





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 Finanze, Innovazione, Opere Pubbliche e Territorio Dip. Programmazione, Risorse Idriche e Territorio Direzione Assetto Idrogeologico dei bacini Montani

Loc. Amerique, 33 - 11020 QUART (A0) e-mail: difesa_suolo@pec.regione.vda.it Tel. 0165-776604 - 348 3963545

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 Valerio SEGOR

Valerio SEGUK Regione Autonoma Valle d'Aosta

Comitato di redazione:

Erika SOLERO, Giovanna BURELLI, Susanna GRASSO, Walter BEOZZO, Fabio GHESER, Mauro VALT, Mauro AZZINI, Stefano SOFIA, Elena BARBERA, Igor CHIAMBRETTI

Coordinamento Redazionale:

Alfredo PRAOLINI

Comitato scientifico editoriale:

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

Segreteria di Redazione:

ASSOCIAZIONE INTERREGIONALE
DI COORDINAMENTO E DOCUMENTAZIONE PER I
PROBLEMI INERENTI ALLA NEVE E ALLE VALANGHE
Vicolo dell'Adige, 27 - 38122 TRENTO
Tel. +39 0461 232225
aineva@aineva.it - aineva@pec.aineva.it
www.aineva.it

Videoimpaginazione e grafica: MOTTARELLA STUDIO GRAFICO

MOTTARELLA STUDIO GRAFICO www.mottarella.com Cosio Valtellino (SO)

Hanno collaborato a questo numero:

Serena Mottarella, Stefania Del Barba, Nadia Preghenella.

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

Referenze fotografiche:

Foto di copertina: Renato Zasso Scialpinismo sulle piste da sci, chiuse a causa del lockdown

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

INDICE

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



EDITORIALE

"Neve e Valanghe" si presenta con un nuovo numero online a conclusione di un anno ancora caratterizzato da una certa "normalità di vita" che tanto si fa desiderare, dato il contestuale perdurare della situazione pandemica.

Nella consueta opera comunicativo-divulgativa, la rivista presenta contributi che - come l'articolo sugli incidenti da valanga occorsi nella stagione invernale 2020-2021 - vogliono essere momenti di riflessione e "strumenti" di prevenzione per gli utenti della montagna innevata, anche in vista della stagione appena iniziata.

Proprio la casistica degli incidenti mortali richiede una particolare attenzione: in una stagione caratterizzata da grosse limitazioni alla pratica degli sport in genere, ecco "esplodere la pratica dello scialpinismo". Questa attività ha visto la presenza sulla neve di molti neofiti (con richieste di attrezzature specifiche che neanche i più forniti magazzini sono riusciti talora a soddisfare) che avrebbero potuto incorrere in esperienze negative; fortuna vuole che la maggior parte di loro, coscienti della mancanza di formazione specifica, sia tecnica che culturale, ha scelto di percorrere le piste da sci nei comprensori sciistici per la maggior parte chiusi al 100%. Risalta invece il numero di professionisti o, comunque, di praticanti "esperti", che perdono la vita in seguito al distacco di valanga, per la maggior parte causata da loro stessi!

Pur nelle difficoltà lavorative correlate alla pandemia, gli Uffici Valanghe preposti alla redazione di Bollettini di analisi e previsione valanghe hanno seguito costantemente, per tutta la stagione invernale scorsa, l'evolversi del manto nevoso al suolo caratterizzandone eventuali criticità, fornendo puntualmente prodotti di qualità dalle prime nevicate in quota alla graduale scomparsa, quest'anno avvenuta tardivamente causa precipitazioni nevose abbondanti ancora a maggio ed il perdurare di basse temperature.

Questa voglia di attività all'aria aperta, volta a cancellare i momenti più difficili delle fasi di "lockdown", potrebbe portare, anche quest'anno, ad un ulteriore aumento dei frequentatori dell'ambiente innevato che, auspicando in un rapido ritorno alla normalità nei comprensori sciistici, si confronteranno potenzialmente con le insidie più caratteristiche del territorio "non gestito" con necessaria maggiore cura nel recepire le informazioni veicolate con i bollettini.

In questo numero della rivista trovano poi ampio spazio presentazioni a tema glaciologico da cui emerge come l'influenza dei cambiamenti climatici, in particolare l'aumento della temperatura, influisca in modo sensibile e determinante sui loro equilibri con rapide transizioni verso dinamiche da ghiacciaio temperato a quote sempre più elevate.

Articoli improntati sull'indagine Cartografica delle Valanghe presentano primi approcci su settori più meridionali dell'Appennino, mentre la Regione Piemonte fa il punto della situazione su ulteriori aggiornamenti. L'analisi della copertura nevosa del suolo elaborata dall'Ufficio valanghe di Trento, attraverso l'interpretazione di immagini satellitari, ed il rilievo dello Snow Water Equivalent, eseguito attraverso l'utilizzo di una sonda innovativa che rileva i dati in automatico, ben fanno risaltare la capacità di adottare tecniche scientifiche in uso a scala mondiale.

Le grosse limitazioni nell'attività lavorativa "in presenza" non hanno però scoraggiato il corpo tecnico di AINEVA dal promuovere iniziative anche nel settore della formazione: alcuni corsi sono stati promossi - per le parti teoriche attraverso l'utilizzo di piattaforme web - e verranno completati con la pratica sul terreno non appena le condizioni sanitarie e ambientali lo permetteranno.

L'auspicio è che si possa, già nel breve/medio termine, riprendere ritmi di vita che consentano di soddisfare appieno le attività lavorative di monitoraggio nivologico in campo e, al contempo, dare sfogo alla voglia di tutti di tornare sulla neve a divertirsi!





Massimo Santoni,

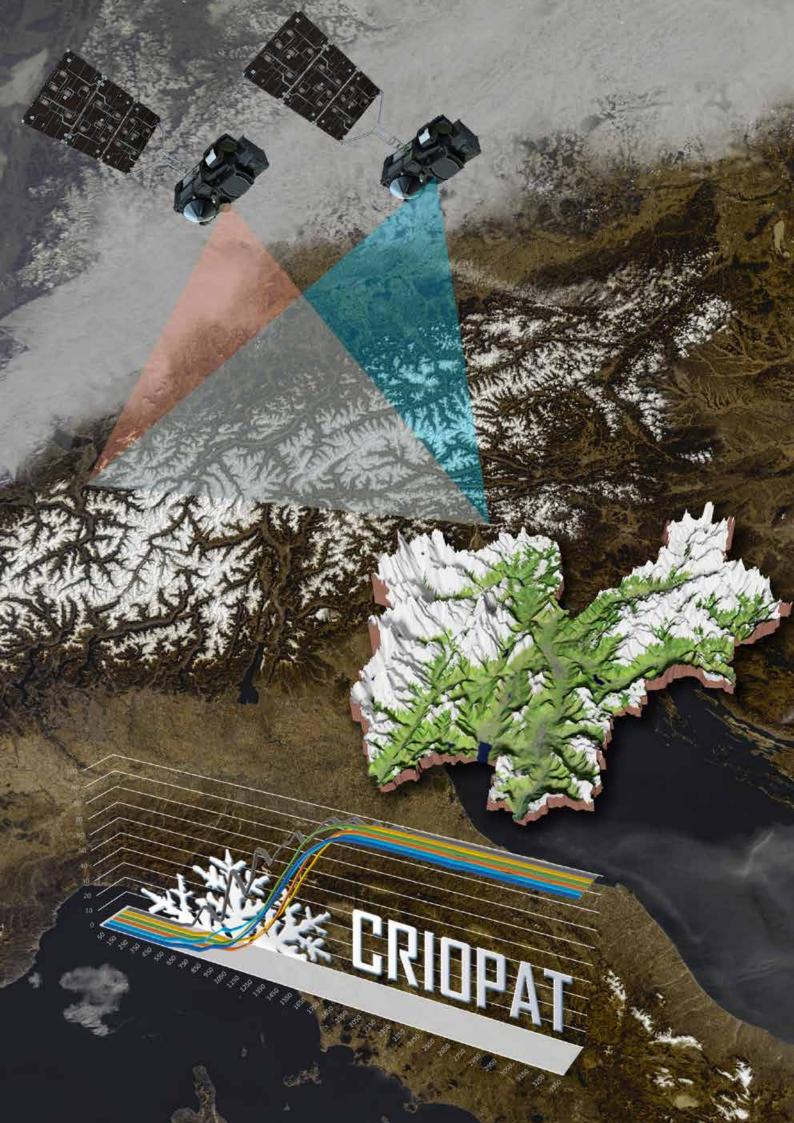
Lorenzo Bruzzone RSLAB - Università di Trento

Walter Beozzo, Paolo Cestari, Mauro Gaddo

Ufficio Previsioni e Pianificazione -Provincia Autonoma di Trento

The evolution of the CRIOPAT project

This paper presents the CRIOPAT project, started in 2012 from the cooperation between the Forecasting and Planning Office of the Autonomous Province of Trento and the Remote Sensing Laboratory (RSLab) of the Department of Information Engineering and Computer Science of the University of Trento. CRIOPAT is an integrated analysis system that is able to automatically gather important information about snow coverage on a daily basis in the Trentino region through satellite images. To date, CRIOPAT has generated a 20 years long time series of nivological data for the province of Trento. The evolution of the system presented here aims to extend the expected life of the system by integrating the data acquired by the Sentinel-3 constellation and to improve the analysis tools with new types of statistical data and their visualization in the web Ul. As expected, the new statistical data highlights the variations among different snow cover distributions allowing thus a better exploitation of the system. Lastly, the publication of CRIOPAT data is presented on the Open Data portal of Trentino. Questo articolo presenta l'evoluzione del progetto CRIOPAT, nato nel 2012 dalla collaborazione tra l'Ufficio Previsioni e Pianificazione della Provincia autonoma di Trento e il laboratorio di telerilevamento (RSLab) del Dipartimento di Ingegneria e Scienze dell'Informazione dell'Università di Trento. CRIOPAT è un sistema di analisi integrato in grado di estrarre automaticamente con cadenza giornaliera informazioni rilevanti sulla copertura nevosa del territorio trentino da immagini satellitari. Ad oggi CRIOPAT ha prodotto un'interessante serie storica di dati relativi alla copertura nevosa di durata ventennale; questa evoluzione ha quindi l'obiettivo di estendere la vita futura del sistema mediante l'integrazione dei dati acquisiti dalla costellazione Sentinel-3 e ampliare gli strumenti di analisi a disposizione grazie a nuovi dati statistici e alla loro rappresentazione grafica nell'interfaccia web del sistema. Le nuove statistiche di copertura nevosa sviluppate evidenziano, come atteso, differenti evoluzioni stagionali della distribuzione del manto nevoso, permettendo quindi una miglior fruibilità dei dati prodotti. Infine, l'articolo presenta la pubblicazione dei dati prodotti da CRIOPAT nel portale Open Data del Trentino.



INTRODUZIONE

Sul numero 83 di Neve e Valanghe del dicembre 2014 venne pubblicato un articolo [1] sul progetto CRIOPAT che, mediante l'uso delle immagini satellitari MODIS della NASA (disponibili gratuitamente dal febbraio 2000) permette un monitoraggio giornaliero della copertura nevosa del Trentino. Visto l'interesse riscontrato nella serie storica ventennale prodotta, l'Ufficio Previsioni e Pianificazione della Provincia autonoma di Trento ha voluto investire nuove risorse per continuare il monitoraggio, estendere gli strumenti di analisi statistica e rendere liberamente accessibili i prodotti principali.

Per garantire la continuità del dato raccolto e migliorare la qualità del prodotto si è rivelato necessario aggiornare l'algoritmo di CRIOPAT per analizzare anche le immagini della costellazione di satelliti Sentinel dell'ESA.

LE POTENZIALITÀ DELLA COSTELLAZIONE SENTINEL DELL'ESA

La costellazione di satelliti Sentinel fa parte dell'iniziativa Copernicus di ESA e della Commissione Europea che ha come obiettivo quello di fornire alla Comunità Europea la capacità di acquisire e gestire in modo autonomo dati ed informazioni per l'osservazione della Terra. Allo stato attuale sono state lanciate 5 diverse tipologie di satelliti, per un totale di 8 satelliti in orbita. Di particolare interesse per lo studio della criosfera sono le tre coppie di satelliti delle famiglie Sentinel-1, Sentinel-2 e Sentinel-3. Le

prime due, Sentinel-1 e Sentinel-2, condividono una simile risoluzione spaziale nell'ordine di 10-20 m/px ed un analogo tempo di rivisitazione di circa 5 giorni. I due satelliti Sentinel-1 sono equipaggiati con un sensore SAR in banda C, che permette l'osservazione della superficie in modo indipendente dalle condizioni di illuminazione o di copertura nuvolosa, mentre i due satelliti Sentinel-2 sono dotati di uno scanner multispettrale che opera nelle lunghezze d'onda del visibile e del vicino e medio infrarosso. La costellazione Sentinel-3 ha invece delle caratteristiche differenti e complementari, dispone infatti di una suite di strumenti che hanno come obiettivo la mappatura degli oceani e delle terre emerse con un'alta frequenza temporale. Queste caratteristiche rendono Sentinel-3 simile in alcuni aspetti al satellite TERRA della NASA sui cui dati si basa la versione iniziale di CRIOPAT e perciò si è rivelato essere il candidato ideale per affiancarlo, garantendo così una nuova sorgente di dati. È importante notare che il satellite TERRA, in orbita dal 2000, attualmente è ancora operativo e dovrebbe rimanere tale per alcuni anni ancora ma ad oggi ha superato di ben 3 volte il periodo operativo per cui era stato progettato ed il carburante disponibile per le manovre di correzione dell'orbita è ridotto ormai al minimo.

Come anticipato, Sentinel-3 dispone di vari strumenti a bordo, tra questi quel-lo di maggior interesse per il progetto CRIOPAT è Ocean and Land Color Imager (OLCI) ovvero uno scanner multispettrale con 21 bande spettrali distribuite tra

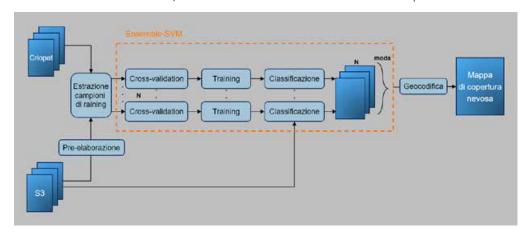
400 e 1020 nm, una risoluzione spaziale di 300 m/px in tutte le bande e, grazie alla combinazione di due satelliti in orbita con una swatch di acquisizione (strisciata a terra) di 1270km, un tempo di rivisitazione di un solo giorno.

IL NUOVO ALGORITMO IMPLEMENTATO

I dati acquisiti dalla famiglia di satelliti Sentinel sono disponibili gratuitamente tramite il portale *Copernicus Open Access Hub* [Nota 1]. Per quanto riguarda Sentinel-3 OLCI vengono forniti i dati livello 1 di radianza "top-of-atmoshpere", ovvero senza correzione atmosferica, in formato NetCDF. Questi dati sono organizzati secondo la geometria originale di acquisizione, perciò è stato necessario introdurre un primo passaggio di preelaborazione dei dati.

Benché MODIS e OLCI condividano alcune caratteristiche non è possibile applicare in modo diretto il sistema di classificazione sviluppato precedentemente in CRIOPAT ai dati Sentinel-3. Dovendo quindi definire un nuovo classificatore, uno degli aspetti considerati è stato cercare di garantire la massima compatibilità tra le mappe di copertura nevosa derivate da dati MODIS e OLCI, cercando allo stesso tempo di non propagare eventuali errori di classificazione del primo sistema. La soluzione scelta si basa su un classificatore supervisionato di tipo Support Vector Machine [2] dove i campioni di training sono stati estratti in modo automatico usando le mappe di copertura nevosa generate dai dati MO-DIS. La capacità di questo approccio di estrarre un grande numero di campioni ha permesso la definizione di un insieme di 8 classificatori, ognuno dei quali basato su un insieme indipendente di dati il cui risultato viene aggregato nella mappa finale tramite un sistema di voto a maggioranza. Questa tecnica, nota in letteratura come Ensemble Learning [3][4] permette di realizzare un sistema di classificazione (Figura 1) più robusto rispetto all'uso di un singolo classificatore. Per ridurre la ridondanza

Fig. 1 - Schema a blocchi del sistema di classificazione di CRIOPAT 2.0

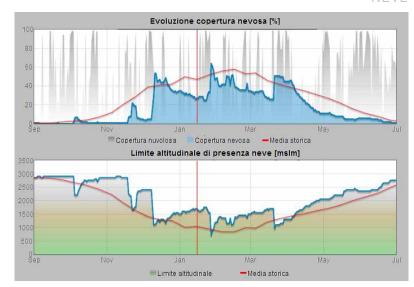


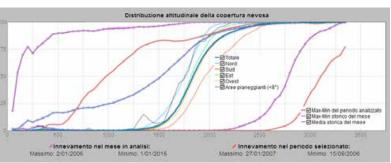
dei campioni di training, nella fase di selezione è stato sviluppato un algoritmo dedicato che mira a identificare in modo iterativo i campioni che appaiono più incerti al classificatore, permettendo così di cogliere elementi minoritari che una selezione casuale difficilmente avrebbe valutato.

Al fine di integrare le mappe derivate dai dati OLCI dei due satelliti Sentinel-3 con quelle già prodotte in CRIOPAT mediante l'analisi dei dati MODIS, è stato sviluppato un algoritmo di fusione che permette di condensare in una sola mappa le informazioni fornite dalle due catene di elaborazione. Per ogni pixel della mappa finale questo algoritmo unisce l'informazione delle aree non nuvolose delle mappe prodotte per un dato giorno e, nel caso esse non siano concordi, sceglie il valore della mappa derivata dal dato con un angolo di vista migliore. È stato infatti osservato, in modo particolarmente evidente sui dati MODIS, che la risoluzione spaziale e in modo più generale la qualità del dato viene degradata quando l'area osservata si trova vicino al bordo del campo visivo del sensore. Questo fenomeno è dovuto all'ampio campo visivo di questa tipologia di sensori, fattore fondamentale per garantire la copertura globale giornaliera da un'orbita eliosincrona. Ciò comporta angoli di visione che nel caso di MODIS arrivano a 55 gradi dalla verticale sul bordo del campo visivo.

L'EVOLUZIONE DEGLI STRUMENTI DI ANALISI STATISTICA DEI DATI

L'interfaccia web originaria del progetto CRIOPAT [1] è stata arricchita da nuove funzionalità con l'intento di potenziare l'analisi dell'evoluzione della copertura nevosa e del limite altitudinale di presenza neve nel periodo di interesse. Per il giorno sotto esame, evidenziato con una barra verticale rossa nei grafici di Figura 2, è ora disponibile una serie di curve di distribuzione altitudinale della copertura nevosa differenziabile anche





in base all'esposizione dei versanti (Figura 3). Tali curve vengono costruite considerando la percentuale di pixel identificati come neve (celle di colore bianco di dimensione 250m x 250m) sul totale di quelli posti in una determinata fascia altimetrica. Inoltre è possibile confrontare la distribuzione giornaliera con le curve storiche di minima e massima copertura giornaliera nello stesso mese (linea viola con pallini), oppure con la media storica del mese (linea azzurra con pallini). Con linea rossa continua vengono invece riportati i massimi e minimi di copertura nevosa nel periodo analizzato.

Per un efficace confronto tra loro le curve vengono normalizzate secondo la sequente funzione:

$$H(alt, esp) = \frac{\sum pixelnevosi (alt, esp)}{\sum pixel (alt, esp)}$$

La variabile "alt" rappresenta le fasce altitudinali ad intervalli di 50m, mentre "esp" rappresenta l'angolo di esposizione anch'esso quantizzato nelle seguenti classi: nord, sud, est, ovest e zone pianeggianti. Vengono considerate zone

pianeggianti le aree che presentano una pendenza inferiore ad 8 gradi; questo valore è definito non tanto rispetto alle caratteristiche di stabilità del manto nevoso (come nell'analisi di rischio valanghivo) bensì con l'obiettivo di raggruppare le aree in cui l'angolo di esposizione diventa trascurabile a causa della bassa pendenza avendo così condizioni di irraggiamento solare molto simili. Inoltre, tali aree coincidono in buona parte con i fondovalle che presentano un uso del suolo spesso differente dalle aree a maggior pendenza. Sono state analizzate anche le aree con pendenza superiore a 60 gradi, ossia quelle considerate soggette a regolari distacchi valanghivi spontanei, data però la risoluzione spaziale dei dati in analisi non sono state riscontrate aree di questo tipo nella provincia di Trento. Dall'analisi di queste statistiche si è notato che nei casi in cui il numero di campioni (pixel o celle 250m x 250m) appartenente alla fascia altitudinale in esame risulti eccessivamente ridotto la distribuzione altitudinale presenta un andamento rumoroso e quindi poco leggibile. Un'analisi specifica ha per-

Fig. 2 - Periodo settembre 2006 giugno 2007: grafico dell'evoluzione della percentuale di copertura nevosa del Trentino (in azzurro) e della quota limite della presenza di neve al suolo (in verde). Con tratto rosso continuo sono riportate in decadi fisse le medie storiche calcolate sugli anni antecedenti a quello in esame. La barra rossa verticale indica la data del giorno in esame, il 15 gennaio 2007.

Fia. 3 - Distribuzione altitudinale della neve al suolo per lunedì 15 gennaio 2007. Al centro le curve per la giornata in esame con i colori: ciano (Nord), rosso (Sud), verde (Est), giallo (Ovest), differenziano le diverse percentuali di innevamento per quota al variare dell'esposizione dei versanti. La linea azzurra (Totale) descrive l'andamento medio complessivo comprensivo anche della curva di distribuzione delle aree pianeggianti con andamento più irregolare per ali effetti di situazioni specifiche locali.

messo di identificare il minimo valore di campioni che garantisce di ottenere delle statistiche affidabili adottandolo poi come default di un parametro regolabile nell'interfaccia web di consultazione. Questo strumento permette di individuare e filtrare risultati rumorosi e poco affidabili che emergono soprattuto quando si eseguono analisi su porzioni del territorio provinciale.

Altro utile strumento sviluppato nel progetto CRIOPAT sono le mappe di persistenza mensile della neve al suolo che indicano per quanti giorni in un mese il territorio della provincia di Trento è coperto da neve. Mensilmente tutti i pixel rappresentativi di una superficie quadrata di 250 m di lato vengono assegnati ad una delle sei classi di persistenza (Figura 4) e colorati in tonalità di verde per produrre la mappa di persistenza mensile (Figura 5).

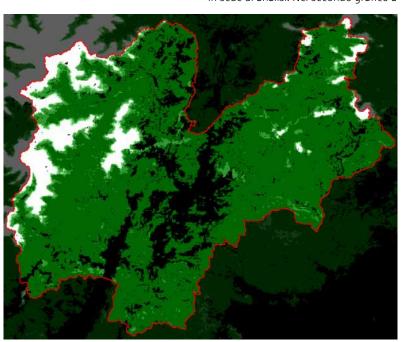
Da queste mappe si sono ricavate interessanti statistiche mensili con strumenti di analisi già presenti nella prima versione di CRIOPAT [1]: sono i grafici di evoluzione storica della copertura

Fig. 4 - Definizione delle sei classi di persistenza.

Classi di persistenza % di giorni sul totale mensile □90-100% (da 27 a 30 giorni/mese medio) □75-90% (da 23 a 27 giorni/mese medio) □50-75% (da 15 a 23 giorni/mese medio) □25-50% (da 8 a 15 giorni/mese medio) ■10-25% (da 3 a 8 giorni/mese medio)

■0-10% (da 0 a 3 giorni/mese medio)

Fig. 5 - mappa di persistenza per il mese di novembre 2005 sul territorio della Provincia autonoma di Trento dall'interfaccia web di CRIOPAT [11].



nevosa (Figura 6 a)) e del relativo limite altitudinale della presenza di neve al suolo (Figura 6 b)).

Nel primo di questi grafici l'istogramma a colonne sovrapposte è composto da tante barre quanti sono gli anni di monitoraggio; il totale di ogni barra rappresenta il 100% delle celle che ricoprono il territorio provinciale ed è suddiviso in tanti elementi quanti sono le classi di persistenza. Nel secondo grafico vengono invece rappresentate per ogni classe di persistenza le linee spezzate, colorate secondo lo standard adottato (Figura 4), che descrivono l'andamento storico della quota limite mensile di presenza della neve. La barra rossa verticale in entrambe le rappresentazioni indica l'anno della mappa mensile di persistenza analizzata (Figura 5). I grafici in fondo a Figura 6 si riferiscono per l'appunto al novembre 2005. Nel primo a sinistra (Figura 6 c)) viene presentata la media mensile (linea azzurra Totale) di tutte le curve giornaliere di distribuzione altitudinale della copertura nevosa suddivisibile anche per esposizione (p.es. linea rossa per versanti esposti a sud e ciano - azzurro per quelli a nord (vedi anche Figura 3). In questo grafico viene riportata anche la media storica del mese e le curve giornaliere di minimo e massimo giornaliero per poter fare ulteriori confronti in sede di analisi. Nel secondo grafico a

destra (Figura 6 d)) vengono riportate le distribuzioni altitudinali per ogni classe di persistenza eventualmente filtrate in base all'angolo di esposizione del versante in cui la singola cella ricade. La linea rossa orizzontale evidenzia la soglia del 30% di copertura nevosa che deve essere eguagliata o superata per considerare una fascia altimetrica area innevata. I punti dove tale linea interseca le curve di distribuzione altitudinale per classe di persistenza rappresentano la quota limite di presenza neve raffigurate nel grafico di Figura 6 b) ed evidenziate dalla barra rossa.

I limiti di rappresentatività delle classi di persistenza "centrali" per numero esiguo di campioni (celle territoriali) nei mesi nei quali la copertura nevosa è pressoché stabile sono stati superati calcolando il limite altitudinale e le relative curve sulla totalità dei campioni che ricadono anche nelle classi superiori. In sostanza per determinare la quota limite di innevamento per la 4° classe di persistenza (50 - 75 %) vengono considerate tutte le aree (celle o pixel) che sono state innevate per più di 15 giorni in un mese.

L'USO DELLO STRUMENTO CRIOPAT 2.0 SU PERIODI NIVOLOGICI SIGNIFICATIVI

CRIOPAT permette di avere un quadro d'insieme dell'evoluzione della copertura nevosa e del limite altitudinale della presenza della neve al suolo in Trentino dal febbraio 2000, data della messa in orbita del satellite della NASA con sensore MODIS. Dalla Figura 7 che riporta i grafici di evoluzione della copertura nevosa per tutto il periodo di monitoraggio disponibile si possono individuare (parti cerchiate con tratto viola) le stagioni con maggior copertura nevosa: 2005/06, 2008/09 e 2012/13. Tali stagioni sono evidenti anche nel grafico del limite altitudinale per le ampie regioni bianche (neve a bassa quota) sotto la curva rossa della media. Interessante notare che il 2013/14, ca-

Limite altitudinale presenza neve Evoluzione storica (annuale) a) b) delle classi di persistenza mensili [%] per classe di persistenza [mslm] 350 Copertura nevosa del Trentino [%] Quota [ms.l.m.] 50 Anno di campionamento Anno di campionamento Distribuzione altitudinale per classe di persistenza Media mensile della distribuzione nelle zone con esposizione: lua ○ Est ○ Ovest ○ Planeggiante (<8deg) ❷ Totale c) d) altitudinale della copertura nevosa Totale
Nord
Sud
Est
Ovest
eggianti Copertura nevosa del Trentino [%] 2 Copertura nevosa del Trentino 50 Min: 13/11/2006 Max: 30/11/2005 Quota [m s.l.m] Quota [m s.l.m]

Fig. 6 - Analisi statistiche sulla persistenza della neve al suolo nel mese di NOVEMBRE su tutto il Trentino dall'interfaccia web di CRIOPAT 2.0.

ratterizzato dai massimi valori cumulati di neve fresca, non è tra le stagioni con i maggiori valori di territorio innevato, questo perché le abbondanti nevicate hanno interessato solo marginalmente il fondovalle trentino. Viceversa il 2005/06 ha avuto presenza di neve sotto i 500 m per gran parte dell'inverno. Tali considerazioni devono tener comunque conto dei limiti strutturali di CRIOPAT che in presenza di estesa e prolungata copertura nuvolosa non può aggiornare le proprie statistiche. Di conseguenza stagioni fredde con nevicate a bassa quota e successive ampie schiarite saranno tendenzialmente viste da CRIOPAT come stagioni a maggior copertura nevosa rispetto a quelle con ricorrenti perturbazioni di scirocco a carattere nevoso anche a bassa quota ma seguite da rialzi termici e persistente nuvolosità.

Tra le stagioni più scarse di copertura nevosa notiamo il 2001/02, 2006/07, 2015/16 ma soprattutto il 2016/17 (cerchiata in arancio in Figura 7). Infatti la stagione autunno-inverno a cavallo del 2001 viene ricordata per la scarsità di precipitazioni [5], gli ultimi mesi del 2006 e del 2015 per il caldo anomalo [6] [7] [8] e il 2016/17 per la siccità meteorologica invernale [9] [10]. Del gennaio 2007 si ricordano gli episodi di Foehn e alte temperature [11] con forte vento proveniente da nord e rialzo dello zero termico fino a 3800 m avvenuto in particolare venerdì 12 gennaio. Dal confronto tra il grafico di Figura 2 per il 2006/07 e gli analoghi grafici per le stagioni 2015/16 e 2016/17 disponibili nei rapporti di Meteotrentino [12] [10] emerge che mentre la stagione 2006/07 ha avuto un innevamento quasi sempre sotto media, quella del 2015/16 è stata

caratterizzata da scarsissima copertura nevosa e quasi sempre oltre i 2500 m fino a gennaio. La stagione successiva è stata però la peggiore tra quelle monitorate con copertura nevosa quasi sempre oltre i 2000 m, ad eccezione di febbraio e marzo, e con ripercussioni importanti in termini di carenza idrica. L'evoluzione di CRIOPAT 2.0 rende anche possibile esaminare la copertura nevosa dei pendii caratterizzati da diverso orientamento. La Figura 3 riporta la distribuzione altitudinale della neve al suolo per i versanti esposti a nord (curva ciano) e sud (curva rossa) di lunedì 15 gennaio 2007 evidenziandone una forte differenza (25%) di copertura nevosa tra i 1800 e 2200 m circa; differenza che si è cominciata a manifestare a partire dal 10 - 11 gennaio per progressiva riduzione di copertura sui versanti esposti a sud per effetto combinato del rialzo termico

NEVE

e del Foehn che ha "asciugato" il manto nevoso. C'è da dire che le capacità degli strumenti di CRIOPAT nel decifrare gli effetti di tali fenomeni è inficiata dalla presenza di copertura nuvolosa che si dispone sui vari versanti in modo diverso a seconda delle particolari condizioni termo-igrometriche delle masse d'aria che si incontrano, oscurando l'uno o l'altro versante al satellite.

Volendo testare le potenzialità degli strumenti di analisi storica della persistenza della neve al suolo di CRIOPAT 2.0 abbiamo esaminato la serie mensile di novembre soffermandoci sul novembre 2019, considerato eccezionale per i quantitativi di precipitazione che hanno superato i precedenti primati storici [13]. Dal grafico dell'evoluzione storica delle classi di persistenza esposto in Figura 6 a) notiamo che effettivamente nel novembre 2019 quasi il 70% del territorio

Trentino è stato coperto da neve per almeno 27 giorni (90% del mese – VI classe di persistenza di colore bianco). Prima di allora nel nuovo millennio era stato il novembre 2000 ad essere quello con la maggior persistenza di neve sul territorio (55%, poco più della metà del Trentino).

Nel novembre 2005 e 2010 abbiamo avuto invece quasi il 90% del territorio con neve al suolo per almeno tre giorni (10% del mese – I classe di persistenza di colore nero). Sono gli anni delle nevicate nel fondovalle trentino [14] e nella città di Trento: 25 cm nel 2005 e 16 cm nel 2010 [15]. In questo caso la classe di persistenza di colore bianco (90%) copre solo l'8% del territorio provinciale nel 2005 e poco più del 40% nel 2010 a testimonianza di perturbazioni molto fredde ma insufficienti a preservare per più giorni il manto nevoso al suolo. Que-

sti due mesi accompagnati dal novembre 2008 sono quelli che emergono dal grafico di Figura 6 b) dove la traccia del limite altitudinale della presenza della neve della seconda classe di persistenza (10-25%) raggiunge le quote di fondovalle staccandosi in modo netto dal tracciato delle altre classi di persistenza. Questi minimi, che a prima impressione possono sembrare errori di calcolo, in realtà testimoniano le nevicate di bassa quota che, scarse di spessore, non riescono a garantire la copertura nevosa per più di 8 giorni. Nel novembre 2008 le nevicate sono state abbondanti ma quelle che hanno interessato il fondovalle e in particolare Trento, con il record storico di 48 cm di neve cumulata in tre giorni [15], si sono verificate a fine mese cosicché l'effetto sulla persistenza del manto nevoso è visibile sul grafico dell'evoluzione storica delle classi di persistenza del mese di dicembre.

