalanche track) 28°-33° / 45°-52° (release zone - low frequency) 33°-45° (release zone - high frequency) AVAI ANCHE SITE Potential risk for the road Avalanche path High frequency site and ID (1-5 yr.) Low frequency site and ID (5-30 yr.) ID counterclockwise for south Salang area ID clockwise for north Salang area Avalanche site section COORDINATE SYSTEM: WGS_1984_UTM_Zone_42N WKID: 32642 Authority: EPSG GRID INTERVAL: 1.000 m

CONTOUR INTERVAL: 25 m

OPERE DI DIFESA E DISTACCO ARTIFICIALE

	Risk parameters (general)	Priority P1	Priority P1	Weight	Priority P2	Priority P2	Weight	Priority P3	Priority P3	Weight
-24-25	Rp	Rp			Rp		-,0000	Rp	130000 400	.111000
26-27	Slope angle	33°-45° (+3)		3	Mix	1	1	28°-33° or 45°-52°		1
	Slope aspect for drifting snow	E-N		1	S	1	1	W		1
	Slope morphology	channelled	1	1	irregular		1	open slope		1
	Extension of release zone	> 25.000 m ²	1	1	10.000 - 25.000 m ²		1	< 10.000 m ²		1
	Mean elevation of release zone	> 3.500 m		1	3.000 - 3.500 m	1	1	< 3.000 m (+3)		3
	Weattelevation of release zone			1	3.000 - 3.500 III	1	1.	no if		3
	Decimanded assets and references	,	-	5	not clear			110		5
	Documented events and references	provided by R.M.S. (+5)	5				1	provided by R.M.S. (+5)	200	
	Release zone crosses the road	yes	4	1	no, but very close to it		1	no	1	1
	track zone crosses the road	yes	1	1	yes, but with a long way		1	no		1
	Runout zone crosses the road	no	1	1	yes	2.5	1	yes		1
	Dangerous slope downstream of the road	yes (+3)		3	no	1	1	no	1	1
	possible obstruction of gallery (entry - exit)	yes		1	uncertain		1	no	1	1
	Avalanche can interest road in different part			1000					1000	
	along the same avalanche track	yes	1	1	occasional		1	no		1
	Management control is required for road									
	(artificial avalanche release)	no	1	1	no	1	1	yes (+3)		3
	Check control for avalanche occurrences is							,00 (10)		
	required at least for a winter season before									
	planning the work	no	1	1	desirable		1	voc (+2)		3
			1	1				yes (+3)		1
	Exposure time	long (>100 m)			medium (20-100 m)		1	short (<20 m)		
	benefit/cost ratio (estimated)	high (+3)	200	3	medium	220	1	low	1	1
	TOTAL		13	26		5	15		4	26
Salt Har	Total (percent)	and the second	19		alidensi Ha	7	TOTAL TOTAL	mistika-sada	6	22,000,000
alanche	Risk parameters (general)	Priority P1	Priority P1	Weight	Priority P2	Priority P2	Weight	Priority P3	Priority P3	Weight
28-29	Rp	Rp		ALL ALL SILE	Rp	EURISHUM II.		Rp	1.01210003	
	Slope angle	33°-45° (+3)		3	Mix		1	28°-33° or 45°-52°	1	1
				3 1	Mix S	1	1	28°-33° or 45°-52° W	1	1
	Slope angle	33°-45° (+3)		-		1	1 1 1		1	1 1
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology	33°-45° (+3) E - N channelled		1	S irregular	1	1	W open slope	1 1 1	1
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone	33°-45° (+3) E - N channelled > 25.000 m ²		1 1 1	S irregular 10.000 - 25.000 m ²		1	W open slope < 10.000 m ²	1 1 1	1
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology	33°-45° (+3) E - N channelled > 25.000 m ² > 3.500 m		1 1	S irregular	1	1	W open slope < 10.000 m ² < 3.000 m (+3)	1 1 1	1
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone Mean elevation of release zone	33°-45° (+3) E - N channelled > 25.000 m ² > 3.500 m yes if	E	1 1 1 1	S irregular 10.000 - 25.000 m ² 3.000 - 3.500 m		1 1 1	W open slope < 10.000 m ² < 3.000 m (+3) no if	1 1 1	1 1 3
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone Mean elevation of release zone Documented events and references	33°-45° (+3) E - N channelled > 25.000 m ² > 3.500 m yes if provided by R.M.S. (+5)	5	1 1 1 1 5	S irregular 10.000 - 25.000 m ² 3.000 - 3.500 m not clear		1 1 1	W open slope < 10.000 m ² < 3.000 m (+3) no if provided by R.M.S. (+5)	1 1 1	1 1 3 5
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone Mean elevation of release zone Documented events and references Release zone crosses the road	33°.45° (+3) E - N channelled > 25.000 m² > 3.500 m yes if provided by R.M.S. (+5) yes	1	1 1 1 1 5	S irregular 10.000 - 25.000 m ² 3.000 - 3.500 m not clear no, but very close to it		1 1 1 1	W open slope < 10.000 m ² < 3.000 m (+3) no if provided by R.M.S. (+5)	1 1 1	1 1 3 5 1
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone Mean elevation of release zone Documented events and references Release zone crosses the road track zone crosses the road	33°-45° (+3) E - N channelled > 25.000 m² > 3.500 m yes provided by R.M.S. (+5) yes	1	1 1 1 1 5 1	S irregular 10.000 - 25.000 m ² 3.000 - 3.500 m not clear no, but very close to it yes, but with a long way		1 1 1 1 1	W open slope < 10.000 m ² < 3.000 m (+3) no if provided by R.M.S. (+5) no no	1 1 1	1 1 3 5 1
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone Mean elevation of release zone Documented events and references Release zone crosses the road track zone crosses the road Runout zone crosses the road	33°.45° (+3) E - N channelled > 25.000 m ² > 3.500 m yes if provided by R.M.S. (+5) yes yes no	1 1 1	1 1 1 1 5 1 1	S irregular 10.000 - 25.000 m ² 3.000 - 3.500 m not clear no, but very close to it yes, but with a long way yes		1 1 1 1 1 1 1	W open slope < 10.000 m² < 3.000 m (+3) no if provided by R.M.S. (+5) no no yes	1 1 1	1 1 3 5 1 1
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone Mean elevation of release zone Documented events and references Release zone crosses the road track zone crosses the road Runout zone crosses the road Dangerous slope downstream of the road	33°-45° (+3) E - N channelled > 25,000 m² > 3,500 m yes if provided by R.M.S. (+5) yes yes no yes(+3)	1 1 1 3	1 1 1 1 1 5 1 1 1 3	S irregular 10,000 - 25,000 m² 3,000 - 35,000 m² 3,000 - 3,500 m not clear no, but very close to it yes, but with a long way yes no		1 1 1 1 1 1 1	W open slope < 10.000 m ² < 3.000 m (+3) no if provided by R.M.S. (+5) no no yes no	1 1 1	1 1 3 5 1 1 1
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone Mean elevation of release zone Documented events and references Release zone crosses the road track zone crosses the road Runout zone crosses the road Dangerous slope downstream of the road possible obstruction of gallery (entry - exit)	33°.45° (+3) E - N channelled > 25.000 m ² > 3.500 m yes if provided by R.M.S. (+5) yes yes no	1 1 1	1 1 1 1 5 1 1	S irregular 10.000 - 25.000 m ² 3.000 - 3.500 m not clear no, but very close to it yes, but with a long way yes		1 1 1 1 1 1 1	W open slope < 10.000 m² < 3.000 m (+3) no if provided by R.M.S. (+5) no no yes	1 1 1	1 1 3 5 1 1
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone Mean elevation of release zone Documented events and references Release zone crosses the road track zone crosses the road Runout zone crosses the road Dangerous slope downstream of the road	33°-45° (+3) E - N channelled > 25,000 m² > 3,500 m yes if provided by R.M.S. (+5) yes yes no yes(+3)	1 1 1 3	1 1 1 1 1 5 1 1 1 3	S irregular 10,000 - 25,000 m² 3,000 - 35,000 m² 3,000 - 3,500 m not clear no, but very close to it yes, but with a long way yes no		1 1 1 1 1 1 1	W open slope < 10.000 m ² < 3.000 m (+3) no if provided by R.M.S. (+5) no no yes no	1 1 1	1 1 3 5 1 1 1
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone Mean elevation of release zone Documented events and references Release zone crosses the road track zone crosses the road Runout zone crosses the road Runout zone crosses the toad Dangerous slope downstream of the road possible obstruction of gallery (entry - exit) Avalanche can interest road in different part along the same avalanche track	33°-45° (+3) E - N channelled > 25,000 m² > 3,500 m yes if provided by R.M.S. (+5) yes yes no yes(+3)	1 1 1 3	1 1 1 1 1 5 1 1 1 3	S irregular 10,000 - 25,000 m² 3,000 - 35,000 m² 3,000 - 3,500 m not clear no, but very close to it yes, but with a long way yes no		1 1 1 1 1 1 1	W open slope < 10.000 m ² < 3.000 m (+3) no if provided by R.M.S. (+5) no no yes no	1 1 1	1 1 3 5 1 1 1
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone Mean elevation of release zone Documented events and references Release zone crosses the road track zone crosses the road track zone crosses the road Dangerous slope downstream of the road possible obstruction of gallery (entry - exit) Avalanche can interest road in different part	33°.45° (+3) E - N channelled > 25.000 m ² > 3.500 m yes if provided by R.M.S. (+5) yes yes no yes (+3) yes	1 1 1 3 1	1 1 1 1 5 1 1 1 3 1	S irregular 10,000 - 25,000 m² 3,000 - 3,500 m not clear no, but very close to it yes, but with a long way yes no uncertain		1 1 1 1 1 1 1	W open slope < 10,000 m ² < 3,000 m (+3) no if provided by R.M.S. (+5) no no yes no no	1 1 1	1 1 3 5 1 1 1 1
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone Mean elevation of release zone Documented events and references Release zone crosses the road track zone crosses the road Runout zone crosses the road Runout zone crosses the toad Dangerous slope downstream of the road possible obstruction of gallery (entry - exit) Avalanche can interest road in different part along the same avalanche track	33°.45° (+3) E - N channelled > 25.000 m ² > 3.500 m yes if provided by R.M.S. (+5) yes yes no yes (+3) yes	1 1 1 3 1	1 1 1 1 5 1 1 1 3 1	S irregular 10,000 - 25,000 m² 3,000 - 3,500 m not clear no, but very close to it yes, but with a long way yes no uncertain		1 1 1 1 1 1 1	W open slope < 10.000 m² < 3.000 m (+3) no if provided by R.M.S. (+5) no no no yes no no no	1 1 1	1 1 3 5 1 1 1 1
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone Mean elevation of release zone Documented events and references Release zone crosses the road track zone crosses the road Runout zone crosses the road Dangerous slope downstream of the road possible obstruction of gallery (entry - exit) Avalanche can interest road in different part along the same avalanche track Management control is required for road (artificial avalanche release)	33°.45° (+3) E - N channelled > 25.000 m² > 3.500 m yes provided by R.M.S. (+5) yes yes no yes (+3) yes	1 1 1 3 1	1 1 1 1 1 5 1 1 1 3 1	S irregular 10.000 - 25.000 m² 3.000 - 3.500 m not clear no, but very close to it yes, but with a long way yes no uncertain occasional	1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	W open slope < 10,000 m ² < 3,000 m (+3) no if provided by R.M.S. (+5) no no yes no no	1 1 1	1 1 3 5 1 1 1 1
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone Mean elevation of release zone Documented events and references Release zone crosses the road track zone crosses the road Runout zone crosses the road Runout zone crosses the road angerous slope downstream of the road possible obstruction of gallery (entry - exit) Avalanche can interest road in different part along the same avalanche track Management control is required for road (artificial avalanche release) Check control for avalanche occurrences is	33°.45° (+3) E - N channelled > 25.000 m² > 3.500 m yes provided by R.M.S. (+5) yes yes no yes (+3) yes	1 1 1 3 1	1 1 1 1 1 5 1 1 1 3 1	S irregular 10.000 - 25.000 m² 3.000 - 3.500 m not clear no, but very close to it yes, but with a long way yes no uncertain occasional	1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	W open slope < 10.000 m² < 3.000 m (+3) no if provided by R.M.S. (+5) no no no yes no no no	1 1 1	1 1 3 5 1 1 1 1
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone Mean elevation of release zone Documented events and references Release zone crosses the road track zone crosses the road Tanout zone crosses the road Dangerous slope downstream of the road possible obstruction of gallery (entry - exit) Avalanche can interest road in different part along the same avalanche track Management control is required for road (artificial avalanche release) Check control for avalanche occurrences is required at least for a winter season before	33°.45° (+3) E - N channelled > 25.000 m² > 3.500 m yes if provided by R.M.S. (+5) yes yes no yes (+3) yes yes no	1 1 1 3 1	1 1 1 1 1 5 1 1 1 3 1	S irregular 10.000 - 25.000 m² 3.000 - 3.500 m not clear no, but very close to it yes, but with a long way yes no uncertain occasional	1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	W open slope < 10.000 m² < 3.000 m (+3) no if provided by R.M.S. (+5) no no yes no no no yes (+3)	1 1 1	1 1 3 5 1 1 1 1 1 1 3
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone Mean elevation of release zone Documented events and references Release zone crosses the road track zone crosses the road Runout zone crosses the road Runout zone crosses the road Pangerous slope downstream of the road possible obstruction of gallery (entry - exit) Avalanche can interest road in different part along the same avalanche track Management control is required for road (artificial avalanche release) Check control for avalanche occurrences is required at least for a winter season before planning the work	33°-45° (+3) E - N channelled > 25,000 m² > 3,500 m yes if provided by R.M.S. (+5) yes no yes (+3) yes yes no	1 1 1 3 1 1	1 1 1 1 1 5 1 1 1 3 1 1	S irregular 10,000 - 25,000 m² 3,000 - 35,000 m not clear no, but very close to it yes, but with a long way yes no uncertain occasional no	1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	W open slope < 10.000 m² < 3.000 m (+3) no if provided by R.M.S. (+5) no no yes no no yes (+3)	1 1 1	1 1 3 5 1 1 1 1 1 1 3
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone Mean elevation of release zone Documented events and references Release zone crosses the road track zone crosses the road Runout zone crosses the road Runout zone crosses the road Runout zone crosses the road angerous slope downstream of the road possible obstruction of gallery (entry - exit) Avalanche can interest road in different part along the same avalanche track Management control is required for road (artificial avalanche release) Check control for avalanche occurrences is required at least for a winter season before planning the work Exposure time	33°-45° (+3) E - N channelled > 25.000 m² > 3.500 m yes provided by R.M.S. (+5) yes yes no yes (+3) yes yes no	1 1 1 3 1	1 1 1 1 1 5 1 1 1 1 3 1 1	S irregular 10.000 - 25.000 m² 3.000 - 3.500 m not clear no, but very close to it yes, but with a long way yes no uncertain occasional no desirable medium (20-100 m)	1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	W open slope < 10.000 m² < 3.000 m (+3) no if provided by R.M.S. (+5) no no yes no no yes (+3) yes (+3) short (+20 m)	1 1 1	1 1 3 5 1 1 1 1 1 1 3
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone Mean elevation of release zone Documented events and references Release zone crosses the road track zone crosses the road track zone crosses the road Dangerous slope downstream of the road possible obstruction of gallery (entry - exit) Avalanche can interest road in different part along the same avalanche track Management control is required for road (artificial avalanche release) Check control for avalanche occurrences is required at least for a winter season before planning the work Exposure time benefiticost ratio (estimated)	33°-45° (+3) E - N channelled > 25,000 m² > 3,500 m yes if provided by R.M.S. (+5) yes no yes (+3) yes yes no	1 1 3 1 1 1	1 1 1 1 1 5 1 1 1 1 3 1 1 1	S irregular 10,000 - 25,000 m² 3,000 - 35,000 m not clear no, but very close to it yes, but with a long way yes no uncertain occasional no	1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	W open slope < 10.000 m² < 3.000 m (+3) no if provided by R.M.S. (+5) no no yes no no yes (+3)	1 1 1	1 1 3 5 1 1 1 1 1 3
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone Mean elevation of release zone Documented events and references Release zone crosses the road track zone crosses the road Runout zone crosses the road Runout zone crosses the road Runout zone crosses the road angerous slope downstream of the road possible obstruction of gallery (entry - exit) Avalanche can interest road in different part along the same avalanche track Management control is required for road (artificial avalanche release) Check control for avalanche occurrences is required at least for a winter season before planning the work Exposure time	33°-45° (+3) E - N channelled > 25.000 m² > 3.500 m yes provided by R.M.S. (+5) yes yes no yes (+3) yes yes no	1 1 1 3 1 1	1 1 1 1 1 5 1 1 1 1 3 1 1	S irregular 10.000 - 25.000 m² 3.000 - 3.500 m not clear no, but very close to it yes, but with a long way yes no uncertain occasional no desirable medium (20-100 m)	1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	W open slope < 10.000 m² < 3.000 m (+3) no if provided by R.M.S. (+5) no no yes no no yes (+3) yes (+3) short (+20 m)	1 1 1	1 1 3 5 1 1 1 1 1 1 3
	Slope angle Slope aspect for drifting snow Slope morphology Extension of release zone Mean elevation of release zone Mean elevation of release zone Documented events and referent Release zone crosses the road track zone crosses the road Runout zone crosses the road Runout zone crosses the road pangerous slope downstream of possible obstruction of gallery (er Avalanche can interest road in dii along the same avalanche track Management control is required t (artificial avalanche release) Check control for avalanche occu required at least for a winter seas planning the work	the road htry - exit) ifferent part for road	E - N channelled > 25.000 m² > 3.500 m yes if provided by R.M.S. (+5) yes yes no yes (+3) yes or road on the road no the road thry - exit) yes or road no the road no the road no the road no no the road no the r	E - N channelled > 25.000 m ² > 3.500 m yes if provided by R.M.S. (+5) 5 yes 1 no 1 yes (+3) yes 1 ferent part or road no 1 urrences is on before no 1 1	E - N	E - N 1 S irregular 1 1 1 S irregular 1 1 1 S irregular 1 1 1 S irregular 1 1 1 S irregular 1 1 1 S irregular 1 1 1 S irregular 1 1 1 S irregular 1 1 irregular 1 1 irregular 1 1 S irregular 1 1 irregular 1 1 irregular 1 1 S irregular 1 irregula	E - N 1 S 1	E - N 1 S 1 1 1	E - N 1 S 1 1 W Open slope	Channelled

Tab.2 - ATES (Avalanche Terrain Exposures Scale) Elaborazione fogli di calcolo (esempio).

il software IdrisiGis per la parte di analisi e con Arcinfo per la parte di rappresentazione cartografica, ha consentito di ottenere le basi cartografiche, partendo dal modello digitale del terreno. E' stata prodotta una base in scala 1:25.000, utilizzata come inquadramento generale, e diverse tavole alla scala 1:10.000 (carta delle esposizioni e delle inclinazioni con la localizzazione probabile delle valanghe). Le scale di rappresentazione hanno tenuto conto della notevole estensione dell'area, pari a circa 150 kmq. La cartografia tematica realizzata ha consentito di riconoscere e discriminare arealmente i vari elementi ed aspetti utili ai fini dello sviluppo del lavoro. Un dato importante, legato al reale utilizzo delle immagini satellitari, è stato il fatto che l'altimetria dell'area da studiare è compresa tra 2.700 metri e circa 5.000 metri di quota. La vegetazione nell'area arriva proprio al limite dei 2.700 metri, con qualche rara pianta di pistacchio. Ciò significa immagini generalmente "pulite". Tale aspetto, se da un lato semplifica l'elaborazione cartografica, dall'altro elimina l'aiuto che può venire dall'interpretazione dei testimoni muti, rappresentati appunto dall'elemento vegetazionale.

La carta clivometrica, in gradi, è stata riclassificata in 5 classi, in accordo con le disposizioni del Canadian Avalanche Association e ulteriormente adattata al caso specifico (Tab.1a e 1b).

La differenza, introdotta nella classe 1, tiene conto della run-out zone, in accordo con i modelli topografici. Si tratta di un valore mediato e tendenzialmente cautelativo tra quanto statisticamente riportato negli studi specifici, condotti in Norvegia e sulle Alpi (Italia e Francia). Tale valore rappresenta l'inizio della run-out zone.

Le ulteriori differenze sono state introdotte soprattutto a scopo cautelativo, per tenere conto delle indeterminazioni legate all'effettiva risoluzione del modello digitale del terreno.

Le sigle LF e HF hanno il significato di Low Frequency a High Frequency, in modo da considerare un ulteriore parametro discriminante, basato sulla maggiore o minore frequenza dei fenomeni, anche se questo aspetto meriterebbe ulteriori considerazioni. In particolare a LF è stato attribuito un tempo di ritorno indicativo dei fenomeni compreso tra 5 e 30 anni, mentre a HF è stato attribuito un tempo di ritorno indicativo compreso tra 1 e 5 anni.