Al contrario i mesi di novembre con minor copertura sono stati quelli del 2006 e del 2015. Il primo è stato il mese centrale di un periodo autunnale particolarmente caldo [6] che ha compromesso la permanenza del manto nevoso anche oltre i 2800 m, mentre il secondo, insieme al dicembre 2015, è risultato essere un bimestre eccezionalmente secco [8] con solo delle debolissime precipitazioni nevose il 21 novembre oltre i 1800 m s.l.m., che però non sono riuscite a mantenere imbiancato il territorio al di

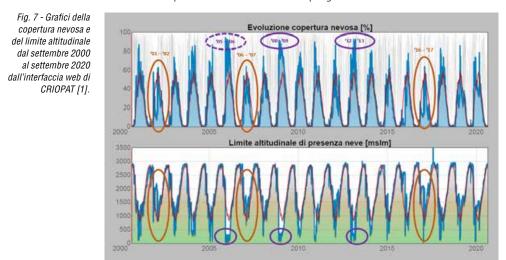
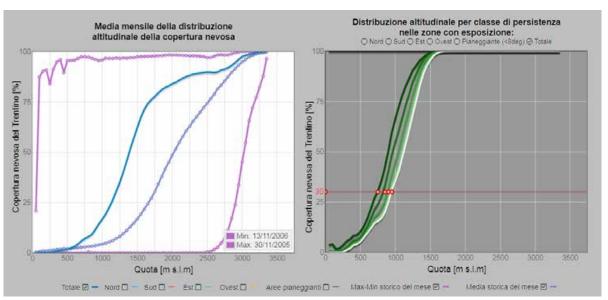


Fig. 8 - Grafici della distribuzione altitudinale della copertura nevosa media (sinistra) e per classi di persistenza (destra) nel novembre 2019 su tutto il Trentino dall'interfaccia web di CRIOPAT 2.0.



sotto dei 2300 – 2400 m (Figura 6 b). Ritornando al novembre 2019, nel grafico di sinistra della Figura 8 vengono messe a confronto la media mensile della distribuzione altitudinale della copertura nevosa (linea blu "Totale") con la media storica del mese (linea azzurra a pallini) fornendo un ulteriore riscontro della particolare abbondanza di copertura nevosa. Infatti a tutte le quote la media mensile del 2019 supera quella storica, eccetto per la fascia altimetrica sotto i 600 m circa interessata solo da piogge. Inoltre nello stesso grafico viene raffigurata la curva della giornata del 13 novembre 2006 che rappresenta il minimo storico di copertura nevosa (linea rosa bassa) del periodo eccezionale di caldo anomalo già citato [6] [7] con assenza totale di copertura fino a poco oltre i 2500m e per più della metà delle aree poste sotto i 3000 m. La giornata con maggior copertura nevosa (linea rosa alta) si è invece verificata il 30 novembre del 2005 per la serie prolungata di nevicate sul fondovalle Trentino nell'ultima settimana del mese [14].

Infine il grafico di destra della Figura 8 fornisce un'idea della variabilità del limite della quota neve al susseguirsi degli eventi nevosi del novembre 2019; essendo infatti le varie curve molto vicine con cambio della curvatura a circa 1000 m s.l.m., si comprende che tutti gli eventi meteorici hanno mediamente permesso un buon innevamento al di sopra di questa quota. Viceversa il grafico di Figura 6 d) per il novembre 2005 evidenziava la scarsa durata dell'innevamento sotto i 2000-2200 m di quota.

IL MONDO DEGLI OPEN DATA

Il progetto CRIOPAT è stato realizzato, se vogliamo, anche perché i dati di partenza, rilevati prima dal sensore MODIS per CRIOPAT 1.0 e poi da Sentinel-3 per CRIOPAT 2.0, sono messi a disposizione in forma aperta al libero riuso [Nota 2]. Relativamente a questo aspetto MODIS, essendo il frutto di un progetto della NASA, ricalca lo stile dei progetti di al-

tre agenzie USA che mettono a disposizione i propri dati sulla base del FOIA (Freedom Of Information Act), una legge USA del 1966 che permette, salvo rari casi, l'accesso a tutte le informazioni delle amministrazioni pubbliche. Anche l'ESA sta seguendo questa filosofia. In Italia, dopo una serie di leggi che a partire dagli anni 1990 sono state promulgate con l'obiettivo di aprire l'accesso agli atti ed ai dati delle amministrazioni pubbliche, siamo gradualmente arrivati a quello che è considerato il vero FOIA italiano solamente con il decreto legislativo n.97 del 25 maggio 2016, anche se in realtà alcune leggi e direttive europee prima di tale data hanno sollecitato le amministrazioni a rendere disponibili i propri dati.

Se negli USA la spinta all'apertura dei dati è stata determinata in prevalenza dalla volontà di rendere trasparente l'operato dell'amministrazione pubblica, in Europa la spinta decisiva è scaturita invece a seguito di numerosi studi economici degli anni 2000-2010 che evidenziarono come la messa a disposizione dei dati delle pubbliche amministrazioni per il libero riuso potesse innescare un circolo economico virtuoso di parecchi miliardi di euro che, a sua volta, avrebbe permesso la creazione di nuove aziende e posti di lavoro e che in definitiva avrebbe generato nuove introiti nelle casse dello stato sotto forma di tasse sulle imprese e sul lavoro. Mettere in vendita i dati delle PA avrebbe comportato invece più oneri che guadagni in termini di strutture amministrative da attivare. Gran parte delle pubbliche amministrazioni che hanno compreso come essere trasparenti e/o favorire lo sviluppo del mercato dei dati, si sono organizzate per facilitare l'accesso ai dati via web. Tutto questo si può riassumere con il concetto di Open Data.

Per una definizione tecnica degli Open Data che si smarchi dalla legislazione dei singoli Stati, possiamo utilizzare quella offerta della Open Knowledge Foundation (https://okfn.org/) per la quale: "i dati aperti sono dati che possono essere liberamente utilizzati, riutilizzati e ridistribuiti da chiunque, soggetti eventualmente alla necessità di citarne la fonte e di condividerli con lo stesso tipo di licenza con cui sono stati originariamente rilasciati". La definizione completa spiega nei dettagli che "i dati devono essere disponibili nel loro complesso, per un prezzo non superiore ad un ragionevole costo di riproduzione, preferibilmente mediante scaricamento da Internet. I dati devono essere disponibili in un formato utile e modificabile" ed "i dati devono essere forniti a condizioni tali da permetterne il riutilizzo e la ridistribuzione. Ciò comprende la possibilità di combinarli con altre basi di dati". I principi generali che regolano quindi il mondo della conoscenza aperta, e quindi anche degli Open Data, sono sintetizzabili in tre punti:

- i) disponibilità di accesso ai dati gratuitamente o, al massimo, al costo marginale di riproduzione;
- ii) disponibilità dei dati in forma utile e modificabile;
- iii) possibilità di riutilizzo senza restrizioni di licenza d'uso nemmeno per scopi commerciali.

Dietro questi principi si nascondono problematiche tecniche che devono essere valutate da chi mette a disposizione i dati. In particolare il formato con il quale viene messo a disposizione un dataset è molto importante per consentirne il riuso. Sono stati definiti anche dei metodi per classificare il grado di apertura di un certo dataset e/o orientare il modo con cui si intende contribuire al mercato degli OpenData. Si evidenzia ad esempio il metodo delle 5 stelle di Tim Berners-Lee, l'ideatore del web (https://5stardata.info/en/) oppure le 10 linee guida di Transparency International (http://transparency.ge/en/ ten-open-data-guidelines). Tuttavia il settore dei dati geografici e territoriali, uno dei più interessanti per il riuso dei dati, è talmente ampio e complesso che l'importante diventa mettere a disposizione il dato in qualsiasi formato per poi demandare all'utilizzatore di scegliere il

Fig. 9 - Screenshot del dataset pubblicato sul portale OpenData del Trentino, visitabile al link: https://dati.trentino. it/dataset/copertura-nevosa-derivata-da-immagini-multi-spettralitelerilevate



più comodo tra i numerosi software di conversione presenti sul web.

I dati prodotti dal progetto CRIOPAT potranno certamente trovare utilità anche fuori dal contesto in cui opera l'Ufficio Previsioni e Pianificazione. Oggigiorno infatti molti studi scientifici hanno la necessità di mettere in relazione i propri dataset con altri dataset per cercare di trovare relazioni più profonde nei dati e poter interpretare meglio fenomeni complessi. Le elaborazioni svolte per il progetto CRIOPAT permettono quindi di estrarre da archivi complessi, come sono i dati grezzi prodotti dai satelliti, dei dati più semplici da interpretare. In un certo senso il sistema informatico CRIOPAT può essere considerato come un infomediario per chi vuole avere a che fare con dati di innevamento dedotti da satellite. Si è ritenuto quindi opportuno mettere a disposizione i prodotti del progetto CRIOPAT sul portale Open Data del Trentino (http://dati.trentino.it) realizzato dalla Provincia Autonoma di Trento utilizzando lo standard Ckan (https:// ckan.org/) che permette di condividere con i portali di ricerca Open Data di altre amministrazioni i propri cataloghi; in linea con la filosofia Open Access adottata dall'Università di Trento nella Dichiarazione di Messina del 2004 e i principi di gestione FAIR (Findable, Accessible, Interoperable e Reusable) dei dati della scienza (https://r.unitn.it/it/

ateneo/open-access/la-gestione-fair-dei-dati-della-ricerca).

LA PUBBLICAZIONE DI CRIOPAT SUL PORTALE OPEN DATA TRENTINO

La decisione su come mettere a disposizione i dati di CRIOPAT è scaturita in parte dalla modalità con cui sono stati trattati i dati originali cercando di utilizzare un formato di pubblico dominio ma anche facilmente fruibile da numerosi tool di elaborazione. È stato privilegiato quindi l'utilizzo del formato GeoTiff (https://it.wikipedia.org/wiki/GeoTIFF) per le mappe ed il formato CSV per i dati tabellari.

Sul portale Open Data del Trentino, viene quindi pubblicato il dataset "Copertura nevosa derivata da immagini multi spettrali telerilevate" (Figura 9) composto dalle seguenti risorse:

- Mappe di copertura nevosa/nuvolosa in formato GeoTIFF: sono il risultato del classificatore applicato ai dati satellitari rilevati nel giorno in analisi. Ogni pixel della mappa può assumere 6 valori differenti, rispettivamente: 0 aree mascherate (ad esempio corpi d'acqua); 1,2 neve; 3,4 terreno non innevato; 5 copertura nuvolosa.
- Mappe di copertura nevosa stimata in formato GeoTIFF: rappresentano la situazione di copertura nevosa ipo-

tizzata dal sistema sfruttando le informazioni del dato giornaliero dove le aree non osservabili a causa della copertura nevosa vengono stimate grazie alle mappe generate nei giorni precedenti. Ogni pixel della mappa può assumere 5 valori differenti, rispettivamente: 0 aree mascherate (ad esempio corpi d'acqua); 1,2 neve; 3,4 terreno non innevato.

 serie temporale dei parametri statistici estratti, in formato .csv e suddivisa per anno idrologico (1 ottobre – 30 settembre). Nel dettaglio vengono riportati i seguenti parametri calcolati sull'intera area della Provincia Autonoma di Trento:

Copertura Nevosa Stimata [percentuale] Copertura Nuvolosa [percentuale] Limite altitudinale di presenza neve [m s.l.m]

CONCLUSIONI

Il progetto CRIOPAT, grazie al suo classificatore appositamente ottimizzato, permette di avere giornalmente mappe neve molto accurate che permettono analisi su scala regionale che non sarebbero possibili con prodotti simili a valenza globale. Fino a quando i satelliti dell'ESA e della NASA continueranno

Note a margine

[Nota 1] Portale Copernicus Open Access Hub https://scihub. copernicus.eu/

[Nota 2] Condizioni d'uso dei dati MODIS (https://modaps. modaps.eosdis.nasa.gov/services/faq/LAADS_Data-Use_Citation_Policies.pdf) e Sentinel (https://scihub.copernicus.eu/twiki/pub/SciHubWebPortal/TermsConditions/TC_Sentinel_Data_31072014.pdf)

a trasmettere le immagini della Terra sarà garantita la continuità della serie storica e potremo rilevare tempestivamente eventuali cambiamenti delle grandezze osservate evidenziandoli a chi di competenza. Questo è sicuramente il grande valore del sistema realizzato. CRIOPAT 2.0 ha permesso di allungare le aspettative di vita del sistema e potenziare gli strumenti di analisi, utili per rilevare eventuali anomalie climatiche ma anche eventuali errori del sistema.

Gli errori sono attribuibili soprattutto alla copertura nuvolosa e alla qualità dell'immagine satellitare che con Sentinel 3 è sicuramente migliorata. Gli sviluppi futuri saranno quindi legati a sfruttare le potenzialità del sensore radar montato su Sentinel 1 e le immagini ad alta risoluzione di Sentinel 2. Sebbene le rilevazioni sul nostro territorio di questi satelliti siano disponibili solo ogni tre/cinque giorni, il sensore radar permette di rilevare attraverso lo strato

nuvoloso le condizioni di umidità della neve o del terreno con risoluzioni di 20 metri per pixel mentre le immagini con risoluzione fino a 10 metri per pixel di Sentinel 2 permettono il riconoscimento più accurato della copertura nevosa del suolo e di conseguenza la correzione di false attribuzioni dell'algoritmo implementato in CRIOPAT. Lo sfruttamento di altre fonti di informazioni e l'allargamento dell'area di indagine sono quindi le frontiere di sviluppo del progetto.

Bibliografia

[1] Bruzzone L., Marin C., Santoni M., Bovolo F., Trenti A., Beozzo W. (2014). Mappe neve del Trentino con CRIOPAT. AINEVA - Neve e Valanghe, 83, 4–11. https://www.aineva.it/wp-content/uploads/Pubblicazioni/Rivista83/nv83_1.pdf [2] Melgani F., Bruzzone L. (2004) "Classification of hyperspectral remote sensing images with support vector machines", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. Vol. 42, N.8 DOI: https://doi.org/10.1109/TGRS.2004.831865 [3] Yan-Shi Dong and Ke-Song Han (2005) "Boosting SVM classifiers by ensemble", 14th international conference on World Wide Web (WWW '05). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1072–1073. DOI: https://doi.org/10.1145/1062745.1062874

[4] M. Pal (2008) "Ensemble of support vector machines for land cover classification", International Journal of Remote Sensing, 29:10, 3043–3049, DOI: https://doi.org/10.1080/01431160802007624

[5] Barbiero R. (2002) "La siccità dell'autunno e inverno 2001-2002" - Meteotrentino Sezione del sito: Pubblicazioni - Meteorologia - Storico eventi meteo significativi https://content.meteotrentino.it/clima/pdf/Pdf_Eventi/evento-gen02.pdf

[6] Saibanti S., Barbiero R. (2006) "Il caldo dell'autunno 2006" - Meteotrentino Sezione del sito: Pubblicazioni - Meteorologia - Storico eventi meteo significativi https://content.meteotrentino.it/clima/pdf/Pdf_Eventi/eventoCnov06.pdf

[7] Saibanti S., Barbiero R. (2006) "Il caldo record del periodo settembre – dicembre 2006" – Meteotrentino sezione del sito: Pubblicazioni – Meteorologia – Storico eventi meteo significativi https://content.meteotrentino.it/clima/pdf/Pdf_Eventi/evento-dic06.pdf

[8] Meteotrentino AA. VV. (gennaio 2016) "Caldo e secco nell'ultimo bimestre del 2015" - Meteotrentino sezione del sito: Pubblicazioni - Meteorologia - Storico eventi meteo significativi https://content.meteotrentino.it/clima/pdf/reports/Analisi_meteo_nov_dic_2015.pdf

[9] Meteotrentino AA. VV. (febbraio 2017) "Analisi della siccità meteorologica invernale 2016-2017" - Meteotrentino sezione del sito: Pubblicazioni - Meteorologia - Storico eventi meteo significativi https://content.meteotrentino.it/analisiMM/Siccita.pdf

[10] Beozzo W. (2017) "Nevicate ottobre 2016 - maggio 2017 (Rapporto 2016-2017)" - Meteotrentino sezione del sito: Neve e ghiacci - Pubblicazioni nivologia - Quaderni di nivologiahttps://content.meteotrentino.it/neve-ghiacci/neve/quaderni/Rapporto_2016-2017.pdf

[11] M.Pendesini, Barbiero R. (2007) "Il foehn e le elevate temperature del 12 e del 19 gennaio 2007 - (Gli episodi di foehn del gennaio 2007)" - Meteotrentino sezione del sito: Pubblicazioni - Meteorologia - Storico eventi meteo significativi https://content.meteotrentino.it/clima/pdf/Pdf_Eventi/evento-gen07.pdf

[12] Trenti A., Beozzo W. (2016) "Andamento delle nevicate nell'autunno-inverno 2015-'16 – (Rapporto 2015-2016)" – Meteotrentino sezione del sito: Neve e ghiacci – Pubblicazioni nivologia – Quaderni di nivologia https://content.meteotrentino.it/neve-ghiacci/neve/quaderni/Stagione_nevosa_2015-2016.pdf

[13] Piazza A., Beozzo W. (2019) "Novembre 2019: nevicate abbondanti – (Nevicate abbondanti di novembre 2019)" – Meteotrentino sezione del sito: Pubblicazioni – Meteorologia – Storico eventi meteo significativi https://content.meteotrentino.it/analisiMM/neve_novembre_2019_Rev3.pdf [14] Barbiero R. (2005) "Nevicate a bassa quota nel mese di novembre 2005" – Meteotrentino Sezione del sito: Pubblicazioni – Meteorologia – Storico eventi meteo significativi https://content.meteotrentino.it/clima/pdf/Pdf_Eventi/evento-nov05.pdf

[15] Trenti A.(2017) "Nevicate a Trento" - Meteotrentino Sezione del sito: Pubblicazioni - Nevicate a Trento https://www.meteotrentino.it/#!/content?menuItemDesktop=155 https://www.meteotrentino.it/#!/content?menuItemDesktop=156

Mauro Valt, Stefano Micheletti 1 Luca Stevanato, Matteo Polo²

¹ ARPAV- Dipartimento Regionale Sicurezza del Territorio, Belluno, Italia ² Finapp s.r.l Via della Croce Rossa, 112, 35129 Padova PD

Corrispondenti Mauro.valt@arpa.veneto.it luca.stevanato@gmail.com

UN NUOVO STRUMENTO PER LA STIMA DELLO SWE

THE FINAPP PROBE, A NEW INSTRUMENT FOR SWE ESTIMATION

Snow Water Equivalent estimation is of crucial importance for the management of snow water resources in the alpine areas. The CRNS (Cosmic Ray Neutron Sensing) probe by Finapp is an integrated sensor for the measurement of environmental neutrons that allows for both point and area SWE estimation (radius of 250 m). In spring 2021, Finapp sensors were installed at the automatic weather station of Cima Pradazzo (Dolomites). The results provided by the sensor were compared with the outputs from the Snowpack model on the site and with direct measurements of the snow water equivalent.

La stima dello Snow Water Equivalent riveste un'importanza cruciale per la gestione della risorsa idrica nivale nei territori alpini.

La sonda CRNS (Cosmic Ray Neutron Sensing) Finapp è un sensore integrato per la misurazione dei neutroni ambientali che permette la stima dello SWE sia puntuale che areale (raggio di 250 m). Nella primavera del 2021 sono stati installati i sensori Finapp nella stazione automatica (AWS) di Cima Pradazzo (Dolomiti). I risultati forniti dal sensore sono stati messi in relazione con gli output del modello del manto nevoso Snowpack del sito e con misure dirette dell'equivalente in acqua della neve.



INTRODUZIONE

Durante la stagione invernale 2020-2021 è stata sperimentata la sonda Finapp per la stima dello Snow Water Equivalent (SWE) presso la stazione nivometeorologica di Cima Pradazzo, in Comune di Falcade.

La scelta del sito è stata dettata dalla facilità di accesso durante la stagione invernale e dalla possibilità di supporto tecnico da parte della società impianti del comprensorio.

Nel presente lavoro vengono presentati i primi risultati.

LA SONDA FINAPP

La sonda Finapp è una sonda CRNS – cosmic ray neutron sensing – che monitora l'umidità del suolo fino a 50 cm, contenuto in acqua del manto nevoso (Snow Water Equivalent, SWE) la biomassa (Biomass Water Equivalent, BWE) e le perdite d'acqua lungo gli acquedotti.

Poiché i neutroni sono naturalmente moderati dalle molecole d'acqua, le sonde CRNS possono mettere in relazione il conteggio dei neutroni dei raggi cosmici, che naturalmente colpiscono il suolo, con il contenuto di acqua del suolo, della neve e della biomassa. Una diminuzione del conteggio dei neutroni è correlata ad un aumento del contenuto di acqua nelle vicinanze della sonda.

Il sistema Finapp® (Fig. 1) è un sensore integrato per la misurazione dei neutroni ambientali. È composto da un rivelatore Finapp per neutroni termici (1) e da un rivelatore di muoni (2) per il monitoraggio delle variazioni dei raggi cosmici in arrivo. Il sistema può essere gestito completamente fuori rete grazie alla scheda di controllo a bassissima potenza (3) con un consumo energetico inferiore a 30 mA @ 12V. Il sistema è fornito all'interno di una scatola IP66 (4) per uso esterno con pannello solare (20Watt) (5) e batteria tampone (7Ah) (6). Il sistema Finapp® è plug Et play, include già datalogger, modulo GSM e sim card per la trasmissione dati al Finapp Cloud, pannello solare, batteria tampone.

Nel caso dell'installazione effettuata a Falcade si è provveduto ad installare due sonde: la prima è stata fissata su un palo sopra il manto nevoso mentre la seconda è stata posizionata a terra, sepolta sotto la neve; l'installazione è stata effettuata nella terza decade di febbraio.

Si è deciso di effettuare questa duplice installazione in modo da potere valutare e raccogliere informazioni su tre diverse scale spaziali. Infatti nel caso di misure di SWE si può andare da pochi metri quadrati fino a decine di ettari. I risultati sottolineano l'importanza di disporre di uno strumento che faccia la media del SWE su una vasta area per tenere conto di tutta la variabilità spaziale della regione montana. Più nel dettaglio, le tre diverse misure sono le sequenti:

- La prima è una misura "areale" fatta con neutroni sopra la neve. L'impronta è molto ampia (raggio ~ 250 m) ma soffre di un punto di saturazione relativamente basso (vicino a 600 mm di SWE).
- 2. Il secondo metodo è una misurazione "locale" (raggio ~ 20 m) effettuata con neutroni sotto la neve. Il metodo ha punti di saturazione elevati, vicino a 2000 mm di SWE. L'impronta è più piccola di quella del primo metodo, ma è molto grande rispetto alle tradizionali misurazioni puntuali effettuate con lo snow pillow, la bilancia da neve o le misurazioni manuali.
- 3. Il terzo metodo è una misurazione puntuale effettuata con elettroni cosmici (raggio ~ 2 m). La misurazione puntuale degli elettroni non ha saturazione e quindi può fornire una misurazione di backup fino a quantità praticamente infinite di equivalente in acqua della neve. Rispetto ai tradizionali strumenti SWE ha la stesso area di misura di uno snow pillow, ma è una misura pulita perché non soffre di problemi di snow bridging e non necessita di terreno pianeggiante o sistema antigelo.

Fig. 1 - Interno di una sonda Finapp.

LA STAZIONE DI CIMA PRADAZZO

La stazione nivometeorologica di Cima Pradazzo fa parte della rete regionale di Arpa Veneto e precisamente della sottorete del Centro Valanghe di Arabba (Fig. 2).

Fig. 2 - Installazione delle due sonde Finapp sulla stazione ARPAV di Cima Pradazzo (M. Valt).

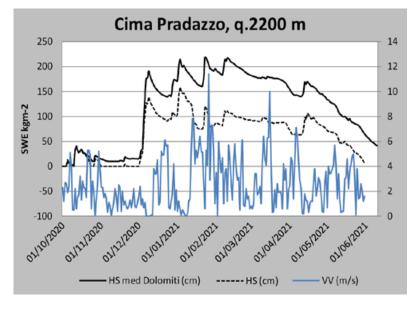
La stazione, ubicata a 2200 m di quota, funziona dal 1987 e trasmette i dati in tempo reale alla centrale di acquisizione del Centro Funzionale Decentrato della Protezione Civile del Veneto; i dati sono anche visibili sul portale dell'Agenzia www.arpa.veneto.it.

I parametri misurati in sito sono quelli tipicamente meteorologici: temperatura aria, umidità relativa dell'aria, direzione e velocità del vento, radiazione solare incidente e riflessa, più alcuni specificamente per la neve: nivometro ad ultrasuoni, sensore di temperatura superficiale del manto nevoso, temperatura interna del manto nevoso a diversi livelli.

Inoltre per la stazione sono disponibili le simulazioni del manto nevoso del modello Snowpack dell'SLF di Davos – AlpSolut di Livigno https://models.slf.ch/p/snowpack/, con elaborazioni di diversi parametri fra i quali lo SWE. I dati sono disponibili su una piattaforma ad accesso controllato.

LE MISURE DI SWE

Nell'area adiacente il sito vengono sistematicamente effettuate delle misure di SWE, mediante carotaggio verticale secondo la metodologia Berni e Giacanelli



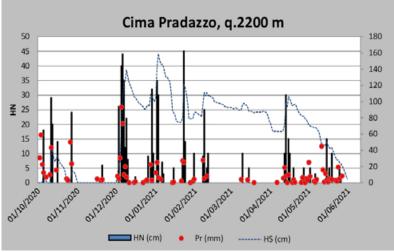


Fig. 3 - Altezza della neve al suolo e velocità del vento misurata a Cima Pradazzo.

Fig. 4 - Valori di neve fresca, precipitazioni e neve al suolo misurati a Cima Pradazzo.

(1966), da febbraio fino alla scomparsa della neve. Il sito di misura tradizionale è ubicato a circa 400 m dalla stazione, in posizione riparata dal vento, in ombra e ad una quota di 2100 m. Nello stesso sito vengono effettuate anche analisi stratigrafiche del manto nevoso, con cadenza quindicinale.

Il sito, denominato Lago di Cavia, è ubicato nelle vicinanze dell'omonimo bacino artificiale e nei dintorni (3 km di raggio) sono ubicati anche i punti di misura di Passo di Valles, Malga Zingari Basso e Cima Omo, a quote ed esposizioni diverse. Per la sperimentazione della sonda sono state effettuate delle misure a fianco della stazione, in modo da validare/tarare le misure in continuo della strumentazione e delle simulazioni del manto nevoso.

IL SITO DI MISURA

Il sito di misura si trova in zona apica-

Cima Pradazzo che si sviluppa dalla località Le Buse fino al Passo di Valles. La dorsale è in campo aperto e il contorno delle montagne è distante alcuni km in tutte le direzioni. La stazione è propriamente nota per la misura del sinottico pur essendo di terra. Il suolo è roccioso (porfidi), variabilmente rugoso per la presenza di massi anche di 0,5 m³ disposti in modo casuale e piccole fossette con zone umide (pochi cm di humus) con anche ristagno di acqua.

Per la misura della neve, il sito non è propriamente ideale per la costanza del vento. Tuttavia, è presente un manto nevoso stagionale e vengono stimati anche gli apporti di neve fresca nelle 24 h (Cagnati A., 2003). Verso nord il pendio è in ombra (è presente anche una pista da sci) e rapidamente plana in una zona di calma di vento dove è ubicato il campo di misura di Lago di Cavia, poco a valle della Malga Zingari Alti, lungo la sponda destra del Lago di Cavia.

A sud, il terreno è più omogeneo e meno ripido e decliva più dolcemente (presenti piste da sci, impianto di risalita e rifugio).

ANDAMENTO DEL TEMPO NEL PERIODO FEBBRAIO-MAGGIO 2021

La copertura nevosa della stagione invernale 2020-2021 si è formata principalmente durante gli episodi perturbati della prima decade del mese di dicembre, quando a Cima Pradazzo le precipitazioni hanno superato i 150 cm di neve (Figg. 3, 4). Questo primo strato di neve è caratterizzato da una crosta da fusione e rigelo che è rimasta identificabile per tutta la stagione invernale. Questa neve, a fine febbraio, aveva una densità di 400-420 kgm⁻³. Le nevicate di fine dicembre e inizio gennaio hanno apportato ulteriori 20 cm di neve fresca e anche questa ha trovato in una crosta da vento, formatesi a metà gennaio, uno strato quida durante la stagione. A fine febbraio, questa neve aveva una densità di 320-360 kgm⁻³, con gli strati profondi più densi.

I forti venti della seconda decade di gennaio hanno eroso gran parte della neve del secondo episodio, tanto che le nevicate della terza decade seguite anche esse da vento, nel profilo della altezza neve della stazione, risultano come un picco isolato dalla neve precedente e da quella seguente (70 cm di neve fresca fra il 22 e il 24 gennaio).

Le precipitazioni della prima decade di febbraio (7-8 e 10-11) sono state ancora importanti (50 cm di neve fresca) e anche caratterizzate da una importante deposizione di neve con sabbia di origine sahariana (neve rossa); esse costituiranno il 3° strato quida dei profili stratigrafici del manto nevoso in tutte le dolomiti. Questa neve a fine febbraio ha una densità di circa 320 kgm⁻³.

Il mese di febbraio è caratterizzato da bel tempo e temperature molto miti che ridurranno gradualmente lo spessore del manto nevoso per assestamento (Fig. 5). L'ultima decade del mese di febbra-

le all'inizio della piccola dorsale E-W di

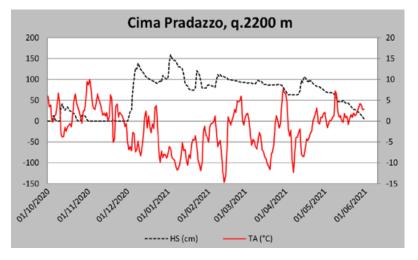
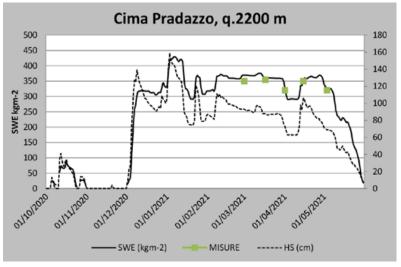


Fig. 6 - SWE elaborato tramite il modello SNOWPACK, SWE misurata manualmente e altezza della neve.

Fig. 5 - Altezza della neve

e temperatura misurate

dalla stazione ARPAV.





io è stata molto mite (la più calda dal 1990) e caratterizzata da una fusione e sublimazione del manto nevoso che ha messo in luce lo strato di neve "rossa" delle precipitazioni del 7-8 febbraio, favorendo l'ablazione primaverile. Il mese di marzo è caratterizzato da vento, temperature fredde nella seconda decade e da molto caldo negli ultimi giorni del mese. Il manto nevoso sul sito della stazione si è mantenuto compatto e stabile, resistendo alla erosione del vento, che tuttavia ha limato la precipitazione del 10 marzo (30 cm).

Le giornate molto calde di fine mese hanno invece prodotto un importante riscaldamento di tutto il manto nevoso con processi interni di fusione che si sono protratti per gran parte della prima decade di aprile e che hanno generato una veloce riduzione degli spessori del manto nevoso in tutte le Dolomiti. Nella serie temporale dei dati di HS della stazione è ben visibile lo "scalino" che sembra, erroneamente, un episodio ventoso. La seconda decade del mese di aprile è stata molto fredda con precipitazioni nevose fino a bassa quota e apporti a Cima Pradazzo di 70 cm di neve. Da questo episodio in poi inizierà la lenta fusione del manto nevoso. Il tempo è caratterizzato da locali rovesci nevosi, a volte piovosi fino in quota con la formazione di croste da fusione e rigelo, con pioggia fino a 2200 m il 26 aprile, come anche il 1° maggio.

Nel mese di maggio gli apporti nevosi sono confinati prevalentemente oltre i 2600 m di quota mentre al di sotto le precipitazioni risultano piovose o con poca neve. Sulla stazione si osservano apporti nevosi nelle ultime 24 ore le mattine del 3, 15, 17, 19, 25 e 26 maggio. Il mese di maggio sarà il 3^ più freddo dal 1990 con una lenta ablazione del manto nevoso, specie lungo i versanti in ombra adiacenti la stazione (versante verso il Lago di Cavia).

La copertura nevosa termina il 30 maggio sulla stazione, rimanendo sul sito in ombra fino oltre il 10 di giugno.

MISURE DI SWE E LE ELABORAZIONI DEL MODELLO SNOWPACK

L'andamento dello SWE elaborato dal modello di simulazione del manto nevoso SNOWPACK (Fig. 6) segue l'andamento delle nevicate arrivando al suo maggior valore nella prima decade di gennaio. Nel mese di gennaio il valore di SWE è condizionato dall'azione di erosione del vento, mentre dalle nevicate di inizio di febbraio in poi, lo SWE sul sito della stazione rimarrà costante pur in presenza di un assestamento (dimi-

nuzione di spessore) del manto nevoso. Invece, con le calde temperature di fine marzo, l'assestamento evidenza anche una perdita di massa del manto nevoso a significare processi importanti di fusione e di sublimazione. Le successive nevicate portano ad un aumento dello SWE e il seguente assestamento della neve, associato alle temperature relativamente basse per la stagione, evidenziano una diminuzione di spessore più rapida (a fine aprile) a cui non corrisponde anche una diminuzione dello SWE: questo a causa delle piogge fino in quota e del loro contributo positivo allo SWE.

Le misure dirette di SWE effettuate con il carotaggio verticale, a pochi metri dal nivometro, confermano i valori di SWE elaborati dal modello e quindi la sua validità.

MISURE DI SWE NELLE AREE ADIACENTI A CIMA PRADAZZO

Nell'area della stazione vengono effettuate altre misure dirette di SWE e precisamente a Lago di Cavia (q. 2100 m) e Passo Valles (q. 2034 m), poste circa alla stessa quota a 2000 m con buon riparo orografico, Cima OMO a q. 2166 m e Malga Zingari Bassi a quota 1771 m su un versante Est.

Fig. 7 - Misure di SWE determinate con le sonde FINAPP in sovrapposizioni alle misure manuali e dati elaborati dal modello.

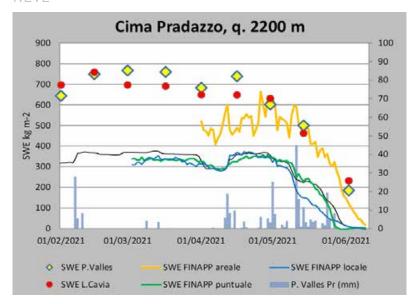


Fig. 8a e 8b - Immagini webcam del Lago Cavia. La stazione di misura non è inquadrata ed è appena sopra dal pendio sulla destra. A sinistra l'immagine del 28 Maggio e a destra quella del 12 Giugno.



I siti di misura di Passo Valles e Lago di Cavia non sono influenzati dall'azione di erosione del vento e rappresentano lo SWE presente nell'area nelle migliori condizioni di innevamento. Anche i valori sono sempre dello stesso ordine di grandezza.

Nei periodi di forte ablazione del manto nevoso lungo i versanti meridionali (fine febbraio e fine marzo) nei 2 siti gli effetti sono stati meno importanti poiché in ombra. In Fig. 7 possiamo vedere il confronto fra i valori di SWE simulati da Snowpack, le misure manuali e i dati della sonda Finapp. La linea verde è la misura puntuale (~2 m²) ottenuta con gli elettroni cosmici, la linea blu è il valore locale (~1000 m²) dell'SWE misurato con il Finapp sotto la neve, la linea arancione è la misura areale (250.000 m²) della SWE fatta con il Finapp sopra la neve. In figura 7 sono riportate anche le precipitazioni rilevate alla stazione meteo di Passo Valles.

Come si vede (Fig. 7), le stime locali e puntuali raggiungono lo stesso massimo di circa 400 mm di SWE a fine aprile. Ciò significa che per grandi valori di SWE la differenza tra puntuale e locale è ridotta al minimo, in quanto la variabilità del sito dovuta alla morfologia e all'azione del vento diventa meno rilevante. Le maggiori differenze iniziano a vedersi nella fase di fusione che ha andamenti completamente diversi tra misurazioni locali/puntuali e modello. Il modello e la misura puntuale hanno un andamento più simile: la misura puntuale vede il completo scioglimento intorno al 26 maggio, mentre il modello qualche giorno dopo. Le maggiori differenze con la misurazione locale si evidenziano dopo l'importante episodio di pioggia del 10 maggio quando sono caduti oltre 50 mm con temperature positive. In questo momento lo SWE locale è sceso sotto i 200 mm e ha continuato la sua discesa in modo molto lineare, sottolineando come la quantità di SWE presente verso fine maggio fosse ancora intorno ai 50 mm e non già nulla. Infatti, quando la copertura si assottiglia, le misurazioni puntuali diventano molto meno precise di quelle locali. Altre interessanti conclusioni si possono trarre dall'episodio del 10-13 aprile, quando sono caduti circa 40 mm di precipitazioni con temperature negative. Il modello vede molto bene l'aumento di SWE, perché converte in SWE tutte le precipitazioni solide appena cadute, ma anche la misura locale eseguita con una sonda Finapp sotto neve vede lo stesso aumento a dimostrazione di come il dato sia indicativo di un'area sufficientemente ampia. Il grafico puntuale, invece, mostra un incremento molto contenuto, quasi assente. Infatti il luogo dove è stato installato il sensore ha la caratteristica di essere molto ventoso, come discusso in precedenza, e quindi durante le nevicate la neve viene trasportata altrove, portando l'accumulo locale vicino allo zero. La misurazione dell'areale ha un andamento completamente diverso e deve essere commentato separatamente. Il raggio d'azione del neutrone sopra la neve è un cerchio con un raggio di circa 250 metri. Questo significa che la sonda ha raccolto informazioni non solo nell'altopiano vicino al palo, ma anche nella valle esposta a nord vicino al Lago di Cavia, dove lo SWE durante l'inverno ha raggiunto un picco di 800 mm. Facendo una media pesata del valore di SWE nell'altopiano vicino al palo e nella valle vicino al lago, abbiamo ottenuto un valore di 550 mm di SWE nel mese di aprile, dimostrando la validità anche del valore areale. Sfortunatamente, questo valore è molto vicino alla saturazione come mostrato dalle enormi fluttuazioni. Informazioni importanti da questa misurazione vengono fornite alla fine della stagione quando il valore di SWE è ben al di sopra del modello e della misurazione locale/puntuale perché si tiene conto anche della neve residua presente nella valle del versante nord vicino al lago.

Quindi si può affermare come le tre misure ottenute dalle sonde Finapp, opportunamente interpretate, riportano valori veritieri di SWE, confermati dalle misure manuali e da modello.

La neve si è sciolta completamente a metà giugno (Fig. 8b) come confermato dalla webcam installata al Col Margherita. Sempre dalle immagini webcam, si può notare come al 28 Maggio (Fig. 8a), giorno in cui la misura puntuale è andata a zero, la neve presente sul pendio fosse ancora molta, a sottolineare come una misura puntuale non è rappresentativa dell'area circostante. Invece la misura areale tramite il Finapp installato sopra neve ben inquadra la situazione generale sia a fine maggio che a metà giugno in prossimità del completo scioglimento del manto nevoso.

CONCLUSIONI

Il periodo di confronto fra i dati misurati e i valori elaborati dallo strumento Finapp vanno da aprile a fine maggio 2021, nel periodo caratterizzato dalla ablazione del manto nevoso. Nell'area di studio, nel periodo citato, sono comunque avvenuti diversi fenomeni meteorologici a caratterizzare una maggiore variabilità

dello spessore del manto nevoso e del relativo SWE, quali le miti temperature di inizio aprile, le nevicate di metà aprile accompagnate anche da episodi di pioggia in quota, questi ultimi più intensi ai primi di maggio, e temperature fredde successive che hanno rallentato la fusione del manto nevoso.

La contemporaneità di misure dirette di SWE con carotaggi verticali, sia presso la stazione FINAPP che nell'area di contorno, ha permesso di validare le simulazioni del manto nevoso del modello SNOWPACK e quindi di disporre dei valori di SWE con la stessa frequenza temporale del sensore FINAPP. I risultati ricavati

da FINAPP nella modalità Local (vicino alla stazione) ha evidenziato una elevata correlazione fra i dati, salvo qualche sottostima nel periodo caratterizzato da piogge alternata a nevicate nella seconda decade del mese di maggio.

Dal confronto con le misure nella modalità FINAPP Areale, che vede l'analisi di una superficie più vasta (che, per quando riguarda la stazione Cima Pradazzo vuol dire anche il versante in ombra caratterizzato da un maggior innevamento dovuto al riparo orografico), i risultati sono apparsi ancora in accordo nell'andamento generale e nell'ordine di grandezza dello SWE misurato.



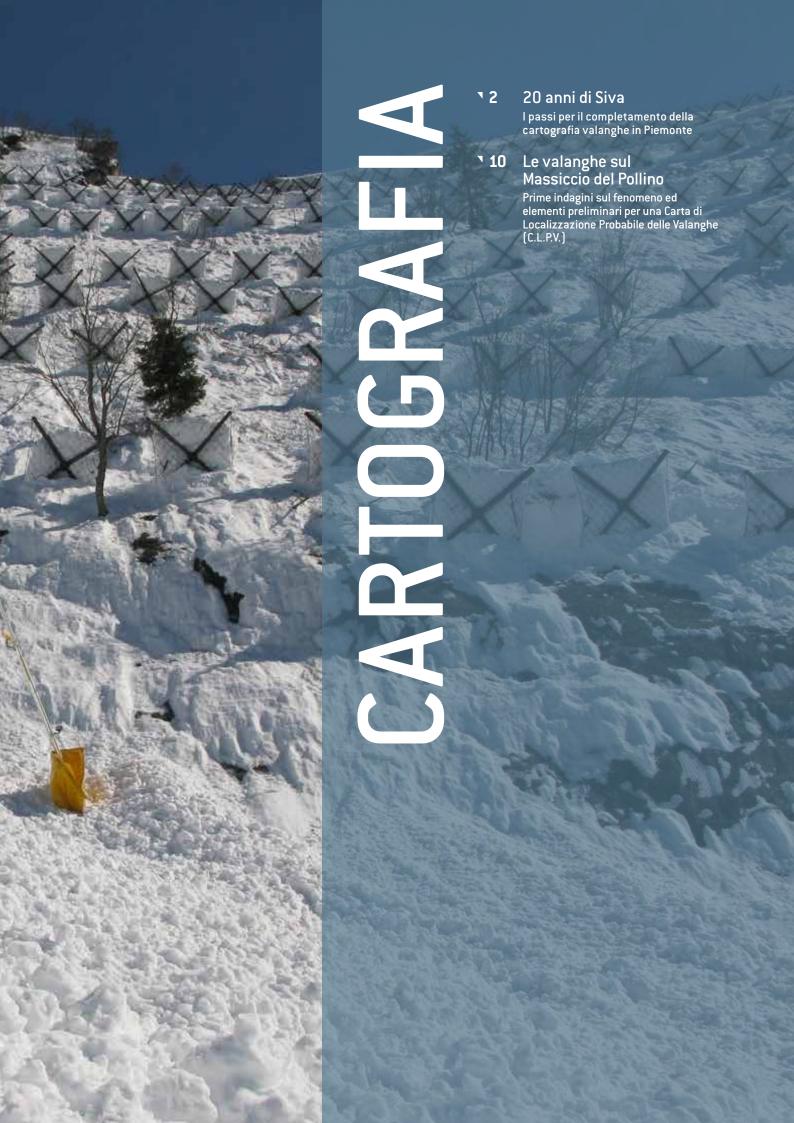
Bibliografia

- Schattan, P., Köhli, M., Schrön, M., Baroni, G., & Oswald, S. E. (2019). Sensing area-average snow water equivalent with cosmic-ray neutrons: The influence of fractional snow cover. Water Resources Research, 55, 10796–10812.
- Berni A., E.Giacanelli. 1966. La campagna di rilievi nivometrici effettuata dall'ENEL nel periodo febbraio giugno 1966. L'Energia Elettrica, 9,
- Cagnati A. (2003). Sistemi di Misura e metodi di osservazione nivometeorologici. AINEVA, Trento, 186 pp.

[Lehning et al., 2002a] Lehning, M., Bartelt, P., Brown, R.L., Fierz, C., and Satyawali, P.K. 2002. A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning, Part II. Snow microstructure, Cold Regions Science and Technology 35, 2002, 147–167.

- [Lehning et al., 2002b] Lehning, M., Bartelt, P., Brown, R.L., and Fierz, C. 2002. A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning, Part III: meteorological forcing, thin layer formation and evaluation, Cold Regions Science and Technology 35, 2002, 169–184.
- [Lehning and Fierz, 2008] Lehning, M., and Fierz, C. 2008. Assessment of snow transport in avalanche terrain, Cold Regions Science and Technology 51, 2008, 240–252.





Maria Cristina Prola

Dipartimento coordinamento servizi ICT e promozione ambientale Arpa Piemonte

Luca Lanteri e Erika Solero

Dipartimento rischi naturali e ambientali Arpa Piemonte

20 YEARS OF SIVA

In mountain areas, the mapping of areas prone to avalanches is an element of strategic value. At the end of 2018, the Piedmont Regional Council approved and financed the "Strategic project for the development and completion of avalanche cartography on the regional territory", effectively anticipating the requirements of the Directive of the President of the Council of Ministers of 12 August 2019. The project was developed by Arpa Piemonte, responsible for the management of the Avalanche Information System (SIVA), using the classical approach of medium-scale avalanche cartography, along the lines of what has been done in past years. Arpa takes care of create and publish missing maps. The work was divided into three different main activities 1. integration of the areas not yet covered by the SIVA where information deriving from the urban planning maps (PRGC and PAI) are disposable; 2. completion of the areas not yet covered by the SIVA and by urban planning maps applying the CSV metodology [cfr Neve e valanghe N 68, pagg 32 e 33]; 3. verification and publication of data. Thanks to the project, the whole Piedmontese mountain areas with infrastructures, roads, urbanizations and ski resorts prone to avalanche risk is now equipped with avalanche maps. Although realized with different methodologies with different levels of detail, it represents the fundamental information base for having the most up-to-date framework of the avalanche phenomenon on a regional scale. The future work will be finalized to homogenize the degrees of knowledge starting from the lowest and future levels, choosing the most sensitive and fragile part of the territory, the constant updating of the SIVA. Although avalanche cartography is not directly usable at local scale for the management of avalanche risk, where it is necessary to use more detailed tools such as Avalanche Zone Plans (PZEV), it represents a fundamental basic tool for regional planning and for the prevention and forecasting of avalanche risk. Some applications, aimed at identifying the areas at higher risk where it is necessary to prioritize local insights, are currently being tested.

I PASSI PER IL COMPLETAMENTO **DELLA CARTOGRAFIA VALANGHE** IN PIEMONTE

Per i territori montani la mappatura delle aree interessate da valanghe assume un ruolo con valenza strategica. Alla fine del 2018 la Giunta Regionale piemontese ha approvato e finanziato il "Progetto strategico di sviluppo e completamento della cartografia valanghe sul territorio regionale" anticipando di fatto quanto richiesto dalla Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 12 agosto 2019. Il progetto è stato affidato ad Arpa Piemonte, responsabile della gestione del Sistema Informativo Valanghe (SIVA), che lo ha realizzato secondo i paradigmi della cartografia valanghe a media scala, sulla falsa riga di quanto fatto negli anni passati. Il lavoro si è articolato in tre diverse attività:

- 1. integrazione delle aree ancora non coperte dal SIVA avvalendosi delle geometrie derivanti dai PRGC aggiornati al PAI;
- 2. completamento delle aree ancora non coperte dal SIVA e dai PRGC aggiornati al PAI mediante la metodologia delle CSV [cfr Neve e valanghe N 68, pagg 32 e 33];
- 3. verifica e pubblicazione dei dati.

Grazie al progetto, il territorio montano piemontese interessato da infrastrutture sensibili, viabilità, urbanizzazioni e impianti sciistici è oggi provvisto di cartografia valanghe; seppur redatta con metodologie differenti che sottendono livelli di approfondimento diversi, rappresenta la base informativa fondamentale per avere il quadro più aggiornato possibile del fenomeno valanghivo a scala regionale. Il lavoro futuro riguarderà l'omogeneizzazione dei livelli di conoscenza su tutto il territorio regionale, partendo dalle zone attualmente a minor dettaglio e dalle porzioni di territorio più a rischio, oltre al fondamentale lavoro di aggiornamento costante del SIVA anche per le altre aree. Inoltre, sebbene la cartografia valanghe non sia uno strumento direttamente utilizzabile da solo per la previsione di eventi valanghivi futuri, essa rappresenta uno degli strumenti di base fondamentali per la gestione, la prevenzione e la previsione del rischio valanghivo. Alcune applicazioni in questo senso sono attualmente in fase di test.



INTRODUZIONE

Da sempre chi governa il territorio ha l'esigenza di conoscere i fenomeni naturali che lo interessano per meglio gestire le situazioni di criticità. Per i territori montani la conoscenza del fenomeno valanghivo, attraverso la mappatura delle aree interessate da valanghe, riveste un ruolo strategico, sia rispetto alle funzioni di pianificazione territoriale e di gestione delle zone montane, sia per le attività delle Commissioni Locali Valanghe. Alla fine del 2018 la Giunta Regionale piemontese ha approvato e finanziato il "Progetto strategico di sviluppo e completamento della cartografia valanghe sul territorio regionale" (D.G.R. n. 57-8210 del 20/12/2018), dando così un forte impulso all'attività di produzione della cartografia valanghe, con l'ambizioso obiettivo di completare la mappatura dei territori montani nell'arco di due anni. La redazione di carte tematiche sulle valanghe a scala media in modo omogeneo, sistematico e condiviso è iniziata alla fine degli anni '90 con la produzione di CLPV (Carte di Localizzazione Probabile Valanghe) e CSV (Carte dei Siti Valanghivi) [cfr Neve e valanghe N 68, pagg 32 e 33] di tutta la provincia di Torino. Trasferite su supporto GIS, come naturale approdo nei sistemi informativi geografici, sono state pubblicate nel 2000 nella prima versione del SIVA, Sistema Informativo Valanghe della Regione Piemonte e ora di Arpa Piemonte.

Il SIVA si è adeguato progressivamente alle esigenze degli enti competenti e, attraverso un lungo e complesso processo di ristrutturazione, si è evoluto da strumento di semplice consultazione, a mezzo per acquisire gratuitamente on line cartografia tematica, fotografie, scansioni di documenti storici, modelli del catasto valanghe e meta documentazione. Oltre alle sostanziali evoluzioni di tipo funzionale, il SIVA si è arricchito ampliando la copertura territoriale delle carte delle valanghe realizzate sia con risorse interne ad Arpa Piemonte, sia grazie a collaborazioni di enti esterni. Aggiornamenti periodici, generalmente annuali o biennali sono proseguiti fino ad arrivare all'integrazione dei dati geografici della cartografia valanghe prodotta dalla Provincia di Cuneo e prima pubblicata sul Sistema Informativo Territoriale (SIT) provinciale. Si è raggiunto così l'obiettivo di uniformare la disponibilità dei dati sulla fenomenologia valanghiva regionale, pur mantenendo chiara la proprietà dei dati, facilitandone la consultazione con una visione territoriale completa anche a fini di prevenzione del rischio valanghe. In ultimo, l'impulso forte dato dalla richiesta della Regione Piemonte all'attività di rilevamento ha portato alla pressoché totale copertura del territorio montano piemontese.

BREVE EXCURSUS SULLA NORMATIVA

Da sempre chi ha il dovere di "governare" il territorio montano si è posto il problema della conoscenza del fenomeno Valanga per la gestione e fruizione del territorio ma in contrasto con tale esigenza si è dovuto aspettare il 2019 per avere una normativa nazionale a sostegno della modalità di acquisizione di tale conoscenza. Fino ad allora i professionisti e i gestori della montagna hanno potuto solo fruire di decreti e di normative locali. In Piemonte la prima è stata la LR74 del 1989, "Disciplina degli impianti funiviari in servizio pubblico per il trasporto di persone" nella quale viene chiesto, in fase di approvazione del progetto del nuovo impianto a fune, che la Commissione Regionale Impianti a fune formuli "una relazione tenendo conto della valangosità della zona interessata", senza specificare come e dove acquisire i dati, affidandosi totalmente all'esperienza del professionista e del funzionario regionale facente parte della commissione suddetta.

Nel 2003 viene approvato il DM 392 "Regolamento concernente modifica dell'articolo 7 del decreto del Ministro dei trasporti e della navigazione 4 agosto 1998, n. 400, recante norme per le funicolari aeree e terrestri in servizio pubblico destinati al trasporto di persone", nel quale si richiede che un impianto a fune sia "... immune, secondo ragionevoli previsioni da effettuarsi dalle autorità che ai sensi delle normative di settore sono competenti per l'assetto del territorio, dal pericolo di frane o valanghe". Nel decreto vengono inoltre fornite le indicazioni riquardanti le azioni di mitigazione da adottare nel caso l'area ricada in siti a rischio (Fig. 1).

Nel decreto ministeriale, a cui tutte le regioni devono attenersi, come per la normativa regionale, il problema valanghivo è unicamente considerato nei contesti di comprensori sciistici e legato alla presenza di impianti a fune: non viene ancora data rilevanza alla conoscenza della fenomenologia valanghiva sul

Fig. 1 - Foto inserita nel SIVA di un argine deviatore in terra armata che ha contenuto la valanga nella zona di arresto.



territorio montano nel suo insieme, con finalità di salute pubblica e di prevenzione del rischio per chi vive in montagna. Solo nel 2019, grazie soprattutto al lavoro di informazione politica condotto da AINEVA a livelli ministeriali centrali, viene approvata e adottata la Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 12 agosto 2019 "Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale e regionale e per la pianificazione di protezione civile territoriale nell'ambito del rischio valanghe". In essa si richiede che "entro due anni dalla pubblicazione del DPCM le Regioni, sulla base degli studi di pericolosità, definiscano, in raccordo con i Comuni, in base alle informazioni fornite dagli stessi, una prima mappatura delle aree soggette a rischio valanghe ed emanino le direttive per l'allertamento e gli indirizzi per la pianificazione provinciale, comunale/ intercomunale o di ambito di protezione civile recependo le disposizioni di cui alla presente direttiva".

PROGETTO FINANZIATO DALLA REGIONE PIEMONTE

Il Settore Geologico della Regione Piemonte, nel corso del 2018 ha evidenziato la necessità di completare la cartografia tematica delle valanghe in Piemonte riconoscendola come un elemento di valenza strategica. In Piemonte, infatti, i comuni con possibili criticità legate a fenomeni valanghivi sono 237 che rappresentano il 51% del territorio montano piemontese (oltre i 700 m slm). Risulta quindi evidente l'utilità di avere uno strumento forte e strutturato a supporto della pianificazione territoriale e della gestione del rischio valanghe da parte delle istituzioni locali e delle Commissioni Locali Valanghe.

Alla fine dello stesso anno la Giunta Regionale piemontese, con Determinazione n. 4281 del 21.12.2018, ha approvato e finanziato il "Progetto strategico di sviluppo e completamento della cartografia valanghe sul territorio regionale" anti-

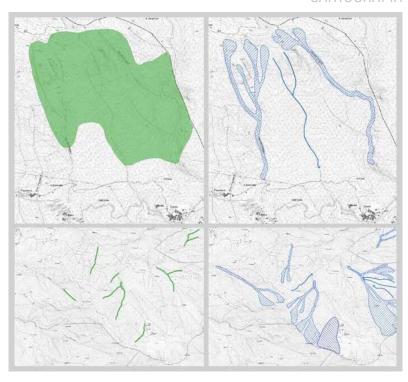


Fig. 2 - Sulla sinistra le geometrie riportare sui PRGC e sulla destra la revisione delle aree mediante fotointerpretazione.

cipando di fatto quanto richiesto dalla Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 12 agosto 2019 "Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale e regionale e per la pianificazione di protezione civile territoriale nell'ambito del rischio valanghe".

Il progetto è stato affidato ad Arpa Piemonte che lo ha realizzato secondo i paradigmi della cartografia valanghe a media scala, sulla falsa riga di quanto fatto negli anni passati, curando la realizzazione e la pubblicazione delle cartografie mancanti.

Il lavoro di completamento del SIVA si è articolato in tre diverse attività

- 1. integrazione delle aree ancora non coperte dal SIVA con le geometrie derivanti dai PRGC aggiornati al PAI;
- completamento delle aree ancora non coperte dal SIVA e dai PRGC aggiornati al PAI mediante metodologia delle CSV;
 verifica e pubblicazione dei dati.

L'attività è stata volta dal Dipartimento tematico Rischi naturali e Ambientali, con il supporto del dipartimento Coordinamento servizi, ICT e promozione ambientale e di personale esterno.

Attività 1

Sono stati analizzati i comuni sprovvisti

di cartografia valanghe, per i quali fossero presenti i dati derivanti dai Piani Regolatori Generali Comunali (PRGC) adeguati al PAI (Piano Per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Po). Secondo quanto ipotizzato in fase di progettazione, si sarebbe dovuta effettuare una rapida revisione delle geometrie esistenti, integrando puntualmente le aree che fossero state ritenute non sufficientemente dettagliate mediante analisi fotointerpretativa (Fig. 2).

Tuttavia, dopo una prima verifica, gran parte delle geometrie non è stata ritenuta sufficientemente dettagliata da poter essere considerata congrua e implementabile nel SIVA. Diversamente da quanto previsto inizialmente quindi, tali aree sono state sottoposte a una completa revisione mediante fotointerpretazione riclassificando le aree individuate come come "valanghe", "pericoli localizzati" o "zone pericolose" secondo l'approccio metodologico utilizzato per le CLPV e le CSV, con l'obiettivo di rendere omogenea le informazioni riguardanti le problematiche valanghive sul territorio regionale.

Attività 2

Per le aree del tutto prive di cartografia valanghe, anche quella PRGC/PAI, l'analisi è stata effettuata utilizzando la

Fig. 3 - Scheda di approfondimento di una valanga documentata.



Fig. 4 - Tipologia di mappatura dei comuni montani piemontesi.

comur	ni mappati ante progetto	145	61,2%
	da Arpa Piemonte	119	82,07%
	Provincia di Cuneo	26	17,93%
comuni mappati con progetto		92	38,8%
	comuni mappati csv	35	38,04%
	comuni mappati prgc	45	48,91%
	comuni mappati solo foto	12	13,04%

metodologia CSV (Carta dei Siti Valanghivi), già applicata a fine anni '90 per la mappatura della maggior parte delle aree montane del torinese. Questo prodotto ha carattere più speditivo rispetto a quello utilizzato per la redazione della CLPV (Carte di Localizzazione Probabile delle Valanghe) e permette di estendere l'indagine a una porzione di territorio molto vasta, in un tempo di lavoro relativamente breve in rapporto alle risorse umane disponibili, fornendo tuttavia un quadro esaustivo della fenomenologia valanghiva dell'area studiata soprattutto per le zone antropizzate. Le aree del torinese mappate con CSV erano risultate

congrue e di utilità programmatica già durante l'evento estremo del dicembre 2008, durante la cui gestione "Il SIVA è stato un valido strumento di lavoro per la definizione delle zone maggiormente a rischio,, ha dimostrato di essere un agile e veloce strumento di consultazione delle aree potenzialmente esposte alla caduta di valanghe, permettendo una ragionata, seppur molto cautelativa, programmazione di interventi di chiusura preventiva su vie di comunicazione regionali, provinciali e comunali" (cfr MC Prola, & alii, Neve e valanghe 68). Per questi motivi, per l'attività 2 del progetto, si è scelto di adottare la metodologia CSV che si articola in tre fasi:

- Studio fotointerpretativo, condotto sulla base di aerofotogrammi estivi del volo Ferretti (anni 1979 e 1980) e del volo Alluvione 2000 con il supporto del mosaico delle ortofoto digitali a colori messe a disposizione da Arpa Piemonte nell'ambito del progetto strategico RISKNAT. La fotointerpretazione costituisce lo strumento principale per individuare la localizzazione probabile dei siti valanghivi, sulla base di indizi geomorfologici, vegetazionali e clivometrici;

- Ricerca e analisi di informazioni storiche d'archivio. Questo tipo di approfondimento serve per l'individuazione di aree soggette alla caduta di valanghe storiche, di cui possono non essere più visibili tracce sulle immagini aeree recenti e ovviamente a integrare e validare le informazioni desunte attraverso lo studio fotointerpretativo. Visto il carattere speditivo dello studio, quest'attività è stata limitata ai documenti di maggiore rilevanza e di più facile reperimento focalizzando l'interesse sulle zone antropizzate, tra cui l'Archivio Storico-Topografico delle Valanghe di C. Capello, le schede di rilevamento degli eventi valanghivi presso il Corpo Forestale di Stato, i Mod.7 AINEVA, e quando disponibili monografie locali;
- Mirate indagini di terreno condotte per verificare i siti valanghivi di dubbia collocazione per limitata lettura dei fotogrammi (zone in ombra, piccole valanghe in zone vegetate), o non coincidenti con quanto riportato dalla fonte storica. Visti i tempi ristretti per la realizzazione della cartografia l'analisi si è concentrata nelle porzioni di territorio interessate da infrastrutture, urbanizzazioni, vie di comunicazione e comprensori sciistici, demandando a una fase successiva l'analisi delle porzioni montane non antropizzate o di alta quota. Questo tipo di attività è stata svolta con il supporto di tecnici comunali, professionisti e persone del luogo che a vario titolo si occupano della gestione del rischio valanghivo locale o semplicemente cittadini dotati di grande conoscenza del territorio e memoria storica degli eventi valanghivi di maggiore rilevanza.

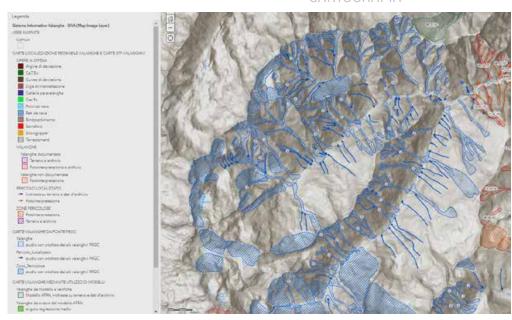
A completamento dell'informazione geometrica, sono state compilate, per i 394 siti valanghivi censiti, le schede informative di approfondimento (Fig. 3). Esse riportano i dati topografici e morfologici delle tre aree che caratterizzano il sito valanghivo, ovvero zona di distacco, zona di scorrimento e zona d'arresto, i danni potenziali, quelli accertati e le eventuali date di eventi valanghivi del passato, preziose informazioni ottenute durante i sopralluoghi con i testimoni locali, persone dotate di buona conoscenza del territorio e memoria storica, che hanno dato fondamentale supporto nella difficile ricostruzione degli eventi valanghivi di maggiore rilevanza e dei danni da essi provocati.

Contestualmente all'aggiornamento della cartografia il Sistema Informativo utilizzato per l'acquisizione e la gestione dei dati è stato completamente migrato verso una piattaforma più moderna ed efficiente. Tutti i dati, precedentemente gestiti attraverso shapefile per la parte geografica e un database Access per la componente alfanumerica, sono stati importati all'interno del nuovo geodatabase spaziale PostgreSQL/PostGIS. L'accesso ai dati, con una struttura completamente rivista, avviene attraverso il software oper source Qgis; uno dei principali vantaggi è stata la possibilità di effettuare l'editing contemporaneo e condiviso anche sulla componente geografica, eliminando così la necessità di lavorare su shapefile separati da accodare in un secondo momento. Anche l'export dei dati verso l'infrastruttura di pubblicazione è stata quanto più possibile automatizzata.

Durante questi due anni di progetto sono stati studiati e mappati 92 comuni: per 45 è stata effettuata la revisione delle Carte valanghe da fonte PRGC, per 35 sono state realizzare le CSV e per 12 è stata fatta la fotointerpretazione. In solo due anni è stato mappato il 38,8 % del territorio a fronte del 61,2% realizzato da fine anni '90 al 2018 (tabella di Fiq. 4).

Attività 3

Una parte importante del progetto ha riguardato la pubblicazione dei dati sul Sistema Informativo Valanghe (SIVA) della



regione Piemonte disponibile ad accesso libero sul Geoportale dell'Agenzia (https://webgis.arpa.piemonte.it/geoportale/). In primis è stato sviluppato un nuovo modello di acquisizione dei dati tabellari e delle geometrie, con l'obiettivo di rendere snello e automatico il processo di aggiornamento.

Le geometrie e i dati associati vengono ri-allineati in viste per potere essere integrati secondo la struttura dati storica, a cui punta il progetto SIVA per la pubblicazione sul Geoportale di Arpa Piemonte.

La produzione delle viste è preceduta dalla verifica topologica e di coerenza dei dati inseriti nel sistema informativo, sia per quanto riguarda le nuove geometrie sia per quelle già presenti, questo perché il flusso non prevede degli append (aggiunta dei dati) parziali ma dei truncate and append (eliminazione e reimportazione) di tutti i dati, in modo che i due database, quello di produzione e quello di pubblicazione, siano sempre allineati. Per integrare i risultati dell'attività 1 del progetto, adequandoli alla struttura logica del SIVA, dove le aree mappate vengono suddivise secondo le tre classi tipiche della cartografia tematica valanghe (Valanghe, Zone Pericolose e Pericolo Localizzato), è stata creata una sezione dedicata denominata "Carte valanghe da fonte PRGC" rappresentata in blu (Fig. 5).



Fig. 5 - Focus sulla sezione Carta valanghe da fonte PRGC.

Fig. 6 - Esempio di pop up da cui si raggiungono i PRGC pubblicati sui relativi siti comunali.

La scelta di una nuova tematizzazione è nata per differenziare il metodo di realizzazione che ha previsto la fotointerpretazione solo sulle aree identificate nei PRGC e non sull'intero territorio comunale, senza una successiva validazione dell'informazione attraverso sopralluoghi o integrazione di documenti storici. Le geometrie delle valanghe contenute in questo tipo di carte sono interrogabili e, oltre a fornire le informazioni base che identificano il sito valanghivo, contengono un link che rimanda ai documenti originali dei PRGC, dato sorgente dello studio (Fig. 6).

Per i comuni restanti, dove era prevista l'indagine descritta nell'attività 2, sono state utilizzate le tematizzazioni in uso per le CSV. I siti valanghivi classificati come "Valanghe" sono stati aggiunti al livello "valanghe documentate" perché tutti corredati di scheda descrittiva e tematizzati come "fotointerpretazione e archivio", le zone pericolose e i pericoli



Tabella riepilogativa siti valanghivi in Piemonte noti al 31/12/2020	durante il progetto	ante progetto	totale online
Valanghe documentate	394	3721	4115
Valanghe da fotointepretazione	183	3614	3797
Valanghe da fonte PRGC	431	0	431
Pericoli localizzati	1227 7760		8987
Zone pericolose	391	4060	4451
totale aree interessate da valanghe s.l. (somma di poligoni e linee)	2626	19155	21781

Fig. 7 - Foto inserita nel SIVA di una zona di accumulo con evidenti detriti trasportati dalla valanga.

Fig. 8 - Geometrie presenti sul SIVA suddivise per tipologia. localizzati sono stati aggiunti nei relativi livelli e tematizzati come fotointepretazione" in parallelo a quanto fatto per le CSV già online.

Di alcune limitate aree, ove non è stato possibile svolgere i sopralluoghi, ovvero non sono state trovate documentazioni storiche o testimonianze che dessero un valore aggiunto allo studio fotointerpretativo, le geometrie delle "Valanghe" sono state inserite nel livello "valanghe non documentate" e saranno oggetto di approfondimenti prioritari nei prossimi anni.

Tutte le informazioni riguardanti le nuove valanghe documentate sono state inserite nelle schede di approfondimento che contengono anche la documentazione fotografica (es. Fig. 7), giornalistica o tecnica. Le schede sono raggiungibili dal link presente nelle popup che si attivano interrogando i poligoni del tema "valanghe documentate" e sono consultabili e scaricabili mediante la funzione di stampa così come tutti i documenti in esse contenuti.

RISULTATI

Grazie al progetto, il territorio montano piemontese interessato da infrastrutture sensibili, viabilità, urbanizzazioni e impianti sciistici è oggi provvisto di cartografia valanghe. Rimangono da approfondire le aree dove sono presenti le "Carte valanghe da fonte PRGC" e le limitate aree dove è presente la sola fotointerpretazione.

Al termine del lavoro sono state mappate 394 valanghe documentate correlate da scheda di approfondimento, 183 valanghe da fotointerpretazione e 431 valanghe da fonte PRGC; inoltre sono stati disegnati 1227 pericoli localizzati (valanghe di dimensioni limitate non correttamente cartografabili alla scala di rilevamento 1: 25.000) e 391 zone pericolose (aree interessate da scaricamenti di neve differenziati nel tempo e nello spazio) (Tabella di Fig. 8).

Oggi complessivamente sul SIVA sono pubblicati 4115 siti valanghivi documentati, 3797 valanghe da sola fotointerpretazione, 431 valanghe da fonte PRGC, 8987 pericoli localizzati e 4451 zone pericolose.