La colorazione utilizzata è quella standard CAA, che riporta anche all'immediatezza, rappresentata dalla scala di pericolosità crescente.

L'individuazione dei siti valanghivi, riportati sulla carta clivometrica (Figg. 6a, 6b) e sulla carta delle esposizioni che, di fatto, rappresentano anche la cartografia di localizzazione probabile dei fenomeni valanghivi, è stata ottenuta, in prima battuta, dalle analisi della carta clivometrica e morfologica, con confronti condotti anche sulle immagini ortofoto satellitari ad alta risoluzione. La calibrazione finale è stata fatta dopo la visita on-site e la raccolta delle informazioni dirette sul posto, effettuata con l'impostazione utilizzata per la raccolta delle testimonianze dirette. Purtroppo, tale fase sul terreno, ha dovuto essere condotta in modo semplificato e speditivo, sia per la limitazione del tempo a disposizione, sia per le difficoltà linguistiche e logistiche. Le informazioni raccolte, grazie al supporto del Servizio di manutenzione della strada, non sempre sono risultate chiare e affidabili, soprattutto con riferimento alla freguenza dei fenomeni. La verifica diretta e le informazioni raccolte, hanno tuttavia fornito degli utili riscontri, che hanno permesso di ottenere una buona calibrazione finale. Non è stato invece possibile recuperare i rapporti relativi agli incidenti per valanga e, indirettamente, all'effettiva mortalità legata ai fenomeni valanghivi. A livello cartografico si è preferito evitare la differenziazione tra fotointerpretazione ed eventi documentati. Sono stati individuati e discriminati oltre 120 siti valanghivi, suddivisi in 2 macroaree, con riferimento al passo del Salang, lato sud e lato nord. Infine, per i siti valanghivi considerati più critici o rappresentativi, è stata riportata una sezione di riferimento sulla quale sono poi state condotte le successive simulazioni, usando in questa fase del lavoro il software Aval-1D.

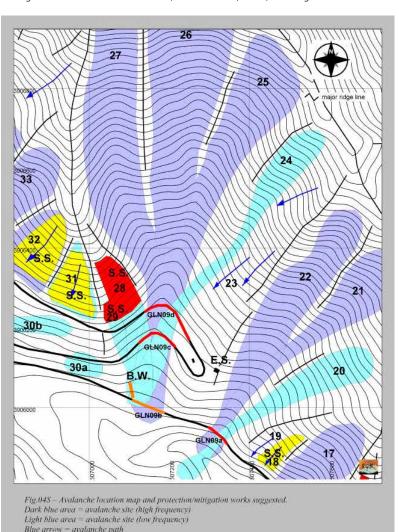
In considerazione delle limitazioni esistenti, nonché a fronte anche dei risultati ottenuti con il metodo analitico, utilizzato nello studio GRF sopra menzionato, si è ritenuto opportuno affrontare il problema della valutazione del rischio attraverso una metodologia sostanzialmente nuova, che, sebbene di tipo più qualitativo, fosse soprattutto pratica e applicabile al contesto reale, con lo scopo di arrivare a definire delle priorità di intervento, basate sia sull'incidenza dei diversi fattori, sia sui costi.

La valutazione del rischio è stata quindi espletata sulla base degli elementi disponibili e adottando il metodo canadese noto con l'acronimo ATES (Avalanche Terrain Exposure Scale). Si tratta di un metodo empirico, sviluppato da Parks Canada e dal Canada Avalanche Association, testato e usato in contesti dove esistono poche informazioni sugli eventi valanghivi e/o con molte incertezze, come appunto nel caso in esame.

E' stata quindi utilizzata una tavola ATES

di riferimento, implementata ad hoc e combinata con le informazioni disponibili e con i dati derivati dalle elaborazioni cartografiche. Ogni sito valanghivo cartografato è stato preso in considerazione e analizzato sulla base dei fattori di rischio e di criticità riportati nella tavola di riferimento. I risultati, in termini di priorità di intervento, sono stati trasferiti su schede tecniche di riferimento, con base topografica di dettaglio e accompagnate da ogni informazione descrittiva, sia per quanto riguarda il sito valanghivo, sia per quanto riguarda gli interventi proposti, con le eventuali criticità e la stima dei costi per ogni intervento proposto. Durante questo processo, i risultati ottenuti in forma preliminare, sono stati verificati, calibrati e integrati con le informazioni dirette, acquisite durante le visite effettuate on-site. Sono stati proposti tre differenti livelli di priorità di intervento, basati appunto sui principali fattori individuati e riportati nella tavola ATES di riferimento, ai quali è stato attribuito un maggiore o minore "peso numerico" in funzione della relativa criticità. Per i calcoli sono stati implementati degli specifici fogli di calcolo excel (Tab.2). La tipologia degli interventi di mitigazione proposti (Fig. 7) è stata decisa principalmente sulla base delle caratteristiche morfologiche dei siti valanghivi e della loro estensione, dei costi delle possibili differenti soluzioni, nonchè dall'esperienza personale.

Ad esempio, il distacco artificiale, ha generalmente un rapporto elevato di beneficio/costo, ma la gestione di un tale



Red area = snow supporting structures suggested (priority 1 - S.S.) Yellow area = snow supporting structures suggested (priority 3 - S.S.) Red line = new gallery suggested (priority 1 - GLN)

Green line = existing gallery (GL) E.S. = Emergency Shelter (existing) Contour line = 10 m - Map Grid = 200 m

Orange line = new gallery and breast wall suggested (priority 2 - GLN - B.W.)

Fig.7 - Rappresentazione cartografica con tipologia degli interventi proposti differenziati per sito/siti valanghivi e priorità.

OPERE DI DIFESA E DISTACCO ARTIFICIALE

Fig.8 - Scheda tecnica descrittiva interventi proposti per sito/siti valanghivi identificati e priorità.

Avalanche site (South Salang pass) ID # 23-24-25-26-27 Three different road locations (UTM coordinates and/or chainage) upper 507200.4222 E – 3906248.0760 N intermediate 507177.8686 E – 3906176.8146 N lower 507135.8269 E – 3905997.8698 N Priorità 1 (upper and intermediate) Priorità 2 (lower)

Scenario (HF or LF) and hazard (estimated road length affected by avalanche in meters)

HF (high frequency) = 1-5 y

upper and intermediate part of the road 120-185

LF (low frequency) = 5-30 y

lower part of the road 100

Damage potential description

Avalanches can reach the road in different time. The road has a double S curve and cross the most track avalanche path. In normal condition avalanches can reach the upper and medium part of the road. In case of important snow fall, avalanche can reach the lower part of the road too.

Mean area	Mean slope	Mean aspect	Mean elevation	Max elevation
150,000 (total)	35	S - SW	3190	3410

Very large wide and different avalanche sites that can release in different time. The different avalanche sites are mainly channeled and they have in common the last part of the avalanche track, just before the upper road intersection.

Due to different aspects of the slopes is possible to have snow drift and snow accumulation in the release areas.

Documented events and source

No special report on documented events but suggestion of mitigation works (O&M Dpt./MOPW).

During on-site visit (April 2019) the road maintenance service confirmed avalanche occurrences coming from these avalanche sites.

Existing protections/mitigation measures

Breast wall in the upper part of the road but it doesn't solve the problem.

Suggested protections/mitigations works by S.G.N.

After the on-site visit, the previous suggested artificial avalanche release has been abandoned due to the very articulated morphology in the release area. At the same manner the construction of a retain dam to protect the lower part of the road seems to be a problem for the lack of space. So we suggest two new galleries in priority 1 for the upper and medium part of the road and a third new gallery in priority 2 for the lower part of the road. We suggest the construction of a breast wall too for the third gallery, to guide the avalanche flow and reduce possibly overflow.

Mitigation works, design recommendations and approximate cost (US\$)

Gallery GLN09d (upper - priority 1):

It's possible to foresee about 165 meters of new gallery with the follow UTM and chainage references:

Start=507258.0528E - 3906144.7251N - 36+395 End=507156.8557E - 3906250.4708N - 36+560.

Gallery GLN09c (medium - priority 1):

It's possible to foresee about 140 meters of new gallery with the follow UTM and chainage references:

Start=507119.2439E - 3906152.7593N - 36+100 End=507227.1005E - 3906126.4076N - 36+240.

Gallery GLN09b (lower - priority 2):

It's possible to foresee about 80 meters of new gallery with the follow UTM and chainage references:

Start=507182.2193E - 3905978.1676N - 35+170 End=507108.9474E - 3906010.8143N - 35+250.

Design recommendations:

Avalanche dynamic and static data set at the road intersection (see final report and reference table in annex 04)

Estimated cost: 15,000/ml = 15,000*305 = 4,575,000 (priority 1)) Estimated cost: 15,000/ml = 15,000*80 = 1,200,000 (priority 2)

Breast Wall (priority 2):

the breast wall must be in reinforced concrete.

It's possible to foresee a length of about 40 meters, starting from the west side entrance of the new lower gallery.

Design recommendation:

H = 3 meters. $P_{max} = 30$ KPa

Comment

No comment

Tab.3 - γ=densità
neve, d=spessore
neve, Va=velocità
valanga, L=lunghezza
della deviazione,
β=acceleraz. gravità,
β=cambio pendenza,
θ=angolo tetto galleria
sull'orizzontale,
c=coefficiente di frizione
compreso tra 0,2 e 0,55.

Action (loads – Pressure)	Pressure (normal) KN/mq = KPa	Pressure (tangential) KN/mq = KPa	
Soil thickness (over GL)	$Psoil = \gamma dsoil \cos \theta$	$Ptsoil = Pnsoil tan\theta$	static
Natural snow cover (over GL)	$Pnsc = \gamma \ dsc \cos\theta$	$Ptsc = Pnsc \ tan\theta$	static
Avalanche accumulation (over GL)	$Pnaa = \gamma \ daa \cos\theta$	$Ptaa = Pnaa \ tan \theta$	static
Pressure of avalanche (deflection)	$Pna = \gamma Va^2 dfh sin\beta/g L$	Pta = c Pna	dynamic
Avalanche snow flow (over GL)	$Pnaf = \gamma \cdot dfh1 \cos\theta$	Ptaf = c Pnaf	dynamic

sistema non è facile nel contesto specifico e quindi tale tipologia di intervento è stata volutamente limitata a situazioni non altrimenti risolvibili. I rilevati e gli argini deviatori hanno generalmente un rapporto beneficio/costo migliore rispetto alle opere fermaneve, con costi minori di manutenzione e non necessitano, generalmente, di imprese specializzate per la realizzazione; le gallerie, infine, hanno un basso rapporto beneficio/costo per via degli elevati costi di realizzazione, che in Afghanistan sono stati considerati pari a 15.000 \$/ml. Nel lavoro in oggetto le gallerie hanno comunque avuto una grande considerazione, soprattutto nell'ottica di riabilitare e ottimizzare quelle esistenti e, laddove inevitabile, proporne di nuove.

SOPRALLUOGHI E MEETING

Nell'aprile 2019 è stato effettuato un sopralluogo tecnico lungo la strada del Salang, con riferimento al tratto oggetto dello studio. L'organizzazione non è stata semplice e ha richiesto il supporto logistico locale, con servizio di scorta armata e auto blindata. I pernottamenti sono avvenuti in prossimità dell'accesso nord del tunnel del Salang, ad una quota di circa 3.400 m., presso una struttura di fortuna, temporaneamente rimessa in servizio. Nell'operazione sono state coinvolte diverse persone, tra cui una rappresentanza del Ministero dei Lavori Pubblici afgano e del servizio di manutenzione invernale della strada (R.M.S.), oltre all'interprete locale, autista e cuoco. Il sopralluogo è stato necessario e utile per acquisire alcune informazioni indispensabili legate ad esempio ai punti critici quali l'estensione delle gallerie esistenti in relazione ai fenomeni valanghivi ricorrenti, gli accumuli eolici frequenti, le zone valanghive più critiche e, in alcuni casi, le frequenze di occorrenza, nonché tutte le eventuali problematiche connesse, come la necessità di trovare soluzioni per ridurre i fenomeni di trasporto eolico all'interno delle gallerie esistenti, senza penalizzare esageratamente la luminosità naturale e la necessaria circolazione d'aria. Gli elementi raccolti

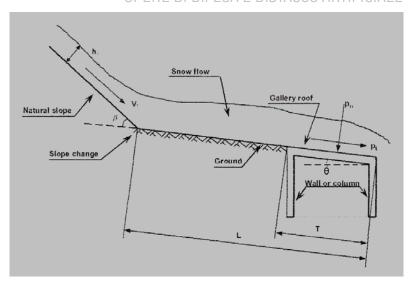


Fig.9 - Schema semplificato dei parametri considerati nel calcolo delle pressioni agenti sul tetto di una galleria paravalanghe.



Fig.10 - Vista sulle gallerie #17-18 (April 10,2019).



Fig.11 - Vista sui siti valanghivi #46-47 con alcune vecchi frangivento (April 10,2019).



Fig.12 - Vista sui siti valanghivi #28-29 (April 11,2019).

Fig.13 - Distribuzione dell'esposizione al pericolo di valanga nella sezione di strada considerata rosso (1)=16,592 m=55%, verde (2)=13,605 m=45%, totale=30,197 m=100%.

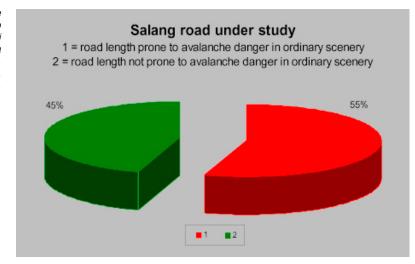


Fig.14 - Distribuzione dei costi degli interventi di mitigazione proposti in rapporto alle priorità P1=29,958, P2=6,433, P3=16,898.

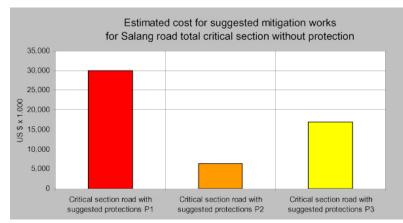


Fig.15 - Distribuzione
dei costi degli interventi
di mitigazione proposti
in rapporto alle
priorità e alla tipologia
Priority 1+2 (New
Galleries)=25,725,000
US\$=71%,
Priority 1+2 (Other
Solutions)=10,666,000
US\$=29%.

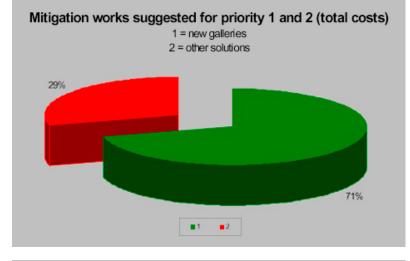
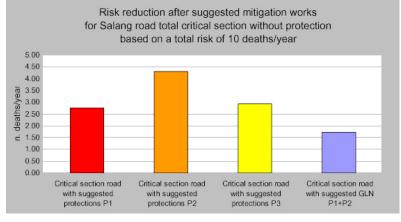


Fig.16 - Stima della riduzione del rischio dopo i lavori di mitigazione proposti. L'ultima colonna evidenzia l'incidenza delle nuove gallerie P1=2.75 deaths/year, P2=4,32 deaths/year, P3=2.93 deaths/vear.



hanno consentito una calibratura della cartografia iniziale e una ottimizzazione dei risultati e delle proposte di intervento, suggerite e descritte nelle schede tecniche (Figg. 8, 9). Le indagini sul terreno sono state limitate al percorso stradale, soprattutto per ragioni di sicurezza, in quanto i terreni esterni all'asse viario presentano ancora molte zone minate. Tale aspetto è stato anche evidenziato nei costi finali in quanto, laddove necessario, dovranno essere previste operazioni di controllo ed eventuale sminamento.

Nel corso del lavoro, che si è protratto per circa 8 mesi, sono state effettuate 2 altre trasferte a Kabul, per partecipare a meeting organizzati dalla World Bank e dal Ministero afgano per discutere i risultati emersi dallo studio. Un ulteriore incontro (Tab. 3) tecnico è stato infine organizzato a Davos tra il Dr. W. Amman (GRF e consulente della WB) e lo scrivente, nel quale sono stati verificati e concordati gli interventi proposti e le relative priorità, connesse con la fase 1 del lavoro (Figg.10, 11, 12).

CONCLUSIONI

Il presente articolo descrive a grandi linee e in modo semplificato alcuni aspetti tecnico-operativi, che hanno consentito di superare le limitazioni e le indeterminazioni inevitabilmente insite in una realtà difficile e precaria come quella afgana. Il lavoro svolto ha richiesto un notevole impegno, ma ha rappresentato anche uno stimolo alla conoscenza e all'analisi per la risoluzione di problemi complessi (Figg.13, 14, 15, 16). Tra di essi se ne citano alcuni come la necessità di considerare, nel fenomeno valanghivo, anche la componente legata alla movimentazione di materiale detritico trascinato dalla valanga, oppure la necessità di trovare un compromesso, tra l'esigenza di avere una circolazione di aria naturale nelle gallerie e ridurre, al contempo, l'effetto del trasporto eolico interno. La riabilitazione di vecchie gallerie paravalanghe si è rivelata essere un problema sostanziale e che ha posto diversi interrogativi, ad esempio sull'opportunità di una riabilitazione, piuttosto che di una nuova costruzione. In effetti, le gallerie

							STATIC	DYNAM						STATIC	DYNAM
Sim tests	Existing	Pnsoil	Pnsc	Pnaa	Pnaf	Pna	Pn static	Pn dyn	Ptsoil	Ptsc	Ptaa	Ptaf	Pta	Pt static	Pt dyn
	GL	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(Kpa)	(Kpa)	(Kpa)
22	1	10	12	10	12	3.32	32	15.32	1	2.16	1.8	4.80	1.329	3.96	6.13
43	2	10	12	10	12	14.428	32	26.43	1	2.16	1.8	4.80	5.77	3.96	10.57
43	3	10	12	10	12	14.428	32	26.43	3	2.16	1.8	4.80	5.77	3.96	10.57
26	4	10	12	10	12	11.629	32	23.63	- 3	2.16	1.8	4.80	4.65	3.96	9.45
43	5	10	12	10	12	14.428	32	26.43	1	2.16	1.8	4.80	5.77	3.96	10.57
43	6	10	12	10	12	14.428	32	26.43	3	2.16	1.8	4.80	5.77	3.96	10.57
15	7	10	12	1	12	3.51	22	15.51	1	2.16	1	4.80	1.40	2.16	6.20
15	8	10	12	X.	12	3.51	22	15.51	T.	2.16	1	4.80	1.40	2.16	6.20
15	9	10	12	- V	12	3.51	22	15.51	3	2.16	- A/	4.80	1,40	2.16	6.20
37	10	10	12	15	12	11.28	37	23.20	- 1	2.16	2.7	4.80	4.51	4.86	9.31
43	11	10	12	1	12	14.428	22	26.43	1	2.16	1	4.80	5.77	2.16	10.57
48	12	10	12	15	12	3.90	37	15.90	3	2.16	2.7	4.80	1.56	4.86	6.36
58	13	10	12	1	12	17.81	22	29.81	7	2.16	1	4.80	7.12	2.16	11.92
58	15	10	12	1	12	3.448	22	15.45	7	2.16	1	4.80	1.379	2.16	6.18
53	15	10	12	1	12	7.759	22	19.76	1	2.16	1	4.80	3.10	2.16	7.90
7	16	10	12	\ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \	12	7.479	22	19.48	-1	2.16	1	4.80	2.99	2.16	7.79
19	17	10	12	. \	12	15.07	22	27.07		2.16	1	4.80	6.03	2.16	10.83
19	18	10	12	V	12	15.07	22	27.07		2.16	1	4.80	6.03	2.16	10.83
24	19	10	12	1	12	17.528	22	29.53	7	2.16	1	4.80	7.01	2.16	11.81
26	20	10	12	1	12	8.23	22	20.23	1	2.16	1	4.80	3.29	2.16	8.09
38	21	10	12	1	12	7.57	22	19.57	1	2.16	1	4.80	3.028	2.16	7.83

paravalanghe del Salang, seppur in cattive condizioni e con ferri a vista, continuano a resistere da ben sessant'anni. senza alcuna manutenzione. Ciò contrasta con i risultati delle verifiche di stabilità delle strutture, basate sui carichi dinamici, calcolati nel contesto attuale e che ne evidenzierebbero, invece, la loro compromissione strutturale. E' evidente quindi che entrano in gioco anche altre variabili. E' altrettanto vero che i calcoli sono condotti su fenomeni rilevanti ed estremi e sommando più fattori negativi, che potrebbero non essersi mai presentati congiuntamente. Del resto, il calcolo, deve essere necessariamente più cautelativo come è giusto che sia, anche per le inevitabili indeterminazioni presenti. Nel caso specifico è stato fatto riferimento alle linee guida svizzere per la progettazione delle gallerie paravalanghe e ad un tempo di vita delle strutture pari a 50 anni. Purtroppo, a livello italiano, il calcolo delle pressioni agenti sulle gallerie paravalanghe è spesso sottovalutato e/o non affrontato nel modo più appropriato e secondo gli standard tecnici che la progettazione richiederebbe. A parere dello scrivente si tratta di un argomento molto interessante e che meriterebbe ulteriori studi di sviluppo e approfondimento, anche a livello internazionale. Gli interventi di mitigazione del rischio valanga, proposti nello studio effettuato, hanno riguardato l'implementazione di protezioni attive e passive (strutture fermaneve, gallerie, dighe di arresto e argini di deviazione), associate a sistemi di gestione del rischio

(distacco artificiale, monitoraggio, regolamentazione del traffico leggero e pesante e installazione di stazioni AWS, con ripristino dei rifugi di emergenza esistenti lungo il percorso).