Considerando tutte le geometrie (Valanghe, Pericoli Localizzati e Zone Pericolose) complessivamente nel SIVA sono presenti 21.781 aree valanghive, 2.626 delle quali cartografate in questi due anni di progetto e 19.155 derivanti da lavori di Arpa antecedenti il 2018 e da carte prodotte della Provincia di Cuneo. Fin dall'inizio dell'attività di rilevamento e produzione di cartografia tematica, alla fine degli anni '90, il territorio è stato suddiviso in tavole cartografiche rappresentabili in formato AO. L'area coperta da ogni tavola cartografica è stata indagata con la medesima metodologia (CLPV, CSV, modello AFRA) e identificata con un codice alfabetico distinto per provincia che diventa parte integrante del codice alfanumerico della valanga documentata con la relativa scheda di approfondimento.

Se analizziamo le cartografie prodotte, tabella di Fig. 9, osserviamo che durante il progetto sono state realizzate 13 Carte dei siti valanghivi, 20 carte da fonte PRGC e 5 carte con sola fotoinpretazione (FOINT) (Fig. 9). Le aree coperte da sola fotointerpretazione sono per lo più in zone pedemontane o di alta montagna, dove le informazioni sono più lacunose e frammentarie, difficili da reperire direttamente sul territorio e richiedono lunghe ricerche di dati d'archivio e/o interviste a persone informate sulle attività valanghiva soprattutto più remota, con limitate o nulle implicazioni sul piano di protezione civile.

Per le nuove aree cartografate si è deciso di rendere disponibili in formato PDF solo le tavole derivanti dall'attività 2 indagate secondo la metodologia delle CSV, contenenti valanghe documentate mentre per le restanti tavole (da sola fotointerpretazione o da fonte PRGC) si è deciso di attendere ulteriori indagini e renderle disponibili quando provviste di schede di approfondimento.

SVILUPPI FUTURI

La produzione della cartografia tematica valanghe in Piemonte, benché redatta con metodologie differenti che sottendono livelli di approfondimento diversi, rappresenta la base informativa fondamentale per avere una fotografia più aggiornata possibile del fenomeno valanghivo a scala regionale.

In Piemonte, le CLPV sono sicuramente quanto di più completo si possa ottenere; con un buon livello di approfondimento seppur meno circostanziate sono disponibili le CSV e le 'carte valanghe ottenute con l'utilizzo del modello matematico AFRA", metodo sviluppato dall'Università di Pavia integrato con indagini di terreno e ricerche d'archivio; seguono come livelli di approfondimento le carte da fonte PRGC, precedentemente descritte e infine quelle ottenute utilizzando unicamente lo studio foto interpretativo. Sulla totalità della cartografia tematica a media scala il 36 % delle tavole cartografiche sono CLPV, il 34% CSV, il 22% carte da fonte PRGC e il 9% solo fotointerpretazione (Figg 9 e 10). La programmazione futura avrà come obiettivo primario omogenizzare i livelli di approfondimento delle conoscenze sulla fenomenologia valanghiva del territorio regionale, partendo dai livelli più bassi e scegliendo le porzioni di territorio più sensibili e fragili, trasformando quanto meno in CSV le carte da fonte PRGC e in CLPV quelle dove la fotointerpretazione è già ultimata e ben strutturata.

Inoltre, sebbene la cartografia valanghe (come cita il DPCM del 2019) non sia uno strumento di valutazione della pericolosità riferibile a eventi futuri e non ne rappresenti la possibile estensione, frequenza o intensità, su di essa si possono sviluppare molteplici strumenti utili per la gestione, la prevenzione e la previsione del rischio valanghivo, alcuni

Tabella riepilogativa tipologia di carte					FOINT post progetto	Carte da fonte PRGC
Biella	0	0	2	0		2
Cuneo	18	1	1	3	3	6
Torino	9	15	0	0		0
vco		1	7	0	2	7
Vercelli	6	2	3			5
	33	19	13	3	5	20
Regione	36%	34%		9%		22%

Fig. 9 - Tipologie di cartografia valanghe suddivise per provincia.

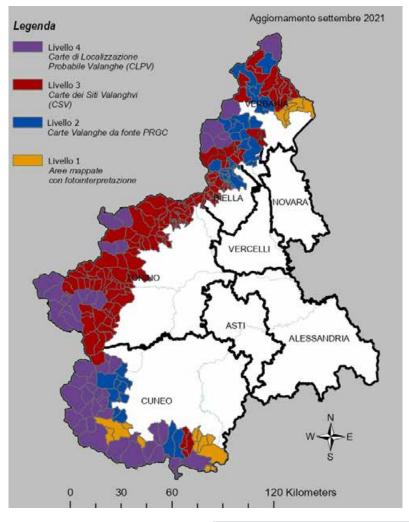


Fig. 10 - Quadro d'insieme della cartografia tematica valanghe a media scala presente sul SIVA.

dei quali sono già in fase di realizzazione. Infine, obiettivo non secondario sarà l'aggiornamento della cartografia esistente ante progetto con i dati dei nuovi eventi, utilizzando le segnalazioni dei modelli 7 AINEVA e facendo ricerche d'archivio a largo raggio, sfruttando editoriali e testimoni locali. Occorre infatti tenere presente che è fondamentale mantenere aggiornate sia le geometrie che i dati associati, per trasformare uno strumento conoscitivo in un indispensabile mezzo per la previsione e la prevenzione del rischio valanghe, indispensabile anche a scala locale per operare in modo efficiente durante le situazioni di allerta.

Bibliografia

- Roberto Nevini: La fotointerpretazione aerea quale strumento per lo studio ambientale del fenomeno valanghivo. Neve e Valanghe 1987
- M.Cordola, M.C.Prola, E.Bonansea, R.Pispico, G.Papa e C.Rostagno: SIVA Il sistema informativo valanghe del Piemonte, Neve e Valanghe, 2005
- M.C. Prola,M. Alibrando,B. Lorusso, R. Casssulo: 10 anni di SIVA, Neve e Valanghe, 2009
- M.Maggioni, A.Caimi, M.Freppaz, D.Godone, A.Bertea, M.Cordola, MC. Prola, V.Bertoglio, B.Frigo: 16 Dicembre 2008 Valanghe a Ceresole Reale. Neve e Valanghe, 2009.
- Barbolini M., Natale L., Barbero S., Prola M.C., Faletto M., Cordola M., Stefanini F.: LINEE DI INDIRIZZO OPERATIVE PER L'ATTIVITA' DELLE COMMISSIONI LOCALI VALANGHE IN PIEMONTE, Ed. ARPA, giugno 2013

le VALANGHE sul MASSICCIO del POLLINO

Giuseppe Viggiani ¹ Francesco Cruscomagno ²

Domenico Riga ³

¹ Ingegnere, PhD,
Università della Calabria;
² Ingegnere, DIMES,
Università della Calabria;
³ Libero professionista, socio CAI

AVALANCHES ON THE POLLINO MASSIF

A set of avalanche sites has been located in a mountain area of Southern Italy (Pollino Massif), where the avalanches have not been analysed before. Photo interpretation of satellite images, supported by on-site verification, has been used to such purpose. Owing to the potential interaction with the trail network of the Pollino National Park, preliminary elements aimed to Avalanches Map (C.L.P.V.) creation have been defined. They can be useful for avalanche-risk prevention.

Prime indagini sul fenomeno ed elementi preliminari per una Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe (C.L.P.V.)

La fotointerpretazione di immagini satellitari, supportata da verifiche in situ, ha permesso di individuare una serie di siti valanghivi in un territorio montuoso dell'Italia Meridionale (Massiccio del Pollino) precedentemente non interessato da analisi del fenomeno. La potenziale interazione con la rete sentieristica del Parco nazionale del Pollino ha indotto alla definizione di elementi preliminari per la redazione della Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe (C.L.P.V.), utili ai fini della prevenzione dei rischi correlati.



INTRODUZIONE

Il Massiccio del Pollino è un gruppo montuoso dell'Appennino Meridionale, situato al confine fra la Calabria e la Basilicata. A breve distanza dal Mar Tirreno a Ovest e dal Mar Ionio ad Est, il gruppo montuoso si eleva fino ai 2267 m della Serra Dolcedorme.

Il territorio del Pollino, incluso nel parco nazionale omonimo, presenta scarsissima antropizzazione e modesta frequentazione escursionistica, anche invernale. I fenomeni da valanga non sono stati sinora oggetto di analisi sistematica.

È localmente ricorrente il luogo comune secondo il quale il fenomeno non riguarderebbe il territorio in questione, restando relegato a latitudini più elevate (Viggiani e Riga, 2017).

Di conseguenza, resta del tutto da definire quanto previsto dal D.P.C.M. 29 settembre 1998 (Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180), che, all'art. 1 punto 2.3 (Aree a rischio di frana e valanga), indica una Fase prima (Fase di individuazione delle aree a rischio di frana e valanga) ed una Fase seconda (Fase di perimetrazione e valutazione dei livelli di rischio).

In un contesto di indisponibilità di dati sull'innevamento in quota, una prima e

preliminare analisi dei siti valanghivi è stata eseguita mediante fotointerpretazione di immagini satellitari e verifiche in situ.

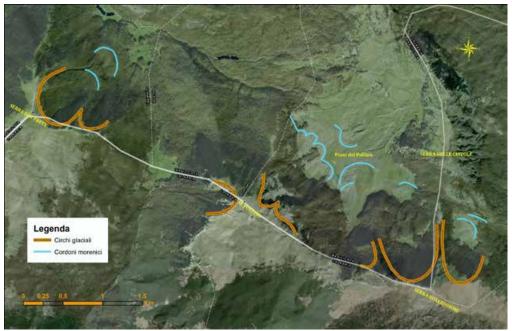
CENNI GEOLOGICI E MORFOLOGICI

Il Massiccio del Pollino, Geoparco Unesco dal 2015, è caratterizzato da complessi sedimentari calcareo-dolomitici, in cui i calcari prevalgono nettamente, mentre le dolomie hanno subìto, per le vicende tettoniche, un processo di intensa fratturazione che le ha portate ad assumere l'aspetto e la consistenza delle sabbie (Lena, 1992; Guerricchio, 1995). Al di sopra, in molte zone, si rinviene il flysch, con qualche inclusione di grandi ammassi di ofioliti, che possono essere viste come frammenti di crosta oceanica portati in superficie per effetto della collisione tra placche limitrofe. Il complesso calcareo-dolomitico è in parte ricoperto anche da depositi sedimentari risalenti al Quaternario o più antichi. Tutti questi complessi hanno subito, durante la fase di sollevamento, intensi fenomeni tettonici con la formazione di horst e graben, tipici di una fase espansiva, in cui l'allontanamento dei margini ha determinato, al suo interno, il collasso di alcune parti (fosse o graben) mentre le altre parti restano in rilievo (horst). Nello stesso periodo, la zona valliva, costituita,

a Sud, dalla Piana di Sibari e dalla Conca di Castrovillari, ha subito un graduale ribassamento, determinando così una serie di scarpate non ancora obliterate. Più in generale, il versante calabrese, esposto verso Sud, si presenta aspro e ripido, mentre quello lucano, esposto verso Nord, appare più dolce e con un paesaggio ondulato, per effetto della prevalenza di affioramenti flyscioidi. Molto diffusi sono i fenomeni di dissoluzione dei carbonati e di erosione di tipo carsico, che evolvono nella formazione di doline, con depressioni anche di grande superficie, ottenute per successivi ampliamenti di conche di minore dimensione. Campi di doline si hanno intorno alle cime del Monte Pollino e della Serra Dolcedorme. Dimensioni maggiori si accompagnano a sviluppi più complessi e morfologie più articolate, legate, oltre che alla concomitanza di fenomeni di dissoluzione carsica e di modellazione glaciale, in qualche caso, alla presenza di bacini lacustri. Queste forme sono indicate quasi sempre come Piano o Campo e se ne hanno diversi esempi: Piano di Ruggio, Piano di Vacquarro, Piano del Pollino, Campotenese.

Evidenti tracce glaciali wurmiane (100.000-12.000 anni fa) sul Massiccio del Pollino sono state individuate da Boenzi e Palmentola (1971) e poi ulteriormente definite, inter alia, in Giraudi (1998). Le tracce sono tutte localizzate nel bacino del Torrente Frido. I maggiori circhi glaciali sono visibili sui versanti esposti da NE a NO del Monte Pollino, di Serra del Prete e di Serra Dolcedorme, quest'ultima sede di una accentuata conca denominata "Fossa del Lupo". Essi confluivano in una unica e imponente lingua glaciale che si estese, verso Nord, almeno fino a quota 1500 m. Nel corso del ritiro del ghiacciaio, le diverse lingue cessarono di confluire e lasciarono più ordini di depositi morenici, particolarmente visibili nell'ampio pianoro carsico denominato "Piani del Pollino" (Fig. 1). I cordoni appaiono vulnerabili alla percorrenza di autoveicoli fuoristrada e alla diffusa usanza di tracciamento dei sentieri con successioni di pietre allineate.

Fig. 1 - Tracce della glaciazione del wurmiano sulle cime del Massiccio e nei Piani del Pollino (da Giraudi, 1998 - semplif.).



LA VEGETAZIONE

Il territorio del Pollino è caratterizzato da una vegetazione molto varia, che testimonia le diverse condizioni climatiche che ne influenzano il territorio. Alcune specie endemiche e la presenza di rare associazioni vegetali rendono l'area del Parco nazionale di elevato interesse conservazionistico.

La ripartizione altitudinale della vegetazione può essere schematizzata come segue (Bernardo, 2000):

- Fascia mediterranea, fino a 700-800 m s.l.m.;
- Fascia sopramediterranea, fino a 1100 m s.l.m.;
- Fascia montana, fra 1100 e 2000 m s.l.m.;
- Fascia altomontana, oltre i 2000 m s.l.lm.

I limiti altimetrici hanno notevoli oscillazioni, sia per fattori topografici e microclimatici locali, sia per l'asimmetria dei versanti, caratteristica dell'intera Calabria (Fig. 2).

Nella fascia mediterranea, il climax potenziale è costituito dalla lecceta (Quercus ilex), ma la presenza di leccete mature è ridotta a pochi lembi, prevalendo gli stadi di ceduazione accompagnati dalle sclerofille che componevano la foresta originaria. La fascia mediterranea si spinge fino ai 900 m di altitudine in corrispondenza di grandi pareti rocciose esposte a sud. Sui fondi sabbiosi e rocciosi, si evidenzia la vegetazione bassa e rada della "gariga" o della "steppa mediterranea", con la presenza di graminacee perenni, in alcuni casi di interesse conservazionistico (Stipa austroitalica). Nella fascia sopramediterranea (fino a 1100 m), dominano le diverse varietà di quercia, quali Roverella (Quercus pubescens), Cerro (Quercus cerris), Farnetto (Quercus frainetto) sovente in reciproca coesistenza o in boschi misti con Carpino orientale (Carpinus orientalis), Acero (Acer obtusatum), Castagno (Castanea sativa), Ontano napoletano (Alnus cordata).

Nella fascia montana, prevale la faggeta (Fagus sylvatica) pura o in formazioni

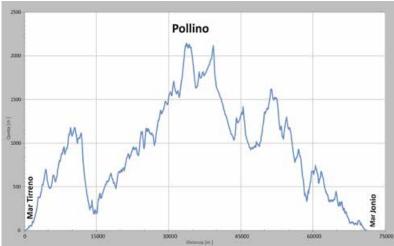


Fig. 2 - Profilo

(Mar Ionio).

altimetrico del Massiccio

del Pollino da Ovest (Mar Tirreno) ad Est



Calabrosa 3 (Giuseppe Viggiani).

miste con castagno, cerro e aceri. Nelle quote più basse il faggio (in ambiente di forra esistono formazioni a 500 m s.l.m.) si accompagna all'Agrifoglio (*Ilex aquifolium*) e all'Acero di Ungheria ("faggeta termofila"). Nelle quote più alte e in ambiente di forra, il faggio si accompagna all'Acero di Lobel e, prevalentemente nel versante settentrionale, dà luogo alla particolare associazione con l'Abete bianco (*Abies alba*).

La più evidente particolarità della vegetazione del Pollino è il Pino loricato (*Pinus leucodermis*), che si presenta isolato o in nuclei, spesso con esemplari imponenti e inerpicati su ripide pareti rocciose. La corteccia di questa conifera è grigia chiara nelle piante giovani (da cui il nome "leucodermis"), mentre, negli esemplari adulti, è fessurata, in placche regolari, dette "loriche". Per effetto della capacità di adattamento ai suoli aridi,

questo elemento balcanico riesce a vivere anche al disopra del limite del faggio, fino quasi alla sommità del Massiccio. Alle quote maggiori, al bosco si sostituiscono le praterie di altitudine, sia per effetti climatici, sia per antichi tagli realizzati a scopo di pascolo. Le coperture sono più compatte sui pendii meno ripidi, per il maggiore accumulo di suolo, mentre sono molto rade in cresta o nei ghiaioni posti alla base dei canali rocciosi. A specie tipiche dei popolamenti altomontani dell'Appennino, si alternano specie medio e sud-europee, balcaniche e mediterraneo-montane.

I versanti in quota presentano, in molti punti, un caratteristico aspetto a gradonatura, risultante da un diverso grado di consolidamento dei pendii dovuto alla presenza discontinua di cespi densi di Sesleria tenuifolia, Sesleria nitida e Carex macrolepis.

CARTOGRAFIA

NOTE SUL CLIMA

In base alla classificazione di Köppen-Geiger (1936), la Calabria appartiene ai climi mesotermici (temperati). Più precisamente (Coscarelli et al., 2021), la maggior parte della regione presenta clima di tipo Csa (Mediterraneo con estati secche e calde), mentre, con riferimento alle aree a quota più elevata dell'Appennino, si ha il tipo Csb (Mediterraneo con estati secche e miti).

Gli accumuli nevosi, negli ultimi 15 anni, hanno avuto una notevole variabilità, con annate caratterizzate da accumuli di svariati metri (inverni 2004-05, 2012-13) e altre con spessori esigui per l'intera

stagione (in particolar misura, l'inverno 2017-18). La mancanza di stazioni di misura in quota non consente di disporre di informazioni quantitative al riguardo. Ricorrenti configurazioni meteorologiche in periodo invernale, causa di precipitazioni nevose significative sul Massiccio, comprendono la traslazione di minimi barici nel Mar Tirreno, con correnti prefrontali miti di libeccio che precedono l'ingresso da occidente di correnti fredde e umide in discesa dal Golfo del Leone ("Porta del Rodano"). Sui versanti orientali, si osserva, invece, la formazione di minimi barici sul Mar Ionio che, se sufficientemente alimentati da correnti fredde da Nord o Nord-Est ("Porta da Voria", cioè "porta della Bora" nel dialetto locale), causano intense e consistenti precipitazioni nevose sui versanti esposti del Massiccio del Pollino, talvolta fino a quote basse, risultanti anche dall'effetto orografico (rilievi superiori ai 1000 m hanno una distanza minore di 15 km dalla costa). Infine, è ricorrente e talvolta persistente l'ingresso di analoghe correnti fredde da Nord-Est, associato a precipitazioni nevose anche fino alle aree costiere dello Ionio, ma con scarsi accumuli a tutte le altitudini.

In queste ultime configurazioni, si registrano le temperature più basse, con il valore record di -17.8 °C a quota 1880 m sui vicini monti della Sila (aree sommitali del Monte Botte Donato, 7 gennaio 2017 - Dati ARPACAL). Nella limitrofa stazione di Monte Curcio (1750 m s.l.m.), l'altezza di pioggia media annua è di 1240 mm (33 anni disponibili), con 564 mm concentrati nel periodo dicembremarzo. Sul Massiccio del Pollino, come accennato, non sono presenti stazioni meteorologiche in quota, ad eccezione di installazioni amatoriali. Da menzionare la stazione gestita dall'associazione Meteo Basilicata, che ha registrato la temperatura di -30.8 °C il 20 febbraio 2013 in località Piani del Pollino a 1777 m s.l.m. fenomeno chiaramente risultante da una accentuata inversione termica nel pianoro carsico.

Per contro, è frequente, anche in pieno inverno e a quote elevate, il superamento della temperatura di 0 °C. Di conseguenza, soprattutto sui versanti caldi e nei mesi con maggiore irraggiamento solare, la neve al suolo si presenta tipicamente di tipo primaverile, con accentuato metamorfismo da fusione e rigelo. Ne risulta una possibile instabilità della coltre nevosa durante il giorno, con distacchi di scarse quantità di neve umida o bagnata.

Subito dopo le nevicate, sono frequenti rialzi termici consistenti e duraturi conseguenti a venti meridionali, tali da stabilizzare il manto nevoso. Essi ridu-

Nevaio Monte Pollino (Fabio Zimbo).



Nevaio Monte Pollino (Domenico Riga).



cono, sovente, in tempi brevi il rischio di innesco di valanghe – salvo precipitazioni nevose successive consistenti o condizioni singolari.

Rilevante è la presenza di un nevaio a quota 2225 m s.l.m. (foto pagina a lato), posto a circa 100 metri a sud della vetta del Monte Pollino, in un pronunciato avvallamento soggetto ad accumuli per l'elevata ventosità del sito e per l'acclività dei versanti. Dato che la vetta rappresenta anche il confine amministrativo tra la Calabria e la Basilicata, il nevaio ricade in territorio calabrese. Testimonianze del passato definivano tale nevaio "perpetuo" (Bollettino C.A.I. volume 10, num. 25 del 1876). Il nevaio è citato, nel suo Old Calabria (Londra, 1915), anche dal viaggiatore inglese Norman Douglas, che, transitando per i Piani del Pollino all'inizio del '900, dubitava che l'accumulo potesse superare il caldo di settembre.

Negli ultimi decenni, le prove fotografiche, ormai numerose, da parte degli escursionisti, hanno permesso di stabilire che il nevaio fonde completamente quasi sempre nel periodo luglio – agosto. Rari sono gli anni in cui riesce a superare la stagione estiva. Nel 2013 il nevaio fuse completamente nella seconda decade di settembre (https://www.meteoincalabria.com/il-nevaio-del-pollino-ovvero-la-neve-d-estate-in-calabria/).

LOCALIZZAZIONE DEI SITI VALANGHIVI

I fenomeni di valanga, benché fosse comunemente nota l'occorrenza di almeno due eventi recenti (n. 1 e n. 3 in tabella di Fig. 3), non sono stati sinora oggetto di analisi. Inoltre, essendo interessate aree non abitate e, in passato, pochissimo frequentate in periodo invernale, non sono disponibili dati storici, a meno di quelli sopra citati. Di conseguenza, si è proceduto alla localizzazione dei siti valanghivi mediante fotointerpretazione di immagini satellitari (Google Earth 2002-2019) e ortofoto (volo I.G.M. 1990-91). Le risultanze sono state supportate, in alcuni casi, da sopralluoghi in situ con

Dati storici o N. Denominazione Esposizione Periodo sopralluoghi Monte Pollino O <1991 0 Si 1 Monte Pollino O 0 <1991 2 3 Serra del Prete E NE Febbraio 2010 Si 4 Serra del Prete N NE Inverno 2012-13 S 5 Dolcedorme S Vari >2010 Si Dolcedorme S SO Vari >2010 Si Dolcedorme E NE 2003÷2010 Si 8 Dolcedorme E NE 2003÷2010 Serra della Ciavole E Ε 2003÷2010 Pollino N NE 10 Si Ulteriori fenomeni Dolcedorme S SO 11 Si >2003

Fig. 3 - Siti valanghivi individuati mediante fotointerpretazione, dati storici e sopralluoghi.

analisi della vegetazione. Il metodo di indagine, stante il ristretto intervallo temporale, limita la possibilità di identificare siti valanghivi caratterizzati da elevati tempi di ritorno degli eventi.

Trascurando fenomeni molto localizzati (canali minori), sono state individuati – in un'area indagata di circa 70 km² – 11 siti valanghivi concentrati su una superficie di circa 10 km², con quote comprese fra 2267 m (quota maggiore fra le potenziali aree di distacco) e 1325 m (quota minore fra le zone di accumulo individuate, come descritto e rappresentato dalle Figure da 4 a 8).

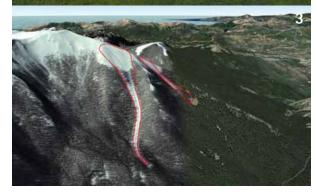
I siti 1-9 e 11 sono risultati nettamente individuabili nonché databili, nei più recenti movimenti, fra il 1990 circa e il 2013. Il sito n. 10 si presenta meno netto e non databile.

Le lunghezze – valutate fra la quota maggiore delle potenziali aree di distacco e la quota minore fra le zone di accumulo rilevate – variano da 440 m a 1840 m (ossia nell'intervallo da valanga *media* a grande secondo la classificazione EAWS – European Avalanche Warning Services).

In tutti i siti, le aree di distacco si elevano oltre il citato limite altitudinale del bosco (1800-2100 m s.l.m.), presuntivamente fino alle creste sovrastanti. Sono quindi interessate conche e versanti con scarsa copertura vegetale (praterie sommitali, ghiaioni o versanti detritici, affioramenti rocciosi). Le aree di trasporto sono localizzate lungo gli stessi versanti e, più a







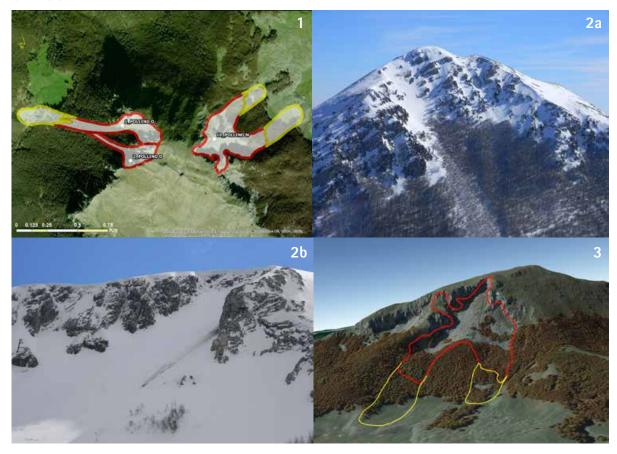
valle, in fasce boscate o lungo canaloni detritici, in alcuni casi fino ai pianori carsici sottostanti.

Ai fini di future indagini sui fenome-

Fig. 4 (1,2,3,) - Siti valanghivi della Serra del Prete.

CARTOGRAFIA

Fig. 5 (1,2a,2b,3) - Siti valanghivi del Monte Pollino (5.2a: sito n. 1; 5.2b: sito n. 10; 5.3: sito n. 10).



Nevaio Monte Pollino (Domenico Riga).



ni di valanga, può essere utile rilevare che simili configurazioni morfologiche e vegetazionali sono presenti anche sui rilievi limitrofi a Nord (Gruppo del Sirino, Monte Alpi) e, in minor misura, a Sud (Monti di Orsomarso). L'Altopiano della Sila (Calabria), invece, presenta forme più arrotondate e la copertura boscosa si estende, quasi ovunque, fino alle aree sommitali. Proprio il Monte Sirino è stato sede di un evento di notevole entità (31 gennaio 2015), che ha causato consistenti danneggiamenti agli impianti sciistici.

L'osservazione diretta in periodo invernale a partire dal 2010 e la fotointerpretazione, per quanto entrambe disponibili con cadenza irregolare, sembrerebbero escludere una ciclicità di eventi rilevanti sui versanti settentrionali del Massiccio del Pollino. Fenomeni minori e non presi in esame, invece, si verificano con regolarità in porzioni più localizzate dei versanti e nei canali minori. A quest'ultima tipologia, ma a scala maggiore, possono essere ascritti anche i fenomeni che interessano le grandi incisioni del versante meridionale di Serra Dolcedorme (siti 5,

6, 11), sui ripidi versanti che sovrastano la citata Conca di Castrovillari, dove è effettivamente desumibile una ripetitività di eventi (tabella di Fig. 3), ma con entità e frequenza, allo stato attuale, non evincibili.

Tutti i siti ricadono in Zona A del Parco Nazionale del Pollino. Tuttavia, con riferimento al sito n. 3 (Serra del Prete), a seguito dell'evento del febbraio 2010, sono stati eseguiti la raccolta e il trasporto a valle degli alberi abbattuti dalla valanga (faggi).

STIMA DELLE DISTANZE MASSIME DI SCORRIMENTO

Ai fini dell'individuazione dei siti valan-

ghivi potenzialmente critici, in mancanza di informazioni statistiche su eventi di diversa entità occorsi in passato, è stata adoperato il modello statistico-topografico norvegese (altresi' noto come metodo Alfa-Beta o metodo del rapporto di arresto; Lied e Bakkehøi, 1980). Il metodo fornisce il gradiente medio del profilo della valanga in funzione dell'inclinazione della zona di distacco (gradiente corrispondente ai primi 100 m di dislivello lungo il profilo della valanga), del gradiente medio del tratto compreso fra la zona di distacco e la zona di accumulo (angolo della congiungente la sommità della valanga con il punto del profilo con angolo di 10°) e del dislivello H misurato dalla zona di rottura all'estremità della

zona di accumulo (Fig. 9).

Espresso il profilo topografico della valanga come $y=ax^2+bx+c$ (con derivata seconda y''=2a), la regressione dei parametri geometrici di 111 valanghe occorse in Norvegia, per le quali è nota la massima estensione verificatasi, ha fornito l'equazione

 $\alpha = (0.62 - 0.28 \text{ Hy"}) \beta + (19 \text{Hy"} - 2.3) + 0.12 \theta$

con un coefficiente di correlazione pari a 0.95.

Noto α , si può calcolare la massima distanza L fra l'area di distacco e l'estremità di valle dell'accumulo, pervenendo quindi alla stima della distanza di scorrimento quando il fenomeno si verifica

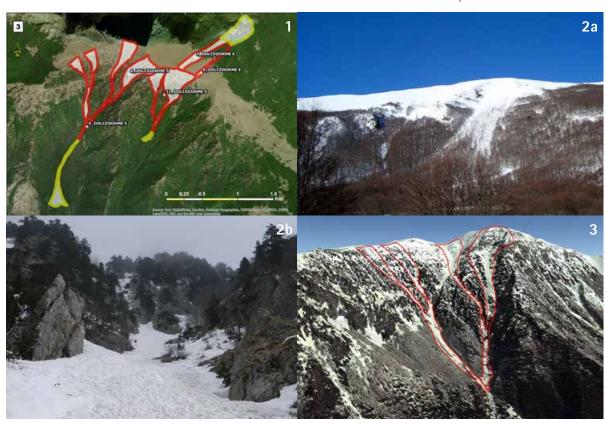


Fig. 6 (1, 2a, 2b, 3) - Siti valanghivi della Serra Dolcedorme (6.2a: siti n. 7-8; 6.2b: sito n. 5; 6.3: siti n. 5-6).

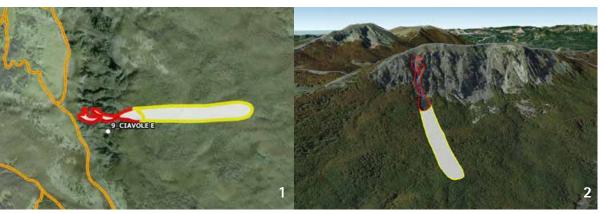


Fig. 7 (1,2) - Sito valanghivo della Serra delle Ciavole.

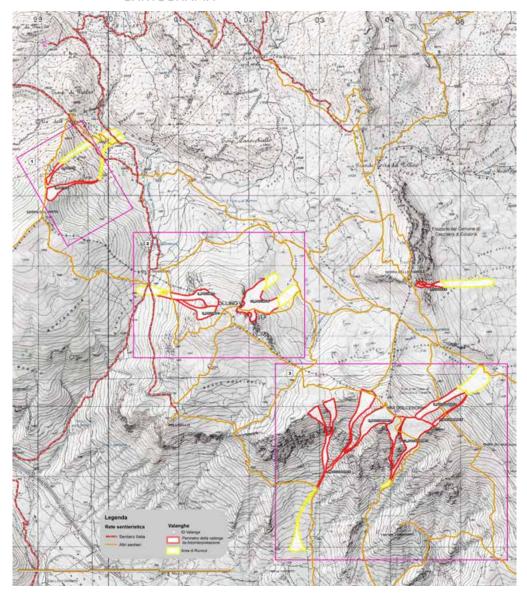


Fig. 8 - Mappatura dei siti valanghivi.

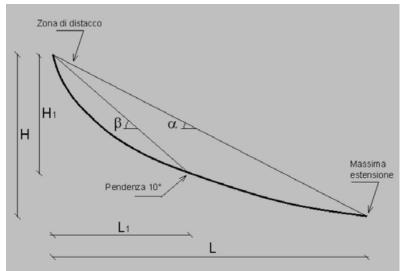


Fig. 9 - Schematizzazione del profilo della valanga nel metodo norvegese (Lied e Bakkehøi, 1980).

con la massima estensione.

In tutti gli 11 casi analizzati nell'area del Pollino, la distanza di scorrimento supera quella desunta dalla fotointerpretazione, indicando verosimilmente che, negli ultimi decenni, il fenomeno non si è propagato fino alla massima distanza di arresto.

Tuttavia, per alcuni siti valanghivi (1, 2, 3, 4, 7, 8), la distanza di scorrimento po-

tenziale Lè stata ridimensionata rispetto a quella calcolata, a causa del raggiungimento di versanti in contropendenza. Invece, relativamente ai siti 5, 6, 11, L risulta di molto maggiore rispetto a quella rappresentata in cartografia, al punto da rendere necessarie analisi più accurate per una più corretta determinazione. Infine, per i siti 9, 10, l'area di accumulo è stata ridimensionata in considerazione della geometria complessa del pendio, che presenta riduzioni e incrementi di pendenza in punti intermedi (circostanze non contemplate nel metodo di calcolo utilizzato).

I dati geometrici caratteristici degli 11 siti sono riportati nella tabella di Fig. 10.

ESPOSIZIONE AGLI EFFETTI DELLE VALANGHE

Nessuna area antropizzata a valle risulta potenzialmente interessata dagli effetti delle valanghe nei siti individuati, mentre svariati tratti di percorsi appartenenti alla rete sentieristica del Parco nazionale ricadono in aree di scorrimento o di accumulo di potenziali valanghe (tabella di Fig. 11 e Fig. 8).

Anche pianori comunemente frequentati costituiscono zone di accumulo potenziale (Piani del Pollino, Piano di Vacquarro, Piano di Fossa, Piano di Gaudolino). È utile precisare che i sentieri interessati sono di tipo escursionistico, restando qui escluse valutazioni sui pericoli legati alla percorrenza di vie di tipo alpinistico o scialpinistico.

CONCLUSIONI

Una prima indagine sul fenomeno delle valanghe nel Massiccio del Pollino ha portato all'individuazione di 11 siti valanghivi di dimensione significativa. Ai fini della perimetrazione delle aree a rischio di valanga prevista dal citato D.P.C.M. 29 settembre 1998, l'analisi eseguita e la cartografia redatta possono costituire, per il Massiccio del Pollino, un preliminare contributo alla definizione della Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe (C.L.P.V.).

Con riferimento ai livelli di rischio da valanga, occorre rilevare che la pericolosità (intesa come probabilità che in una zona si verifichi un fenomeno di una determinata intensità in un determinato periodo di tempo) non può essere statisticamente stimata, data la scarsa numerosità degli eventi registrati. La vulnerabilità, intesa come l'attitudine di un "elemento" – persone nel caso specifico - a sopportare gli effetti dell'evento valanghivo in funzione dell'intensità dell'evento stesso, deve essere valutata come elevata. L'esposizione (espressa, nel caso presente, dal numero di presenze umane esposte al pericolo), è invece da ritenere bassa, non essendovi una sistematica presenza di persone in periodo invernale. Complessivamente, per il Massiccio del Pollino, si può stimare, in via qualitativa, un rischio non elevato, ma associato a potenziali effetti molto dannosi.

Permane, in definitiva, la necessità di monitoraggio sistematico delle aree innevate – allo stato attuale del tutto mancante e, per quanto noto, non programmato – nonché di ulteriori ricerche sui potenziali effetti del distacco delle valanghe nel territorio montano della Calabria e della Basilicata.

Allo scopo di superare la generica tendenza alla sottovalutazione del problema, è utile procedere ad una adeguata informazione nei riguardi dei frequentatori e dei soggetti demandati al soccorso in zone di montagna.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano: Massimo Pecci, ricercatore glaciologo e nivologo, titolato AINEVA (Associazione Interregionale di coordinamento e documentazione per i problemi inerenti alla neve e alle valanghe) per gli utili consigli e indirizzi forniti; Fabio Zimbo, ingegnere e meteorologo, per il supporto alla caratterizzazione del clima del Massiccio; Stefano Sofia, meteorologo e nivologo presso il Centro Funzionale della Protezione Civile della Regione Marche, per le puntuali indicazioni fornite in sede di revisione del testo.

Denominazione	Lunghezza 3D (m)	Superficie (m²)	Quota minima (m)	Quota massima (m)	Pendenza med (%)	Pendenza max (%)
01_Pollino 0	966	91194	1742	2227	50	111
02_Pollino O	955	51194	1741	2219	50	112
03_Prete E	950	47917	1655	2097	47	83
04_Prete E	452	16644	1808	2019	47	101
05_Dolcedorme S	1546	101311	1321	2094	50	157
05_Dolcedorme S	1460	101311	1321	2067	51	142
06_Dolcedorme S	1838	198963	1322	2148	45	163
06_Dolcedorme S	1823	190903	1322	2250	51	159
07_Dolcedorme E	883	71934	1731	2184	51	101
08_Dolcedorme E	799	15615	1700	2129	54	128
09_Ciavole E	531	20325	1716	2030	59	139
10_Pollino N	724	159755	1843	2208	51	105
10_Pollino N	675	137/33	1852	2211	53	114
11_Dolcedonne S	1236	204977	1501	2235	59	155
11_Dolcedorme S	1309	2049//	1501	2205	54	168

Fig. 10 - Dati geometrici degli 11 siti valanghivi.

Fia. 11 - Sentieri interessati da aree di distacco/trasporto o di accumulo in siti valanghivi. Il codice individua i sentieri del Club Alnino Italiano inseriti nel Catasto Nazionale Sentieri CAI; la sigla IPV (Itinerari di Particolare Valenza) individua i sentieri individuati dall'Ente Parco del Pollino secondo la metodologia del Club Alpino Italiano ma non inseriti nel Catasto Nazionale Sentieri CAI.

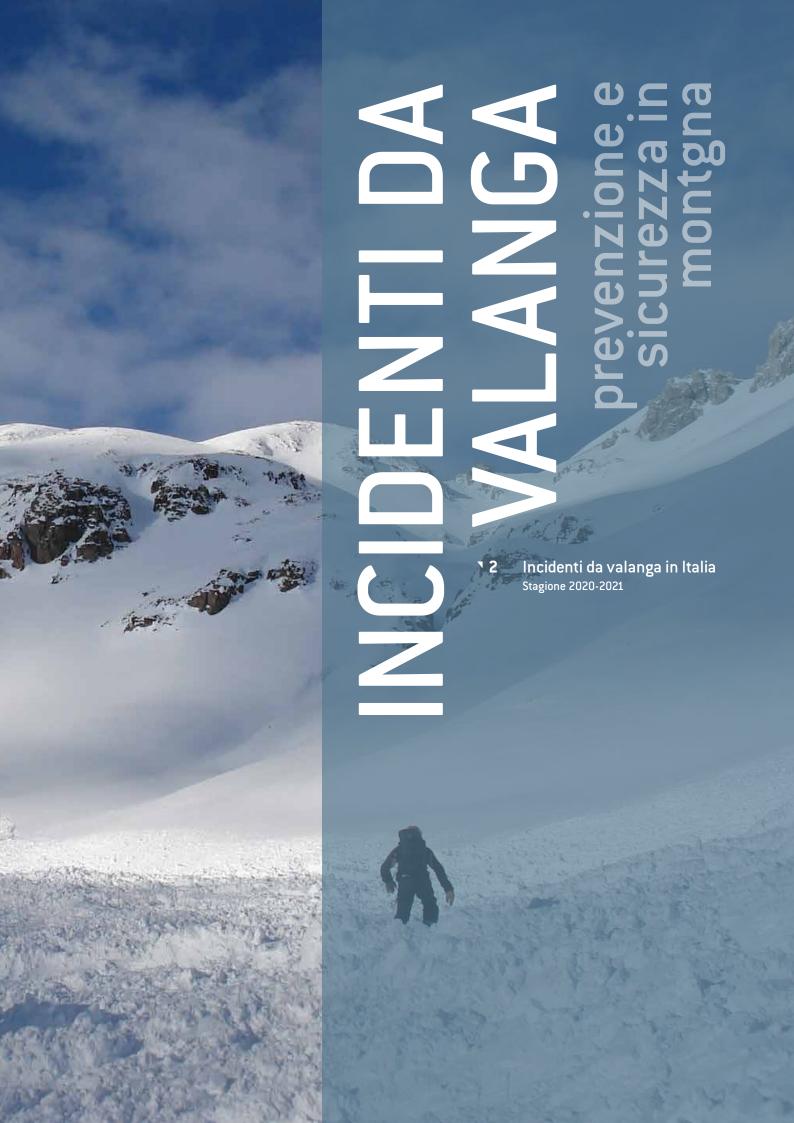
Cod. sentiero	Denominazione sentiero	Aree di distacco/trasporto	Aree di accumulo
N. 920	Orto Botanico Castrovillari - Patriarca - Monte Pollino	03_Prete E	
N. 921	Cozzo Palumbo Castrovillari - Serra Dolcedorme	11_Dolcedorme S	11_Dolcedorme S
N. 921A	Valle Piana Castrovillari - Timpone Campanaro	10_Pollino N	10_Pollino N
IPV 1	Orto Botanico Castrovillari - Serra Dolcedorme	06_Dolcedorme S	
IPV 3	Colle dell' <u>Impiso</u> - Monte Pollino		04_Prete N 10_Pollino N
IPV 2	Colle dell' <u>impiso</u> - Sella <u>Dolcedorme</u>	01_Pollino O 04_Prete N 05_Dolcedorme S	
IPV 5	Rifugio Montano Colle Marcione - Passo di Valle Piana	•	07_Dolcedorme E
	Sentiero Italia		01_Pollino O 04_Prete N
-	Sentiero Piano di Acquafredda - Passo del Vascello	07_Dolcedorme E 08_Dolcedorme E	

Bibliografia

- Barbolini M. e Natale L. (a cura di), Linee guida metodologiche per la perimetrazione delle aree esposte al pericolo di valanghe, AINEVA, Dipartimento di ingegneria idraulica e ambientale dell'Università degli studi di Pavia, 2005.
- Bernardo L. Fiori e piante del Parco del Pollino. Ed. Prometeo, Castrovillari, 2000.
- Boenzi F. e Palmentola G. Tracce della glaciazione wurmiana sul Massiccio del Pollino al confine Calabro-Lucano. Boll. Soc. Geol. It., 1971, 90, 139-150.
- Coscarelli R., Aguilar E., Petrucci O., Vicente-Serrano S.M., Zimbo, F. The Potential Role of Climate Indices to Explain Floods, Mass-Movement Events and Wildfires in Southern Italy. Climate, 2021, 9, 156. https://doi.org/10.3390/cli9110156.
- D'Aquila e Pecci M. Il ghiaccio del Sud, SLM, Rivista dell'Istituto Nazionale della Montagna, n. 29, 2006.
- EAWS, Avalanche size, www.avalanches.org
- Giraudi C. La deglaciazione tardopleistocenica sui M. Sirino e Pollino (Basilicata-Calabria Italia meridionale). Italian Journal of Quaternary Sciences, 11(2), 1998, 247–254.

- Guerricchio A., Lineamenti geologici e geomorfologici, in A Campolongo (a cura di) Antologia degli studi per il piano territoriale della Calabria, 1995, editoriale Bios, Cosenza, 1995, vol. III.
- Koppen,W. Das Geographisce System der Klimate. In Handbuch der Klimatologie; Das Geographisce System der Klimate: Stuttgart, Germany, 1936, pp. 1–44.
- Lena G., Il Pollino Calabro. Osservazioni geologiche, in Appella G. e Gagliardo P. (a cura di) Calabria e Lucania, riserva di verde nel Mediterraneo, 1992, Cassa di Risparmio di Calabria e Lucania, Libri Sheiwiller Milano, 1992.
- Lied K. e Bakkehøi S. Empirical Calculations of Snow-Avalanche Run-out Distance Based on Topographic Parameters. Journal of Glaciology, 1980, 26. 165-177. 10.1017/S0022143000010704.
- Pisarra E. Pollino. Carta generale 1:90.000. Con carta di dettaglio 1:35.000, Ente Parco Nazionale del Pollino, Club Alpino Italiano, Prometeo, Castrovillari, 2015.
- Viggiani G. e Riga D. Una prima mappatura delle inesistenti valanghe sul Massiccio del Pollino, Amici della Montagna, Sicurezza in montagna e rischio valanga sul Massiccio del Pollino, Cosenza, 8 dicembre 2017.





INCIDENTI da VALANGA Note of the content of the co

Stefano Pivot

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

AVALANCHE ACCIDENTS IN ITALY Season 2020-2021

One winter season follows one another, but they are all different. We know by now, the number of avalanche accidents is closely related to the conditions of the snowpack and its instability. Compared to the previous season, the 2020-2021 season saw the number of people killed in avalanches double up. 80 avalanche accidents were recorded; 18 were fatal (23%). 133 people were caught: 26 died (compared to a thirty-year average of 20 deaths a year), 34 injured and 73 uninjured.

Le stagioni invernali si susseguono, ma sono tutte diverse. Ormai lo sappiamo, il numero di incidenti da valanga è strettamente correlato alle condizioni del manto nevoso e alla sua instabilità. Rispetto alla stagione precedente, la stagione 2020-2021 ha visto raddoppiare il numero delle persone morte in valanga. Gli incidenti da valanga registrati sono stati 80, di cui 18 mortali ovvero il 23%. Sono state travolte 133 persone, di cui 26 morte (contro una media trentennale di 20 decessi l'anno), 34 ferite e 73 illese.



INCIDENTI DA VALANGA

I decessi sono avvenuti lungo tutto l'Arco alpino italiano, Appennino compreso. Le regioni con più morti in incidenti da valanga sono state: il Piemonte con 6 morti, il Trentino-Alto-Adige con 5 e l'Abruzzo con 4. Si contano 3 morti in Lombardia e in Friuli-Venezia-Giulia, 2 morti in Valle d'Aosta e nel Veneto ed 1 morto anche in Emilia-Romagna.

L'incidente più grave è avvenuto in Abruzzo con 4 persone decedute; ci sono poi stati 5 incidenti dove si contavano 2 morti e 12 incidenti con 1 morto.

L'incidente in Abruzzo è stato molto complicato dal punto di vista del soccorso. Domenica 24 gennaio 2021 quattro persone di Avezzano, paese alle pendici del Monte Velino, vengono travolte da una valanga nella zona del colle del Bicchero. I soccorsi vengono avvisati la

sera dai familiari, preoccupati dal mancato rientro. Le ricerche iniziano di notte, grazie all'elicottero dell'aeronautica, autorizzato al volo notturno e continuano il giorno successivo. Purtroppo nessuno degli escursionisti era equipaggiato con l'Artva e quindi, in assenza di tracce, a causa dell'ampiezza della valanga, il loro ritrovamento diventa difficile. Le ricerche sono infruttuose così, col passare dei giorni, vengono coinvolti numerosi soccorritori specialisti, partiti da più parti d'Italia. Intervengono 4 elicotteri, nove cani, soccorritori del CNSAS, Carabinieri, finanzieri del SAGF, polizia, vigili del fuoco e gli alpini del 9° Reggimento dell'Aquila. I corpi saranno ritrovati solamente dopo circa 4 settimane, sotto circa 9 m di neve.

Quali sono state le condizioni nivologi-

alto numero di incidenti? Erano simili lungo tutto l'arco alpino? L'innevamento era molto differente. Nel nord-est dell'Italia ci sono state quantità di neve eccezionali, in particolare nel mese di dicembre, seguite da temperature molto fredde. Nel nord-ovest invece le nevicate sono state decisamente inferiori alla media, ma con temperature più fredde della media, soprattutto nei mesi centrali dell'inverno. L'alternanza di piccole nevicate e lunghi periodi freddi e senza neve hanno portato alla formazione di strati deboli persistenti che sono rimasti attivi per buona parte dell'inverno, formando condizioni globalmente instabili per lunghi periodi. Proprio questi strati deboli sono stati la causa principale dell'instabilità e dei numerosi incidenti da valanga avvenuti in Italia e nei paesi limitrofi. Per esempio, in Francia 40 persone sono morte in valanga contro una media di 30; di questi, 3 erano alpinisti e ben 37 scialpinisti. Tre volte più vittime e decessi nello scialpinismo rispetto alla media degli ultimi vent'anni! In Svizzera 32 persone sono morte in valanga contro una media di 24, di cui 16 in scialpinismo e 16 in fuoripista (anche in fuoripista perché, a differenza dell'Italia e della Francia, in Svizzera i comprensori sciistici erano aperti al grande pubblico). Tra i cinque problemi tipici valanghivi, quello degli strati deboli persistenti è sicuramente il più subdolo, perché è un problema situato all'interno del manto nevoso e quindi non immediatamente visibile sciando, pertanto è quello che trae in inganno anche gli esperti e i professionisti, infatti quest'anno numerosi

che generali che hanno favorito un così

volte persone molto esperte.

Questa stagione invernale è stata inoltre caratterizzata dalla chiusura degli impianti di risalita e dai numerosi "lockdown" che costringevano le persone a lunghi periodi di restrizioni nelle attività. Ad inizio stagione molte persone che volevano comunque praticare attività all'aria aperta e a contatto con la natura sono corse ad acquistare at-

incidenti da valanga hanno visto coin-





Nella pagina a fianco: Fig. 2

INCIDENTI DA VALANGA

J	DATA				INCIDENTI DA VALANGA IN ITALIA - STAGIONE 2020/2021								
		LOCALITÀ	REGIONE	CAT	GRADO PERICOLO	PRESENTI	TRAVOLTI	ILLESI	FERITI	MORT			
	11/10/2020	Monte Bianco - Toula - Canale dei tedeschi	Valle d'Aosta	1	-	5	5	2	3	0			
2	2/12/2020	Monte Legnone - Loc. Scoggione - via "Dado"	Lombardia	5	2	2	1	0	1	0			
3	7/12/2020	Arabba - strada comunale loc. Cherz	Veneto	6	5	1	1	1	0	0			
1	13/12/2020	Courmayeur - tracciato pista Youla	Valle d'Aosta	1	3	5	2	2	0	0			
5	13/12/2020	Valle Susa - canale nord cima 4 Sorelle	Piemonte	2	2	3	1	0	1	0			
5	17/12/2020	Hinterer Kitzkogel - Moos in Passeier / Moso in Passiria	Trentino-Alto Adige	1	1	4	4	1	0	0			
7	20/12/2020 3/1/2021	Grignetta - Canalone Porta Kreuzspitze / M. Croce - Schnals / Senales	Lombardia	5 2	3	5	2	0	0	0			
9	3/1/2021	Val di Fassa Dolomiti-Catinaccio-fra passo Cigolade e rifugio Gardeccia	Trentino-Alto Adige Trentino-Alto Adige	2	3	5	1	1	0	0			
0	4/1/2021	Zunderspitz / Cima dell Incendio - Ratschings / Racines	Trentino-Alto Adige	1	3	9	4	4	0	0			
1	6/1/2021	Val di Susa, prossimità del Monte Fraiteve	Piemonte	2	4	2	1	1	0	0			
2	6/1/2021	Val Masino - Val Merdarola - Punta Medaccio	Lombardia	5	3	1	1	0	1	0			
3	9/1/2021	Val Tartano - Monte Seleron	Lombardia	2	3	5	2	2	0	0			
4	9/1/2021	Cortina - Monte Cavàl - Val Travenanzes	Veneto	2	2	3	1	0	0	1			
5	10/1/2021	Lessinia - Lobbia	Veneto	2	2	1	1	0	1	0			
6	10/1/2021	Flatschkofel / Col Valacia - Enneberg / Marebbe	Trentino-Alto Adige	2	3	4	2	2	0	0			
7	12/1/2021	Val Tartano - Cima Vallocci	Lombardia	2	2	2	1	1	0	0			
9	12/1/2021	Monte Bondone di Trento - Cima Verde	Trentino-Alto Adige	6	3	3	2	2	0	0			
0	13/1/2021 13/1/2021	Valle Po, provinciale per Pian Munè Foppolo - Monte Toro	Piemonte Lombardia	3	3	1	1	1	0	0			
1	13/1/2021	Val Imagna - Brumano - Costa del Palio	Lombardia	1	3	2	2	0	1	1			
2	13/1/2021	Passo Pordoi - Gruppo del Sella - Canale Roma	Veneto	2	3	1	1	0	0	1			
3	14/1/2021	Comprensorio sciistico Monte Chiusetta / Valle Aurina	Trentino-Alto Adige	8	3	2	2	2	0	0			
4	15/1/2021	Valle Varaita - Colletto Chiausis	Piemonte	8	3	3	1	0	1	0			
5	16/1/2021	Valle Devero - Lago Devero	Piemonte	1	3	2	2	0	0	2			
6	16/1/2021	Glurnser Köpfl / Monte di Glorenza - Prad am Stilfser Joch / Prato allo Stelvio	Trentino-Alto Adige	1	3	4	2	2	0	0			
7	17/1/2021	Kasebacher Hörndl - Valle di Scaleres / Schalderer Tal	Trentino-Alto Adige	2	3	4	2	1	1	0			
8	19/1/2021	Cima Tombola Nera (2413 m s.l.m.)	Trentino-Alto Adige	2	3	3	2	1	1	0			
9	20/1/2021	Grosstartscherkopf / Monte di Tarres - Stilfs / Stelvio	Trentino-Alto Adige	1	3	3	1	1	0	0			
0	23/1/2021	Valle Grana - Monte Tibert	Piemonte	2	3	2	2	2	0	0			
1	23/1/2021	Val dei Mocheni sul dosso di Costalta versante ovest	Trentino-Alto Adige	2	3	4	4	3	1	0			
2	23/1/2021	Obereggen - Deutschnofen / Nova Ponente	Trentino-Alto Adige	2	3	1	1	1	0	0			
3	23/1/2021	Kronplatz / Plan de Corones - San Viglio di Marebbe / St. Vigil Enneberg	Trentino-Alto Adige	2	3	5	1	1	0	0			
4	23/1/2021	Valle Pesio - Monte Besimauda (Rio Sabot)	Piemonte	2	3	3	1	0	1	0			
5	24/1/2021	Monte Velino - Colle del Bicchero	Abruzzo	5	-	4	4	0	0	4			
6	24/1/2021	Val Canale	Lombardia	2	4	1	1	1	0	0			
7	24/1/2021	Cima Cadì - Tovo Sant'Agata	Lombardia	8	4	6	1	0	0	1			
8	24/1/2021	Künig - Schenna / Scena	Trentino-Alto Adige	2	3	2	1	1	0	0			
9	26/1/2021	Arabba - Portados	Veneto	3	3	5	1	1	0	0			
0	29/1/2021	Pila - Leissé	Valle d'Aosta	1	4	2	2	0	0	0			
2	30/1/2021 30/1/2021	Zintnock - Sand in Taufers / Campo Tures Valle Maira - Vallonasso	Trentino-Alto Adige	2	3	10	1	0	0	0			
3	31/1/2021	Valle Maira - Monte Cobre - Prato Ciorliero	Piemonte Piemonte	2	3	2	1	0	0	1			
4	31/1/2021	Valle Mail a - Monte Cobie - Fraito Cioniero Val d'Ayas - Monte Ciosé	Valle d'Aosta	8	3	8	4	4	0	0			
5	31/1/2021	Crocedomini - Goletto di Gavero	Lombardia	1	2	1	1	1	0	0			
6	5/2/2021	Arabba - strada comunale Davedino-Sottighiazza	Veneto	6	3	1	1	1	0	0			
7	8/2/2021	Val Susa - Colle Chalvet	Piemonte	1	3	2	2	0	0	2			
8	11/2/2021	Monte, Bianco - sotto Petit Col Ferret	Valle d'Aosta	1	3	3	1	0	1	0			
9	13/2/2021	Monte Giovo - Triangolo - Canale Jocondor	Emilia-Romagna	5	3	3	1	0	0	1			
0	13/2/2021	Monte Cusna	Emilia-Romagna	2	3	3	2	2	0	0			
1	13/2/2021	Val Raccolana- Pic Majot	Friuli-Venezia Giulia	2	2	3	1	0	0	1			
2	16/2/2021	Kleine Latemar Scharte / Piccola Forcella del Latemar - Welschnofen / Nuova Levante	Trentino-Alto Adige	2	2	4	1	0	1	0			
3	21/2/2021	Monte Torena	Lombardia	1	3	4	3	0	3	0			
4	22/2/2021	Lagorai - Monte Fregasoga versante val Cadino	Trentino-Alto Adige	2	3	4	1	0	0	1			
5	25/2/2021	Dürrenstein / Pico di Vallandro - Prags / Braies	Trentino-Alto Adige	2	3	1	1	1	0	0			
6	7/3/2021	Val Gerola - Monte Combana	Lombardia	2	1	1	1	1	0	0			
7	17/3/2021	Gran San Bernardo - Mont Labiez - Hotel Jorasses Suite Real	Valle d'Aosta	2	3	2	1	0	0	1			
3	20/3/2021	Gran San Bernardo - Tete de Fenetre	Valle d'Aosta	2	3	4	2	2	0	0			
9	22/3/2021	Lizzola - Passo della Manina - Canale Chigaladen	Lombardia	1	2	3	1	0	0	1			
0	25/3/2021	Valpelline - Becca di Chardonney - Canalone ovest Gran San Bernardo - Comba di Merdeux	Valle d'Aosta		3	5	2	2	2	0			
2	13/4/2021 13/4/2021	Valfurva - Costa Sobretta	Valle d'Aosta Lombardia	1	3	2	1	1	0	0			
3	14/4/2021	Steinschlagtal / Valle delle Frane - Schnals / Senales	Trentino-Alto Adige	2	2	2	1	0	1	0			
4	16/4/2021	Gruppo Jof Fuart - Canalone della gola nord est	Friuli-Venezia Giulia	2	2	3	2	0	0	2			
5	16/4/2021	Aprica - Dosso Pasò - La Valletta	Lombardia	2	3	2	2	2	0	0			
6	17/4/2021	Schwarzwandspitz / Croda Nera di Malavalle - Moos in Passeier / Moso in Passiria	Trentino-Alto Adige	2	2	2	2	1	1	0			
7	18/4/2021	Monte Sella di Sennes / Muntejela de Senes - Enneberg / Marebbe	Trentino-Alto Adige	1	2	4	2	0	2	0			
8	2/5/2021	Valle Orco - Col Perdù Ceresole Reale	Piemonte	1	2	10	2	1	1	0			
9	2/5/2021	Valle Stura - Passo di Vens	Piemonte	1	2	2	2	2	0	0			
0	2/5/2021	Valle Po - Passo due dita, Crissolo	Piemonte	1	2	4	2	2	0	0			
	8/5/2021	Valfurva - Pizzo Tresero	Lombardia	2	2	3	1	1	0	0			
2	8/5/2021	Valfurva - Punta Pedranzini	Lombardia	1	2	4	1	1	0	0			
3	8/5/2021	Tofana di Rozes - Punta Marietta	Veneto	5	2	2	1	0	1	0			
4	8/5/2021	Dolomiti di Sesto - Comelico - canale Mascabroni	Veneto	2	2	1	1	0	1	0			
5	8/5/2021	Val di Sole tra Palon de la Mare e il bivacco Rosole nel gruppo dell'Ortles Cevedale	Trentino-Alto Adige	2	2	3	1	0	1	0			
	9/5/2021	Val D'Ayas - Roccia Nera	Valle d'Aosta	2	2	2	2	2	0	0			
5		Königspitze / Gran Zebru - Stilfs / Stelvio	Trentino-Alto Adige	1	-	4	3	0	1	2			
6 7	19/5/2021				_	7	2	2	_				
_	19/5/2021 23/5/2021	Valchiavenna - Montespluga - Pizzo Suretta	Lombardia	1	2	7	3	3	0	0			
7		Valchiavenna - Montespluga - Pizzo Suretta Valpelline - Comba d'Oren - Sopra Rif. Nacamuli	Lombardia Valle d'Aosta	1 5	-	2	2	1	0	1			

CATEGORIE: 1 Sci alpinista in salita - 2 Sci alpinista in discesa - 3 Sciatore/snowborder fuori pista - 4 Sciatore/snowborder in pista - 5 Alpinista - 6 Persona su via di comunicazione - 7 Persona in abitazione - 8 Altre situazioni

INCIDENTI DA VALANGA

trezzatura da sci alpinismo e racchette da neve: si è temuto quindi un possibile aumento degli incidenti proprio in virtù della limitata esperienza e conoscenza della montagna invernale da parte di questi neofiti.

Ebbene a posteriori i dati smentiscono in parte questo timore d'inizio stagione: spesso i numerosi principianti si sono limitati a percorrere itinerari semplici e tranquilli dal punto di vista valanghivo, limitandosi a risalire le piste chiuse.

Bisogna comunque precisare che risalire le piste chiuse, non assicurava l'immunità dal pericolo valanghe, perché in condizioni di chiusura queste devono essere considerate un terreno d'avventura, al pari degli itinerari scialpinistici, visto che non viene assicurata l'abituale sorveglianza e soprattutto la bonifica preventiva dei pendii potenzialmente valanghivi a monte delle piste. Ad esempio, un incidente è avvenuto in Valle d'Aosta, proprio sulle piste chiuse del comprensorio di Courmayeur: la persona travolta non era un principiante, ma un esperto e buon conoscitore del posto; forse proprio questa familiarità è verosimilmente stata la trappola euristica che gli ha fatto "abbassare la guardia".

In quest'annata drammatica per gli incidenti da valanga (la peggiore degli ultimi 6 anni per quel che riguarda il numero di morti nello scialpinismo), la causa dei tanti incidenti è da imputare solamente agli strati deboli persistenti o ci sono altri fattori? Gli strati deboli persistenti sono una causa certa e, a posteriori, facile da verificare, ma ci sono sicuramente altre possibili cause che riguardano maggiormente l'aspetto psicologico e sociale. Provo a segnalare alcuni aspetti che sono emersi parlando tra colleghi che, anche non trovando un immediato riscontro oggettivo, rimangono a mio avviso ipotesi plausibili. I vari lockdown hanno influenzato le scelte degli scialpinisti. Da una parte la grande voglia di stare all'aria aperta ha portato i numerosi appassionati ad andare a fare scialpinismo ogni volta che era possibile spostarsi dalle proprie abitazioni o quando le condizioni meteo erano favorevoli, nonostante magari condizioni sfavorevoli del manto nevoso; questa situazione era ancora più accentuata nel periodo in cui erano vietati gli spostamenti nel fine settimana. Il coprifuoco fino alle 5.00 del mattino ha inoltre condizionato e ritardato l'orario di partenza delle gite, orario importante soprattutto nei mesi primaverili; in diversi casi questa restrizione non ha condizionato la scelta degli itinerari e quindi era più facile rischiare di essere nel posto sbagliato al momento sbagliato.

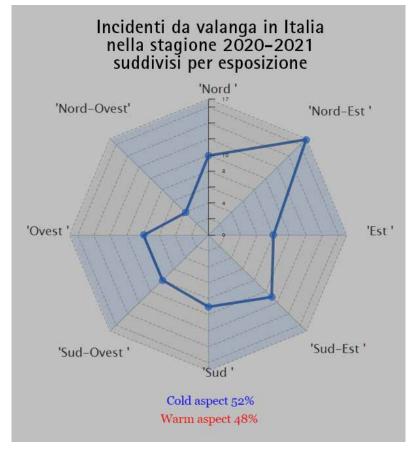
Ritornando all'analisi statistica e procedendo in ordine cronologico, notiamo che il primo incidente è avvenuto nel mese di ottobre, ma è un caso isolato, avvenuto con le prime nevicate solamente in alta quota: alcuni sciatori esperti vengono travolti da una valanga nella zona del Monte Bianco, nella parte alta del ghiacciaio del Toula. Nessun incidente nel mese di novembre e, con

l'arrivo della neve a quote più basse, alcuni incidenti nel mese di dicembre. Il mese di gennaio è quello che ha di gran lunga il maggior numero di incidenti registrati: ben 38 ovvero quasi il 50% degli incidenti totali. Questi numeri sono facilmente immaginabili, visto che siamo nel pieno dell'inverno; lascia invece sorpresi scoprire qual'è il secondo mese per numero di incidenti: maggio 2021! Normalmente a maggio la neve si è ormai fusa nel fondovalle e molte persone hanno già abbandonato lo scialpinismo - categoria maggiormente interessata dagli incidenti da valanga per dedicarsi ad altre attività sportive; invece in questa stagione registriamo ben 12 incidenti nel mese di maggio con un totale di 3 decessi. Cos'è successo? Maggio 2021 aveva condizioni particolari: c'erano ancora ottime condizioni di innevamento, temperature fredde per il periodo e il manto nevoso aveva caratteristiche piuttosto invernali. Se diamo



un'occhiata ai paesi limitrofi, ritroviamo le stesse condizioni particolari e lo stesso numero di incidenti eccezionalmente alto per il periodo. In Francia questa differenza è molto evidente: normalmente nel mese di maggio in media si registra un incidente mortale con un decesso; quest'anno ci sono stati ben 12 incidenti di cui 7 mortali e soprattutto ben 16 persone decedute in valanga. In Svizzera, sempre nel solo mese di maggio, sono stati registrati 11 incidenti in valanga con 2 persone morte.

Questo maggio con condizioni anomale rispetto alle classiche evidenzia in modo chiaro quello che già si nota durante gli ultimi inverni, che i vecchi scialpinisti, sorridendo, commenterebbero con un classico "non ci sono più le mezze stagioni": una volta le condizioni nivometeo erano più "prevedibili" perché legate ad un andamento stagionale con meno oscillazioni, mentre negli ultimi anni vediamo che le condizioni pos-





Incidente da valanga in Piemonte il 15 gennaio 2021 nella Valle Varaita sotto il colletto Chiausis: la valanga ha travolto e ferito uno scialpinista esperto. Prima della valanga gli scialpinisti avevano valutato che il pericolo di scivolare sulla neve dura e finire sulle rocce affioranti sottostanti era maggiore rispetto al rischio di essere travolti da un eventuale valanga. La percezione del pericolo valanghe era molto bassa, tant'è che anche la previsione del pericolo 3-marcato segnalata nel bollettino valanghe sembrava loro decisamente sovrastimata, soprattutto a causa di un innevamento deficitario che, in quella zona e a quelle quote, sembrava portare ad uno stop momentaneo della stagione scialpinistica. Le zone con poca neve a volte ci fanno sottovalutare il pericolo valanghe, mentre dobbiamo ricordarci che in queste zone è più facile innescare il distacco di un eventuale lastrone perché con un manto nevoso più sottile è più facile che la pressione indotta dal passaggio di uno sciatore o un escursionista arrivi fino allo strato debole, facendolo collassare e innescando la valanga.

30 maggio 2021: incidente da valanga in Valle d'Aosta, nell'alta Valpelline vicino al confine con la Svizzera, poco sopra il rifugio Nacamuli. La freccia rossa indica proprio l'ubicazione del rifugio Nacamuli. Una valanga a lastroni, di neve bagnata e pesante. travolge due alpinisti di ritorno da un'ascensione, quando si trovano a poche centinaia di metri dal rifugio.



sono cambiare rapidamente in pochi giorni. Un esempio: spesso negli ultimi anni nell'ultima quindicina del mese di dicembre avvengono degli importanti rialzi termici, con lo zero termico che sale ben sopra i 3000 m, talvolta con pioggia fino in media (alta) montagna. Altro caso ricorrente: in pieno inverno ci troviamo improvvisamente giornate con condizioni tipicamente primaverili. Un esempio di quest'ultima stagione: nella provincia di Bolzano a fine febbraio si assiste al primo ciclo di valanghe di neve bagnata e si registra il primo incidente legato alla neve bagnata.