Si tratta di investimenti strutturali importanti, dell'ordine di 50-60 milioni di dollari, senza contare la riabilitazione delle gallerie esistenti e i costi annuali della gestione attiva del rischio, attraverso l'implementazione di un apposito servizio. I soli interventi strutturali, infatti, non risolveranno le situazioni straordinarie

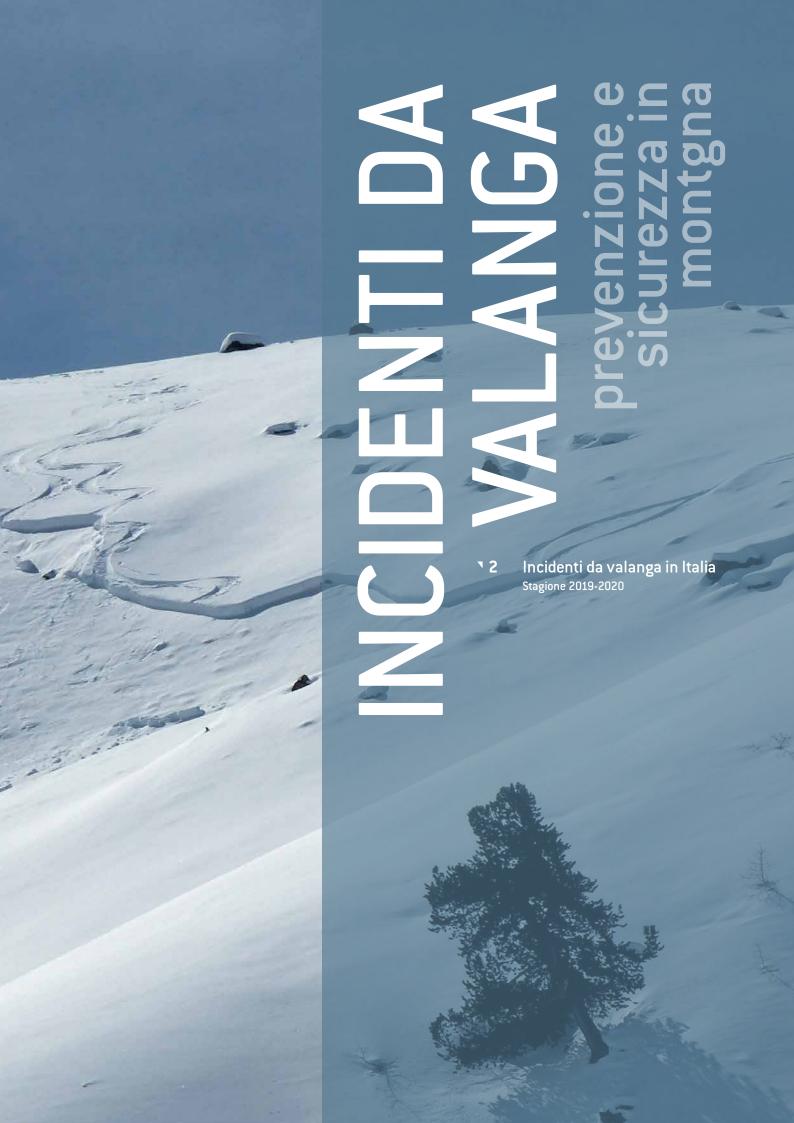
o particolarmente critiche, che richiederanno il monitoraggio e la raccolta/analisi dei dati nivometeo. Ciò anche a fronte dei cambiamenti climatici che, in Afghanistan, sembrano essere particolarmente evidenti. Tale aspetto dovrebbe consentire, finalmente, di superare anche quelle resistenze gestionali e organizzative che relegano, in questi Paesi, l'importante funzione del monitoraggio e della raccolta dati, fondamentali nel settore della neve e delle valanghe, ad un mero compito secondario di scarsa rilevanza pratica.

Tab.4 - Parametri di calcolo e risultati espressi come pressioni statiche e dinamiche, normali e tangenziali, per il dimensionamento conseguente alla riabilitazione delle gallerie paravalanghe esistenti.

Bibliografia

- BAFU/ SLF. 2014. Swiss Guidelines on Avalanche Hazard.
- Campbell C, Gould B. 2013. Proposition d'un modèle pratique pour le zonage à l'aide de l'échelle d'exposition en terrain avalancheux. Canadian Avalanche Centre, Revelstoke, British Columbia.
- Canada Avalanche Association. 2009. Guidelines for snow avalanche risk determination and mapping in Canada. CAA, Revelstoke, British Columbia.
- Christen M & altri. 2011. Sensitivity of snow avalanche simulations to digital elevation model quality and resolution. Annals of Glaciology, 52.
- Daudon D & altri. 2013. Sensivity of a reinforced concrete protective gallery under a snow avalanche load. Elsevier Structural Safety Journal, 41
- European Commission. 2009. The design of avalanche protection dams. Climate Change and Natural Hazard Research, Brussels.
- Ma Y. 2009. Analyse de l'effet d'une avalanche de neige sur un ouvrage de protection type galerie paravalanche. Thèse, Université de Savoie Sciences pour l'Ingenieur.
- New Zeland Governement. 2011. Applying the Avalanche Terrain Exposure Scale. Department of Conservation. New Zeland
- Office Federal des Routes OFROU-ASTRA 2007. Actions d'avalanches sur les galleries de protection. Directive, Berne, Switzerland.
- Rudolf F.-Miklau, Sauermoser S., Mears A.I. 2014. The technical avalanche protection handbook. Wiley Ed.
- Schellenberg K. 2016. Protection Level and Design of Rockfall and Avalanche Galleries. Road Office of Grisons, Chur, Switzerland.
- Statham G, McMahon B, Tomm I. 2007. The avalanche terrain exposure scale. Parks Canada Agency and Canadian Avalanche Association.
- Wilbur C. 2012. Structural Avalanche Defenses. Wilbur Engineering, ASCE, Colorado.





INCIDENTI da VAI A **STAGIONE 2019-2020**

Stefano Pivot

Regione Autonoma Valle d'Aosta Assetto idrogeologico dei bacini montani Ufficio neve e valanghe

AVALANCHE ACCIDENTS IN ITALY Season 2019-2020

The 2019-2020 season is the one with the fewest avalanche deaths in the last 8 years. You will immediately think that this is due to Covid and certainly there is a grain of truth, given that the day before the start of the lockdown in Italy, on March 8, the last incident took place and, after a long parenthesis, the first incident after the end of the lock-down occurred on May 7, four days later. However, it should be noted that the main reasons for the annual increase or decrease in avalanche accidents are, as always, linked to the stable conditions of the snow: winters with great instability lead to seasons with many accidents. The 2019-2020 season offered a mild winter with average amounts of snow. The snowpack had stable conditions for most of the season; the snowpack was unstable especially during snowfalls and after periods of strong wind. In fact, 75% of the accidents occurred within two days of the snowfall and 53% of the accidents occurred on the day of the snowfall or the day after. La stagione 2019-2020 è quella che ha registrato meno morti in valanga negli ultimi 8 anni. Subito penserete che ciò sia dovuto al Covid e sicuramente c'è un fondo di verità, visto che il giorno prima dell'inizio del lockdown in Italia, l'8 marzo, è avvenuto l'ultimo incidente e, dopo una lunga parentesi, il primo incidente dopo la fine del lockdown è avvenuto il 7 maggio, quattro giorni dopo. Bisogna però segnalare che i motivi principali dell'aumento o della diminuzione annuale degli incidenti in valanga sono, come sempre, legati alle condizioni di stabilità della neve: inverni con grande instabilità portano a stagioni con molti incidenti. La stagione 2019-2020 ha proposto un inverno mite con quantitativi di neve nella media. Il manto nevoso aveva, per buona parte della stagione, condizioni di stabilità; il manto nevoso era instabile soprattutto durante le nevicate e dopo i periodi di forte vento. Infatti il 75% degli incidenti sono avvenuti entro due giorni dalla nevicata e il 53% degli incidenti sono avvenuti il giorno della nevicata o il giorno dopo.



INCIDENTI DA VALANGA

Nella scorsa stagione 2019/2020, 13 persone sono morte in valanga contro una media ultratrentennale di 20 vittime all'anno. Gli incidenti mortali sono stati 10, un po' meno della media ultratrentennale, pari a 13 incidenti mortali per anno (Figg. 1 e 2). Ricordiamo che, per convenzione internazionale, l'anno di riferimento è l'anno idrologico che va dal 1° ottobre di un anno al 30 settembre di quello successivo. Due regioni da sole hanno avuto quasi tutte le vittime italiane: 6 nel Trentino-Alto-Adige e 4 in Valle d'Aosta (Fig. 3). Nella maggior parte degli incidenti mortali c'è stata solo una vittima; solo un incidente ha visto due vittime e un altro, avvenuto in pista, ben tre vittime.

Procediamo in ordine cronologico: la stagione invernale è cominciata già a novembre con grandi nevicate, ma anche molta pioggia sul manto nevoso. Nel solo mese di novembre registriamo il 15% degli incidenti dell'anno e ben 3 vittime

Da dicembre a febbraio ci sono state poche nevicate. Proprio nel mese di dicembre si è verificato il 53% degli incidenti e 8 vittime. Se diamo uno sguardo ad una scala maggiore, ci accorgiamo che sulle Alpi nel solo mese di dicembre ci sono stati 51 incidenti suddivisi tra Italia (n. 18), Svizzera (n. 21) e Francia (n. 12). Il 15 dicembre è il giorno della stagione che ha registrato il maggior numero di incidenti in valanga in Italia: 6 incidenti e un totale di 11 persone travolte, di cui 1 ferita e 3 decedute.

I mesi di marzo e aprile sono stati caratterizzati generalmente da bel tempo e buone condizioni di stabilità e questo mi fa dire che – opinione personale – anche senza lockdown non ci sarebbero stati tanti incidenti.

Riepilogando, abbiamo registrato 35 incidenti da valanga, con un totale di 54 persone travolte. Ovviamente non sono tutti gli incidenti da valanga avvenuti la scorsa stagione, perché il dato è sicu-

ramente sottostimato. Noi registriamo tutti gli incidenti di cui veniamo a conoscenza e di cui abbiamo sufficienti dati per documentarli; fortunatamente molti incidenti riguardano piccole valanghe e le persone travolte rimangono illese e si liberano da sole o con l'aiuto dei compagni. In queste situazioni spesso non si viene a conoscenza dell'incidente, per varie cause: la vergogna (amici, conoscenti o vari leoni da tastiera sono sempre pronti a dire - dopo - che a loro non sarebbe mai accaduto), la paura di eventuali consequenze giudiziarie (ricordiamo che l'Italia è l'unico paese dell'arco alpino a prevedere il reato di valanga) o semplicemente il non sapere a chi raccontare l'accaduto; ebbene sappiate che noi, nivologi dei vari uffici valanghe AINEVA, siamo ben lieti di ascoltare i vostri racconti e raccogliere le vostre informazioni, ai fini principali di prevenzione (per imparare dalle esperienze degli altri) e, perché no, anche per avere un riscontro sulle condizioni di instabilità trovate e quindi per verificare l'accuratezza del bollettino valanghe. Tornando ai numeri, il 20% delle persone travolte erano straniere: 10 di nazionalità tedesca (di cui 4 decedute) e 1 austriaca.

Come d'abitudine, la maggior parte degli incidenti, 14 incidenti per un totale di 8 vittime, è avvenuta con un grado di pericolo valanghe pari a 3-marcato. 11 incidenti (2 vittime) sono avvenuti con il grado di pericolo 2-moderato, 2 incidenti (2 vittime) con il grado 4-forte e 1 incidente con il grado 1-debole che ci ricorda che il pericolo valanghe zero non esiste (Fig. 4). Bisogna comunque ricordare che il grado di pericolo indicato nel bollettino valanghe è una previsione e come tale contiene un certo grado di incertezza, inoltre è emesso a scala regionale, questo vuol dire che nella zona locale dove si è verificato l'incidente il grado di pericolo può essere differente. Un dato importante: 7 incidenti (1 vittima), ovvero ben il 20% degli incidenti registrati, sono avvenuti senza che fosse emesso un grado di pericolo valanghe





Fig. 2



Fig. 3

nel bollettino; sono incidenti avvenuti a inizio stagione (uno il 1° di novembre) o a fine stagione (due a maggio e tre a fine di giugno) o, più raramente, nel periodo estivo (uno a fine settembre).

Se guardiamo le esposizioni più coinvolte, si conferma ancora una volta il trend italiano: la maggior parte degli incidenti avviene alle esposizioni più calde (il 53% degli incidenti tra le esposizioni W, S e SE), specialmente all'esposizione sud-est. A titolo di esempio, non esaustivo, segnalo una possibile e semplice spiegazione: la maggior parte degli incidenti da valanga avviene a causa della presenza di valanghe a lastroni formati dal vento; i venti dominanti provengono da nord-ovest e quindi accumulano la neve e formano lastroni da vento principalmente sui pendii esposti a sud-est (Fig.5). In ogni caso bisogna stare attenti ad utilizzare quei metodi di riduzione del rischio che considerano le esposizioni più fredde (=settentrionali, da NW, N a E) in teoria più pericolose, in favore di quelle più calde, in realtà altrettanto pericolose.

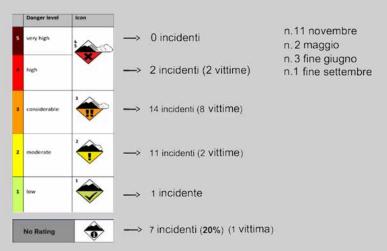
Se analizziamo gli incidenti in base alle categorie, ovvero in base all'attività che si stava praticando, vediamo confermato il trend abituale: il 51% degli incidenti è avvenuto nello scialpinismo (di cui 11% in salita, 89% in discesa), il 20% nello sci fuoripista e l'11% nell'alpinismo (Fig. 6). Talvolta è difficile distinguere correttamente una categoria dall'altra; classici esempi fonte di dubbi: lo scialpinista travolto mentre risaliva un ripido pendio con picca e ramponi e gli sci nello zaino (categoria scialpinismo) oppure l'alpinista con gli sci ai piedi, che viene travolto durante l'avvicinamento alla cascata di ghiaccio (categoria alpinismo). Per chiarire, inseriamo l'incidente in base allo sport praticato perché sottintende una certa mentalità e un consequente atteggiamento. Non inseriamo le categorie in base al sovraccarico, anche perché è un concetto in parte superato, visto che è più importante il punto di innesco, ma su questo aspetto ci tornerò prossimamente (stay tuned!). Se ci sono più categorie





Fig. 4

Incidenti e indice di pericolo previsto dal bollettino neve e valanghe



presenti, per es. scialpinisti e ciaspolatori, si metterà la categoria prevalente. Un solo incidente ha visto coinvolta una persona con racchette da neve, purtroppo deceduta (Fig. 7). Due incidenti da valanga sono avvenuti sulle piste da sci. Uno in particolare è stato l'incidente italiano più grave della stagione: era il 28 dicembre 2019 nel comprensorio Senales in Trentino-Alto-



Fig. 5

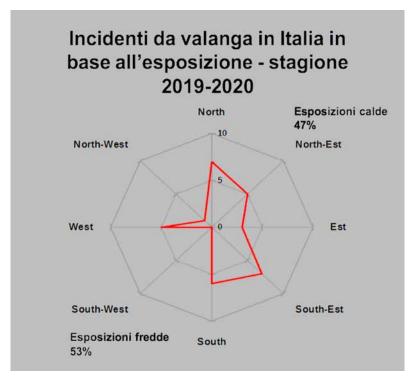


Fig. 6

Incidenti per categorie:

stagione 2019-2020

51% scialpinismo (11% in salita, 89% in discesa)

20% fuoripista

6% in pista

11% alpinismo

3% racchette da neve

🥯 9% sulla strada

100% = n. 35 incidenti

Adige quando una valanga, distaccatasi dal pendio a monte, si è abbattuta sulla pista di rientro travolgendo 6 persone, tra cui dei bambini, con pesanti consequenze: tre persone decedute (mamma di 25 anni e due bambine di 7 anni) e due persone ferite (papà e suo figlio di 11 anni). I numeri del soccorso sono imponenti: sono stati utilizzati 4 elicotteri, 5 cani da valanga e 75 soccorritori (Fig. 8). Infine, per terminare la suddivisione degli incidenti da valanga per categoria, bisogna segnalare alcuni incidenti, tutti con persone illese, che hanno visto coinvolti degli automezzi che transitavano sulle strade, in particolare in un caso una valanga ha travolto tre pulmini-taxi sulla strada lungo un passo di montagna, strada in precedenza chiusa per pericolo valanghe e appena riaperta; i tre autisti coinvolti sono usciti illesi (Fig. 9).

Un aspetto particolare emerso in questa stagione 2019/2020 riguarda gli esperti scialpinisti/alpinisti travolti in valanga e deceduti e il bilancio è pesante: 4 guide alpine o aspiranti guida (3 morti e 1 ferito gravemente), 1 maestro di sci e 1 membro del CAAI. Ci si domanda come mai tutti questi esperti siano stati travolti da valanghe con conseguenze molto gravi e viene subito da pensare che forse stessero facendo qualche cosa di estremo, con un rischio elevatissimo. I fatti lo smentiscono: alcune escursioni erano impegnative, ma come lo sono molte escursioni, alla portata di molti scialpinisti e alpinisti. Qualcuno potrà pensare che, essendo dei professionisti, frequentino sovente l'ambiente innevato e quindi, essendo tanti giorni dell'anno sulla neve, è normale che la probabilità di incidente, anche mortale, sia più elevata. Sicuramente c'è una parte di verità in quest'affermazione, tuttavia se facciamo un paragone con la stagione estiva, vediamo che le stesse categorie di esperti freguentano la montagna per un buon numero di giornate, in ambienti altrettanto rischiosi, quali pareti verticali, ghiacciai o creste, eppure gli incidenti mortali sono molto minori. A mio parere bisogna essere realisti e accettare che la

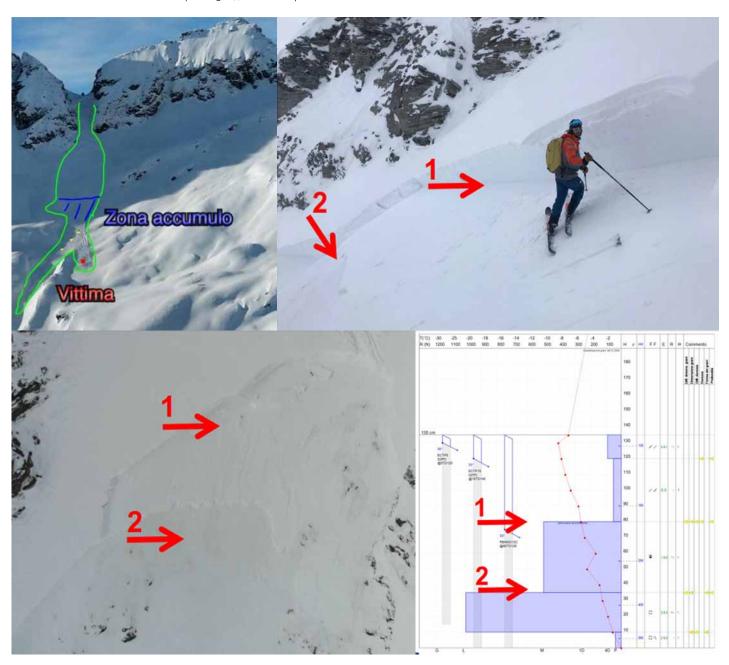
INCIDENTI DA VALANGA

gestione del rischio valanghe è più difficile, perché contiene una parte aleatoria e sconosciuta anche ai migliori esperti. Con le valanghe noi (= guide, nivologi, ecc.) non siamo così bravi come nella gestione degli altri rischi montani (crepacci, creste, ecc.): la materia è più difficile, perché la nivologia è una scienza giovane e purtroppo non abbiamo ancora capito tutto. Dopo l'incidente, quando vado a fare un sopralluogo, spesso è semplice capire perché la valanga a lastroni si è staccata... dopo però! Ogni volta guardo il pendio svalangato e cerco di vedere quali erano le informazioni che, prima che scendesse la valanga, potevano essere osservate e conosciute per capire che lì, su quel pendio, era meglio non andare in quel momento. Diverse volte ho constatato che non c'era nessun segnale preventivo inequivocabile e quindi ho tratto la conclusione che, in quell'incidente in valanga esaminato, avrei potuto tranquillamente esserci io. Non vuole essere un messaggio disfattista e pensare quindi che sia meglio affidarsi al caso. E' giusto studiare e impararne sempre di più sulla materia neve e sulla gestione del rischio (e a questo proposito consiglio la lettura dell'articolo "Ridurre l'esposizione al rischio di valanghe" di Alain Duclos pubblicato sul numero 94 della rivista "Neve e Valanghe), "cercando però di essere realisti e

quindi acquisire la consapevolezza che è possibile evitare molte valanghe, soprattutto quelle catastrofiche che coinvolgono tutto il gruppo, ma non è possibile avere la certezza e la capacità di evitarle tutte, anche se siamo espertissimi.