Il problema principale sta proprio nell'avverbio "improvvisamente": questi cambiamenti sono repentini e quindi richiedono una continua attenzione all'evolversi delle condizioni. Il problema riguarda maggiormente gli scialpinisti che abitano nelle grandi città, lontano dalla montagna, e che vanno a sciare solo nel fine settimana: purtroppo non è più sufficiente informarsi velocemente il venerdì sera, ma bisogna leggersi i bollettini, e i numerosi dati disponibili, durante tutta la settimana. Tuttavia anche i "locals" o i professionisti, pur abitando

in montagna, non sono esenti da questo problema: per esempio può capitare che una guida alpina faccia scialpinismo per tre giorni di seguito nella stessa zona e così arriva a conoscere in maniera approfondita la situazione nivologica e le condizioni locali, per poi talvolta scoprire il quarto giorno che le condizioni sono cambiate repentinamente e sono totalmente diverse dai giorni precedenti. E' necessaria quindi molta flessibilità e esperienza per poter valutare correttamente e, inoltre, diventa sempre più importante la programmazione dell'escursione che, per contro, inizia a richiedere sempre più tempo e energie, non sempre facilmente conciliabili con i numerosi impegni che la vita attuale ci propone.

Quote degli incidenti

Ritorniamo ancora una volta ai numeri e proviamo a classificare gli incidenti in base alla quota di distacco che, ricordiamo, per convenzione è il punto più elevato da cui è partita la valanga. Il 22% degli incidenti è avvenuto in media montagna, tra 1400 e 1999 m; il 32% tra 2000 e 2499 m, il 29% tra 2500 e 2999 m e il 17% al di sopra dei 3000 m.

Esposizione dei versanti

Analizzando gli incidenti per esposizione, si nota che il 52% degli incidenti è avvenuto alle esposizioni cosiddette "fredde" ovvero le esposizioni tra nordovest, nord fino all'est, mentre il 48% è avvenuto alle esposizioni "calde", tra sud-est, sud e est. Le singole esposizioni più interessate da incidenti sono state il nord-est, con 18 incidenti ovvero il 23% del totale e il sud-est con 12 incidenti ovvero il 15%. I dati di quest'anno confermano ancora una volta il trend pluriennale, evidenziando che - almeno nel versante alpino italiano - i problemi valanghivi non sono relegati solamente ai pendii esposti a nord, ma sono equamente distribuiti anche alle esposizioni sud, in particolar modo alle esposizioni sud-est.

Cause di morte e disseppellimento

Tra le cause di morte, si pensa sempre all'asfissia; è importante quindi evidenziare che più della metà delle persone decedute è morta per i traumi subiti nel travolgimento.

Chi è che ha fatto il soccorso principale ovvero la ricerca e il disseppellimento - se era il caso - delle persone? Nel 42% dei casi l'incidente non era grave e i travolti si sono liberati da soli, mentre nel 30% dei casi è stato prioritario, in questa prima fase, l'intervento del soccorso organizzato e nel 28% dei casi sono intervenuti i compagni di escursione o persone presenti nei dintorni. Cosa ci dice questo dato? Alcune cose sono scontate: nella maggior parte dei casi l'incidente era lieve e quindi in prima battuta non è stato necessario l'intervento del soccorso alpino organizzato; ricordiamo comunque che ogni persona travolta da valanga ha potenzialmente subito dei traumi, anche gravi e non immediatamente visibili (per esempio lesioni interne) e quindi, per evitare danni successivi anche gravi, è importante chiamare comunque il soccorso alpino cosicché il personale sanitario possa fare una valutazione accurata delle condizioni del travolto.

Analizzando il grado di seppellimento e il metodo di ritrovamento, vediamo che tra i 26 morti, 24 avevano la testa sepolta, 1 era parzialmente sepolto e 1 era in superficie. Tra i feriti, 6 avevano la testa sepolta, di cui 3 sono stati trovati con l'Artva e 3 con la ricerca vista/udito; 11 persone ferite erano semi sepolte e 17 in superficie. Tra i travolti illesi, 9 avevano la testa sepolta e sono stati ritrovati: 3 con l'apparecchio Artva, 1 con il sondaggio, 4 con la ricerca vista/udito e 1 è riuscito a liberarsi da solo. Tra le altre persone illese, 23 erano parzialmente sepolte e 42 erano in superficie.

Tra le peculiarità di questa annata, abbiamo registrato diversi incidenti in cui gli escursionisti/sciatori ancora non avevano il trittico indispensabile per l'autosoccorso Artva-sonda-pala. Qualcuno aveva solo una parte del materiale (per es. in un caso non avevano l'Artva, ma avevano due sonde in tutto il gruppo), comunque insufficiente per un soccorso in tempo utile.

Da segnalare un incidente avvenuto in Lombardia durante un'escursione in motoslitta: purtroppo è morto un ragazzo giovane di 20 anni. Gli incidenti in motoslitta, frequenti in altri stati quale il Canada, in Italia sono abbastanza rari anche perché in molte zone l'utilizzo della motoslitta è vietato.

Chiudiamo l'articolo con una nota di colore: nel mese di gennaio nella provincia autonoma di Bolzano un appassionato stava scendendo con la splitboard nei pressi di una pista di discesa chiusa. Era da solo e senza Artva. E' stato travolto da una valanga che lo ha sepolto a testa in giù e contro un albero. Riusciva a respirare, ma non riusciva a muoversi. Fortunatamente aveva un braccio vicino alla faccia, proprio il braccio su cui aveva indossato uno smartwatch: col naso è riuscito ad usare il touchscreen dello smartwatch e così è riuscito a telefonare per chiamare i soccorsi, che lo hanno ritrovato con sondaggio, salvandolo.

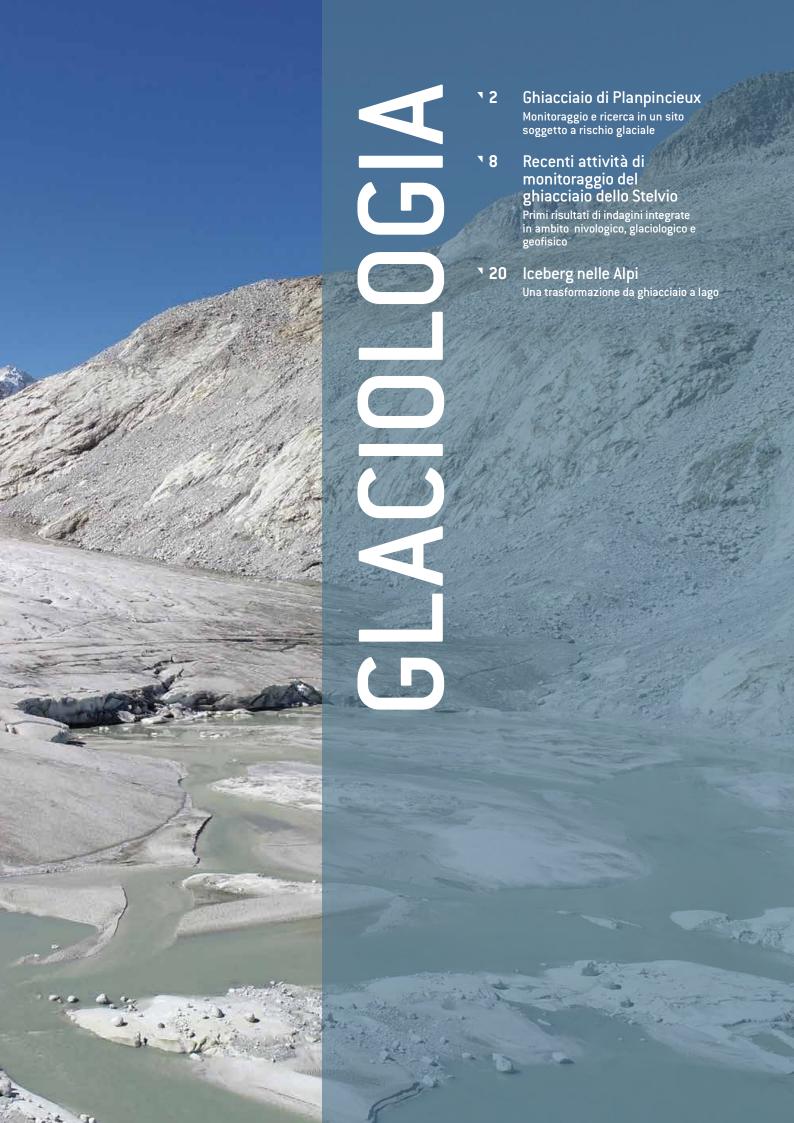
RINGRAZIAMENTI

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 AINE-VA 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 i colleghi nivologi che seguono maggiormente l'aspetto degli incidenti da valanga presso i vari uffici AINEVA: Davide Viglietti, Eraldo Meraldi, Renato Zasso, Gianluca Tognoni, Gabriele Amadori, Stefano Sofia e, in particolare, Fabio Gheser per i preziosi consigli e per la revisione di questo articolo.









GHIACCIAIO di PLANPINCIEUX

P. Perret, F. Troilo, V. Segor Fondazione Montagna Sicura, Regione Autonoma Valle d'Aosta

Monitoring and research in a site subject to glacial risk

Instabilities occurring on temperate glaciers in the Alps have been the subject of several studies, which have highlighted preliminary conditions and possible precursory signs of break-off events. Since 2013, the Planpincieux glacier, located on the Italian side of Mont Blanc massif (Aosta Valley), has been studied to analyse the dynamics of ice collapses in a temperate glacier. These analysis have been conducted for several years, enabling the assessment of surface kinematics on the lower glacier portion and the different instability processes at the glacier terminus. During the period of the study, especially in the summer seasons, increases in velocities of the whole right side of the glacier tongue have been recorded. This fast sliding movement is mainly induced by water flow at the bottom of the glacier. In the 2019 summer season, the increase of speed coincided with the opening of a large crevasse, which outlined a fast moving ice volume, assessed by photogrammetric techniques as 300.000 m3. According to the risk scenarios, the collapse of this ice volume from the glacial body would have reached the valley floor, potentially affecting the municipal road. Considering the potential risk, a civil protection plan has been deployed. This work outlines and summarises the steps used to develop the scientific knowledge into an integrated monitoring plan for the Planpincieux glacier.

MONITORAGGIO E RICERCA IN UN SITO SOGGETTO A RISCHIO GLACIALE

Le instabilità che si verificano sui ghiacciai temperati delle Alpi sono state oggetto di numerosi studi che, nel corso degli anni, hanno permesso di evidenziare possibili segni precursori del fenomeno delle valanghe di ghiaccio. Dal 2013, il ghiacciaio di Planpincieux, situato sul versante italiano del massiccio del Monte Bianco, viene studiato come esempio di ghiacciaio temperato la cui dinamica alla fronte è caratterizzata da frequenti crolli, che spesso evolvono in valanghe nel ripido pendio sottostante. Le analisi sono state condotte per diversi anni, consentendo la valutazione della cinematica superficiale sulla parte inferiore del ghiacciaio e i diversi processi di instabilità alla fronte. Durante il periodo di studio, specialmente nelle stagioni estive, sono stati registrati importanti aumenti di velocità del flusso di ghiaccio nel lobo destro del corpo glaciale. Questo movimento a scorrimento rapido è principalmente indotto dalla presenza di acqua sul fondo del ghiacciaio. Nella stagione estiva del 2019, l'aumento di velocità ha coinciso con l'apertura di un grande crepaccio, separando un volume di ghiaccio in rapido movimento che, grazie all'uso di tecniche fotogrammetriche, è stato stimato in 300.000 m3. Secondo gli scenari di rischio, la valanga generata dal crollo di tale volume avrebbe raggiunto il fondovalle, interferendo con la strada di accesso alla Val Ferret. Considerato il rischio potenziale, è stato implementato un piano di protezione civile. Il lavoro presentato in questo articolo descrive le attività svolte per integrare le conoscenze scientifiche all'interno delle procedure di monitoraggio del ghiacciaio di Planpincieux.



GI ACIDI OGIA

Nella pagina precedente: fig. 1 - Vista generale del ghiacciaio di Planpincieux e del canale Montitaz.

INTRODUZIONE

Nei bacini che ospitano masse glaciali, variazioni climatiche anche di lieve entità sono associate ad un'elevata dinamicità ambientale, per effetto dell'azione morfogenetica compiuta dai ghiacciai durante le fasi di avanzata e di regresso. Questa continua modifica dell'ambiente d'alta quota non di rado si associa a fenomeni di instabilità naturale, talvolta caratterizzati da un elevato grado di pericolosità a causa della magnitudo e dell'imprevedibilità che essi possono assumere.

Il ghiacciaio di Planpincieux è un ghiacciaio politermico valdostano situato sul versante italiano del Massiccio del Monte Bianco ad altitudini comprese tra 2600 e 3500 m (Fig.1 pagina introduttiva). L'area di accumulo del ghiacciaio è formata da due circhi, di cui il più importante si trova alla base delle Grandes Jorasses.

Il ghiaccio di questi circhi converge in un'area a conca che alimenta due lobi inferiori, le cui fronti si trovano ad una quota di circa 2600 m. Il flusso di ghiaccio si incanala quindi principalmente nel lobo destro, che risulta essere una regione dinamicamente molto attiva, con una pendenza media di 32° ed una morfologia

fortemente crepacciata.

La sua fronte è caratterizzata da una parete di ghiaccio verticale alta da 20 a 30 m che si immette nel ripido canale Montitaz, dove, principalmente durante la stagione estiva, si verificano numerosi crolli di ghiaccio (Fig.2).

In passato si sono verificati diversi grandi eventi attribuibili al ghiacciaio (valanghe di ghiaccio e piene glaciali) che, in alcuni casi, hanno minacciato il villaggio di Planpincieux e danneggiato la strada comunale (1929, 1952, 1982, 2005, 2017).

Una maggiore attenzione è stata posta su questo ghiacciaio dal 2011, quando un grande crepaccio si è aperto nella parte inferiore del lobo destro (Fig. 3). Da allora, il ghiacciaio è stato intensamente monitorato, utilizzando diverse tecnologie e metodologie.

Durante il periodo di studio, specialmente nelle stagioni estive, sono stati registrati aumenti di velocità dell'intero lato destro della lingua del ghiacciaio. Questo movimento a scorrimento rapido è principalmente indotto dal flusso d'acqua presente sul fondo del ghiacciaio.

Nell'estate 2019, una parte del lobo frontale dal volume di circa 300.000 m3 ha evidenziato diverse condizioni predisponenti uno stato di disequilibrio meccanico. La pendenza elevata del substrato roccioso, le fasi di marcate accelerazioni e decelerazioni del flusso di ghiaccio, la rete di drenaggio subglaciale distribuita sotto la maggior parte della lingua e lo stato di fratturazione pervasiva sono condizioni esistite in tutti i casi noti di destabilizzazione di ghiacciai temperati (Le Tour – 1949, Allalin – 1965, Fee glacier – 2009, Allalin – 2000).

Queste condizioni di instabilità possono portare al distacco improvviso di un'intera porzione del ghiacciaio, generando una valanga di ghiaccio di grandi dimensioni che può raggiungere il fondovalle.

SISTEMI DI MONITORAGGIO

Il Ghiacciaio di Planpincieux è monitorato dal 2013 con una stazione fotografica installata sul versante opposto della valle rispetto al ghiacciaio. Il sistema è composto da due fotocamere DSLR a diverse lunghezze focali e un computer che gestisce l'acquisizione delle immagini. Entrambi i moduli scattano ogni ora ed il computer invia automaticamente ogni fotografia su





un server dedicato.

Tale frequenza di acquisizione è necessaria per collocare nel tempo i differenti fenomeni che interessano il ghiacciaio. Ogni immagine subisce quindi un processo di coregistrazione che la rende perfettamente sovrapponibile alle altre.

Il sistema fotografico (Fig. 4) viene inoltre utilizzato per una procedura di analisi dei movimenti e delle deformazioni superficiali del ghiacciaio tramite la Digital Image Correlation. Questa metodologia è in grado di fornire mappe bidimensionali delle componenti di movimento perpendicolari alla linea di vista (LOS) con una sensibilità sub-pixel.

Nel 2019 è stato installato un Radar Gbln-SAR per monitorare le deformazioni del ghiacciaio in tempo reale anche in condizioni meteo avverse o in assenza di luce. Durante le fasi dinamicamente più attive, il ghiacciaio ha registrato movimenti pari a 200 cm al giorno nel suo settore a maggiore instabilità, mentre gli spostamenti nell'area stabile e nel lobo sinistro sono risultati pari a 20 cm al giorno. Tale separazione e differenza nelle velocità superficiali risulta estremamente marcata durante il periodo estivo.



Fig. 3 - Evidente separazione morfologica nel settore frontale del lobo in destra orografica.

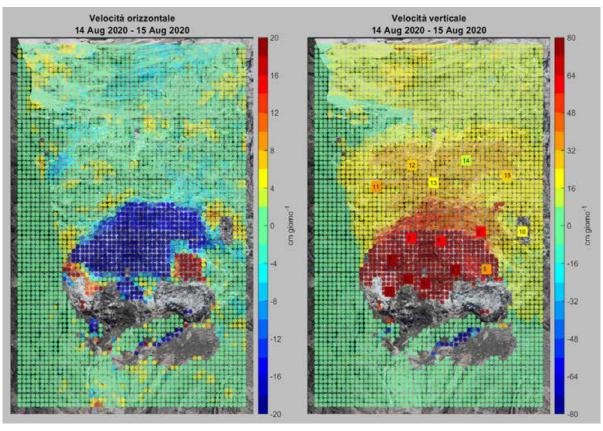


Fig. 4 - Movimenti del lobo frontale destro registrati ad Agosto 2020 dal sistema fotografico (vista frontale).

GLACIOLOGIA

Fig. 5 - Movimenti del lobo frontale destro registrati ad Agosto 2020 dal sistema GbInSAR (rappresentato in pianta). Nella zona attenzionata sono stati superati valori di 200 cm al giorno, dieci volte maggiori rispetto ai valori registrati nella zona soprastante.

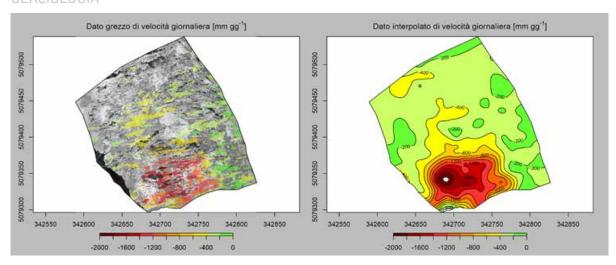


Fig. 6 - Nuvola di punti del rilievo fotogrammetrico.

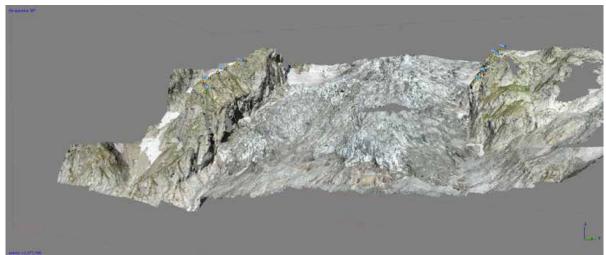
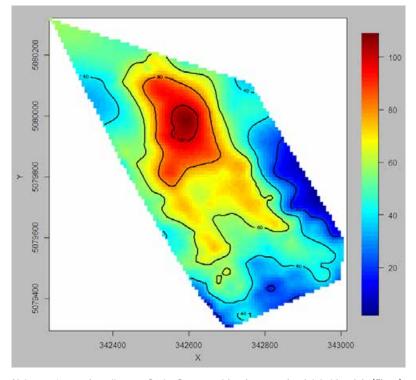


Fig. 7 - Distribuzione dello spessore [m] del ghiaccio nel lobo frontale destro.



Nel 2020 è stato installato un Radar Doppler, un sistema di early warning, già utilizzato in diversi siti valanghivi, che permette la detezione automatica delle valanghe di ghiaccio provenienti dal ghiacciaio (Fig. 5). Il sistema è collegato ad un impianto semaforico che viene armato automaticamente in caso di un evento di crollo e di relativa valanga di ghiaccio nel canale Montitaz. Infine, nell'estate del 2020 è stato messo a punto, nell'alveo del canale Montitaz, un sistema di misurazione del livello di acqua in uscita dal ghiacciaio.

RILIEVI DELLA SUPERFICIE E DEL SUBSTRATO ROCCIOSO

A partire dal 2019 sono stati svolti numerosi rilievi della topografia del ghiacciaio al fine di individuare e determinare in maniera quantitativa le modifiche morfologiche della zona attenzionata. I rilievi fotogrammetrici (Fig. 6) sono stati effettuati tramite l'utilizzo di una fotocamera DSLR gestita dall'operatore a bordo di elicottero oppure tramite SAPR (Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto). In relazione alla valutazione degli spessori di ghiaccio del lobo inferiore destro del ghiacciaio di Planpincieux, nel 2013 e nel 2020 sono state svolte due indagini tramite Ground Penetrating Radar (GPR)

GLACIOLOGIA

elitrasportato.

Gli spessori del ghiaccio dell'intero ghiacciaio variano tra 10 e 100 m, con valori tra 20 e 60 m registrati nel lobo inferiore destro (Fig. 7).

Da un confronto con il dato GPR ottenuto dalle due campagne di misura, si può affermare che i due set di dati non forniscono alcuna prova di un cambiamento significativo dello spessore del ghiaccio alla fronte durante gli ultimi 7 anni.

SIMULAZIONE NUMERICA DI ESPANSIONE DELLE VALANGHE DI GHIACCIO

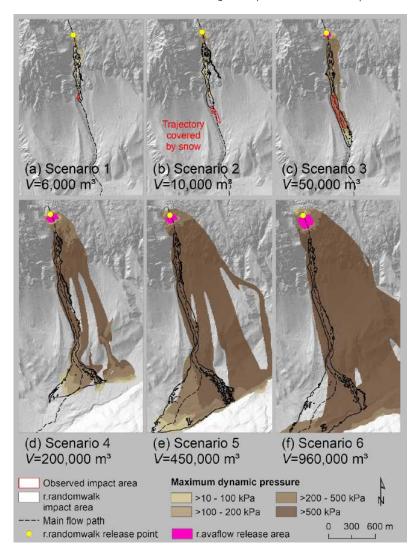
Nel 2012 e nel 2020 sono state effettuate due attività di simulazione numerica di valanghe di ghiaccio provenienti dal Ghiacciaio di Planpincieux tramite il software RAMMS::Avalanche model e RAMMS::RKE Rock-lce model a cura dell'Istituto per lo Studio della Neve e delle Valanghe (SLF) (Fig.8).

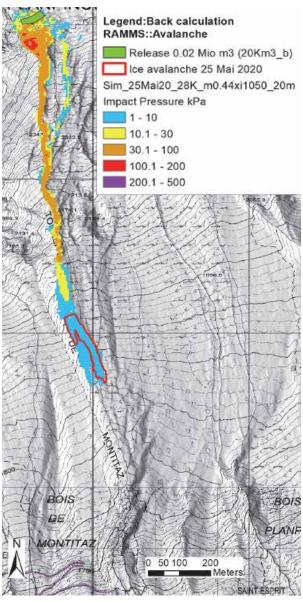
In parallelo, la Fondazione Montagna sicura di Courmayeur in collaborazione con L'Università di Vienna, ha svolto le stesse simulazioni tramite l'uso dei software r.randomwalk e r.avaflow.

I risultati ottenuti dalle due differenti metodologie sono comparabili e confermano la robustezza delle analisi, che, per la calibrazione dei parametri, si sono basate sulla back calculation di valanghe di ghiaccio provenienti dal ghiacciaio di Planpincieux avvenute e mappate tra il 2017 e il 2020. Le simulazioni così ottenute sono state quindi tradotte in scenari di rischio sulla base della volumetria della zona instabile del ghiacciaio (Fig. 9).

CONCLUSIONI

Presso il sito del ghiacciaio di Planpincieux si verifica un fenomeno di instabilità glaciale poco comune sulle Alpi ma ben





conosciuto nella letteratura scientifica di settore. La sua previsione è ad oggi ancora molto complessa se non impossibile. Al fine di garantire la fruizione del territorio è stata messa in piedi una rete di monitoraggio sofisticata che permette di limitare al massimo evacuazioni e misure di sicurezza da intraprendere a valle. Tuttavia, la configurazione attuale del ghiacciaio determinerà altri periodi in cui, durante la stagione estiva, i parametri di movimento e di fratturazione dell'ammasso glaciale non rientrano in limiti accettabili. Molte azioni di alto livello scientifico sono state intraprese per inquadrare al meglio il fenomeno in termini di magnitudo possibile e di dinamica a valle, sebbene ulteriore ricerca specifica sia necessaria per comprendere in maniera più approfondita questa tipologia di eventi naturali.

Fig. 8 - Back calculation di una valanga di ghiaccio avvenuta nel 2020. Il perimetro in rosso indica la zona reale di deposito.

A sinistra: Fig. 9 - Risultati delle simulazioni di valanga di ghiaccio per differenti volumi di crollo effettuate con r.avaflow.

RECENTI ATTIVITÀ di MONITORAGGIO del GHIACCIAIO dello STELVIO Matteo Fioletti 1,

Susanna Grasso 1, Luigi Bonetti 1 Riccardo Scotti², Paolo Gallo²

Tecnici che hanno collaborato ai rilievi: Paolo Gallo, Giovanni Prandi, Valentino Sosio, Matteo Fioletti, Luigi Bonetti, Eraldo Meraldi, Alfredo Praolini, Flavio Berbenni, Vittorio Ortelli, Isacco Sala Con la collaborazione di: Spektra S.r.I, S.I.F.A.S. S.p.a

¹ Centro Nivometeorologico ARPA Lombardia, Bormio (SO) ² Servizio Glaciologico Lombardo

RECENT MONITORING ACTIVITIES ON THE STELVIO GLACIER

First results of integrated investigations in the field of snow science, glaciology and geophysics. The recession of glaciers is nowadays a known and evident phenomenon. In particular, in the recent thirty-year period, alpine glaciers are experiencing a substantial and severe shrinking due to rising temperatures. From a scientific perspective, monitoring the variations of glaciers provides evidence and helps in determining the impacts of the ongoing climate change on a global scale; on the other hand, at a local scale, this represents an essential activity to evaluate the water resource related to the glacier and to forecast effects on the mountain environment, local communities and ecosustems. Moreover, the Stelvio Glacier represents an important economic and touristic resource linked to summer alpine skiing activities at amateur and professional level. In 2019 a Stelvio Glacier monitoring project has been started in collaboration among ARPA Lombardia, Servizio Glaciologico Lombardo (SGL) and Polytechnic University of Torino. Such project aims at evaluating the variations in time of the glacial complex related to the ongoing climate change and the effects on human activities. For this purpose several quantitative methods have been (and will be) employed, and have been made easier with respect to traditional ones thanks to new technology (as the use of drones for remote sensing) for monitoring glaciological parameters. In this article, the performed activities and the results of the first two years (2019 and 2020) of investigation will be presented, allowing to define the "present state" of the Stelvio Glacier in the area dedicated to summer alpine skiing activities. Thanks to Ground Penetrating Radar (GPR) method performed in collaboration with the Politecnico di Torino and to the photogrammetric and topographic survey carried out with the SGL. it has been possible to elaborate a digital surface model (DSM) and to estimate the reduction of mass comparing it to a DSM dating back to 2011. For the whole studied area it has been concluded that, overall, in the last 9 years there has been an average loss of 6.85 mt corresponding to a volume of 10,635,825 m3. In addition, satellite images have been employed to modify the existing glacier outlines an to estimate the surface glacier area variations by calculating the difference in the spatial extent in 2006, 2007 and 2020. The relative area loss is estimated to be of 18.7% for the Vitelli Glacier, of 19% for the Madaccio Glacier and of 18% for the Vedretta Piana Glacier. In Septemper 2020 two ice ablation trackers have been placed in the ablation area and near the summit of the glacier; in the next years they will help in estimating the surface mass balance of the glacier. The accomplished activities in this first field campaign allowed a first reconstruction of the evolution of the glace and they aim at being the beginning of a monitoring programme for the Stelvio Glacier, especially for the fraction used as an alpine skiing resort, making it possible to observe the autumn glacier mass variations, and so to get a picture of its "health state" and of the available water resource.

Primi risultati di indagini integrate in ambito nivologico, glaciologico e geofisico

La recessione dei ghiacciai è ormai un fenomeno tanto noto quanto evidente. In particolare nell'ultimo trentennio, i ghiacciai alpini stanno subendo un incisivo e rapido ridimensionamento dovuto principalmente all'innalzamento delle temperature.

Se da un punto di vista scientifico monitorare le variazioni glaciali consente di documentare e quantificare l'impatto delle variazioni climatiche in atto a scala globale, a livello locale rappresenta un'attività fondamentale per valutare la risorsa idrica a questo legata e per prevedere effetti sul territorio montano, sulle comunità e sugli ecosistemi. Il Ghiacciaio dello Stelvio assume anche una notevole valenza economica e turistica legata alla pratica dello sci estivo sia di tipo turistico sia indirizzata alla preparazione atletico-sportiva a livello professionistico. Nel 2019 è stato avviato il progetto di monitoraggio dei ghiacciai dello Stelvio in collaborazione tra ARPA Lombardia, Servizio Glaciologico Lombardo (SGL) e il Politecnico di Torino con l'obiettivo di valutare le variazioni nel tempo del complesso glaciale in relazione ai cambiamenti climatici in atto e agli effetti delle attività umane. A tal fine sono stati impiegati diversi metodi quantitativi, resi più speditivi rispetto ai metodi tradizionali, quale l'uso dei droni per il telerilevamento.

In questo articolo vengono dunque presentate le attività svolte ed i risultati ottenuti nei primi due anni di indagine, 2019 e 2020, che hanno permesso di definire lo "stato di fatto" del Ghiacciaio dello Stelvio in quella che è l'area dedicata allo sci estivo. Grazie alle indagini georadar per la stima dello spessore di ghiaccio effettuate in collaborazione con il Politecnico di Torino ed ai rilievi fotogrammetrici e topografici svolti con l'SGL è stato possibile riprodurre un modello digitale della superficie (DSM) e stimare una riduzione di massa confrontandolo con un DSM del 2011. Per l'intera porzione di studio si è desunto che complessivamente negli ultimi 9 anni vi è stata una perdita media di di spessore di 6,85 m, per un volume complessivo di -10.625.825 m³. In termini di variazioni areali della superficie, l'aggiornamento dell'estensione all'anno 2020 ha permesso di individuare una perdita percentuale totale del 18,7% per quanto riguarda il Ghiacciaio Vitelli, del 19% per il Ghiacciaio del Madaccio e del 18% per il Ghiacciaio di Vedretta Piana. Nel mese di settembre 2020 sono state posizionate 2 paline ablatometriche che nei prossimi anni permetteranno di quantificare il bilancio di massa superficiale del ghiacciaio.

Le attività svolte in questa campagna di misura hanno quindi permesso una prima ricostruzione dell'evoluzione del ghiacciaio ma vogliono essere l'inizio di un programma di monitoraggio del Ghiacciaio dello Stelvio che consentirà di osservare le variazioni annuali di massa fornendo un quadro del suo "stato di salute" e della risorsa idrica.



GLACIOLOGIA

INTRODUZIONE

La riduzione dei ghiacciai è fatto tanto assodato quanto evidente. In particolare nell'ultimo trentennio, i ghiacciai alpini stanno subendo un incisivo e violento ridimensionamento dovuto principalmente all'innalzamento delle temperature [2][3][4][5].

I ghiacciai sono entità naturali fortemente dinamiche che rispondono in modo rapido e diretto al cambiamento climatico modificando le proprie dimensioni e le proprie caratteristiche morfologiche. Monitorare le variazioni glaciali consente quindi da un lato di documentare e quantificare l'impatto delle variazioni climatiche e dall'altro di valutarne gli effetti sul territorio montano, sulle comunità e sugli ecosistemi (es. ripercussioni sull' approvvigionamento idrico, sulla produzione di energia idroelettrica, sulla produttività agricola delle zone a valle e sul turismo montano).

Il Ghiacciaio dello Stelvio assume, oltre agli aspetti appena citati, anche una importante valenza economica e turistica legata alla pratica dello sci estivo. Sviluppata a partire dal 1930 come attività prevalentemente di tipo turistico, a partire dagli anni '80 è stata sempre più indirizzata alla preparazione atletico-

sportiva a livello professionistico.

Nonostante l'importanza che la risorsa nivale che tale ghiacciaio riveste e l'osservata deglaciazione complessiva delle Alpi, sono molto rari sia lavori scientifici che attività di monitoraggio glaciologici. Risalgono infatti agli anni 1999-2000 lavori pubblicati [7][8] e i rilievi condotti (mediante tecnica di telerilevamento GPS RTK -Real Time Kinematics) per determinare la stima volumetrica della porzione di ghiacciaio chiamata localmente Vedretta Piana.

Per quel che riguarda la copertura nevosa, dal 2005/2006 il Centro Nivometeorologico di ARPA Lombardia (CNM) effettua invece con sistematica periodicità, nel periodo estivo, puntuali registrazioni di altezza del manto nevoso [1]. Questo parametro risulta utile e indicativo a livello glaciologico per quantificare l'innevamento annuo residuo.

Nel 2019 è stato avviato il progetto di monitoraggio dei ghiacciai dello Stelvio. La collaborazione tra ARPA Lombardia, Servizio Glaciologico Lombardo (SGL) e il Politecnico di Torino si prefigge l'obiettivo di valutare le variazioni nel tempo del complesso glaciale in relazione ai cambiamenti climatici in atto e agli effetti delle attività umane. Tutto ciò sfrut-

tando nuove tecnologie di monitoraggio, quale l'uso dei droni, che rendono più accessibile e speditiva la mappatura e il telerilevamento dei ghiacciai.

QUALCHE PREMESSA: PILLOLE INTRODUTTIVE DI GLACIOLOGIA

Per valutare lo "stato di salute" di un ghiacciaio, in particolare se questo sia in fase di accrescimento o diminuzione, occorre considerare il delicato equilibrio tra apporti nevosi e perdite per ablazione (fusione di neve e ghiaccio, sublimazione, deflazione eolica) ovvero valutare le variazioni di volume del ghiacciaio studiando il "bilancio" tra questi due fattori. Il bilancio di massa, calcolato nell'arco dell'anno idrologico (convenzionalmente da inizio ottobre a fine settembre) ed espresso come volume equivalente di acqua (w.eq.), è quindi uno dei parametri più significativi e maggiormente utilizzati nello studio e nel monitoraggio di un ghiacciaio.

Operativamente, il bilancio di massa può essere stimato utilizzando diversi metodi e strumentazioni. Con bilancio glaciologico si fa riferimento alla più tradizionale delle misure, la quale si basa sull'estra-

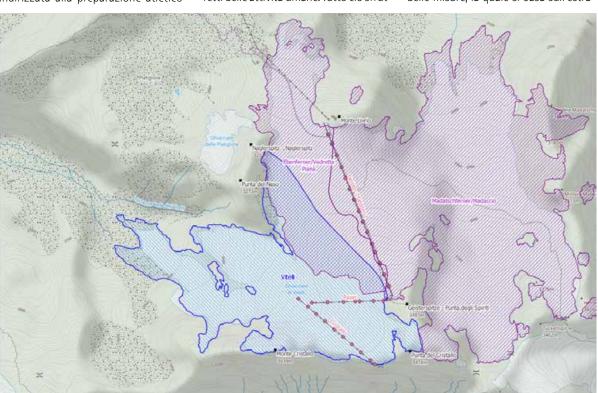


Fig. 1 - Mappa del Ghiacciaio dello Stelvio con la suddivisione nei tre apparati di cui è composto. Il Ghiacciaio dello Stelvio suddiviso nei tre apparati glaciali congiunti tra loro e catalogati dal CGI [8] come: Ghiacciaio Vitelli (ID: 480) in blu, Madaccio (ID: 771) e Vedretta Piana / Fhenferner (ID: 772) in viola. Per offrire un quadro d'insieme dei tre apparati glaciali, sono stati utilizzati per produrre la presente manna: la aeometria dei Ghiaccio Vitelli con l'estensione rilevata da ortofoto nel 2007 consultabile tramite servizio WMS dal Geoportale della Lombardia e, per i giacchiai del Madaccio e di Vedretta Piana, le geometrie del Catasto dei Ghiacciai aggiornato al 2006 e reso disponibile tramite il Geocatalogo della Rete Civica dell'Alto Adige. In rosa ali impianti "ski-lift"/ sciovie Geister1 e Geister2, Paver e Cristallo. Scala: 1:20000. Basemap: OCM

Landscape.

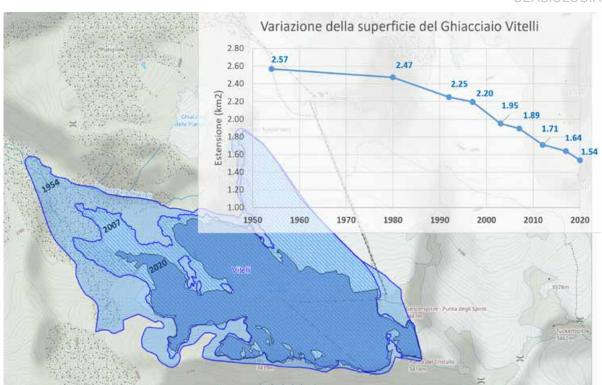


Fig. 2 - Infografica riportante la variazione dell'estensione del Ghiacciaio Vitelli dal 1954 al 2020. Fonte dati: Geoportale della Lombardia. Aggiornamento estensione del 2020 tratto dal presente studio.

polazione di periodiche misure puntuali (misure di valori di accumulo e di ablazione¹) eseguite in corrispondenza di paline ablatometriche infisse nel ghiaccio. Questo metodo, largamente utilizzato a scala globale da decine di anni, porta con sé alcuni limiti sia dal punto di vista pratico (difficoltà di accesso al ghiacciaio, necessità di svolgere frequenti misurazioni, rottura/perdita delle paline) oltre a possibili inaccuratezze dovute a problemi di interpolazione causati dalla scelta di punti poco rappresentativi in fase di collocazione delle paline.

Il metodo che attualmente fornisce i risultati più solidi, sia dal punto di vista dell'accuratezza che della praticità in termini logistici è il metodo geodetico. Quest'ultimo prevede il rilevamento (fine settembre) della superficie del ghiacciaio mediante rilievi topografici diretti o aerofotogrammetrici che, confrontatati con modelli di superficie riferiti a epoche diverse, consente di ottenere una variazione di volume. Questo metodo, presenta una valida alternativa al metodo tradizionale glaciologico soprattutto se integrato con analisi in buca del manto nevoso che consentono di attribuire il valore di densità al volume e calcolare quindi il valore netto del bilancio di massa in termini di w.eq. [2].

Il rilievo della superficie e la costruzione del modello digitale di elevazione può essere condotto utilizzando diverse tecniche e strumentazioni:

- elaborazione di immagini satellitari;
- rilievi fotogrammetrici da aereo, elicottero, drone;
- rilievi laser scanner da aereo, elicottero o da terra;
- rilievi topografici diretti della superficie glaciale con metodi tradizionali o tecnica GPS differenziale;
- rilievi georadar per la determinazione degli spessori del ghiaccio.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL' AREA OGGETTO DI STUDIO

L'area oggetto di studio è rappresentata dall'attuale superficie sciabile della stazione sciistica estiva del Ghiacciaio dello Stelvio situata a cavallo tra Lombardia e Alto Adige.

L'area sciistica ricade su 3 apparati glaciali congiunti tra loro, la parte superiore del *Ghiacciaio dei Vitelli* situato in territorio lombardo e appartenente al bacino dell'Adda, l'intero ghiacciaio di Vedretta Piana situato in parte in

Lombardia e in parte in Alto Adige e la porzione più occidentale del ghiacciaio del *Madaccio* in territorio Altoatesino appartenente al bacino dell'Adige (nomenclatura dal "Nuovo Catasto dei Ghiacciai" (Fig. 1) [8].

L'area oggetto di studio ricopre una superficie di 1.550.386 m² e si estende dai 2983 m. s.l.m. (fronte del ghiacciaio di Vedretta Piana) fino ai 3369 m. s.l.m. (quota relativa all'arrivo delle sciovie *Geister1* e *Geister2*).

AGGIORNAMENTO ESTENSIONE GHIACCIAI

Come punto di partenza per aggiornare l'estensione dei ghiacciai coinvolti sono stati utilizzati i dati del Geoportale dell'Alto Adige (http://geokatalog.buergernetz.bz.it/) dov'è possibile scaricare le geometrie dei ghiacciai del Madaccio e di Vedretta Piana aggiornati all'anno 2006. Mentre per il ghiacciaio dei Vitelli si è partiti dalla mappatura "Ghiacciai della Lombardia", aggiornata al 2018, consultabile tramite il Geoportale della Lombardia (https://www.geoportale.regione.lombardia.it/).

Le geometrie sono state successivamente aggiornate al 2020 tramite fotointer-

GI ACIDI OGIA

pretazione di immagini satellitari. Al fine di individuare le immagini più idonee a tale scopo è stata fatta una selezione tra quelle disponibili delle costellazioni Landsat e Sentinel nel periodo compreso tra il 15 agosto 2020 e il 15 settembre 2020 selezionando ed utilizzando le due seguenti:

- Sentinel2 S2A_MSIL2A_20200826T 101031_N0214_R022_T32TPS del 26 agosto 2020 -fonte Copernicus Sentinel data 2020 https://scihub.copernicus.eu/
- Sentinel2 S2A_MSIL1C_20200905T 101031_N0209_R022_T32TPS del 5 settembre 2020 - fonte Copernicus Sentinel data 2020 https://scihub.copernicus.eu/

Su queste immagini è stata eseguita una classificazione per oggetti distinguendo le aree coperte da neve e da ghiaccio rispetto ad altri usi del suolo. Questa operazione, assieme ad un controllo visivo, ha permesso di definire ed aggiornare l'estensione dei ghiacciai coinvolti a fine stagione di ablazione 2020 (Fig.2). I dati calcolati dalle suddette geometrie per gli anni 2006 e 2007 si trovano in linea con quanto riportato nel Nuovo Catasto dei Ghiacciai (2015) [9] e in Carlo D'Agata & Daniele Bocchiola et.al, 2014 [6] (tabella di Fig. 3).

I RILIEVI E GLI STUDI CONDOTTI NEL BIENNIO 2019-2020

Con lo scopo di arricchire i dati tutt'oggi disponibili ed iniziare un progetto di più approfondito monitoraggio del ghiacciaio, nel settembre 2019, il CNM di Bormio ha condotto in collaborazione con il Politecnico di Torino, indagini geofisiche sperimentali con tecnologia georadar volte alla determinazione della profondità del ghiacciaio e alla produzione del modello digitale (DEM) del substrato roccioso (bedrock).

Nel mese di settembre 2020, in collaborazione con l'SGL, al fine di studiare le variazioni degli spessori e quindi dei volumi dei ghiacciai coinvolti nell'area di studio sono invece stati effettuati:

- rilievi fotogrammetrici da drone con impiego di punti di controllo a terra (GCP);
- rilievo topografico GPS con correzione in Real Time Kinematics (RTK);
- produzione del modello digitale DSM 2020 e confronto con DSM 2011 dell'Alto Adige (bilancio di massa geodetico 2011-2020);
- aggiornamento dell'estensione dei ghiacciai tramite fotointerpretazione di immagini satellitari;

I presenti rilievi non sono stati effettuati

esclusivamente allo scopo di confrontare lo stato attuale con epoche precedenti ma con l'obiettivo di permettere anche nei prossimi anni di valutare la variazione dinamiche dei ghiacciai ed i loro bilanci di massa attraverso diversi metodi. Sono state quindi installate con l'SGL a settembre 2020 delle paline ablatometriche per il calcolo del bilancio di massa puntuale netto.

INDAGINI GEORADAR PER LA STIMA DELLO SPESSORE DI GHIACCIO

Le misure georadar sono state effettuate i giorni 25 e 26 settembre 2019 dal personale del Laboratorio di Geofisica Applicate del DIATI (Politecnico di Torino) in collaborazione il CNM ed hanno interessato una lunghezza complessiva di circa 32 km.

Lo scopo delle indagini era quello di stimare lo spessore di ghiaccio dell'apparato glaciale; a tale scopo si è proceduto a realizzare 55 profili georadar, utilizzando antenne a diversa frequenza (40, 70 e 200 MHz). L'indagine è stata condotta con un sistema georadar IDS K2 equipaggiato con antenne IDS e Subecho con frequenza centrale 40, 70 e 200 MHz in modalità bistatica a constant offset.

L'acquisizione dei dati con le antenne da 40 MHz e 70 MHz è stata realizzata dopo aver posizionato l'antenna nella parte posteriore di una motoslitta (Fig. 4) mentre i profili con antenna da 200 MHz sono stati realizzati con trascinamento manuale dell'antenna.

Dai dati rilevati risulta che la zona antistante al rifugio Livrio, a ridosso della partenza della sciovia denominata *Geister*, gli spessori di ghiaccio sono attorno ai 20 m (Fig. 5). Nel rilievo GPR condotto nel 1999 [7][8], gli spessori di ghiaccio nella stessa zona erano di 30 m (Fig. 15). Più a monte, nella zona di sgancio dell'omonima sciovia (quota di 3300 m circa), gli spessori risultano intorno ai 40 m; in questa zona sommitale il ghiacciaio ha mantenuto gli stessi spessori misurati nel rilievo del 1999.

Fig. 3 - Estensione dei ghiacciai calcolata in questo studio per il 2020 e variazione rispetto agli anni 2006 o 2007.

Fig. 4 - Antenna da 40 MHz agganciata alla parte posteriore della motoslitta.

Ghiacciaio	Area 2006	Area 2007	Area 2020	Variazione dal 2006/2007 al 2020
Vedretta Piana	1,08 Km²	-	0,88 Km ²	-18%
Madaccio	3,31 Km ²	-	2,68 Km ²	-19%
Vitelli		≈1,89 Km²	1,54 Km²	-18,7%



La zona con profondità maggiori è risultata essere quella sommitale del ghiacciaio dei Vitelli, al di sotto della parete nord del Monte Cristallo, con spessori variabili tra 80 e 100 m (Fig. 6).

RILIEVO GPS CON CORREZIONE RTK

Le misurazioni sono state effettuate

mediante l'impiego di 2 antenne GNSS multifrequenza e multi costellazione Trimble, una Base ed un Rover, comunicanti tra loro mediante ponte radio. Questa tecnologia ha consentito di rilevare le coordinate e la quota di punti sulla superficie dei ghiacciai con precisione verticale di $\pm 0,025$ metri ed orizzontale di $\pm 0,023$ metri. Il fine del rilievo è stato

ricostruire l'andamento altimetrico della superficie dei ghiacciai mediante la produzione di un modello digitale della superfice (DSM).

Le 2 antenne GNSS sono state utilizzate anche per marcare i Ground Control Point (GCP) necessari per la corretta georeferenziazione delle immagini scattate durante il rilievo fotogrammetrico da drone.



Fig. 5 - Indicazione qualitativa degli spessori di ghiaccio rilevati tramite indagini georadar eseguite a settembre 2019.Indicata come T11 una delle tracce effettuate. Scala 1:18000. Basemap: OCM Landscape. Geometrie ghiacciai relative all'anno 2020.

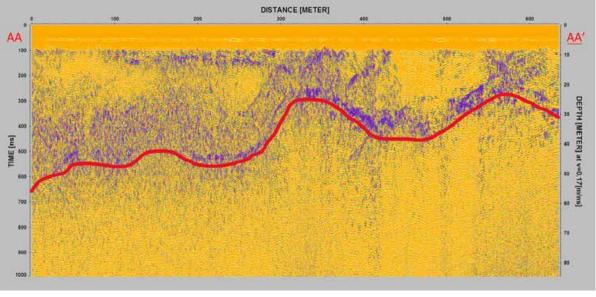


Fig. 6 - Diagramma della traccia georadar, riportata in Figura 5 come T11, acquisita con antenna 40MHz.

GL ACINI NGIA

Fig. 7 - Posizione dell'antenna Base GPS. Sullo sfondo il ghiacciaio dei Vitelli. (a) Vista verso la parte sommitale (Pista Cristallo), (b) Vista verso la parte centrale (Pista Payer).



Fig. 8 - In giallo l'area di studio, in azzurro l'area coperta dal rilievo topografico GPS. I punti verdi rappresentano le misurazioni fatte il 30 settembre mentre quelli rossi il 17 settembre. Basemap Sentinel2 26/08/2020.

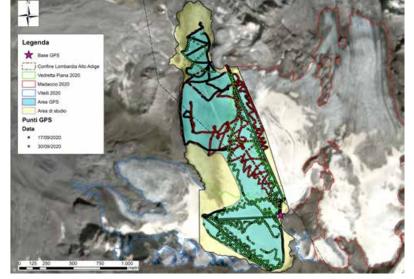
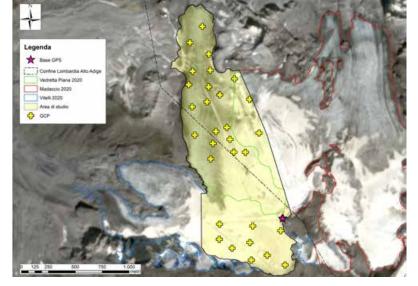


Fig. 9 - In giallo i marker che indicano l'ubicazione dei 36 GCP battuti durante il rilievo topografico GPS. Basemap Sentinel2 26/08/2020.



In data 17 settembre 2020 è stato materializzato, tramite rilievo GPS statico con correzione in Real Time Kinematics (RTK), il punto della base GPS. Il punto è ubicato sulla cresta rocciosa poco sopra l'arrivo della sciovia *Geister* sotto Punta degli Spiriti, coordinate piane WGS 84/UTM 32 NORD 5150615,123 EST 612970,871 (Fig. 7).

Nelle due giornate di rilievi sono stati misurati 5.976 punti sparsi su un'area di 1.091.965 m² il 70% di tutta l'area oggetto di studio. I punti sono stati battuti utilizzando due metodologie: posizionamento cinematico RTK e posizionamento statico RTK. Il primo metodo è stato impiegato per compiere delle tracce lungo la superficie del ghiacciaio sfruttando una motoslitta, messa gentilmente a disposizione dalla direzione degli impianti e muovendosi con gli sci. I punti sono stati battuti in automatico ogni 4 secondi (Fig. 8).

Il posizionamento statico RTK con un periodo di 90 secondi è stato usato per battere 36 punti di controllo (GCP). Le coordinate di questi punti sono servite per correggere e quindi georeferenziare correttamente i modelli derivanti dal rilievo fotogrammetrico con drone (Fig. 9).

L'alta densità dei punti misurati, in particolare lungo le piste da sci e le sciovie, ha permesso d'interpolare e generare un buon modello digitale della superficie (DSM) con una griglia di 1x1 metro.

RILIEVO FOTOGRAMMETRICO DA DRONE

Il rilevo fotogrammetrico è stato realizzato mediante l'impiego di un drone *DJI Phantom 4 Pro* e un drone *DJI Mavic Air2* interessando un'area complessiva pari a 668.354 m². Nello specifico il 17 settembre i voli hanno coperto 421.980 m² nella zona centrale del ghiacciaio di Vedretta Piana e una piccola area del Madaccio, mentre il 30 settembre i voli hanno rilevato 246.374 m², la quasi totalità dell'area sciistica del ghiaccio dei Vitelli (Fig. 10).

Le immagini raccolte sono state corrette nella loro georeferenziazione mediante i GCP battuti congiuntamente al rilievo topografico GPS. Al seguito dell'elaborazione delle immagini raccolte sono stati prodotti: il modello digitale della superficie DSM, la nuvola di punti e l'ortofoto (Fig. 11) con risoluzione 0,03 x 0,03 ed errore \pm 0,04 m.

PRODUZIONE DEL MODELLO DIGITALE DELLA SUPERFICIE (DSM 2020) E CONFRONTO CON DSM 2011 ALTO ADIGE

Al fine di costruire un modello digitale della superfice (DSM) che sia il più vicino possibile a quella che è la reale superfice dei ghiacciai ricadenti nell'intera area oggetto di studio, il DSM derivato dall'interpolazione dei dati topografici GPS è stato integrato, mediante tecniche GIS, con i 2 DSM prodotti dal rilievo fotogrammetrico.

La superficie prodotta, DSM 2020, è stata confrontata con il DSM dell'Alto Adige risoluzione 2,5x2,5 metri rilevato tra settembre e ottobre 2011 e disponibile sul Geoportale Altoatesino (http://geokatalog.buergernetz.bz.it).

Lo scopo è stato studiare e valutare le variazioni degli spessori e quindi dei volumi dei ghiacciai coinvolti all'interno dell'area di studio.

Poiché il DSM 2011 non copre l'intera area di studio (Fig. 12), i dati ottenuti dal confronto sono stati successivamente interpolati nell'area mancante tramite tecniche GIS assegnando il valore alle celle in funzione della loro distanza rispetto ai punti noti. L'area mancante è una piccola fascia di 102.706 m2 (6,6% dell'area di studio) localizzata nella parte meridionale del ghiacciaio dei Vitelli sotto il Monte Cristallo.

La superficie di confronto ottenuta, riportata in Fig. 13, mostra sia l'entità e sia le zone nelle quali i ghiacciai hanno perso o guadagnato massa rispetto al 2011.

Complessivamente negli ultimi 9 anni

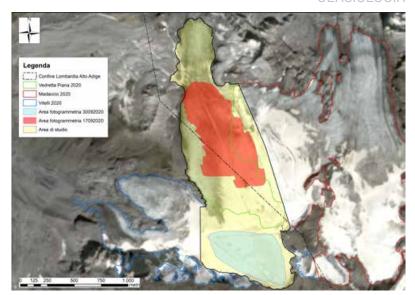


Fig. 10 - In evidenza le zone coperte da fotogrammetria da drone. In rosso l'area coperta sui ghiacciai di Vedretta Piana e Madaccio, in azzurro sul ghiacciaio dei Vitelli. Basemap Sentinel2 26/08/2020.

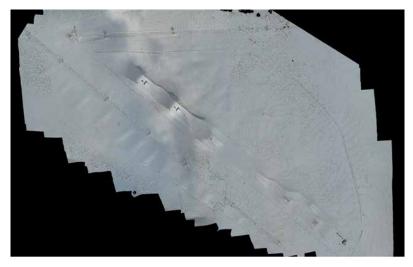


Fig. 11 - DMS prodotto sul ghiacciaio dei Vitelli nella zona sciovia Cristallo.

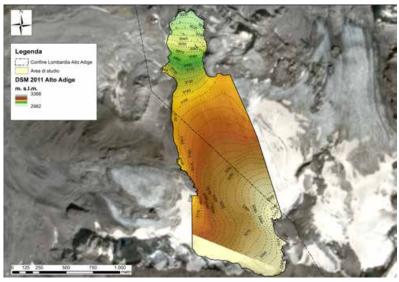


Fig. 12 - DSM 2011 scaricato dal Geoportale dell'Alto Adige, in giallo l'area oggetto di studio non coperta. Basemap Sentinel2 26/08/2020.

vi è stata una perdita media di 6,85 metri per un volume complessivo di -10.625.825 m³.

L'ablazione misurata ricalca bene l'andamento altimetrico aumentando al diminuire della quota. Si nota inoltre anche un gradiente positivo est-ovest.

Le perdite più marcate sono state rilevate sulla Vedretta Piana, che all'interno dell'area di studio occupa le fasce altimetriche più basse. Le aree più critiche sono la sua fronte, dove negli ultimi 9 anni si sono persi quasi 19,8 metri di spessore, e la zona occidentale dell'ap-

GLACIOLOGIA

Fig. 13 - Confronto tra il DSM 2011 e il DSM 2020. Le aree colorate dal giallo al rosso indicano una perdita crescente degli spessori. Le aree in blu indicano al contrario dove vi è stato un incremento. Basemap Sentinel2 26/08/2020.

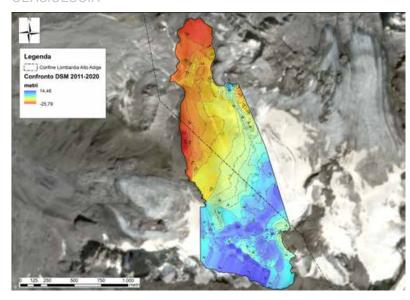


Fig. 14 - In evidenza in azzurro e blu le aree nelle quali rispetto al DSM 2011 si è registrato una variazione positiva della quota. Le piccole aree viola rappresentano le strutture dello snowpark.

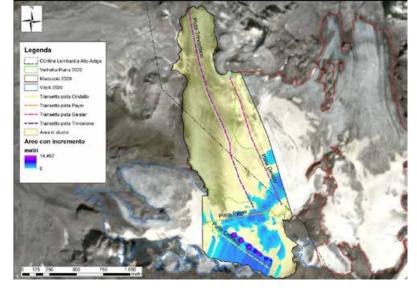
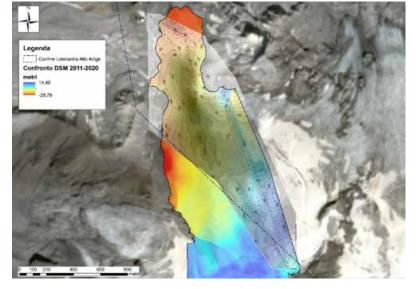


Fig. 15 - Indagine GPR (in grigio) del 1999 [7] dove le isolinee indicano gli spessori di ghiaccio misurati, sullo sfondo il confronto DSM 2011-2020



parato a ridosso di Punta Nagler dove riscontriamo il valore più negativo -25,7 metri (Fig. 13). Nell'insieme il bilancio di massa geodetico 2011-2020 del ghiacciaio di Vedretta Piana è pari a -9.473.981 m³

con una media (bilancio geodetico specifico) di -10,75 metri di spessore.

Lo studio ha evidenziato anche aree che negli ultimi 9 anni hanno avuto un incremento positivo della quota (313.336 m²).

Queste ricadono lungo una piccola striscia a monte del ghiacciaio di Vedretta Piana e soprattutto all'interno del ghiacciaio dei Vitelli in particolare lungo le piste *Payer* e *Cristallo*. Qui se si escludono le strutture dello snowpark che risultano sopraelevate rispetto alla superfice del ghiacciaio di una decina di metri (massimo 14,5 metri), il confronto con il DSM 2011 mostra valori positivi che sfiorano i 3 metri (Fig. 14).

Il bilancio di massa geodetico 2011-2020 dell'area studiata del ghiacciaio dei Vitelli è pari a -32.194 m³ con una media di -0,06 metri (Fig. 15). Per quest'area del ghiacciaio, che rappresenta la sua zona di accumulo, il bilancio è quindi sostanzialmente neutro.

INSTALLAZIONE PALINE ABLATOMETRICHE

Durante il rilievo del 30 settembre 2020 sono state infisse all'interno dell'area di studio 2 paline ablatometriche di 10 metri. La lettura annuale dell'emersione delle paline rispetto alla superficie del ghiacciaio fornirà un dato preciso riguardo l'ablazione superficiale e contestualmente consentirà una validazione di massima delle variazioni di spessore valutate con bilancio geodetico.

La prima palina è stata infissa sul ghiacciaio dei Vitelli a quota 3323 m. s.l.m. (Coordinate WGS84 LAT. 46,497254 LON. 10,473039), poco distante dal punto di rilievo denominato SASSO ROTONDO; la seconda palina è stata infissa sul ghiacciaio di Vedretta Piana a quota 3208 m. s.l.m. sulla sinistra orografica del casotto di manutenzione della pista *Geister – Trincerone* (Coordinate WGS84 LAT. 46,504219 LON. 10,464613) (Figg. 16 a,b).

ANALISI DELL'INNEVAMENTO

L'assenza, sino ad ora, di paline ablatometriche (installate i primi anni di rilevamento e in seguito rimosse perché di disturbo alle attività di battitura delle piste) non ha mai permesso un vero e proprio monitoraggio circa la variazione dello spessore del ghiacciaio. Tuttavia, le puntuali registrazioni di altezza del manto nevoso, effettuate con sistematica periodicità estiva a partire dal 2005 dai tecnici e nivologi del CNM su 4 punti del Ghiacciaio dello Stelvio posti oltre i 3000 metri di quota (Fig. 17), ha potuto dare una indicazione riguardo il grado di salute in termini di copertura-scopertura nevosa del ghiacciaio e definire, con lo stato di innevamento residuo se il bilancio di massa annuale potesse essere positivo o meno.

Come viene in parte evidenziato nei grafici di Fig. 18, dai dati raccolti emergono alcune importanti considerazioni:

- mediamente all' inizio della stagione estiva l'accumulo sui 4 punti di rilievo si aggira intorno a 300 cm, ad esclusione del punto Livrio con poco più di 200 cm che trovandosi a quota leggermente inferiore è maggiormente esposto ad erosione eolica;
- solitamente, a fine ottobre, si denota una fase di nuovo accumulo autunnale compreso fra i 50 e i 100 cm per i punti più in quota, inferiore ai 50 cm per Livrio;

- durante l'estate 2012 si registra, per l'unica volta, la completa scomparsa del manto nevoso a tutte le quote interessate dai rilievi fin oltre i 3300 m di quota (SASSO ROTONDO);
- il decremento dello spessore del manto nevoso rilevato nell'estate 2020 risulta in linea con l'andamento della media quindicennale.

CONCLUSIONI

L'analisi della variazione degli spessori misurati lungo le piste da sci tra il 2011 e il 2020, grazie al confronto tra il modello digitale della superficie qui elaborata (2020), ha evidenziato un bilancio di massa negativo lungo gran parte dei tracciati delle piste *Geister1* e *Geister2* e della pista di fondo Livrio.

La superficie di confronto ottenuta evidenzia le zone nelle quali i ghiacciai hanno perso sia quelle nelle quali risulta un incremento di massa rispetto al 2011. Per l'area oggetto di studio, complessivamente negli ultimi 9 anni vi è stata una perdita media di 6,85 metri per un volume complessivo di -10.625.825 m³. Va considerato che il bilancio di massa dell'intero complesso glaciale è sicuramente molto più negativo poiché l'area



Fig. 16 - L'immagine di sinistra mostra la palina numero 1, come sfondo il ghiacciaio dei Vitelli. Nell'immagine di destra la palina numero 2 infissa sul ghiacciaio di Vedretta Piana.

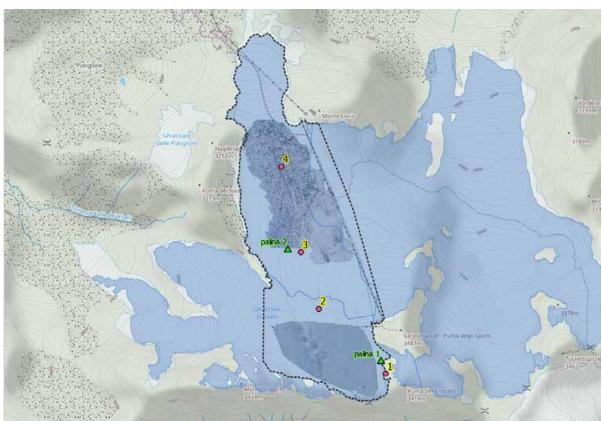
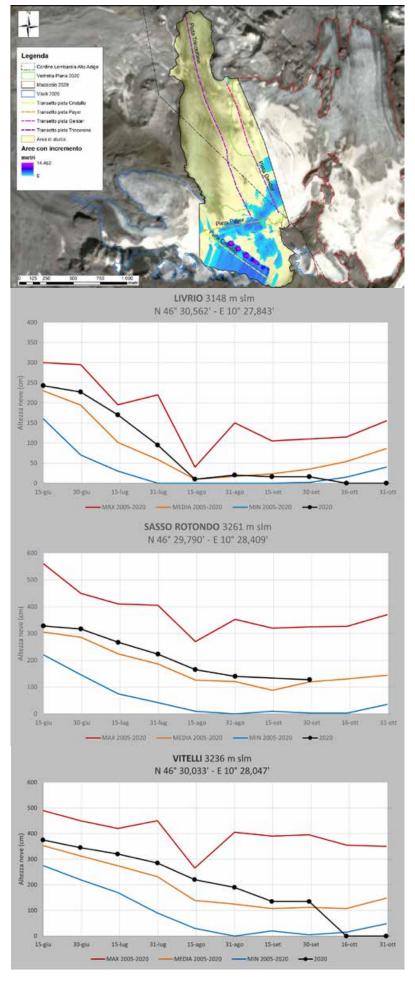


Fig. 17 - Indicati in fucsia e giallo i punti di rilevamento degli spessori di manto nevoso effettuati periodicamente da ARPA Lombardia a partire dal 2005/2008: 1: SASSO ROTONDO, 2: VITELLI, 3: BARACCA, 4: LIVRIO. In verde le nuove paline ablatometriche installate a settembre 2020. Riportati anche i due rilievi fotogrammetrici realizzati. Tratteggiata in nero l'area di studio. Basemap: OCM Landscape. Scala 1:20000.

GLACIOLOGIA

Fig. 18 - Interpolazione lineare dei valori medi (calcolati per il periodo 2005-2020) e di quelli misurati nel corso dell'estate 2020 degli spessori del manto nevoso misurati in campo assumendo come periodo di riferimento una cadenza quindicinale.



studio non comprende un'ampia porzione di zona di ablazione sia del ghiacciaio dei Vitelli che del Madaccio.

I dati derivati dal confronto tra il DSM 2020 e il DSM 2011 devono essere valutati sia in funzione della bontà del dato della Provincia di Bolzano sia in funzione della significativa redistribuzione della neve e del firn, in particolare il loro spostamento dalle aree del bacino di accumulo verso le aree di ablazione. Attività che risulta necessaria al mantenimento della pendenza e alla gestione delle piste da sci e delle sciovie.

Questi processi da un lato modificano continuamente l'altimetria, e ciò si riflette sui confronti fatti in tempi diversi, dall'altro riducono lo spessore del manto



nevoso annuale nel bacino d'accumulo e rallentano la fusione nelle aree a valle di esso dove viene portata la neve.

Cercando di individuare le variazioni di estensione e di volume dei singoli apparati glaciali, potremmo trarre le seguenti osservazioni:

- Per quanto riguarda il Ghiacciaio Vitelli (così come catalogato nel Catasto Dei Ghiacciai[9]) l'estensione è passata dai 1.894 Km² del 2007 ai 1.536 Km² del 2020 per una perdita percentuale totale del 18,9%. Sempre in termini percentuale totale negli ultimi 8 anni, ovvero dal 2012 (1.703 Km²) al 2020, si parla di una perdita areale del -9,77%. La riduzione dell'estensione del ghiacciaio è sintetizzata in Fig 2.



Per quanto riguarda il Ghiacciaio di Vedretta Piana, confrontando l'estensione riportata per l'anno 2006 dal Geoportale dell'Alto Adige, si può stimare una perdita percentuale totale del 18% dal 2006 al 2020. Sarà tra gli obiettivi futuri ricostruire a partire da ortofoto, come già effettuato per il Ghiaccio

Vitelli, l'evoluzione dell'estensione del Ghiacciaio Vedretta Piana anche per altri anni.

Parlando di riduzione volumetrica, il bilancio di massa geodetico 2011-2020 è risultato pari a -9.473.981 m³ con una media (bilancio geodetico specifico) di -10.75 metri.

Bibliografia

Riferimenti citati

[1] PRAOLINI A., MERALDI E., BERBENNI F., Cumulo nevoso stagionale sul Ghiacciaio dello Stelvio – 10 anni di rilevamento, AINEVA – Neve e Valanghe n°84, pp. 42–49, 2015.

[2] BONARDI L., ROVELLI E., SCOTTI R., TOFFALETTI A., URSO M. & VILLA F. – SERVIZIO GLACIOLOGICO LOMBARDO, I ghiacciai della Lombardia. Evoluzione ed attualità, Hoepli, Milano, 2012.

[3] ISPRA – Rapporto: Gli indicatori del clima in Italia – Anno XVI, 2021, ISBN: 978-88-448-1062-7

[4] TORETI A., DESIATO F., Temperature trend over Italy from 1961 to 2004, Theor. Appl. Climatol., pp.91 e pp. 51–58, 2007, DOI: 10.1007/s00704-006-0289-6.

[5] L. DEI CAS, Analisi dei dati meteorologici del periodo 1987-2007 rilevati in territori di alta montagna della provincia di Sondrio, Terra glacialis n°11, pp. 53-70, 2008.