Ma torniamo ai dati evidenziati in questa stagione: in tre differenti incidenti gli esperti erano da soli. In almeno due casi gli scialpinisti travolti sono morti per asfissia, non avevano ferite e non erano sepolti particolarmente in profondità; tutte queste condizioni fanno verosimilmente ritenere che, se ci fosse stato un compagno con loro, questo avrebbe avuto la possibilità di soccorrerli efficacemente.

Fig. 7 - 15 dicembre 2019 incidente mortale in Piemonte nella zona del Monte Rosa.



INCIDENTI DA VALANGA

Fig. 8 - 28 dicembre 2019 Trentino-Alto-Adige Comprensorio sciistico Senales. Valanga su pista.



Fig. 9 - 21 dicembre 2019 Veneto valanga sulla strada – Passo di Valparola.





gli esperti hanno volutamente scelto di non portare l'ARTVA e questa è una scelta opinabile. In entrambi gli incidenti questa scelta non avrebbe cambiato l'esito fatale, perché nella zona dell'incidente non era presente nessuno, ma questo non lo sappiamo a priori; soprattutto negli ultimi anni, con l'aumentato numero di appassionati di scialpinismo, pur partendo da soli, potremmo trovarci nella condizione di essere soccorsi da compagni occasionali o essere noi a soccorrere qualcuno travolto da valanga. Chiudiamo il discorso sugli esperti per aprirne un altro molto importante che riquarda gli sciatori fuoripista "inconsapevoli" coinvolti in incidenti da valanga, un trend in crescita nell'ultimo decennio. Qui il discorso è molto differente e opposto a quello degli esperti: queste persone amano sciare in pista e non conoscono il fuoripista, il cosiddetto freeride. Ogni tanto decidono di percorrere un piccolo tratto fuoripista, poco distante dal bordo delle piste oppure attraversano un tratto fuoripista per passare da una pista ad un'altra. Ovviamente si accorgono di essere in fuoripista, nella neve fresca o comunque non battuta, ma non sono consapevoli del pericolo valanghe perché nella loro testa sono convinti di essere ancora all'interno del comprensorio sciistico gestito e protetto. Spesso sono attratti dalla bellezza della neve fresca e dalla pubblicità sulle riviste e sul web, dove si vedono freerider da

Un altro aspetto particolare: in due casi

soli, che "danzano" nella neve farinosa e poi pensano "sono così vicino alla pista, cosa succederà mai ...". Quando vengono travolti dalla valanga non sanno cosa fare, perché non hanno le conoscenze per gestire un autosoccorso e neanche i materiali necessari, il trittico ARTVA, sonda e pala. Questo è un target di persone che dovrà essere sensibilizzato e informato con messaggi e campagne mirate, perché è evidente che questi sciatori fuoripista "occasionali" non leggeranno mai il bollettino valanghe né altri avvisi, proprio perché ritengono che il fenomeno delle valanghe non riguarda gli ambiti in cui sciano. Spesso le valanghe sono piccoline, ma risultano fatali a causa del terreno: micidiali trappole morfologiche, quali piccoli canyon concavi, dove anche un piccolo lastrone è sufficiente a seppellire una persona. Vediamo alcuni di questi esempi. Il 23 dicembre a Passo Gardena uno sciatore in fuoripista, poco vicino alle piste, viene

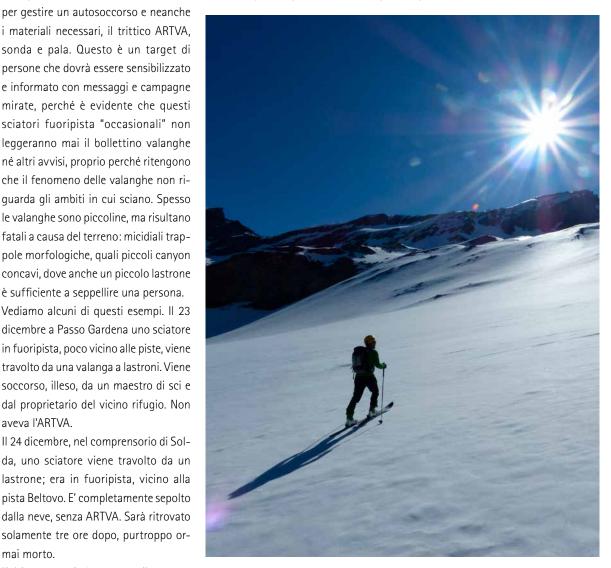
Il 24 dicembre, nel comprensorio di Solda, uno sciatore viene travolto da un lastrone; era in fuoripista, vicino alla pista Beltovo. E' completamente sepolto dalla neve, senza ARTVA. Sarà ritrovato solamente tre ore dopo, purtroppo ormai morto.

aveva l'ARTVA.

L'ultimo esempio è avvenuto il 4 marzo nell'area San Pellegrino. Due maestri di sci accompagnano 9 adolescenti. Sono in fuoripista, vicino alla pista Paradiso, quando una valanga a lastroni travolge e seppellisce completamente un ragazzo di 13 anni; solo il guanto è visibile. Viene soccorso, illeso, dai pisteur e dalla polizia in circa 10 minuti. La valanga era piccola: 10 x 10 m con uno spessore di 50 cm, ma il terreno – trappola morfologica – era sfavorevole.

RINGRAZIAMENTI

L'articolo è frutto di un lavoro corale. reso possibile grazie al prezioso lavoro di analisi e raccolta dati da parte di tutti i colleghi nivologi degli uffici neve e valanghe provinciali e regionali AINEVA che, ormai da decenni, alimentano il database AINEVA sugli incidenti da valanga, sicuramente il più completo in Italia, utile per conoscere le peculiarità e, di conseguenza, per poter attuare le migliori misure di prevenzione. Ringrazio in particolare Fabio Gheser per la revisione dell'articolo e per le sue argute osservazioni.









٦2 Il cambiamento climatico in montagna Gli effetti sull'innevamento

12 Le vallette nivali, sentinelle del cambiamento climatico

Come le variazioni di innevamento condizionano suolo e vegetazione negli ambienti di alta quota

CAMBIAMENTO CLIMATICO IN MONTAGNA

Renata Pelosini, Mariaelena Nicolella, Nicola Loglisci, Simona Barbarino

ARPA Piemonte Dipartimento Rischi Naturali ed Ambientali Meteorologia, clima e qualità dell'aria

CLIMATE CHANGE IN THE MOUNTAINS Effects on snow cover

In this article we focus on how the climate is changing in the Western Alps from the point of view of the snow. Moreover, we investigate how snow will change during the 21st century according to locally adapted scenarios. We face up, when it is possible in a quantitative way, the effects on snow, from seasonality to its characteristics up to its production and the factors connected to climate change that could influence its evolution on the ground.

GLI EFFETTI SULL'INNEVAMENTO

Il riscaldamento globale mostra alle quote alte i suoi lati più severi, determinando impatti negativi sul comparto naturale, socioeconomico e produttivo che influenzano aree molto più ampie. L'articolo offre un focus su come sta cambiando il clima sulle Alpi Occidentali dal punto di vista della neve, su come cambierà nel corso del XXI secolo secondo scenari adattati a livello locale e affronta, quando possibile in modo quantitativo, gli effetti sulla neve, dalla stagionalità alle sue caratteristiche fino alla sua produzione nonché i fattori connessi al cambiamento climatico che potranno influenzarne l'evoluzione al suolo.



COME STA CAMBIANDO IL CLIMA IN MONTAGNA

I dati misurati ci dicono che il clima sta cambiando in modo significativo anche in montagna, con una tendenza al riscaldamento che è circa il doppio di quella globale [1]. Nelle ultime decadi il tasso di aumento della temperatura media annuale è stato intorno a $+0.3^{\circ}$ C (0.2 \pm 0.1 °C) ogni 10 anni nelle regioni montane del Nord America, Asia e nelle Alpi [2]. In queste ultime, le serie delle

stazioni storiche disponibili, ci mostrano come l'incremento di temperatura sia stato localmente anche superiore, fino a $+0.4^{\circ}\text{C}/+0.5^{\circ}\text{C}$ ogni 10 anni.

Se scendiamo a una scala ancora più piccola, e consideriamo le Alpi Occidentali, le analisi mostrano un incremento della temperatura massima annuale, al di sopra dei 700 m di quota, che negli ultimi sessant'anni ha superato i 2.5°C con valori importanti nella stagione invernale e primaverile. I tassi di aumento hanno raggiunto i 0.68°C ogni 10 anni negli ultimi trent'anni e 0.46°C se con-

sideriamo l'intera serie temporale (Fig.1). Anche la temperatura minima ha subito un aumento, sebbene più contenuto, intorno a 1.4°C, con un tasso di crescita di 0.35 °C ogni 10 anni dal 1958 e inferiore se consideriamo solo gli ultimi trent'anni.

Limitandoci alle quote ancora più elevate, al di sopra dei 1500 m, e considerando la temperatura massima, la primavera e l'estate vedono un incremento tra 0.8°C e quasi 1°C ogni 10 anni dal 1981 a oggi (Fig.2).

Primavera ed estate sono le due stagioni in cui l'aumento di temperatura è maggiore alle quote più alte, mentre l'inverno domina, dopo la primavera, nell'incremento delle temperature massime alle quote intermedie.

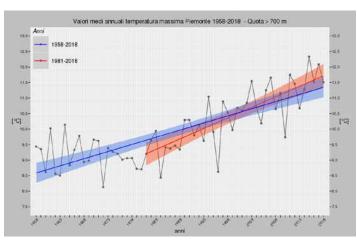
Anche l'andamento dello zero termico testimonia questo riscaldamento delle quote più alte, con un incremento del numero di giorni in cui i valori risultano superiori ai 4000 m (passato dal 30% al 60% dei giorni estivi negli ultimi vent'anni) e superiori ai 4500 m, che, da valore eccezionale fino a un decennio fa, oggi ricorre in media il 20% dei giorni estivi (Fig. 3).

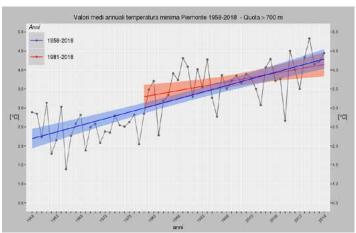
Questa evidente e importante tendenza al riscaldamento nelle zone di montagna rispecchia quanto viene rilevato a livello globale e le analisi della stagionalità e dell'entità del riscaldamento sono fondamentali per la valutazione degli impatti conseguenti.

Le motivazioni fisiche del riscaldamento più rapido delle quote alte sono oggi oggetto di ricerche che concentrano



Fig. 1 - Andamento della temperatura massima e minima media annuale sulle Alpi piemontesi considerando il territorio al di sopra dei 700m di quota. A sinistra la temperatura massima e a destra la minima. In blu il trend dal 1958 al 2018, in rosso dal 1981 al 2018. La linea nera rappresenta i dati osservati. Le barre colorate rappresentano l'incertezza statistica





l'attenzione su quattro aspetti fondamentali:

- maggior efficacia del forcing radiativo in un'atmosfera mediamente più secca e fredda come quella delle quote alte;
- meccanismo di feedback positivo dovuto all'albedo della copertura nevosa: quando questa è in diminuzione fa aumentare l'assorbimento della radiazione solare, che porta a un aumento della temperatura dell'aria in prossimità del suolo, e questo favorisce a sua volta il processo di fusione della neve;
- effetto di cooling degli aerosol alle quote alte meno efficace a causa delle minori concentrazioni di particelle;
- incremento del calore latente al di sopra del livello di condensazione delle nubi favorito da un'atmosfera mediamente più calda e con un maggiore contenuto di umidità.

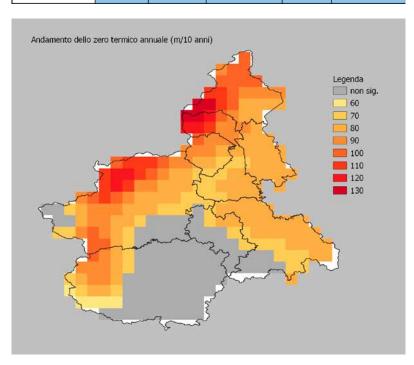
Poiché esiste più incertezza e minore significatività statistica per le tendenze sulla precipitazione, è interessante analizzare il rapporto fra neve e precipitazione totale. Tale rapporto si sta riducendo, in particolare lungo la fascia prealpina a quote fino ai 1600-1700 m, dove la precipitazione nevosa sta diminuendo in modo evidente sia in quantità, sia nella lunghezza della stagione nevosa, riducendo il periodo in cui il suolo è coperto dalla neve.

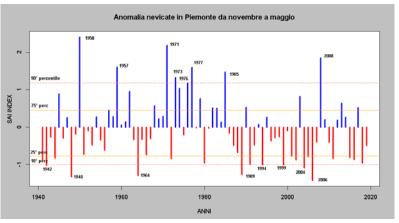
Soffermandoci sull'indice di anomalia della neve fresca complessiva sulle Alpi piemontesi (Flg. 4), si evidenzia come si registri una diminuzione complessiva della neve fresca negli ultimi 30 anni, dopo un periodo tra il 1970 e 1980 pre-

valentemente nevoso, pur ritrovando un inverno come il 2008-2009, che è stato l'anno con anomalia nevosa positiva maggiore dopo il 1971 e il 1950.

L'entità della diminuzione di neve fresca annua dipende non solo dalla quota, ma anche dalla latitudine, dall'orientamento e dalla conformazione della valle, con

		l	Primavera	1	l
1001 2010	0.74°C	0.57°C	0.99°C	0.80°C	0.59°C
1981-2018	0.64°C	0.68°C	0.80°C	0.55°C	0.52°C



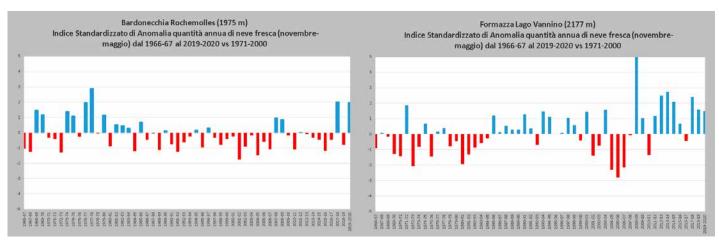


A sinistra, dall'alto: Fig. 2 - Tendenza della temperatura massima ogni 10 anni nel periodo 1981-2018 per le zone al di sopra dei 1500 m di quota (riga in alto) e tra 700 m e 1500 m (riga in basso).

Fig. 3 Tendenza dello zero termico ogni 10 anni dal 1999 al 2018 in metri. In grigio i valori non significativi dal punto di vista statistico.

Fig. 4 - Indice SAI di anomalia standardizzato della neve fresca annuale dal 1950 ad oggi rispetto alla media 1981-2010. L'indice rappresenta l'anomalia in termini di numero di deviazioni standard di scostamento dalla media: in blu ali anni più nevosi della media, in rosso gli anni meno nevosi. Le righe orizzontali rappresentano rispettivamente, dal basso verso l'alto, il 10°, 25°, 75° e 90° percentile della distribuzione.

Fig. 5 - Andamento dell'indice SAI per le stazioni di Rochemolles (TO) (a sinistra), a 1975m di quota e per la stazione di Formazza Lago Vannino (VB) (a destra), a 2177m di quota, dalla stagione 1966-1967 alla stagione 2019-2020.



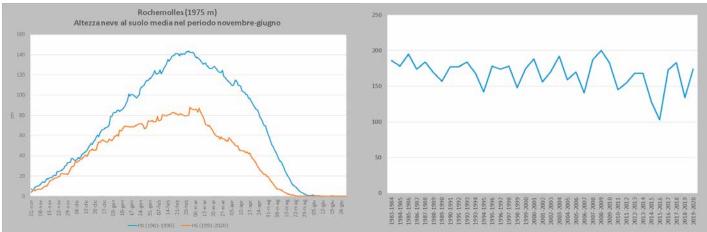
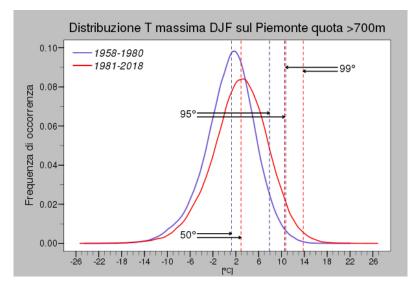
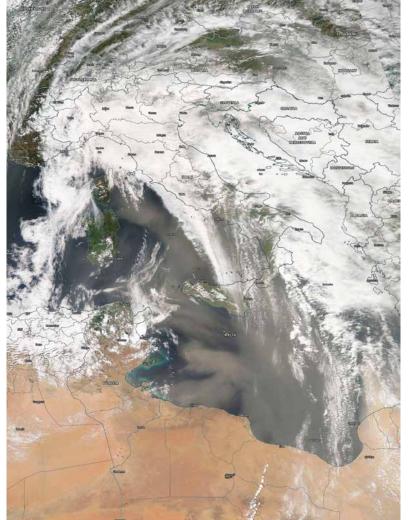


Fig. 6 - Andamento dell'altezza della neve al suolo giornaliera media del periodo 1961-1990 (linea azzurra) e 1991-2020 (linea arancione) per la stazione di Rochemolles (TO) (a sinistra) e numero di giorni in cui il suolo è coperto dalla neve dalla stagione 1983-1984 alla stagione 2019-2020 (a destra).

Fig. 7 - Frequenza di occorrenza dei valori di temperatura massima nel corso dell'inverno per le aree del territorio piemontese al di sopra dei 700m di quota nel periodo 1958-1980 (in rosso). Le linee tratteggiate verticali rappresentano i percentili della distribuzione.



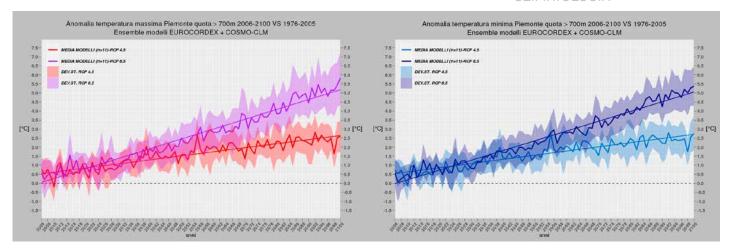


una riduzione più marcata nelle valli con esposizione ovest-est, dall'esposizione del versante e dalla distanza dalla pianura: tutti fattori che negli ultimi anni hanno assunto un'influenza determinante nel caratterizzare le nevicate e l'evoluzione del manto nevoso al suolo, anche durante la stagione invernale. Si osservi ad esempio la differenza nell'indice di anomalia standardizzata di Fig. 5 per la stazione di Rochemolles (TO), a 1975 m di quota, posta in una valle orientata ovest-est presso il confine francese e per la stazione di Formazza Lago Vannino (VB) a 2177 m di guota, rappresentativa della zona di confine con la Svizzera, a maggiori latitudini e alla chiusura di una valle orientata sud-nord. Nel primo caso si evidenzia una ricorren-

za di stagioni con un deficit nevoso, moderato ma persistente. Nel secondo caso invece prevalgono, nell'ultimo periodo, inverni con un surplus di precipitazione nevosa, connessi probabilmente anche all'incremento degli episodi di foehn che contribuiscono con apporti nevosi lungo

In molte stazioni, comunque, l'altezza media della neve al suolo negli ultimi 30 anni è diminuita in modo impressionante, così come la lunghezza del periodo in cui il suolo è ricoperto dalla neve. La Fig. 6 riporta l'evoluzione dell'innevamento nella stazione di Rochemolles (TO) evidenziando le differenze del periodo 1961-1990 e 1991-2019, in particolare nella quantità di neve fresca e nell'anticipo della fusione primaverile, che determina una diminuzione del numero di giorni in cui il

le creste di confine.



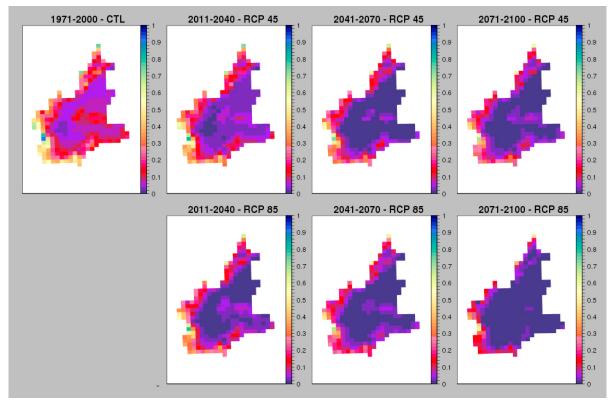


Fig. 8 - Andamento dell'anomalia di temperatura nel corso del secolo rispetto al valore di riferimento 1976-2005 per la temperatura massima (a sinistra) e minima (a destra) nello scenario tendenziale RCP8.5 (linea viola e blu) e RCP4.5 (linea rossa e azzurra). La linea rappresenta i dati annuali, la retta il trend lineare e le bande colorate la variabilità dell'ensemble considerato.

Fig. 9 - Frazione neve/ precipitazione totale nei tre trentenni 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 per i due scenari RCP4.5 (riga sopra) e RCP8.5 (riga sotto). In alto a sinistra il periodo di riferimento 1971-2000.

suolo è coperto dalla neve quantificabile in circa 7 giorni ogni 10 anni.

Anche nelle stazioni dove la diminuzione della quantità di neve non è così netta, si osserva comunque una contrazione del periodo in cui il suolo è innevato, soprattutto per l'anticipo della fusione primaverile.

Ma non sono solo le tendenze dei valori medi a dare conto della vera e propria emergenza climatica che le montagne stanno vivendo. Osservando, infatti, la frequenza di occorrenza dei valori di temperatura, si evince un incremento dei valori estremi e della loro frequenza e, più in generale, un aumento della variabilità meteorologica, da un giorno a un altro, da una stagione all'altra, da un anno all'altro.

Ad esempio sulle Alpi Piemontesi, nel corso dell'inverno, la distribuzione della temperatura massima (Fig. 7) ha subito un deciso spostamento verso destra, con un incremento del valore mediano (valore rappresentativo della temperatura nel 50% dei giorni nel periodo 1958-2018, in diminuzione fino al 35% dei giorni nel periodo più recente) e dei valori estremi positivi (il valore di temperatura più elevato, che si presentava soltanto il 5% dei giorni, negli ultimi 30 anni si presenta il 10% dei giorni).

Questo aumento della variabilità caratterizza la meteorologia degli ultimi 2030 anni, alterando le caratteristiche stagionali, proponendoci molti eventi "fuori stagione", periodi di freddo anomalo alternati a periodi caldi, lunghi periodi secchi tardo autunnali e invernali in alcuni anni e nevicate anticipate in altri, senza alcuna regolarità. Intensità di precipitazioni eccezionali si registrano sempre più frequentemente, sia nel corso degli eventi convettivi favoriti dall'orografia montana, quando 80 mm di pioggia in un'ora non sono più una rarità, sia nel corso di eventi più duraturi, con valori di pioggia cumulati che raggiungono in poco tempo i record registrati nelle grandi alluvioni storiche, quando non li superano. Si registra un anticipo della

Fig. 10 - Numero medio di giorni con altezza della neve al suolo superiore a 10, 40 e 70 cm per diverse fasce altimetriche del territorio regionale (dati mediati dagli anni '80 ad oggi).

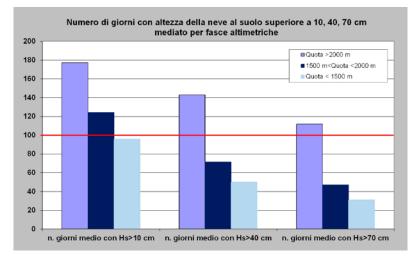
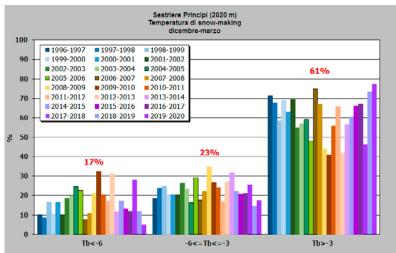


Fig. 11 - Frequenza di distribuzione delle ore del periodo dicembre-marzo in cui le condizioni sono idonee noco idonee e assolutamente non idonee alla produzione della neve (sulla base della temperatura di hulho umido Th) per la stazione di Sestriere dal 1996-97 al 2019-2020. In rosso sono riportate le percentuali medie di tutte le stagioni considerate.



fusione primaverile del manto nevoso, che sta diventando molto rapida e quasi indipendente dalla quantità di neve presente al suolo. A testimonianza di questo, anche inverni molto nevosi vedono, a primavera inoltrata, una quantità di neve al suolo davvero residuale. A questa variabilità meteorologica si associa anche un aumento degli episodi ventosi in montagna, sia forzati da caratteristiche meteorologiche a grande scala, come ali eventi di foehn (con un incremento sul Piemonte di circa 10 giorni di foehn ogni 10 anni, considerando gli ultimi 20 anni), sia da situazioni legate alla convezione o alla instabilità atmosferica a livello locale.

GLI SCENARI FUTURI

Anche considerando le più efficaci e immediate azioni per ridurre le emissioni dei gas climalteranti, le Alpi continuano a rappresentare un "hot spot" del cambiamento climatico, ossia una zona dove il riscaldamento globale si manifesta in modo più accentuato [1], e l'incremento di temperatura atteso a fine secolo per le Alpi Occidentali è di circa 2.5°C per le temperature massime e 2.1°C per le temperature minime (Fig. 8).

Se le azioni di mitigazione non venissero intraprese, e lo scenario emissivo si mantenesse in linea con quello attuale, gli incrementi attesi raggiungerebbero i 5°C. In montagna, la primavera è la stagione in cui gli aumenti attesi sono più rilevanti, con un incremento stimato di 0.88°C ogni 10 anni per la temperatura massima e 0.39°C ogni 10 anni per la temperatura minima; anche l'inverno continua a mostrare un incremento importante della temperatura massima che arriva a 0.64°C ogni 10 anni.

Se a livello globale è stimata una diminuzione dello spessore della copertura nevosa fino al 40% al 2050 [2] gli scenari locali (Fig. 9) mostrano come la frazione neve/pioggia diminuisca rapi-

damente lungo tutta la fascia prealpina e si mantenga su valori intorno a 0.2-0.3 a metà secolo solo alle quote più elevate dei rilievi prossimi al confine, per portarsi successivamente a valori compresi tra 0 e 0.1, rimanendo 0.3 solo in qualche vallata più interna. Secondo scenari emissivi peggiori, come quello tendenziale, a fine secolo le nevicate sulle Alpi occidentali potrebbero costituire eventi eccezionali.

COSA CAMBIA NELLE CONDIZIONI DELLA NEVE

Le nuove condizioni climatiche stanno modificando la forma e addirittura la struttura delle montagne. Questo è molto evidente nella stagione estiva, a causa dell'importante processo di fusione che hanno subito i ghiacciai alpini e della degradazione dello strato attivo del permafrost, che causa frequenti fenomeni di frane e crolli in roccia. Tuttavia, anche il terreno innevato e le condizioni ambientali che determinano la sua trasformazione al suolo si sono modificate. Vediamo quali sono gli aspetti più rilevanti che, anche se ancora connotati da margini di incertezza, consentono di fare delle valutazioni e predisporre in anticipo le azioni per limitare le conseguenze negative e adattarsi alle nuove condizioni.

Ritardi e variabilità nell'inizio della stagione nevosa

Si evidenziano periodi asciutti a inizio inverno per la presenza di situazioni anticicloniche persistenti, caratterizzati da forte irraggiamento notturno con basse temperature che favoriscono la formazione di ghiaccio su versanti in ombra non coperti dalla neve, alternati ad anni con nevicate precoci su terreno ancora relativamente caldo. In alcuni casi, alle nevicate di fine ottobre o inizio novembre, spesso associate a eventi a carattere alluvionale nelle zone più a valle, seguono lunghi periodi asciutti e freddi, con la formazione di dure e spesse croste superficiali, su cui poco si legano le nevicate successive. In altri casi le nevicate precoci sono seguite da un periodo caldo, o ancora caldo e

piovoso, con la formazione di valanghe di neve umida e di fondo anche a inizio inverno.

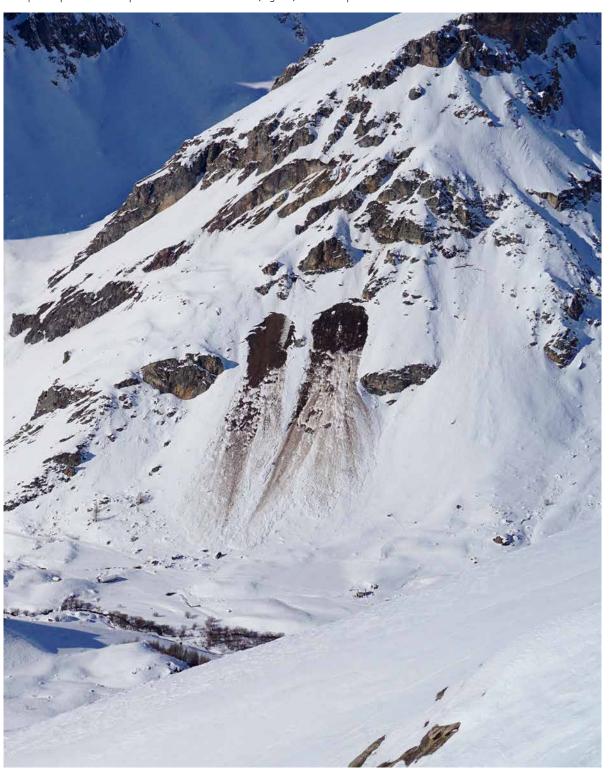
Diminuzione dell'altezza della neve al suolo

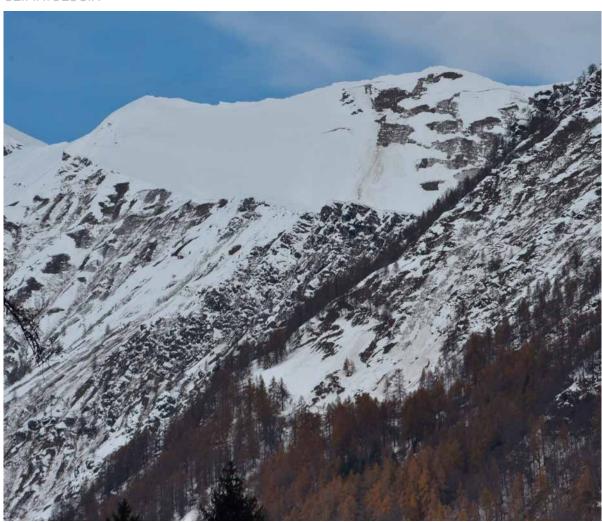
Un altro aspetto di cui abbiamo già parlato è la diminuzione complessiva della quantità di neve, importante a quote più basse, nelle valli esposte ovest-est, sui pendii più soleggiati e in quelli aperti verso le pianure. Se il

numero di giorni con un'altezza della neve al suolo superiore ai 10 cm, dovuta solo alle precipitazioni naturali, supera i 100 giorni per le stazioni al di sopra dei 1500 m, per altezze della neve al suolo superiori (40 cm e 70 cm, soglie per la pratica dello sci nordico e dello sci alpino) bisogna andare oltre i 2000 metri per avere, mediamente, 100 giorni garantiti dall'innevamento naturale (Fig. 10). Questo dipende non

solo dalla diminuzione degli apporti nevosi ma anche dalla fusione della neve al suolo, che frequentemente, a causa di giornate straordinariamente calde di gennaio e febbraio, connesse quasi sempre a episodi di foehn, diventa importante.

Nel corso di inverni poco nevosi le condizioni del manto nevoso al suolo dipendono da altri fattori, che risultano meno rilevanti nel corso di inverni





nevosi. Ad esempio, l'esposizione, che rende le condizioni del manto molto differenti, a parità di quota, anche in pieno inverno oppure la conformazione della valle, da cui dipende la capacità delle masse d'aria di penetrare dalle pianure all'interno delle valli e influenzare le caratteristiche del manto nevoso.

- Aumento del trasposto eolico della neve

Si osserva un incremento delle situazioni di trasporto eolico della neve sia durante la nevicata, per la maggiore ventilazione che l'accompagna, sia per la grande variabilità atmosferica che sempre più frequentemente fa susseguire, alle nevicate sulle Alpi occidentali, una rapida rotazione del flusso dai quadranti settentrionali, innescando forti venti di caduta. Il trasporto eolico della neve determina accumuli sui versanti sottovento, che con la concomitanza dei due effetti, si

formano su entrambi i versanti: nord, nordovest e nordest durante la nevicata e in prevalenza sudest e sud con i venti catabatici.

- Aumento delle valanghe di neve umida

Il riscaldamento dell'atmosfera in montagna può determinare un incremento delle valanghe di neve umida, anche spontanee, non solo nella stagione primaverile e nelle forme incanalate, ma anche su pendii aperti in pieno inverno, per esempio a causa del sovraccarico della pioggia sul manto nevoso al suolo in situazioni di forte variabilità meteorologica, o in caso di un brusco aumento delle temperature, favorito da un ridotto spessore del manto nevoso e dall'esposizione ai quadranti al sole.

Maggior frequenza del trasporto di sabbia sahariana

Episodi di nevicate con trasporto di sabbia sahariana sono più frequenti e non solo in primavera, a causa dell'estensione della variabilità latitudinale del getto alle medie latitudini. In alcuni casi si verificano anche trasporti di polveri e sabbia in asciutto, quando forti venti di scirocco non determinano precipitazioni, e sappiamo che la sabbia inglobata nel manto nevoso rappresenta un potenziale strato di scorrimento per le valanghe a lastroni e, quando esposta sulla superficie, ne altera rapidamente le caratteristiche [3].

Diminuzione delle ore con condizioni favorevoli alla produzione di neve
La produzione di neve programmata
dipende da fattori climatici vincolanti,
e precisamente la temperatura e l'umidità, che determinano la resa e i costi
di produzione. Non bisogna inoltre trascurare il vento, sia per l'efficace meccanismo di trasporto della neve (con
una capacità di trasporto proporzionale al cubo della velocità) che agisce
durante e successivamente al periodo

di produzione, sia per gli effetti termodinamici che può avere nel momento della produzione stessa. Il potenziale di innevamento viene considerato oggi in molteplici studi relativi agli impatti del cambiamento climatico sul turismo, perché rappresenta un fattore chiave [4]. Analizzando i dati sulle Alpi piemontesi, si evidenzia come, anche con le tecnologie di produzione ad alta pressione la percentuale di ore in cui le condizioni sono favorevoli alla produzione di neve variano dal 12% al 25% in funzione della località considerata, intorno al 6-8% le ore in cui è possibile la produzione ma con costi di esercizio importanti e intorno al 65-85% la percentuale di ore in cui non è possibile produrre neve (Fig. 11). Inoltre, dai dati si osserva come vi sia, dagli anni 2000 per stazioni a quote più basse e dal 2010 in quelle a quota più elevata, una riduzione della frequenza delle condizioni favorevoli.

Alterazioni per rapida variabilità meteorologica

L'aumentata variabilità meteorologica determina importanti escursioni termiche in breve tempo, variazioni significative degli apporti nevosi nella stessa stagione o nello stesso mese, fenomeni di fusione e rigelo posticipati o anticipati, rovesci e temporali di neve in inverno, accompagnati da neve pallottolare più frequente e vere e proprie "tempeste" di vento, periodi di siccità prolungata, con la formazione di strati superficiali duri e gelati, poco propensi al legarsi delle nevicate successive. La neve al suolo risulta in qualche modo più sensibile alla meteorologia della giornata, che può determinarne importanti modifiche da un giorno a un altro, all'interno della medesima giornata, sia dello strato superficiale ma anche degli strati più profondi.

LE CONSEGUENZE

Gli impatti del cambiamento climatico in montagna, e in particolare delle condizioni di innevamento, si avvertiranno in molti settori socioeconomici che riguardano non solo l'economia delle terre alte ma anche, indirettamente, territori più ampi a causa dei servizi ecosistemici connessi alla presenza della neve.

- Alterazioni della disponibilità della risorsa idrica nelle stagioni estive con portate fluviali ridotte e qualità delle acque spesso peggiore, quando l'esigenza di irrigazione diventerà più importante e più frequente; alterazioni del regime idrologico, con un aumento delle piene primaverili a causa della fusione anticipata della neve e una modifica della produzione idroelettrica.
- Incremento dei rischi naturali a causa della degradazione del permafrost, con effetti già evidenti sulle infrastrutture di alta quota, e degli incendi boschivi, più frequenti in particolare nel periodo tardo autunnale a causa dello scarso innevamento delle quote medio-basse, a periodi di prolungata siccità e all'incremento delle condizioni di foehn.
- Effetti negativi sul turismo invernale causati da una parte dalla variabilità delle condizioni di innevamento delle località turistiche, che disincentivano la frequentazione programmata per periodi prolungati a favore di una frequentazione "usa e getta" che vede molte più persone in periodi più ristretti con effetti insostenibili ad esempio sulla mobilità, e dall'altra, dalla generale diminuzione dell'attrattività della montagna invernale senza neve.

- Alterazione dei cicli stagionali e mancato periodo di freddo e di terreno innevato avranno impatti sul patrimonio forestale, arboreo e di pascolo della montagna, che ne risentirà in termini di produttività, variazioni delle popolazioni locali, degradazione di habitat, invasione di specie e alterazioni del paesaggio. Ma l'aspetto naturale coinvolgerà anche le popolazioni animali, che risentiranno a loro volta della modifica o perdita di habitat, delle desincronizzazioni e disaccoppiamenti con le specie vegetali con cui interagiscono, di nuove competizioni, di aumento dei pericoli come incendi boschivi, frane e valanghe di neve umida.
- Minori opportunità per i territori montani con aggravamento della tendenza allo spopolamento, isolamento delle comunità e perdita delle attività produttive legate al territorio, che contribuiscono alla sua salvaguardia.

Lo scenario è severo e rischia di ridurre in modo drammatico i servizi ecosistemici che derivano dalla montagna. I prossimi dieci anni saranno fondamentali per applicare azioni decisive di riduzione dei gas serra, con l'obiettivo di contenere l'aumento di temperatura globale entro i 2°C a fine secolo [5], e politiche che riconoscano e valorizzino il patrimonio naturale, culturale e sociale del territorio alpino, riconoscendone i diritti a prescindere dalla presenza dell'uomo.

Bibliografia

- [1] Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.), IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- = [2] H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer; IPCC, 2019: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate
- [3] Mauro Valt, Maria Cristina Prola, La Neve Rossa, Neve e Valanghe n.88 agosto 2016
- [4] Robert Steiger, Daniel Scott, Bruno Abegg, Marc Pons & Carlo Aall C, A critical review of climate change risk for ski tourism Curr Issue Tour 22 (11):1343–1379. https://doi.org/10.1080/13683500.2017.1410110, (2019).
- [5] Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield, Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, 2018

LEVALLETTE SENTINELLE DEL NIVALLE CAMBIAMENTO CLIMATICO

Elena Quaglia, Davide Viglietti, Emanuele Pintaldi, Giampiero Lombardi, Michele Lonati, Michele Freppaz Università degli Studi di Torino, DISAFA

> Claudio Francione Monterosa 2000 S.p.A.

THE SNOWBED HABITATS: sentinels of climate change

The LTER research site Istituto Mosso is located in the Alagna Valsesia municipality, on the Monte Rosa Massif. Since 2005 the University of Turin - DISAFA performs various research activities on snow/soil/vegetation interactions, the chemical characteristics of high-elevation lakes derived from cryosphere and the atmospheric deposition characteristics. In particular, the long-term monitoring of snowbed communities aims to evaluate the influence of the climatic and pedoclimatic variables, focusing on the effects of snow cover duration on soil carbon and nitrogen form dynamics and phenology.

Come le variazioni di innevamento condizionano suolo e vegetazione negli ambienti di alta quota

Il sito LTER "Istituto Scientifico Angelo Mosso" è localizzato nel Comune di Alagna Valsesia, ai piedi del Monte Rosa. Dal 2005 l'Università di Torino - DISAFA conduce attività di ricerca sulle specifiche interazioni neve/suolo/vegetazione, sulle caratteristiche chimiche di laghi in alta quota e sulle caratteristiche delle deposizioni atmosferiche. In particolare, il monitoraggio a lungo termine delle caratteristiche del suolo e della vegetazione nelle vallette nivali ha come obiettivi specifici l'individuazione dell'influenza delle variabili pedoclimatiche e climatiche, con particolare riferimento alla durata dell'innevamento, sulle dinamiche delle forme labili di carbonio e azoto del suolo e la fenologia vegetale.



INTRODUZIONE

Il cambiamento climatico nelle aree d'alta quota delle Alpi

Durante gli ultimi anni non è più possibile parlare di ambienti di alta quota senza menzionare gli effetti del cambiamento climatico: le catene montuose del pianeta stanno già subendo le conseguenze del riscaldamento globale e, tra queste, le Alpi sono oggetto di numerosi studi finalizzati a valutarne gli impatti. Secondo le più recenti ricerche internazionali gli ecosistemi di alta montagna si rivelano particolarmente fragili di fronte alle variazioni climatiche previste per i prossimi decenni (Beniston, 2006). Alterazione della stagionalità delle precipitazioni ed aumento degli eventi estremi, incremento delle temperature soprattutto primaverili ed estive, riduzione in volume dell'innevamento e anticipo della fusione del manto nevoso sono solo alcuni dei fattori che potrebbero avere un grande impatto sugli ambienti della fascia alpina e nivale ed è probabile che noi stessi saremo testimoni di radicali modificazioni nell'aspetto e nella funzionalità di questi biomi (Freppaz et al., 2006; Hock et al., 2019).

Le vallette nivali Caratteristiche dei suoli

All'interno del bioma di tundra alpina, le vallette nivali sono formazioni di alta quota molto particolari, un sistema di suolo e vegetazione sviluppatosi in condizioni di innevamento estremo (Björk and Molau, 2007). Sono aree di dimensioni medio-piccole e generalmente pianeggianti dove, a causa della microtopografia, la neve tende a rimanere più a lungo che nelle zone circostanti e in alcuni casi fino a 9-10 mesi all'anno. I suoli sono di solito mediamente profondi e moderatamente sviluppati, con una buona dotazione di sostanza organica e, data la lunga ed abbondante copertura nevosa, generalmente non soggetti a limitazioni idriche. Il grado di permeabilità del substrato influenza fortemente i processi di formazione del suolo (pedogenesi), con la presenza o meno di fenomeni di ristagno idrico. Gli orizzonti superficiali del suolo sono in genere arricchiti di particelle di limo e argilla che vengono intrappolate all'interno e sulla superficie del manto nevoso nel corso dell'inverno per poi essere rilasciate al suolo durante il disgelo primaverile.

Caratteristiche vegetazionali

La vegetazione delle vallette nivali comprende specie (es. *Salix herbacea, Alchemilla pentaphyllea, Carex foetida*, ecc.) provviste di particolari adattamenti che consentono loro di sopravvivere in condizioni di prolungato innevamento e di completare il proprio ciclo riproduttivo

nei pochissimi mesi disponibili. Lo spesso strato di neve che le copre fino all'inizio dell'estate protegge le specie tipiche di valletta nivale dalla minaccia delle gelate primaverili, permettendo loro di sviluppare le delicate strutture fiorali senza il rischio che vengano danneggiate da un improvviso calo delle temperature. Proprio a causa della loro elevata specializzazione, alcune specie sono potenzialmente vulnerabili ad eventuali cambiamenti delle condizioni in cui vegetano, come per esempio alla riduzione della durata dell'innevamento, rispetto alle altre specie presenti nelle praterie circostanti (Matteodo et al., 2016).

La fenologia, ovvero lo studio del susseguirsi delle fasi di sviluppo di una pianta, appare come lo strumento conoscitivo ideale per indagare eventuali cambiamenti nel ciclo vitale delle differenti specie e le relazioni di questi con un'ampia serie di variabili climatiche e ambientali. Specie il cui ciclo fenologico è fortemente legato al fotoperiodo (ovvero in alla disponibilità di ore-luce giornaliera) potrebbero presentare una minore adattabilità alle variazioni ambientali indotte dai cambiamenti climatici rispetto ad altre specie in cui il ciclo fenologico è maggiormente influenzato da variabili climatiche e stagionali (come per esempio le somme termiche o le dinamiche di scomparsa del manto ne-

L'Istituto Angelo Mosso con il suo Osservatorio.



Rilevamenti nivologici.

voso). I rilevamenti fenologici possono permettere inoltre di esplorare eventuali differenze fra specie, formulando ipotesi sul loro futuro in un clima che cambia, e immaginare come le variazioni ambientali potrebbero contribuire a plasmare la distribuzione delle diverse comunità di tundra alpina.

Visti il loro isolamento geografico e le numerose peculiarità in comune con la tundra artica, le vallette nivali sono considerate come relitti alpini di questo habitat boreale, estesamente diffuso nel Nord Europa. Le vallette nivali sono spesso ritenute dei perfetti laboratori scientifici naturali dove è possibile studiare, su scala ridotta, l'effetto dei cambiamenti attualmente in corso sul nostro pianeta e, in alcuni casi, prevedere come si comporteranno in futuro gli ecosistemi di latitudine elevata.

Sito LTER Istituto Mosso

I Laboratori Scientifici "Angelo Mosso", (Alagna Valsesia - 2901 m slm), più noti come Istituto Mosso furono costruiti tra il 1905 e il 1907, quando apparve ormai evidente che la capanna Regina Margherita sulla Punta Gnifetti (4554 m slm) nel massiccio del Monte Rosa, come centro di ricerca d'alta quota, era diventato insufficiente alle sempre più numerose richieste di utilizzo da parte della comunità scientifica internazionale. Da qui l'idea promossa dal Prof Angelo Mosso di affiancare all'Osservatorio della Capanna Regina Margherita un'ulteriore struttura in grado di mettere a disposizione dei ricercatori laboratori sempre più ampi e di permettere soggiorni di studio anche protratti ad alta quota. Questo progetto divenne presto realtà grazie all'intervento determinante della Regina Margherita, del re Vittorio Emanuele III, del Ministero della Pubblica Istruzione, dell'Agricoltura, del Club Alpino Italiano e varie personalità dell'epoca. Anche dall'estero alcune Università interessate al progetto riuscirono ad ottenere alcuni cospicui contributi da parte dei governi di Francia, Germania, Svizzera, Austria, Olanda e Stati Uniti. Il



22 Luglio del 1904 fu scelto il terreno al Col d'Olen. Si trattava di una superficie di circa 100.000 metri quadrati che comprendeva un lago, successivamente battezzato lago Bodwitch, in onore del fisiologo americano che portava quel nome. Il primo luglio 1905 ebbero inizio i lavori che terminarono nel 1907, anno in cui, il 27 agosto, ebbe luogo l'inaugurazione. Da questo momento iniziò l'attività dell'Istituto, intitolato proprio al suo promotore, Angelo Mosso. Era il primo laboratorio che provvedeva una sistemazione confortevole a studiosi di svariate discipline: medicina, biologia, botanica e geologia, glaciologia. In particolare nel 1927, con la nomina del gressonaro Umberto Monterin a Direttore dei Regi Osservatori Geofisici del Monte Rosa, il laboratorio del Col d'Olen assunse un ruolo di primaria importanza anche nello studio della meteorologia e glaciologia. Dal 1927 al 1940 l'intensa attività di Umberto Monterin portò all'acquisizione di numerose osservazioni meteorologiche e glaciologiche, che ad oggi costituiscono un patrimonio scientifico di notevole interesse per l'attività di ricerca in ambiente alpino. Le osservazioni furono possibili anche nel corso dei mesi invernali grazie alla collaborazione di un gruppo di alpini concessa dall'autorità militare. Nel 2005 l'installazione al Col d'Olen, da parte del Comando Truppe Alpine - Servizio Meteomont, di una moderna stazione

nivo-meteorologica, nell'ambito di una specifica Convenzione con l'Ateneo di Torino, ha permesso di continuare la raccolta dei dati in maniera automatica. Dal 2010 l'Istituto A. Mosso è stato inserito all'interno della Rete Italiana per la ricerca ecologica a lungo termine (LTER). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine (LTER-Italia) è una rete di siti terrestri, d'acqua dolce, di acque di transizione e marine, sui quali si conducono ricerche ecologiche su scala pluridecennale. Vi appartengono 25 siti (al 2018), distribuiti su tutto il territorio nazionale, gestiti dai principali Enti di Ricerca, Università e Istituzioni che si occupano di ricerca e monitoraggio ecologici in Italia. LTER studia gli ecosistemi, le loro le dinamiche ed evoluzione, le relazioni tra biodiversità e funzionalità ecologica, la qualità delle acque, la produttività, il ruolo della disponibilità di risorse, gli effetti dell'inquinamento e dei cambiamenti climatici. In particolare nel sito LTER Istituto Mosso vengono condotte una serie di indagini in aree di studio permanenti localizzate in vallette nivali volte a determinare la dinamica del carbonio e dell'azoto nel suolo e nelle acque superficiali, così come la fenologia vegetale. Il monitoraggio della matrice suolo è iniziato nel 2008 ed è stato affiancato dal monitoraggio della fenologia vegetale a partire dal 2016 (Magnani et al., 2017a, b; Rogora et al., 2018; Freppaz et al., 2019). Le attività di

CLIMATOLOGIA

ricerca sono proseguite negli anni grazie al sostegno della società Monterosa 2000 SpA che le ha supportate nell'ambito degli investimenti per lo sviluppo del Comprensorio sciistico sull'Altopiano di Cimalegna, nonché di diversi progetti nazionali ed internazionali. Obiettivo principale è la valutazione degli effetti della variabilità climatica, ed in particolare della variazione dell'innevamento, sulle componenti suolo e vegetazione

all'interno di habitat particolarmente sensibili al cambiamento climatico quali le vallette nivali.

AREA DI STUDIO E DISEGNO SPERIMENTALE

L'area di studio si snoda nelle parti superiore dei valloni dell'Olen e di Cimalegna (Comune di Alagna Valesia), all'interno dei quali sono stati identificati 7 siti lo-

calizzati a quote comprese fra i 2686 e 2854 m slm. Ciascun sito presenta una prima porzione dedicata al campionamento del suolo e una seconda porzione mantenuta indisturbata per i rilievi vegetazionali; in ciascun sito sono collocati due sensori di temperatura, il primo sulla superficie del suolo e il secondo nel topsoil (a 10 cm di profondità).

La durata della copertura nevosa è stata determinata sulla base dei dati di temperatura del suolo: in accordo con quanto riportato in bibliografia (Danby e Hik, 2007), il suolo è stato considerato coperto dalla neve quando la differenza tra la sua temperatura massima e minima giornaliera non ha superato 1°C. Con lo stesso approccio è stata stimata la data di fusione del manto nevoso espressa in giorni giuliani, ovvero in giorni a partire dal primo di gennaio. Sono stati calcolati numerosi altri parametri pedoclimatici, potenzialmente capaci di incidere sulle dinamiche del suolo e della vegetazione, tra cui:

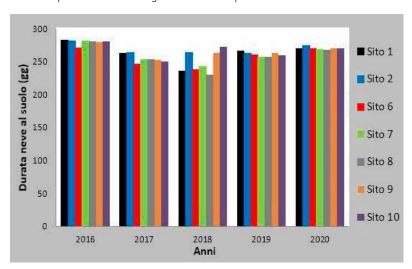
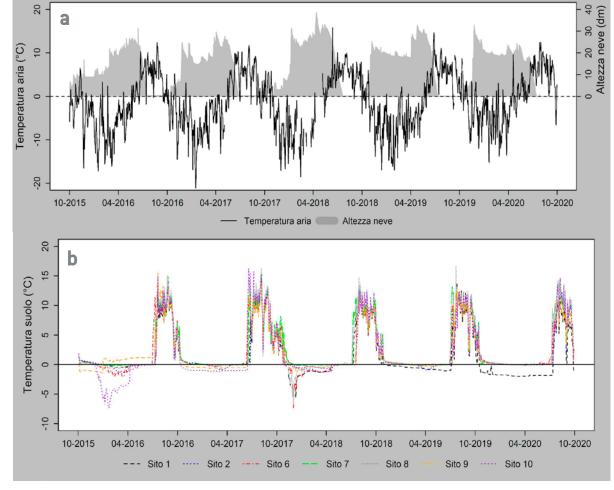


Fig. 2 - a) In alto la temperatura dell'aria e l'altezza della neve registrate dalla stazione nivometeorologica del Comando Truppe Alpine - Servizio Meteomont localizzata presso l'Istituto Scientifico Angelo Mosso. b) In basso l'andamento della temperatura del suolo (10 cm di profondità) registrata nei 7 siti oggetto di studio.

Fig. 1 - Durata della

7 siti di studio.

copertura nevosa nei



(i) il numero di cicli di gelo/disgelo, ovvero quando la temperatura media giornaliera del suolo passa da valori positivi a negativi per poi tornare sopra 0°C (Phillips and Newlands, 2011);

(ii) la durata e l'intensità del congelamento del suolo, rilevabili quando lo spessore del manto nevoso non è in grado di garantire un isolamento termico efficace (elevate densità o spessore ridotto).

Il monitoraggio del pedoclima prosegue in continuo dal 2015, mentre i campionamenti del topsoil nella stagione priva di copertura nevosa sono stati condotti a partire dal 2016 con periodicità mensile. I campioni prelevati sono stati analizzati in laboratorio per la determinazione dell'umidità e delle forme labili di azoto e carbonio (azoto ammoniacale, azoto nitrico, carbonio organico disciolto, azoto totale disciolto, azoto organico disciolto, azoto microbico e carbonio microbico). All'interno di ciascun sito la porzione dedicata al rilievo della vegetazione consiste in un quadrato permanente di 4 x 4 m, all'interno del quale vengono monitorate 10 specie vegetali, scelte tra quelle più frequenti e abbondanti nella totalità degli 7 siti. I rilevamenti fenologici sono stati realizzati nel corso del quinquennio 2016-2020 (periodicamente, tra i 7 e i 9 rilevamenti per anno, a seconda dell'andamento della stagione vegetativa). Lo sviluppo degli individui appartenenti a ciascuna delle 10 specie è stato registrato tramite osservazione diretta e l'attribuzione di una fenofase, un codice numerico variabile da 0 e 59, in cui la decina indica uno stadio principale (emergenza, emissione foglie, abbozzi fiorali, fioritura, fruttificazione, disseminazione) e l'unità indica i diversi livelli intermedi. I dati provenienti dai sensori di temperatura sono utilizzati per il calcolo delle somme termiche cumulate e il numero di giorni trascorsi dalla data di fusione della neve . Queste ultime, insieme ai giorni giuliani, che vengono usati come proxy del fotoperiodo, sono le variabili utilizzate nell'analisi delle variazioni di fenologiche delle

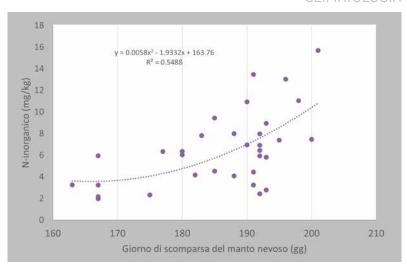


Fig. 3 - Concentrazione di azoto inorganico del suolo misurata nel primo campionamento estivo in funzione della data di scomparsa del manto nevoso. I giorni riportati in ascissa sono i numeri di giorni nell'anno.

10 differenti specie vegetali monitorate (Quaglia et al., 2020).

Al fine di valutare il contributo delle diverse variabili che influenzano e che a loro volta sono influenzate dal sistema suolo-vegetazione si è condotta anche l'analisi della chimica dei laghi localizzati nei pressi delle vallette nivali. In ogni data di campionamento del suolo sono stati effettuati prelievi di acqua nei laghi Bodwitch e Cimalegna: la qualità dei corpi idrici è ritenuta fortemente dipendente dal pedoambiente e dalla vegetazione, ad esempio può avvertire se si stanno verificando perdite di nutrienti. In collaborazione con il CNR-IRSA è invece condotta l'analisi chimica delle precipitazioni liquide e del manto nevoso, in modo da poter valutare l'input stagionale di soluti al sistema suolo-pianta.

RISULTATI E DISCUSSIONE

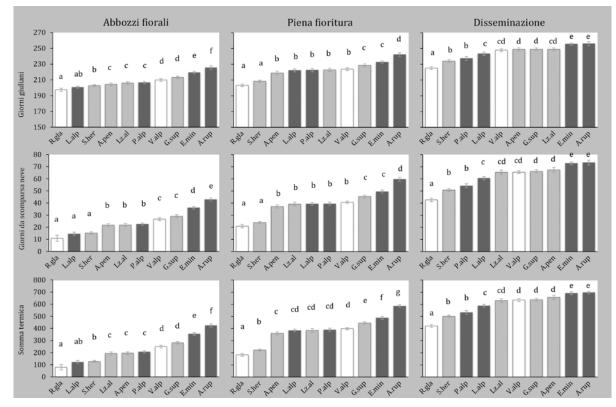
Andamento nivo-meteorologico e forme labili di carbonio e azoto nel suolo

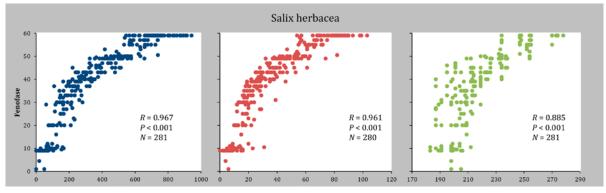
Il periodo di monitoraggio è stato caratterizzato da una significativa variabilità interannuale in termini di temperature dell'aria e innevamento, così come della durata della neve al suolo. Quest'ultima è stata complessivamente maggiore nel corso degli inverni 2015-2016 (2016 nella Figura 1) e 2019-2020 (2020 nella Figura 1) mentre l'inverno 2017-2018 (2018 nella Figura 1) è stato caratterizzato da una copertura nevosa complessivamente più breve nonostante gli

importanti apporti nevosi primaverili. Le stagioni 2015-2016 e 2017-18 sono state caratterizzate da nevicate piuttosto tardive e il manto nevoso, ad inizio stagione, non è stato sufficiente a garantire un efficace isolamento (Figura 2): si sono verificati intensi e prolungati congelamenti del suolo, con valori inferiori anche a -5°C, potenzialmente dannosi per le comunità microbiche e vegetali. La durata del manto nevoso può essere influenzata da molteplici fattori tra cui apporti nevosi tardo-autunnali e tardoprimaverili e dai tassi di fusione a fine stagione in funzione della temperatura dell'aria e/o precipitazioni liquide (Isabellon et al., 2015). La data di fusione completa del manto nevoso risulta estremamente importante in quanto influenza la concentrazione della maggior parte delle forme di azoto e carbonio nel suolo. Ad esempio, a fusioni del manto nevoso tardive corrisponde un incremento delle forme di azoto inorganico nel suolo in occasione del primo campionamento estivo e quindi nella prima fase della ripresa vegetativa (Figura 3). Tale incremento è imputabile all'interazione di diverse variabili tra cui l'input di azoto inorganico derivato dal manto nevoso e dalle precipitazioni primaverili (Freppaz et al., 2018), il ridotto assorbimento radicale da parte della vegetazione ancora in parte sepolta dalla neve (Cooper et al., 2011) e la relativa competizione con le comunità microbiche (Legay et al., 2013). Le precipitazioni primaverili, infatti, oltre che incidere in modo importante sul

Dall'alto: Fig. 4 - Confronto del tempo di comparsa (espresso come giorni giuliani, giorni dalla data di fusione della neve e somma termica) di tre differenti fenofasi (Abbozzi fiorali, Piena fioritura, Disseminazione) in 10 differenti specie rilevate nei siti di studio. L'altezza della colonna rappresenta il valore medio della variabile in corrispondenza delle fenofasi indicate, per ognuna delle 10 specie (A.rup=Agrostis rupestris, A.pen=Alchemilla pentaphyllea. E.min=Euphrasia minima, G.sup=Gnaphalium supinum, L.alp=Leucanthemopsis alpina, Lz.al=Luzula alpinopilosa, P.alp=Poa alpina, R.gla=Ranunculus glacialis, S.her=Salix herbacea, V.alp=Veronica alpina). Le specie sono disposte in ordine crescente di valore e categorizzate in tre gruppi in base al colore della colonna (Rianco=specie tipica di ghiaione, grigio=specie tipica di valletta nivale, nero=specie tipica di prateria). Infine. lettere diverse indicano valori significativamente diversi (GLMM con posthoc di Tukey, p<0.05).

Fig. 5 - Correlazione
tra le fenofasi di Salix
herbacea durante
l'intero quinquennio di
monitoraggio e le tre
variabili somma termica,
giorni dalla fusione e giorni
giuliani. Vengono indicati
il numero di osservazioni
(N), la significatività
statistica (P) e il
coefficiente di Spearman
(R) il quale, all'aumentare
del valore, indica una
correlazione migliore.





giorno di fusione del manto nevoso, riescono a trasportare in alta quota consistenti quantitativi di azoto inorganico che derivano dalle pratiche agricole delle aree di pianura. Concentrazioni elevate di azoto inorganico nel suolo possono favorire lo sviluppo della vegetazione in alta quota solo se il rilascio di nutrienti è sincronizzata con la richiesta da parte delle specie erbacee presenti, in caso contrario (soprattutto per i nitrati, di natura più mobili) possono esserci perdite dal sistema suolo-vegetazione con ricadute sulla qualità dei corpi idrici. Alla luce di tali considerazioni, è evidente quanto il giorno di fusione del manto nevoso ricopra un ruolo di fondamentale importanza in questi ecosistemi d'alta quota, influenzando le caratteristiche dei suoli (umidità, disponibilità dei nutrienti,

ecc.) e l'inizio e la durata della stagione vegetativa (Freppaz et al., 2018).

Risposta fenologica

L'analisi dei dati fenologici evidenzia che le differenti specie, nonostante convivano all'interno dello stesso habitat di valletta nivale, possono avere comportamenti tra loro molto diversi. Vi sono alcune specie, come per esempio Salix herbacea e Ranunculus glacialis, che presentano un rapido susseguirsi di fenofasi fin dall'inizio della stagione vegetativa, con una conseguente fioritura che può avvenire in poche settimane. Altre specie, come Agrostis rupestris, dopo l'emergenza (o la comparsa dei cotiledoni nel caso di Euphrasia minima, unica specie annuale fra quelle analizzate) possono rimanere per diverse settimane prive di strutture riproduttive, per poi concentrare fioritura, fruttificazione e disseminazione in un breve lasso di tempo verso la fine della stagione vegetativa (Figura 4).

Nonostante la comparsa delle diverse fenofasi riveli grosse differenze tra le specie monitorate, evidenziando la presenza di specie precoci e tardive, tutte le specie presentano una risposta simile nei confronti dell'andamento stagionale. La somma termica e il numero di giorni trascorsi dalla data di completa fusione della neve, parametri strettamente collegati alla durata dell'innevamento, consentono di meglio predire rispetto ai giorni giuliani la comparsa di una determinata fenofase, spiegando ad es. in Salix herbacea più del 96% della variabilità dei dati (Figura 5; coefficienti di correlazione R calcolati utilizzando in modo congiunto i dati dei 5 anni). I giorni giuliani , al contrario, mostrano una grossa variabilità tra anni climaticamente differenti, evidenziando es. un netto anticipo delle fenofasi nell'anno 2017, caratterizzato da un precoce scioglimento della neve primaverile e da somme termiche più elevate, a parità di data, rispetto agli altri anni monitorati (Figura 6).

CONCLUSIONI

I suoli e le comunità vegetali di alta quota, a causa delle basse temperature che rallentano i processi di mineralizzazione, della importante presenza di specie perenni e dei processi "rallentati" di colonizzazione dovuti anche alle condizioni estreme, tendono ad essere relativamente stabili nel tempo. Tuttavia, non si può ignorare il fatto che questi ambienti stiano andando incontro a modificazioni climatiche dall'impatto sempre maggiore e che, essendo il ciclo degli elementi nutritivi del suolo e delle specie vegetali estremamente dipendente da fattori climatici e stagionali, le conseguenze su questi habitat potrebbero non tardare a manifestarsi. La fusione della neve anticipata, la minaccia di gelate primaverili e la possibilità di carenze idriche estive, possono determinare importanti cambiamenti sulle caratteristiche dei suoli e della vegetazione. Ad esempio un anticipo della fusione primaverile del manto nevoso può determinare una significativa riduzione dell'azoto inorganico del suolo, con possibili conseguenze sulla nutrizione vegetale.

Le differenze nella risposta alla temperature rilevate per le differenti specie vegetali potrebbero condizionare fortemente il loro successo riproduttivo. Una delle previsioni più condivise dalla letteratura scientifica è quella che vede nel corso degli anni una graduale frammentazione delle vallette nivali, a causa di una sempre maggiore colonizzazione di specie opportuniste dalle circostanti aree di prateria, mentre le specialiste di valletta nivale, meno plastiche, rischiano di andare incontro a un progressivo declino.

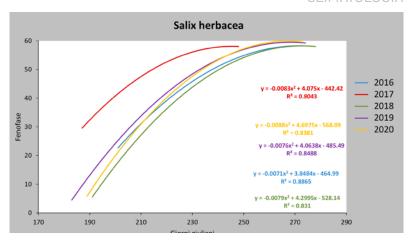


Fig. 6 - Regressione fra tutte le fenofasi di Salix herbacea durante l'intero quinquennio di monitoraggio con la variabile giorni giuliani. I cinque anni vengono identificati separatamente da polinomiali di secondo grado, corredate di rispettiva equazione e valore di R².

Bibliografia

- Björk, R.G., Molau, U. (2007) Ecology of Alpine Snowbeds and the Impact of Global Change. Arctic, Antarctic, and Alpine Research 39:34–43
- Beniston, M. (2006) Mountain weather and climate: a general overview and a focus on climatic change in the Alps. Hydrobiologia 562:3–16
- Cooper, E.J., Dullinger, S., Semenchuk, P. (2011) Late snowmelt delays plant development and results in lower reproductive success in the High Arctic. Plant Science 180:157–167
- Danby, R.K., Hik, D.S. (2007) Responses of white spruce (Picea glauca) to experimental warming at a subarctic alpine treeline. Global Change Biology 13:437-451
- Freppaz M., Marchelli M., Viglietti D., Bruno E., Zanini E. (2006) Suoli più freddi in un mondo più caldo? Il ruolo della neve nel condizionare la temperatura e la vita del suolo. Neve e Valanghe 58:74–81.
- Freppaz, M., Pintaldi, E., Magnani, A., Viglietti, D., Williams, M.W. (2018) Topsoil and snow: a continuum system. Applied Soil Ecology 123:435–440.
- Freppaz, M., Viglietti, D., Balestrini, R., Lonati, M., Colombo, N. (2019) Climatic and pedoclimatic factors driving C and N dynamics in soil and surface water in the alpine tundra (NW-Italian Alps). Nature Conservation 34:67–90.
- Freppaz M., Morra di Cella U., Cremonese E., Filippa G., Pogliotti P., Galvagno M., Martin M., Zanini E. (2012) Ambienti d'alta quota, Alpi Nord Occidentali. In Bertoni R., La Rete Italiana per la ricerca ecologica a lungo termine (LTER-Italia): situazione e prospettive dopo un quinquennio di attività (2006-2011), ARACNE Editrice S.r.l., Roma, 47-60.
- Hock, R., Rasul, G., Adler, C., Caceres, B., Gruber, S., Hirabayashi, Y., Jackson, M., Kääb, A., Kang, S., Kutuzov, S., Milner A.I., Molau, U., Morin, S., Orlove, B., Steltzer, H. (2019) High Mountain Areas: In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.
- Isabellon, M., di Cella, U. M., Gianluca, F., Paolo, P., Edoardo, C., Freppaz, M. (2015) Effetto del manto nevoso sulla temperatura superficiale del suolo. Neve e Valanghe 86: 16-23
- Legay, N., Grassein, F., Robson, T.M., Personeni, E., Bataillé, M.-P., Lavorel, S., Clément, J.-C. (2013). Comparison of inorganic nitrogen uptake dynamics following snowmelt and at peak biomass in subalpine grasslands. Biogeosciences 10:7631–7645.
- Magnani, A., Viglietti, D., Balestrini, R., Williams, M.W., Freppaz, M. (2017a) Contribution of deeper soil horizons to N and C cycling during the snow-free season in alpine tundra, NW Italy. Catena 155: 75–85.
- Magnani, A., Viglietti, D., Godone, D., Williams, M.W., Balestrini, R., Freppaz, M. (2017b) Interannual variability of soil n and c forms in response to snow -cover duration and Pedoclimatic conditions in alpine tundra, northwest Italy. Arctic, Antarctic, and Alpine Research 49 (2):227-242.
- Quaglia, E., Ravetto Enri, S., Perotti, E., Probo, M., Lombardi, G., Lonati, M. (2020) Alpine tundra species phenology is mostly driven by climate-related variables rather than by photoperiod. Journal of Mountain Science 17:2081–2096.
- Rogora, M., Frate, L., Carranza, M.L., Freppaz, M., Stanisci, A., Bertani, I., Bottarin, R., Brambilla, A., Canullo, R., Carbognani, M., Cerrato, C., Chelli, S., Cremonese, E., Cutini, M., Di Musciano, M., Erschbamer, B., Godone, D., Iocchi, M., Isabellon, M., Magnani, A., Mazzola, L., Morra di Cella, U., Pauli, H., Petey, M., Petriccione, B., Porro, F., Psenner, R., Rossetti, G., Scotti, A., Sommaruga, R., Tappeiner, U., Theurillat, J.-P., Tomaselli, M., Viglietti, D., Viterbi, R., Vittoz, P., Winkler, M., Matteucci, G. (2018) Assessment of climate change effects on mountain ecosystems through a cross-site analysis in the Alps and Apennines. Science of the Total Environment 624:1429-1442.





PERMAFROST nelleALP

Luca Paro, **Christian Ronchi**

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali - Arpa Piemonte, Torino

Federico Cavallo

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture - Politecnico di Torino

APPLICAZIONE MODELLISTICA E STIME PER IL 2030 E 2050

PIEMONTESI

MODELING THE PERMAFROST IN THE NORTHWESTERN ALPS: an assesment and a a projection for years 2030 and 2050

Permafrost, the layer of ground that remains below 0 °C for at least two consecutive years, is an essential element of the cryosphere and an important indicator for assessing the intensity and effects of global warming. The extension and thickness of the permafrost are directly influenced by the climatic conditions and the change taking place causes important consequences on the stability of the slopes and infrastructures and on the equilibrium of the ecosystems. The permafrost monitoring started in the Piedmont Alps since 2009 by Arpa Piemonte allows to observe the occurrence of these changes and to estimate the velocity which these are occurring. The effects of climate change on permafrost can be assessed by using numerical simulation models. The choice of the model is important, since it must correctly represent the current situation and allow to quantitatively estimate the condition of the permafrost between ten, twenty or thirty years, in order to be able to draw significant information on the most likely situation expected in the future. On a regional scale this type of study allows to identify in which areas the most significant consequences are foreseen and, therefore, to prevent with appropriate adaptation and mitigation measures such as, for example, the reinforcement of existing structures and the preparation of territorial plans in order to the rational risk management. In the present work, the GEOtop distributed hudrological model was tested through the application in two high altitude alpine sites where Arpa Piemonte's weather and permafrost stations are present: the Passo del Monte Moro (VB) and Colle Sommeiller (T0). The main goal is to evaluate the efficiency of the numerical model in performing one-dimensional simulations in these areas, to test its sensitivity, to obtain a qualitative estimate of the height of the snowpack and the ground surface temperature for the years 2030 and 2050, highlighting the strengths and limitations of this approach. In order to simulate the future climatic conditions, the outputs of the regional climate model COSMO-CLM were used. The initial and boundary conditions were provided by the General Circulation Model (GCM) EC-EARTH under the radiative scenario IPCC – RCP 4.5. Climate data was provided by the CMCC.

Il permafrost, ovvero lo strato di terreno che rimane al di sotto di 0°C per almeno due anni consecutivi, è un elemento essenziale della criosfera ed un importante indicatore per valutare l'intensità e gli effetti del riscaldamento globale. L'estensione e lo spessore del permafrost sono direttamente influenzati dalle condizioni climatiche e i cambiamenti in atto causano, in ambito alpino, importanti conseguenze sulla stabilità dei versanti e delle infrastrutture e sull'equilibrio degli ecosistemi.

Il monitoraggio del permafrost in atto nelle Alpi piemontesi a partire dal 2009 a cura di Arpa Piemonte permette di osservare gueste modificazioni e di stimare la velocità con la quale si stanno verificando. Gli effetti del Cambiamento Climatico sul permafrost possono essere valutati mediante l'utilizzo di modelli di simulazione numerica. La scelta del modello è importante, poiché deve rappresentare correttamente la situazione attuale e permettere di stimare quantitativamente la condizione del permafrost tra dieci, venti o trent'anni, in modo da poter trarre informazioni significative sulla situazione più probabile attesa nel futuro. A scala regionale questo genere di studi consente di individuare in quali zone sono previste conseguenze più significative e, quindi, intervenire preventivamente con opportune misure di adattamento e mitigazione come, ad esempio, il rinforzo di strutture esistenti e la predisposizione di piani di programmazione territoriale finalizzati ad una gestione razionale del rischio.

Nel presente lavoro è stato testato il modello idrologico distribuito GEOtop attraverso l'applicazione in due siti alpini posti ad alta quota in cui sono presenti stazioni meteorologiche e del permafrost di Arpa Piemonte: il Passo del Monte Moro (VB) e il Colle Sommeiller (TO). L'obiettivo è di valutare l'efficienza del modello numerico scelto nell'eseguire simulazioni monodimensionali in queste aree, saggiarne la sua sensitività, ottenere una stima qualitativa dell'altezza del manto nevoso e della temperatura superficiale del terreno per gli anni 2030 e 2050, mettendo in evidenza i punti di forza e i limiti di tale approccio. Per la simulazione delle condizioni climatiche future a livello puntuale, si sono utilizzati gli output del modello climatico regionale COSMO-CLM con condizioni iniziali ed al bordo derivanti dal modello GCM EC-EARTH, il tutto nello scenario radiativo IPCC -RCP 4.5. I dati climatici sono stati forniti dal CMCC.



INTRODUZIONE

Il permafrost è lo strato di terreno con temperature ≤ 0 °C per almeno due anni consecutivi ed è presente prevalentemente nelle regioni artiche e nelle zone di alta montagna. La sua esistenza dipende direttamente dalle condizioni climatiche e per questo è un importante indicatore del cambiamento climatico. In particolare, nel contesto del riscaldamento globale in atto, lo spessore dello strato attivo (lo strato superficiale che subisce i cicli di gelo e disgelo stagionale) sta aumentando, provocando una consequente riduzione dello spessore del permafrost. Questa riduzione ha significative ripercussioni negative, in particolare sul ciclo idrologico, sull'equilibrio degli ecosistemi, sul rilascio di gas clima-alteranti in atmosfera e sulla stabilità dei versanti.

Quest'ultimo aspetto è di particolare importanza in aree montane come le Alpi, densamente abitate ed estesamente urbanizzate fino ad alte quote. La frequen-

za dei fenomeni di instabilità innescatisi in alta quota (interessando porzioni di versante di medie e grandi dimensioni) è in aumento negli ultimi anni. Questi fenomeni in molti casi hanno provocato ingenti danni, arrivando a colpire anche le aree antropizzate di fondovalle. La presenza dell'uomo e delle sue opere in questi contesti aumenta notevolmente il livello di rischio, già aggravato dagli effetti del riscaldamento globale che sulle Alpi presenta una tendenza positiva più marcata rispetto ad altre aree del pianeta.

Al fine di valutare gli effetti del riscaldamento atmosferico nelle aree di alta montagna, in particolare sulla criosfera, negli ultimi decenni sono aumentate le attività di monitoraggio inerenti al permafrost. Arpa Piemonte ha avviato tale attività nel 2009, nell'ambito del progetto europeo Alpine Space "Permanet - Permafrost long-term monitoring network" (http://www.permanet-alpinespace.eu/home.html), stabilendo nelle Alpi piemontesi 5 siti di monitoraggio. Come noto, il monitoraggio strumentale sul campo comporta una serie di limiti e problematiche metrologiche, topologiche e gestionali che devono essere superate per acquisire conoscenze a livello areale ampio. Ai fini di una corretta gestione del rischio e, quindi, di una minimizzazione dei danni attesi in queste aree, questi limiti possono essere superati attraverso l'utilizzo di modelli di simulazione numerica. Infatti, gli effetti dei cambiamenti climatici sul permafrost possono essere simulati mediante l'implementazione di modelli fisico-basati, in grado di correlare i dati del sistema atmosfera-criosfera-litosfera e di rappresentarne i vari feedback nel modo più aderente possibile alla realtà. Tali modelli, combinati con l'output dei modelli climatici regionali, possono fornire importanti informazioni sullo stato locale del permafrost in determinate finestre temporali future.

L'obiettivo principale del presente lavoro è la valutazione dell'efficienza del modello numerico scelto per analizzare l'andamento del permafrost, utilizzando il modello idrologico distribuito "GEOtop", progettato dal gruppo di ricerca dell'Università di Trento (Rigon et al., 2006). Trattandosi di un approccio preliminare applicato per la prima volta in Piemonte, il lavoro è stato principalmente finalizzato ad esplorare il funzionamento del modello a scala locale in due siti (Passo del Monte Moro, VB, e Colle Sommeiller, TO) con diverse simulazioni monodimensionali, verificando i parametri di input, pesandone l'importanza in funzione del ruolo che hanno nel condizionare la temperatura del suolo, e analizzando le basi dati disponibili nei vari contesti geografici, derivanti sia dal monitoraggio sia da modelli climatici per l'applicazione su scenari futuri.

IL MODELLO GEOtop

I modelli che analizzano il permafrost sono un sottoinsieme di una classe più generale di modelli geotermici che valutano principalmente lo stato termico del terreno. Nei modelli di permafrost, infatti, sono due le componenti fondamentali: la prima è il processo annuale di congelamento e scongelamento dello strato attivo, mentre la seconda è lo scambio energetico superficiale.

Gli approcci attualmente adottati hanno consentito di implementare due tipologie principali di modelli: i modelli analitici approssimativi, sviluppati facendo ipotesi di semplificazione, e le tecniche numeriche, impiegate per risolvere problemi complessi accettando errori limitati. Le problematiche legate ai modelli analitici approssimativi, sono:

- i) la scarsa disponibilità delle informazioni di base sul permafrost,
- ii) la forte variabilità interannuale dei valori di temperatura alla base del manto nevoso, e
- iii) la necessità di ricalibrare il modello per ambienti diversi.

Tali limitazioni hanno stimolato il recente sviluppo di modelli numerici transitori, la maggior parte dei quali sono monodimensionali e simulano il profilo verticale di temperatura del suolo. Tra questi assume particolare significato il modello **GEOtop**, che è un modello idrologico distribuito che analizza l'intero ciclo dell'acqua in un bacino idrografico, progettato specificamente per l'uso nelle aree montane e attualmente adattato anche alla ricerca sul permafrost.

Tale approccio modellistico necessita di una considerevole quantità di dati per il calcolo delle condizioni iniziali e al contorno; tuttavia, l'inserimento dei dati è molto semplice, in quanto segue una procedura standard in cui è richiesto di:

1) definire lo spazio modellato impostando un punto iniziale nel tempo e i limiti superiore e inferiore,

- 2) dividere lo spazio continuo in elementi finiti (es. una griglia di nodi) e il tempo continuo in fasi temporali finite,
- 3) specificare le proprietà termiche dei materiali del suolo,
- 4) specificare le condizioni di temperatura, o del flusso di calore, in funzione del tempo (ovvero per ogni fase temporale) per i limiti superiore e inferiore,
- 5) specificare una temperatura iniziale per ogni punto nel profilo.

Il modello GEOtop è concepito per gestire topografie complesse, in quanto fornisce ad ogni punto della griglia di dominio le caratteristiche topografiche del bacino (come quota, pendenza ed esposizione). Le caratteristiche termiche e idrauliche del suolo/roccia, così come la vegetazione, sono fornite in input sotto forma di mappe o di tabelle, insieme a una descrizione verticale degli strati per tenere conto delle stratigrafie eterogenee.

Per ogni fase successiva all'ora di inizio, il modello calcola il nuovo profilo di temperatura in base alla combinazione di proprietà termiche, condizioni antecedenti e al contorno. Grande importanza assume la criosfera, mediante la presenza di neve o ghiaccio, che ha un impatto rilevante sul bilancio energetico della superficie del suolo e sui flussi che lo attraversano, soprattutto in alta quota. Trattandosi di una prima applicazione in via sperimentale sul territorio piemontese, il presente lavoro è stato finalizzato

PERMAFROST Aree di approfondimento Stazioni Siti di monitoraggio Aree di studio asso M. Moro Distribuzione potenziale del Permafrost Probabile Possibile Relitto Colle Sommeiller

ad una SWAT analysis del modello (nei limiti dell'accessibilità al codice), acquisendo in modo specifico sensibilità nella calibrazione dei parametri di input e verificandone l'efficienza nel simulare due elementi imprescindibili per lo studio del permafrost: l'evoluzione del profilo d'altezza del manto nevoso e la temperatura superficiale del suolo a 2 cm di profondità (GST, Ground Surface Temperature).

Sono state svolte inizialmente simulazioni utilizzando i dati meteorologici degli anni passati al fine di valutare se i risultati fossero coerenti con i dati registrati dalle stazioni di monitoraggio del permafrost. La fase di calibrazione è stata effettuata testando i parametri

richiesti dal modello, utilizzando i dati del monitoraggio sia come input per la catena modellistica, sia per il confronto dei risultati ottenuti dalle simulazioni. Come ulteriore approfondimento per valutare le capacità e potenzialità del modello GEOtop nel simulare una condizione futura, sono stati stimati il manto nevoso e la temperatura superficiale nello scenario climatico RCP 4.5 per gli anni 2030 e 2050, utilizzando i dati meteo-climatici forniti dal modello regionale COSMO-CLM.

CASI STUDIO

Per l'applicazione del modello sono state prese in esame due aree campione in cui sono presenti stazioni di monitoraggio

Fig. 1 - Mappa riassuntiva per lo studio del permafrost sul territorio Piemontese con indicati i due siti presi in esame in questo

GLACIOLOGIA

meteorologico e del permafrost della rete di Arpa Piemonte. I siti (Fig.1) sono stati opportunamente scelti in funzione delle diverse caratteristiche strumentali e di dataset in modo da valutare l'efficienza del modello con differenti qualità e quantità di dati misurati in campo. I siti indagati sono:

il **Passo del M. Moro (PMM)**, situato al confine tra Piemonte e Svizzera nell'alta Valle Anzasca (quota 2870 m slm, Comune di Macugnaga, VB);

il **Colle Sommeiller (CS)**, situato al confine tra Piemonte e Francia nell'alta Val di Susa (quota 2985 m slm, Comune di Bardonecchia, TO).

Nel sito PMM è stato effettuato lo studio di sensitività sul modello, in quanto la stazione meteorologica dispone di tutti i parametri meteo ad alta frequenza richiesti dal modello a partire dal 1988: temperatura dell'aria, precipitazione nevosa e liquida, umidità relativa, radiazione solare globale, intensità e direzione del vento. La stazione di monitoraggio del permafrost dispone di dati temperatura del substrato validi dal 2011 al 2014 fino a 30 m di profondità. La stazione CS, invece, rappresenta bene le condizioni più comuni di monitoraggio nelle aree montane, in quanto la stazione meteorologica è strumentata con sensori presenti in molte stazioni di alta quota (nivometro e termo-igrometro aria).

I parametri mancanti sono stati integrati ricorrendo ad altre due stazioni meteorologiche di Arpa Piemonte ubicate in siti confrontabili dal punto di vista microclimatico col sito CS: la stazione del Rifugio Vaccarone (per i dati anemometrici) e di Sestriere Banchetta (per i dati di radiazione solare). La stazione di

monitoraggio del permafrost dispone di dati validi di temperatura del sottosuolo dal 2012 fino a 100 m di profondità, consentendo un adeguato riscontro tra i dati misurati in situ e i valori simulati.

APPPLICAZIONE DEL MODELLO ED ANALISI DEI RISULTATI

Per gli scopi inerenti questo lavoro si sono costruiti i dataset meteorologici necessari utilizzando i dati a partire dal 2009, assemblati in serie a cadenza oraria. Le prime simulazioni evidenziavano una sovrastima dell'altezza del manto nevoso ed una conseguente sovrastima delle temperature GST.

È stato quindi necessario calibrare alcuni parametri (in particolare la radiazione solare, la precipitazione liquida e i valori di conduttività e capacità termica degli strati di suolo) al fine di raggiungere un risultato soddisfacente. La procedura di calibrazione è stata struttura in un ciclo iterativo in cui venivano analizzate tutte le possibili configurazioni dei parametri di input. Al termine del processo, venivano definiti i parametri del dataset di input del modello quando il profilo simulato e quello misurato mostravano la maggiore correlazione, la minore differenza media e la minore deviazione standard.

Modellazione del manto nevoso

In considerazione della sua importanza nel definire il bilancio energetico della superficie del terreno, particolare attenzione è stata posta alla corretta modellizzazione del profilo del manto nevoso. Il modello GEOtop non prevede come dato di input la misura nivometrica strumentale (qualora esistente, come

nei casi qui considerati) ma ripartisce la precipitazione fornitagli in ingresso tra precipitazione liquida e precipitazione nevosa usando la regola dell'U.S. Army Corps of Engeneers (1956):

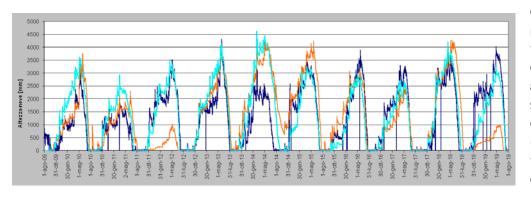
se
$$T_a > T_1$$
 $P_p = P$ $P_n = P - P_p$ se $T_2 < T_a < T_1$ $P_p = \frac{T_a - T_2}{T_1 - T_2}$ $P_n = P - P_p$ se $T_a < T_1$ $P_p = 0$ $P_n = P - P_p$

dove P è la precipitazione fornita in input, Pp è la precipitazione liquida, Pn è la precipitazione nevosa, Ta è la temperatura dell'aria fornita in input, T_1 è la temperatura soglia dell'aria al di sopra della quale tutta la precipitazione è piovosa (di default è uguale a 3 °C), T_2 è la temperatura soglia dell'aria al di sotto della quale tutta la precipitazione è nevosa (di default è uguale a -1 °C).

Oltre al dato di precipitazione derivante

dal pluviometro riscaldato (peraltro assente nel sito CS) sono state effettuate simulazioni utilizzando come dato di input la trasformazione sintetica della neve fresca in acqua equivalente (SWE). Si sono quindi eseguite diverse stime di densità media della neve fresca e, al termine delle simulazioni, si è osservata la maggiore correlazione per valori di densità compresi tra 50 e 80 kg/m³. Come si può osservare in Fig. 2, seppur con alcune imprecisioni il profilo del manto nevoso simulato è risultato rappresentativo del profilo misurato, soprattutto utilizzando come input la SWE. Anche nell'inverno 2013-2014 in cui entrambe le simulazioni risultano particolarmente sovrastimate, la SWE consente almeno di valutare un periodo di assenza di neve al suolo che il dato di precipitazione non riesce a simulare. Infatti, oltre all'altezza del manto nevoso, è stata prestata particolare attenzione anche alla permanenza della neve al suolo. Come noto, l'andamento termico del suolo e del sottosuolo risente in modo significativo non solo dell'effetto isolante esercitato da uno spessore consistente di neve (indicativamente ≥

Fig. 2 - Confronto tra le diverse altezze del manto nevoso da agosto 2009 a luglio 2019 al Passo del M. Moro. In blu la neve misurata dal nivometro ultrasonico della stazione meteorologica. in arancione l'altezza simulata partendo dai dati di precipitazione liquida forniti dal pluviometro riscaldato, in azzurro l'altezza simulata partendo dalla trasformazione in SWE della neve fresca. Tab.1: Parametri intrinseci del materiale costituente il terreno utilizzati nella simulazione.



	Sito/roccia	Permeabilità [mm/s]	Conducibilità term. [W/mK]	Capacità term. [MJ/m³K]
	PMM - gneiss	1*10 ⁻⁶	2,1÷3,4	1,6÷2,7
	CS - detrito	10	0,4÷2,5	1,3÷2,6
	CS – carniola alterata	10	1,8	2,3
	CS – carniola compatta	1*10 ⁻²	2,1÷2,9	2,1÷2,4
ĺ	CS - quarziti	1*10 ⁻³	5÷6	2.1

Tab. 1 - Parametri intrinseci del materiale costituente il terreno utilizzati nella simulazione.



Fig. 3 - Confronto tra i dati misurati e simulati dell'altezza del manto nevoso e della temperatura GST da agosto 2012 a settembre 2013 al Passo del M. Moro.

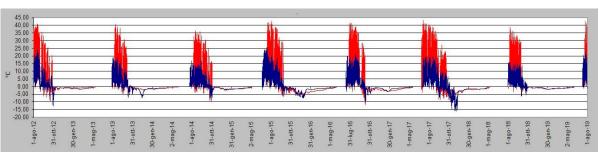


Fig. 4 - Confronto tra i dati misurati (in blu) e simulati (in rosso) della temperatura GST da agosto 2012 a luglio 2019 al Colle Sommeiller.

80-100 cm) nei confronti delle forzanti atmosferiche, ma anche della presenza della neve soprattutto durante la fase di fusione primaverile-estiva. Durante questo periodo, l'acqua di infiltrazione che umidifica la neve, raggiunge la superficie del suolo, portando la sua temperatura prossima a 0 °C per tutto il periodo di fusione (mediamente da maggio a luglio).

Modellazione della temperatura nel suolo (GST)

Per la modellazione della temperatura del suolo/sottosuolo, il modello GEOtop considera alcuni parametri intrinseci del materiale costituente il terreno (conducibilità e capacità termica, permeabilità) ed alcuni parametri di contorno che definiscono le condizioni inziali (quali la suddivisione del sottosuolo in livelli di spessore definito, la temperatura iniziale

di ciascun livello, il flusso geotermico). Grazie ai dati del monitoraggio del permafrost ed ai dati geologico-tecnici ottenuti durante la perforazione dei pozzi in cui sono inserite le catene termometriche, gran parte di queste informazioni erano note o stimabili per le due stazioni considerate nel presente lavoro.

La stratigrafia del pozzo del sito PMM è costituita prevalentemente da gneiss compatto mentre nel sito CS la stratigrafia è leggermente più complessa, con i primi decimetri costituiti da una coltre sabbioso-ghiaiosa, i successivi 50 m costituiti da una breccia tettonica con prevalente cemento carbonatico ("carniola" s.l.), e gli ultimi 50 m costituiti da quarziti compatte più o meno fratturate. I parametri utilizzati per le simulazioni sono desunti da letteratura e sono riportati in tab. 1.

Le simulazioni modellistiche condotte nel sito PMM hanno dato buoni risultati, talora con ottime correlazioni sia per l'altezza di manto nevoso, sia per la temperatura GST (come nell'anno 2012-'13 riportato in Fig. 3). Nel sito CS, invece, le medesime applicazioni nei periodi caratterizzati da assenza di neve restituiscono risultati con significative sovrastime (anche di oltre 15 °C) rispetto ai dati di temperatura GST misurati (Fig. 4).

Al fine di comprendere i motivi della generazione di tali scostamenti, sono state effettuate numerose calibrazioni, dettagliando ulteriormente la stratigrafia del substrato e analizzando con maggiore attenzione i parametri di input, tenuto conto che i dati anemometrici e di radiazione solare non sono riferiti al sito specifico preso in considerazione. Dai risultati di tali applicazioni è emerso

GLACIOLOGIA

che il modello sovrastima i dati misurati proporzionalmente alla intensità di irraggiamento. In particolare, dall'analisi oraria della distribuzione della radiazione solare, risulta che gli scostamenti maggiori (compresi tra 5,7 e 17,5 °C) tra le temperature GST misurata/simulata si verificano tra le 8:00 e le 17:00 nei periodi senza neve al suolo (agostonovembre), per valori di radiazione superiori a 100 W/m².

SCENARI CLIMATICI PER IL 2030 ED IL 2050

Utilizzando un modello climatico regionale è stata eseguita una simulazione meteo-climatica al fine di ottenere i dati meteorologici necessari per le due località in esame da utilizzare come dato di input per le applicazioni del modello GEOtop ai fini predittivi per gli anni 2030 e 2050, intesi come "anno medio nel quinquennio centrato rispettivamente nel 2030 e 2050".

Il Modello Climatico Regionale scelto è COSMO CLM, un modello climatico non idrostatico di predizione del sistema atmosferico, sviluppato dal CMCC nell'ambito del Consorzio CLM-Community, utilizzato per il downscaling dinamico del Modello Climatico Globale EC-EARTH che fornisce condizioni iniziali e al bordo del dominio regionale. Il dominio spaziale utilizzato è quello del progetto di cooperazione

transfrontaliera tra Francia e Italia Interreg ALCOTRA-CLIMAERA ed avente una risoluzione spaziale di 8 km. I dati meteorologici ottenuti dalla simulazione climatica sono stati modellati all'interno di uno specifico scenario climatico, ovvero l'RCP 4.5. Gli scenari RCP (Representative Concentration Pathways), a differenza dei SRES (Special Report on Emissions Scenarios), sono denominati come percorsi (pathway) per sottolineare che sono delle proiezioni future nelle quali viene "forzato" l'obiettivo di stabilizzare la concentrazione di gas serra, in particolare la CO₂, a un livello specifico entro il 2100 (IPCC, 2013). In particolare, lo scenario scelto per questo lavoro ovvero l'RCP 4.5, prevede un futuro nel quale, a livello globale, la forzante radiativa consequente alle concentrazioni di gas climalteranti emesse in atmosfera raggiungerà il suo picco attorno al 2040 per poi stabilizzarsi. In tale scenario, nel 2100 la forzante radiativa ammonterà a +4,5 W/m², rispetto al valori dell'anno base 1850.

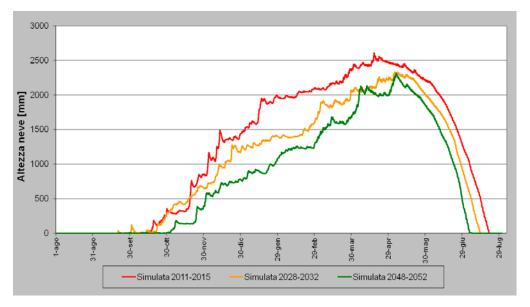
La simulazione climatica nel presente lavoro è stata eseguita per i quinquenni 2011÷2015 (run di controllo), 2028÷2032 e 2048÷2052. I dati ottenuti sono quindi stati mediati in modo da ottenere un anno rappresentativo dell'intero quinquennio (2013, 2030 e 2050). Considerata la non linearità connessa ai fenomeni climatici, si è valutata preliminarmente la validità nell'utilizzare

un anno medio come rappresentativo di un periodo di 5 anni. Si è quindi eseguita una verifica nel periodo di controllo (2013) sulla coerenza tra le simulazioni dal modello climatico ed i dati misurati dalle stazioni meteorologiche nei siti PMM e CS. Tale verifica ha individuato una sovrastima nei dati di precipitazione liquida che è stata corretta, mediante bias correction, anche nei periodi 2030 e 2050.

I dati meteorologici così ottenuti sono stati quindi forniti come input al modello GEOtop, che ha eseguito la simulazione del profilo di temperatura a 2 cm di profondità (GST) e del manto nevoso. Si sottolinea che, mentre può avere senso valutare quantitativamente l'altezza del manto nevoso prevista dal momento che i dati a disposizione per effettuare la previsione sono esclusivamente meteorologici, questo non vale per la stima della temperatura GST poiché non si dispone al momento di dati riguardanti la temperatura iniziale del suolo nel periodo di inizio della simulazione. Per questo motivo i risultati sono stati analizzati esclusivamente in maniera qualitativa. Le simulazioni indicano una diminuzione progressiva dell'altezza del manto nevoso (circa -11% nel sito PMM e -4,6% nel sito CS) e del periodo di permanenza di neve al suolo nei prossimi decenni (Fig. 5). Infatti, nel 2050 l'isolamento termico del suolo (con spessori di almeno 80-100 cm) si raggiungerà circa 30-40 giorni più tardi rispetto ai periodi precedenti, mentre la completa fusione estiva terminerà con circa 20 giorni di anticipo.

Questa evoluzione del manto nevoso si ripercuoterà sulle temperature del suolo con una tendenza alla diminuzione della temperatura negli strati superficiali nel periodo invernale, stimata nell'ordine di circa -2 °C per il 2050 (Fig. 6). Ovviamente, tali considerazioni non indicano che il permafrost potrà aggradarsi in quanto le temperature estive saranno più elevate dei periodi precedenti ed il bilancio energetico annuale del terreno sarà positivo.

Fig. 5 - Altezza media del manto nevoso simulata utilizzando i dati meteoclimatici mediati del quinquennio 2011/2015 (linea rossa), 2028/2032 (linea arancione) e 2048/2052 (linea verde) al Passo del M. Moro.



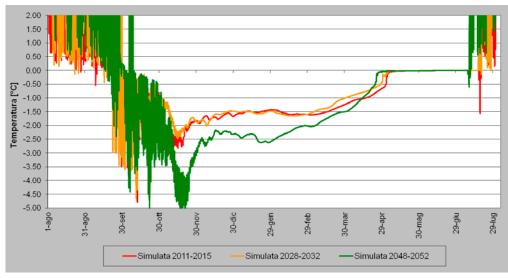
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E PROSPETTIVE FUTURE

L'applicazione del modello numerico GEOtop in due siti delle Alpi piemontesi ha dimostrato la sua generale validità, in grado di fornire utili indicazioni sia per la valutazione idrologica del bacino ma anche per le considerazioni di carattere energetico del suolo e sottosuolo. Tuttavia, a valle della sperimentazione effettuata, restano alcuni nodi importanti da sciogliere prima di poter procedere in modo sistematico ad una applicazione del modello su territori estesi.

Una prima difficoltà riscontrata è insita nel codice del modello, non del tutto esplicitato, per cui alcuni parametri di input devono essere calibrati in modo empirico, attraverso numerosi passaggi iterativi. Un altro importante ostacolo è rappresentato dal modello di simulazione del manto nevoso che non accetta come dato di input le misure nivometriche, costringendo l'operatore a forzare i dataset disponibili aumentando il grado di incertezza anche in fase di verifica del modello stesso. Infine, uno degli aspetti principali che restano irrisolti nel presente lavoro, nonostante i numerosi sforzi effettuati per raggiungere l'obiettivo, riguarda la corretta trattazione sia della radiazione solare sia della parametrizzazione del sottosuolo.

Va sottolineato, comunque, che la modellizzazione degli scambi energetici tra litosfera e atmosfera non è un obiettivo semplice da raggiungere. Dunque, quanto sopra riportato non è una critica nei confronti di coloro che hanno fatto un grande lavoro nel realizzare e implementare questo modello ma è un suggerimento a tenere in considerazione questi aspetti che sono emersi nel corso del presente lavoro per le future implementazioni di GEOtop.

In considerazione dei risultati positivi emersi da questa prima applicazione, Arpa Piemonte estenderà le analisi modellistiche a zone più ampie del territorio



alpino piemontese, con l'obiettivo di: 1) ridurre le incertezze sui parametri riscontrate finora,

2) applicare il modello sia su ampi areali sia sui volumi deli ammassi rocciosi, 3) ottenere stime sul bilancio energetico del sottosuolo ai fini predittivi applicando scenari climatici validi per la nostra regione. Dal punto di vista della simulazione climatica inoltre potrebbe essere maggiormente indicativo l'utilizzo di un ensemble di modelli climatici su differenti scenari (progetto EURO-CORDEX), piuttosto che affidasi ad un unico modello su un singolo scenario, a patto ovviamente di poter disporre di dati climatici ad alta risoluzione spaziale e con cadenza temporale inferiore al giorno. L'obiettivo a lungo termine, infatti, è di individuare le aree in cui la degradazione del permafrost nel prossimo futuro causato del cambiamento climatico potrà essere fonte di importanti conseguenze per il territorio antropizzato, al fine di intervenire preventivamente con misure di adattamento e mitigazione del rischio.

Fig. 6 - Dettaglio per il periodo con neve al suolo della temperatura GST simulata utilizzando i dati meteo-climatici mediati del quinquennio 2011/2015 (linea rossa), 2028/2032 (linea arancione) e 2048/2052 (linea verde) al Colle Sommeiller.

Bibliografia

Bisckaborn K.b., Smith S.I., Noetzli J., Matthes H., Vieira G., Streletskiy D.a., Schoeneich P., Romanovsky V.e., Lewkowicz A.g., Abramov A., Allard M., Boike J., Cable W.I., Cristiansen H.h, Delaloye R., Diekmann B., Drozdov D., Etzelmuller B., Grosse G., Gugliemin M., Ingeman-Nielsen T., Isaksen K., Ishikawa M., Johansson M., Johansson H., Joo A., Kaverin D., Kholodov A., Konstantinov P., Kroger T., Lambiel C., Lanckman J, Luo D., Malkova G., Meiklejohn I., Moskalenko N., Oliva M., Phillips M., Ramos M., Sannel A.b.k., Sergeev D., Seybold C., Skryabin P., Alexander V., Wu Q., Yoshikawa K., Zheleznyak M., Lantuit H., 2019, Permafrost is warming at a global scale, Nature Communications, Vol. 10, Issue 1.

- Brodzik M. J., 2004, The relationship of snow water equivalent to snow depth and density, www.webarchiv.ethz.ch, pp. 1-2.
- Cugerone K., Allamano P., Salandin A., Barbero S., 2012, Stima della Precipitazione in Siti di Alta Quota, Neve e Valanghe, n°77, pp. 36-43.
- Hoelzle M., Mittaz C., Etzelmuller B., Haeberli W., 2001, Surface energy fluxes and distribution models relating to permafrost in European Mountain areas: an overview of current developments, Permafrost and Periglacial Processes, Vol 12, pp. 53–68.
- IPCC, 2013, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [Stocker T.F., Qin D., Plattner G.K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M.], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Paro L., Guglielmin M., 2013, Sintesi e primi risultati delle attività di Arpa Piemonte su ambiente periglaciale e permafrost nelle Alpi piemontesi, Neve e Valanghe n. 80, AINEVA, pp. 50-59
- Rigon R., Bertoldi G., Over T.m., 2006, GEOtop: A distributed hydrological model with coupled water and energy budgets, Journal of Hydrometeorology 7(3), pp. 371–388.
- Schoeneich P., 2011, Guide lines for monitoring GST: Ground Surface Temperature, PermaNET, Version 2.