[6] D'AGATA, C., BOCCHIOLA, D., MARAGNO, D. et al., Glacier shrinkage driven by climate change during half a century (1954–2007) in the Ortles-Cevedale group (Stelvio National Park, Lombardy, Italian Alps), Theor Appl Climatol 116, pp. 169–190, 2014, DOI: 10.1007/s00704-013-0938-5.

[7] DIOLAIUTI G., D'AGATA C., PAVAN M., et al., The physical evolution of and the anthropic impact on a glacier subjected to a high influx of tourists: Vedretta Piana Glacier (Italian Alps), Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 24, pp. 199-201, 2001

[8] DIOLAIUTI G., SMIRAGLIA C., PELFINI M., BELÒ M., PAVAN M., VASSENA G., The recent evolution of an Alpine glacier used for summer skiing (Vedretta Piana, Stelvio Pass, Italy, Cold Regions Science and Technology, 44, 206-216, 2006

[9] Smiraglia C. & Diolaiuti G. (a cura di). Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani. Bergamo, EV-K2-CNR Ed., 2015. ISBN: 9788894090802 Riferimenti bibliografici

[10] Risorsa online: "Eniscuola - Ghiacciai delle Alpi". http://www.eniscuola.net

[11] LEGAMBIENTE, Rapporto: La carovana dei ghiacciai, 2020. Risorsa online: https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2020/12/caronava-dei-ghiacciai-report-2020.pdf

Banche dati utilizzate

- DSM 2011 Alto Adige fonte http://geokatalog.buergernetz.bz.it
- Ortofoto 2017 Alto Adige fonte http://geokatalog.buergernetz.bz.it
- Ghiacciai 2006 Alto Adige fonte http://geokatalog.buergernetz.bz.it
- Ghiacciai 2018 Regione Lombardia fonte Servizio Glaciologico Lombardo
- Ghiacciai 2007 Regione Lombardia fonte Servizio Glaciologico Lombardo
- Ortofoto AGEA 2018 Regione Lombardia fonte http://www.geoportale.regione.lombardia.it
- DTM 5x5 ed.2015 Regione Lombardia fonte http://www.geoportale.regione.lombardia.it
- Limiti Amministrativi 2020 Regione Lombardia fonte http://www.geoportale.regione. lombardia.it
- Immagine satellitare Sentinel2 S2A_MSIL2A_20200826T101031_N0214_R022_T32TPS del 26 agosto 2020 -fonte Copernicus Sentinel data 2020 http://land.copernicus.eu
- Immagine satellitare Sentinel2 S2A_MSIL1C_20200905T101031_N0209_R022_T32TPS del 5 settembre 2020 fonte Copernicus Sentinel data 2020 http://land.copernicus.eu
- Rilievo GPR 2019 Politecnico di Torino
- Rilievo GPR 1999 (Guglielmina et al. 2005)

Note

¹ La maggior parte dell'ablazione, almeno nei ghiacciai alpini, è dovuta alla fusione del ghiaccio. Per la misura di questo parametro, si dispongono sulla superficie del ghiacciaio delle serie di paline ablatometriche che, numerate e contrassegnate, vengono infisse con un'apposita trivella per una profondità nota. Periodicamente, nel periodo estivo anche giornalmente, si misura l'altezza della palina che rimane scoperta via via che il ghiaccio si fonde. [10]

ICEBERG nelle ALPI?

Giovanni Kappenberger CH-6565 San Bernardino

ICEBERGS IN THE ALPS? From glacier to lake

In the last decades, following strong and ongoing climate change and global warming that led to progressive glacier retreat, melt water production has steadily increased; not always this water flows downstream. In the late 1990s, water pools started to form in the rock basin filled with ice fed from the Chüeboden glacier, at 2,670 m asl, in Valle Bedretto/upper Ticino. These pools then gradually formed a pond and then a true lake, with the glacier tongue being immersed. In 2020 the iceberg gradually grew, adding a number of ice pieces, even though of small size. Then, in late November 2020, a large volume of ice came to the surface: a large piece of the glacier tongue broke away and then smashed into pieces to form a number of icebergs of unusual large size for the Alpine environment. The level of the lake, with a surface of 120,000 m2, decreased by 2 meters, which caused the sudden displacement of 2 million cubic meters of ice. This and other observations and measurements carried out during 9 surveys between December 2020 and October 2021 have been collected in a booklet ("Gli iceberg del Gerenpass -poetica del ghiaccio", published by Salvioni Edizioni, December 2021). This article presents a part of this study, focusing on its scientific aspects.

> Nella pagina a fronte: insieme degli iceberg del Lago Gernen ripresi il 18.12.2020. Sul retro le Alpi Bernesi con in Finsteraarhorn e lo Schreckhorn.

Attached photo: the icebergs of lake Gernen taken on 18.12.2020. In the background: the Bernese Alps with the Finsteraarhorn and the Schreckhorn

UNA TRASFORMAZIONE DA GHIACCIAIO A LAGO

Negli ultimi decenni di forte e continuo riscaldamento climatico, con il progressivo ritiro dei ghiacciai, la produzione di acqua di fusione si è fatta importante; non sempre essa scorre a valle. Nella conca di roccia riempita di ghiaccio da parte del ghiacciaio del Chüeboden, a 2670m, in Valle Bedretto/alto Ticino, alla fine degli anni '90, hanno iniziato a formarsi delle pozze d'acqua che pian piano son diventate un laghetto e poi un vero lago, mentre la lingua del ghiacciaio si trovava immersa. Nel 2020 è aumentata la produzione di iceberg, quali pezzi di ghiaccio anche numerosi, ma con dimensioni ridotte. A fine novembre del 2020 poi, in un attimo, è salito a galla un importante volume di ghiaccio: un grosso pezzo della lingua di ghiacciaio si è staccata e si è frantumata in maniera da produrre numerosi iceberg di notevoli dimensioni per un ambiente delle nostre Alpi. L'abbassamento del livello del lago di una superficie di 120'000 m², è stato di 2 m e ha contribuito a valutare il volume di ghiaccio spostato di colpo, ossia 2 milioni di m³. Questa e altre osservazioni e misurazioni effettuate durante 9 uscite tra il dicembre 2020 e l'ottobre 2021 sono state descritte in un libretto ("Gli iceberg del Gerenpass -poetica del ghiaccio", pubblicato da SalvioniEdizioni, dicembre 2021). Questo articolo ne presenta una parte, ossia quella con un carattere più scientifico.





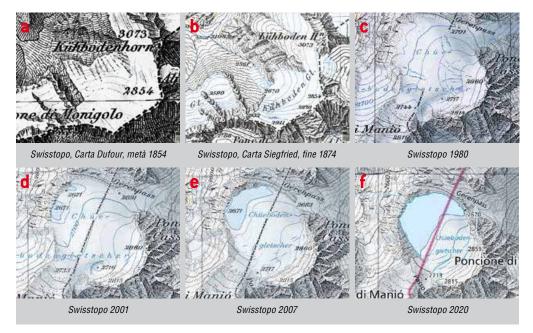


Fig. 1 - Settembre 2012: vista aerea del lago del Geren, con la Valle Bedretto e Airolo sullo sfondo.

Fig. 2 - Riporto cartografico dell'ultimo secolo con l'evoluzione del ghiacciaio Chüeboden e del rispettivo lago del Geren.

GHIACCIO E ACQUA

Negli ultimi decenni di forte e continuo riscaldamento climatico, con il progressivo ritiro dei ghiacciai, la produzione di acqua di fusione si è fatta importante; non sempre essa scorre a valle: a volte si accumula fino a formare un lago glaciale nelle conche rocciose, modellate dai ghiacciai nel corso dei millenni. Più o meno frequentemente dalla lingua del ghiacciaio si staccano dei pezzi di

ghiaccio che poi galleggiano sul lago, alla deriva. Anche al lago del Geren (il laghetto del ghiacciaio del Chüeboden non ha ancora un nome ufficiale, lo chiameremo d'ora in poi lago del Geren), in Val Bedretto, sullo spartiacque tra il Canton Ticino e il Vallese, in Svizzera, fino all'estate 2020 si scorgevano solo piccoli blocchi di ghiaccio di questo tipo, di scarso interesse. Fino al 26 novembre 2020, quando la pace di quel piccolo an-

golo di mondo è stata improvvisamente scombussolata. Ma prima di raccontare la nascita dei nostri giganti di ghiaccio, facciamo un passo indietro nella storia geoclimatica.

EVOLUZIONE DEL GHIACCIAIO DEL CHÜEBODEN E DEL LAGHETTO DEL GEREN

La conca di roccia presente sullo spartiacque tra Ticino e Vallese, presso il Gerenpass, è stata per secoli ricolma di ghiaccio. Negli ultimi anni del millennio scorso si è assistito alla formazione delle prime pozze surglaciali, formatesi sulla superficie del quasi pianeggiante ghiacciaio del Chüeboden. Col tempo queste pozze d'acqua si sono ingrandite e unite fino a formare un unico lago a forma di mezzaluna, ai piedi dei ripidi pendii rocciosi del Chüebodenhorn, esposti a sud, che favoriscono la fusione. Il ghiacciaio del Chüeboden si sta quindi gradualmente trasformando nel lago del Geren. Per decenni lo sviluppo del lago è stato seguito con attenzione, anche perchè gli sbocchi verso il Vallese e verso il Ticino nei primi anni duemila erano ancora ricoperti di ghiaccio e non permettevano di capire da che parte sarebbe defluita l'acqua, se verso il Vallese o il Ticino; questa era un'informazione importante nel caso di un cedimento e relativo svuotamento improvviso del lago o di parte di esso. Il confine tra i due cantoni attraversa infatti il bacino idro-glaciologico in maniera rettilinea. Oggi i due sbocchi sono liberi da ghiaccio, sappiamo che l'acqua del lago defluirà verso il Vallese. Il ghiacciaio invece è situato soprattutto sul versante ticinese, ai piedi e all'ombra delle guglie del Poncione di Cassina Baggio (Fig.1).

Il ghiacciaio del Chüeboden ha raggiunto la sua massima estensione dall'ultima glaciazione verso la metà del diciannovesimo secolo, con una lingua di ghiaccio che scendeva verso la Val Bedretto e un'altra che scendeva verso il Vallese (Figg. 2a,b,c,d,e,f). Da allora e fino agli

anni Settanta del secolo scorso, il riscaldamento climatico e il conseguente ritiro dei ghiacciai è avvenuto per cause che potrebbero ancora essere considerate naturali con una breve pausa fredda all'inizio del ventesimo secolo e attorno agli anni Settanta (Fig. 3). Dagli anni Ottanta in poi, invece, il riscaldamento del clima è stato fortemente accelerato dalle attività umane, che immettono gas-serra nell'atmosfera.

Paragonando le condizioni geografiche e climatiche del ghiacciaio del Chüeboden con quelle di altri suoi simili, come ad esempio il ghiacciaio del Basodino (che misuro e documento da trent'anni) appare plausibile che il Chüeboden stia perdendo uno spessore da 1 a 2 metri ogni estate (Figg. 4a,b).

EMERSI DALLA PROFONDITÀ DEL LAGO

Confrontando le due immagini della pagina precedente, si osserva che la formazione di blocchi galleggianti, aumenta nel corso dell'estate: se nei pressi del Gerenpass il ghiacciaio sparisce ancora nel lago in modo lineare, più lontano si vede che c'è stata una frattura, molto probabilmente all'origine delle piccole zattere di ghiaccio che si sono distribuite su buona parte dello specchio d'acqua. La presenza di abbondanti blocchi galleggianti sul laghetto del Geren alla fine di agosto 2020 era già di per sè una situazione particolare: generalmente i pezzi di ghiaccio che d'estate si staccavano dal ghiacciaio, venivano assorbiti dal lago nel corso della stessa estate, sciogliendosi. Durante l'estate 2020 essi sono stati talmente abbondanti da mantenere la temperatura dell'acqua continuamente vicina allo zero, portando la fusione al minimo. Il 9 settembre 2020 i piccoli blocchi di ghiaccio alla deriva erano stati sospinti verso la parte settentrionale del lago ad opera del vento da sud. Poi, si sa, a quasi tremila metri di quota l'inverno arriva presto e ricopre tutto di bianco, ma, sotto la neve, acqua e ghiaccio continuano la loro danza silenziosa. Chi il 29 novembre si è guardato attorno dalla cima del Chüeboden ha visto uno scenario molto sorprendente: una serie di iceberg di diverse forme e dimensioni si ergevano su una parte del

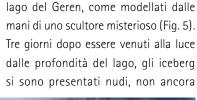


Fig. 3 - Cordone morenico lasciato dalla lingua del ghiacciaio del Chüeboden che dal Gerenpass scendeva verso sud-est.





Fig. 4 - Luglio 2020 (Giorgio Valenti) (a), Agosto 2020 (Max Bognuda) (b).



Fig. 5 - Prima foto degli iceberg scattata il 29 novembre 2020 dal Chüebodenhorn (Jasmine Vismara).

GLACIOLOGIA

Fig. 6 - Finsteraarhorn in fondo al centro. Due immagini del 18.12.2020, alla mia prima uscita. La neve di inizio dicembre ha ricoperto i giganti di giaccio.

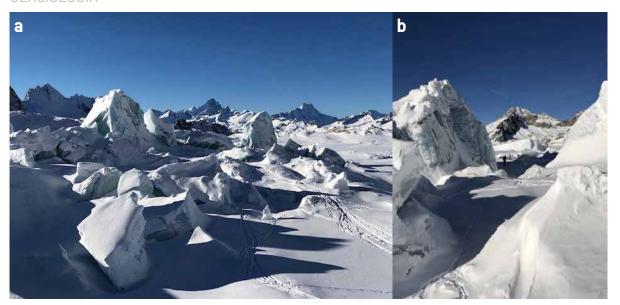


Fig. 7 - Iceberg "Irene" (a) e... Iceberg "Olav" (b) 18.12.2020, Iceberg "Due Balene" ha sollevato il sandwitch di ghiaccio lacustre (c).



Fig. 8

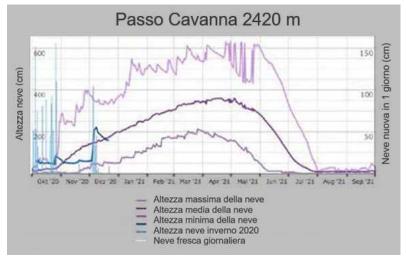


Fig. 9



ricoperti di neve, agli occhi dei primi visitatori. Sembravano essere tenuti a battesimo da un padrino d'eccezione, il Finsteraarhorn, maestoso re delle Alpi bernesi. La poltiglia di acqua e ghiaccio circostante è stata delimitata da una "cresta di pressione" che ha fermato l'espansione dinamica degli iceberg; essa si è creata nello scontro tra gli iceberg e il ghiaccio lacustre, già piuttosto consistente a fine novembre.

Le copiose nevicate di inizio dicembre hanno poi ricoperto il ghiaccio vivo degli iceberg, trasformandoli in una schiera di bianchi guardiani dei luoghi (Figg. 6a,b). E' stato il vento ad assumere in seguito il compito di ripulirli dalla coltre nevosa per farli tornare a brillare al sole (Figg. 7a,b,c).

Anche il prossimo iceberg ha una sua storia da raccontare: è composto da un grosso blocco di ghiaccio scuro (una delle "Due Balene") che apparteneva alla lingua subacquea del ghiacciaio; esso sollevandosi ha spinto verso l'alto anche il ghiaccio lacustre, che si era formato sulla superficie del laghetto durante l'autunno e l'inverno in corso. Quest'ultimo è composto da numerosi strati: il più in basso, azzurrino sulla foto, è il primo ghiaccio formatosi tra settembre e ottobre di quest'anno in concomitanza con una nevicata, motivo per cui non è trasparente. Lo strato superiore, più verdino, è del mese di novembre. Tra questi 2 strati ben visibili di ghiaccio lacustre si riconoscono le diverse nevicate e altri strati più sottili di ghiaccio, del mese di ottobre. Dopo il sollevamento che ha trasformato in iceberg questo blocco

stratificato galleggiante, a inizio dicembre è caduto circa un metro e mezzo di neve, che poi in buona parte è stata soffiata via dai venti, lasciando all'iceberg solo un leggero cappuccio bianco. La parte stratificata situata sotto la lastra di ghiaccio verdino di novembre era dunque immersa nell'acqua: gli strati bianchi sono neve satura d'acqua, una poltiglia congelatasi dopo il sollevamento fuori dal laghetto.

Il grafico di Fig. 8 mostra l'altezza della neve alla stazione automatica nivometeolMIS, poco sotto il Passo Cavanna in Val Bedretto. Dal grafico si legge che il mese di ottobre è stato fresco e ricco di precipitazioni (al Gerenpass soprattutto neve). Novembre è risultato secco, mentre a inizio dicembre è caduta molta neve. Le linee viola indicano lo spessore della coltre nevosa: minimo, medio e massimo, mentre la linea blu rappresenta la neve dell'inverno in corso (cm segnati a sinistra). Le colonne celesti indicano le nevicate giornaliere (cm segnati a destra).

Denti ghiaccio vengono ammirati prima che spariscano, entro poche settimane, sotto gli strati di neve dell'inverno (Fig. 9).

EVOLUZIONE STAGIONALE E MONITORAGGIO DEGLI ICEBERG

10.03.2021 - La nebbiolina rende l'ambiente suggestivo, la coltre nevosa è aumentata, ammorbidisce gli spigoli, nasconde i dettagli (Figg. 10 a,b). Nella nebbia, più lontano a sinistra, sbucano le "Due Balene", piuttosto appiattite. Poi verso destra si distingue la punta "Estremo Nord" e accanto il grande "Olaf". Davanti a loro si riconosce il blocco massiccio del "Centrale" con la piramide "Irene" alla sua sinistra. Il cubo in basso a sinistra sarà il futuro "Cervino". La linea di rottura del ghiacciaio è dietro la traccia degli sci.

21.05.2021 - Con la fronte di rottura del ghiacciaio emergono i primi Iceberg "Olaf" con il suo foro (un vecchio crepaccio?) e la sonda-neve di 2 metri. L'altezza neve è di 2 metri e compaiono accenni di fusione dello strato nevoso invernale, che ha creato numerosi ghiaccioli, decorati dalla galaverna (Figg.11a,b).

19.06.2021 - Nelle Figg. 12 (a) sullo sfondo si distinguono gli Iceberg principali con "Olaf" il più alto, "Estremo Nord" il più appuntito, "Centrale" ed "Irene" piuttosto stabili e "Cervino" sulla destra. Il buco nel laghetto azzurro è un collegamento che si è formato tra la pozza sopra il ghiaccio e il laghetto sottostante; (b) i colleghi si mettono in posizione per una livellazione.

Per le misure di livello degli Iceberg "Olaf" ed "Estremo Nord", oggi utilizzo due canne di bambù lunghe 2,5 metri e il confronto fotografico. La canna di bambù, oltre a fungere da misura di riferimento sulle fotografie, serve anche come strumento di sicurezza quando dobbiamo attraversare dei punti critici (Fig. 13a); cielo cupo ricoperto di altostrato (Fig. 13b).

10.07.2021 - Mentre "Olaf" è ormai estremamente esposto all'azione degli agenti atmosferici, "Irene" (Fig. 14a) si mantiene ancora piuttosto in forma. Noto che a partire da fine giugno si è

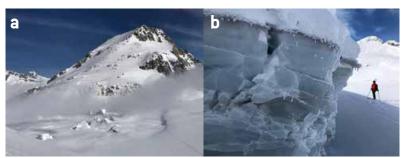


Fig. 10 - Guardando dalle pendici del Poncione di Maniò verso il Chüebodenhorn e il lago Geren 10.03.2020 (a). Strutture di ghiaccio alla rottura del ghiacciaio, con accenni di galaverna (b).

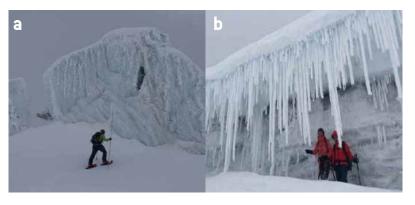


Fig. 11

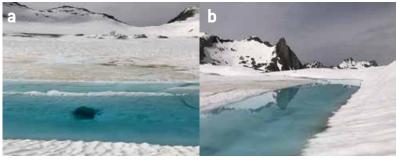


Fig. 12

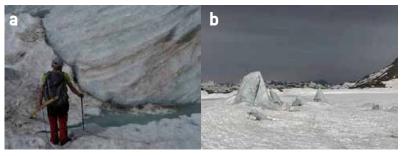


Fig. 13



Fig. 15



perfino formato un crepaccio! Anche il cane Mila lo osserva con interesse (Fig. 14b), avrà intuito che qui i crepacci sono una rarità? In fondo al crepaccio il livello del lago è riconoscibile a una profondità di circa 4 m. Caspita, questo significa che ci troviamo sopra a un sistema di ghiacci galleggianti di circa 27 m di spessore! Infatti i 4 m emersi, di cui 2 sono di nevato, corrispondono a circa

3 m di ghiaccio sopra il livello del lago. È risaputo che l'iceberg ha 1/9 del suo volume fuori dall'acqua e 8/9 nell'acqua. 10.07.2021 - L'iceberg "Irene" è ancora al suo posto, sembra sempre più stabile con la sua larga base. Il crepaccio adiacente si è allargato un po' (Fig. 15a). Anche l'iceberg "Centrale" non molla (Fig. 15b), tuttavia le sue parti sono sempre meno ripide. La sua struttura a strati

sempre più marcati è decisamente affascinante: essa nasce dalla combinazione delle nevicate che si sono susseguite nei secoli con i movimenti del ghiacciaio e i depositi atmosferici che danno colore al ghiaccio, influenzandone la fusione. 19.08.2021 - Questo è "Centrale", fotografato dalla cima di "Irene" (Fig. 16a). Dietro la sua punta appaiono i resti di "Olaf", che, poveretto, ha perso tutta la sua maestosità e si è ridotto a un piccolo blocco di ghiaccio anonimo. l'iceberg "Cervino" (Fig. 16b) si presenta ancora in forma smagliante per la stagione, è uno di quelli che abbiamo battezzato tardivamente: quando ancora aveva una forma cubica non si capiva la sua vera identità, ma ora non vi sono dubbi.

5.09.2021 - Gli Iceberg "Cervino", "Irene" e "Centrale" sono ancora al loro posto. "Cervino", con le sue strutture stratificate, è lievemente più piccolo dell'altra volta, ma ancora grazioso. Mi accorgo che appoggia in parte su del ghiaccio diverso, più scuro (Fig. 17a,b).

Presa di un campione d'acqua dell'emis-

sario del lago che fluisce verso il Vallese, destinato al Laboratorio della Sezione della Protezione dell'Aria, dell'Acqua e del Suolo del Canton Ticino (Fig. 18). 16.10.2021- Il lago del Geren si presenta ricoperto da uno strato di ghiaccio sul quale è già caduta della neve, che poi il vento ha modellato per generare lo spettacolo che abbiamo di fronte.

Il ciclo delle stagioni è quasi completo, qui il mondo torna ad essere bianco. Oggi finalmente entra in funzione il carotatore: lo avevo depositato già nel mese di luglio, assieme alle due canne di bambù, sotto a un sasso nei pressi del Gerenpass, ma le condizioni non erano mai state adatte al suo utilizzo. Oggi invece sarà utilissimo. Si tratta di un carotatore di tipo SIPRE (Snow, Ice and Permafrost Research Establishment) degli anni Cinquanta, era stato sviluppato dall'esercito americano e l'avevo in dotazione negli anni Settanta per eseguire misurazioni nell'Artico. In seguito era finito in un armadio del politecnico di Zurigo, dove vent'anni dopo ho potuto

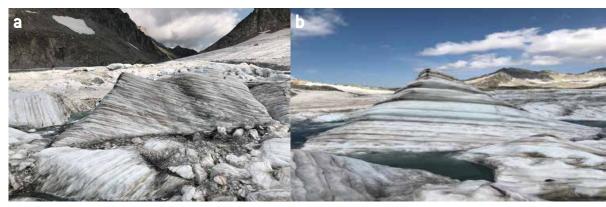


Fig. 17

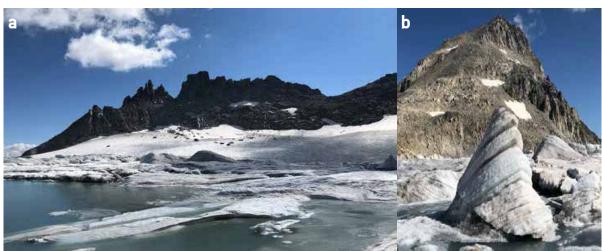


Fig. 18

recuperarlo per fargli vivere una seconda giovinezza. Ad essere sinceri è più adatto per forare il nevato (strati di neve vecchia piuttosto compatta) ma con un po' di forza si riesce a perforare anche il ghiaccio. Fortunatamente, complice la splendida giornata, due baldi giovanotti sono saliti a fare una gita al Gerenpass mettendo a disposizione le loro forti braccia per aiutarmi a forare il ghiaccio. Ci prepariamo quindi ad eseguire la batimetria del lago utilizzando 8 punti, rispettivamente buchi, di sondaggio, nei quali infiliamo la canna da pesca con il filo a piombo. Il ghiaccio lacustre è composto da due strati: il primo, piuttosto trasparente, è probabilmente la conseguenza del primo freddo di fine settembre (Fig. 19). Poi ha nevicato, motivo per cui il primo strato di ghiaccio è stato sospinto nell'acqua dal peso della neve, la quale si è a sua volta inzuppata per poi gelare e diventare uno strato di ghiaccio opaco. Lo spessore totale del ghiaccio è di circa 30 cm, dunque sufficiente per portare il nostro peso e anche molto di più. Possiamo quindi muoverci



Fig. 19



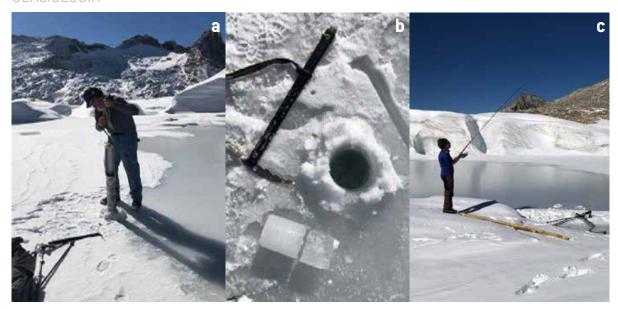
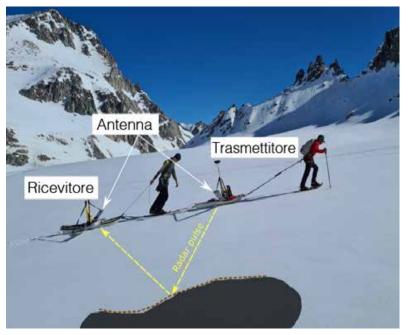


Fig. 21



Fig. 22

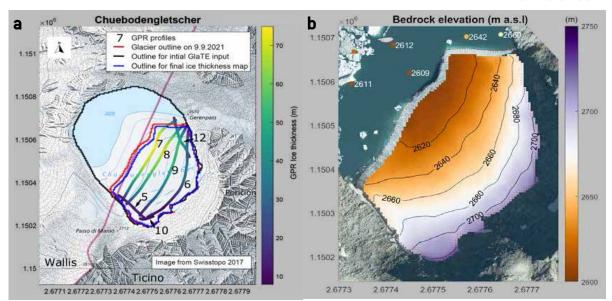


liberamente sul ghiaccio lacustre e sondiamo il fondo del lago (batimetria) lontano dagli iceberg, per evitare le cattive sorprese che abbiamo avuto durante le ultime due uscite di agosto e settembre. Le misure sono convincenti, molto probabilmente abbiamo toccato il fondo roccioso e non un ostacolo di ghiaccio. I valori trovati rispecchiano piuttosto bene l'idea che mi ero fatto sulle dimensioni della conca del Geren sulla base delle altre osservazioni e delle misure già eseguite (Fig. 20 a,b,c).

Sono soddisfatto, possiamo ridiscendere a valle, passo ancora una volta a salutare l'Iceberg "Irene" sempre meno ripido, ma ancora presente e già ricoperto di un lieve manto bianco. Mi avvicino all'iceberg "Cervino", che dall'ultima volta si è procurato un bel cappello: il substrato di ghiaccio scuro, che avevo già notato, è venuto maggiormente a galla rispetto al 5 settembre ed è ora esposto anche a sud. Con il sole autunnale già piuttosto basso si è trovato ad essere molto più vulnerabile alla fusione che non il cappello, formato da strati di ghiaccio bianco. Probabilmente tra pochi giorni il cappello si sbilancerà, cadendo in avanti, verso meridione (Fig. 21 a,b,c).

MISURE DI SPESSORE DEL GHIACCIAIO

Grazie all'iniziativa del Prof. Daniel Farinotti del Politecnico Federale di Zurigo (ETHZ), una campagna di misurazione della profondità del ghiacciaio mediante un apposito radar è stata organizzata il 31 marzo 2021. Per ottenere risultati soddisfacenti, misurazioni di questo tipo vanno eseguite durante la stagione invernale, quando non c'è presenza di acqua liquida nel ghiacciaio. L'acqua di fusione, infatti, disturberebbe questo tipo di onde, riflesse sul fondo roccioso.



Fia. 24

Una squadra composta da tre glaciologi, capitanati da Christoph Ogier, ha avuto la fortuna di poter eseguire il lavoro in una giornata di tempo splendido. Durante numerose ore sono stati trainati due slittini (Fig. 22): il primo emette un segnale che è ricevuto dal secondo dopo riflessione dello stesso sul fondo roccioso. Il ghiacciaio del Chüeboden è stato misurato con questa tecnica per la prima volta. Prima del 31.3.2021 la Rete di monitoraggio dei ghiacciai svizzeri (GLAMOS) stimava una profondità approssimativa di 30 m. Nessuno dei presenti si aspettava di misurare invece un valore equivalente a più del doppio. Confronto: il ghiacciaio del Basodino, ben più vasto del Chüeboden, nel 2006 misurava mediamente 27 m di spessore di ghiaccio. Da allora, la perdita media annua si aggira tra 50 cm e 1 m, per cui il suo spessore attuale è sicuramente inferiore ai 20 m.

Le immagini (Fig 23 a,b)sono estratte dal rapporto: "Ogier C. et al." 2021. The Ice Thickness of Chüebodengletscher. Report 88015 VAW.

RISULTATO DELLE LIVELLAZIONI APPROSSIMATIVE DEL LAGO GEREN

Non avendo a disposizione apparecchiature tecnologiche, le misurazioni del livello del lago vengono fatte "a mano" dunque con un livello a bolla che mantiene lo sguardo orizzontale, oppure con un confronto fotografico.

Misurazione a vista con livello del 21.5.2021

(Fig. 24 a,b) Dalla superficie del lago, grazie ad un livello tengo lo sguardo orizzontale e marco sul pendio la prima misura di 1,5 m (circa altezza dell'occhio della persona che misura). Ripeto questa operazione sino a quando raggiungo il sasso di riferimento. Misura del dislivello tra la superficie del lago e il sasso di riferimento: 10.5 m.

Misurazione con confronto fotografico (19.6.2021 e 10.7.2021)

(Fig. 25) Per queste nuove misurazioni dispongo di una canna di bambù lunga 2,5 m: tengo questa stanga verticale sulla superficie del lago mentre viene scattata una fotografia tenendo l'obiettivo perfettamente orizzontale. Elaborando a computer la fotografia e riportando più volte i 2,5 m della canna di bambù fino al sasso di riferimento ottengo il risultato desiderato:

19.6.2021: dislivello 9,5 m 10.07.2021: dislivello 8,5 m

CONCLUSIONE TRATTA DALLE MISURE EFFETTUATE

Assumendo la misura del lago dopo l'evento (10.5 m misurati il 21.5.2021 e considerati uguali al 26.11.2020 in





Fig. 25

quanto il freddo invernale non ha sciolto i ghiacci e dunque non ha alterato il livello del lago) e sottraendo la misura del livello massimo del lago (pari a 8,5 m misurati il 10.7.21), si ottiene una differenza di 2 metri corrispondente all'abbassamento del livello del lago.

Stima del volume d'acqua corrispondente alle parti aeree degli iceberg

Come già descritto, è apparso chiaro fin dalla prima visita (18.12.2020) che il livello del lago del Geren si è abbassato improvvisamente a seguito dell'evento che ha generato gli iceberg. In quell'occasione, osservando le buche, le crepe e i crepacci in riva al lago, e grazie alla sonda-neve, era stato stimato un di-

GLACINI NGIA

slivello di circa 1.5 m. Per misurare più precisamente questo dislivello è stato necessario eseguire delle misurazioni prima e durante il periodo di fusione.

A quasi 2700 m slm la fusione della neve e dei ghiacci inizia generalmente nel mese di maggio. Nel 2021, però, un maggio fresco e molto nevoso ha fatto slittare l'inizio della fusione a fine maggio-inizio giugno.

Come già descritto, sono state eseguite delle livellazioni utilizzando un livello a bolla e una sonda-neve. In occasione della prima livellazione i dati sono stati rilevati direttamente sul posto, seguendo in progressione i vari livelli fino a un punto fisso. Successivamente (livellazio-

Fig. 26



ne 2 e 3) il valore del dislivello è stato rilevato a posteriori, basandosi sulle fotografie. Il riferimento (le canne di bambù lunghe 2.5 m) si trovava più o meno alla stessa distanza dal punto fisso. È importante l'orizzontalità dell'immagine, ecco perché è necessario utilizzare un livello a bolla.

Curiosità: il 19 giugno non avevo con me il livello, ma è stato possibile definire la verticalità, e con essa l'orizzontalità, grazie ai riflessi delle montagne nel lago. La differenza di quota del lago, ricavata grazie alle livellazioni, è di circa 2 metri; questo valore, moltiplicato per l'area della superficie del lago nel 2020 (120.000 m²), dà come risultato il volume del ghiaccio sommerso degli iceberg, emerso in seguito alla rottura del 26 novembre 2020 che risulta pari a ca. 240.000 m³. La parte emersa di un iceberg rappresenta circa 1/9 del suo volume quindi il volume totale mobilizzato è di ca. 2.160.000 m³. La spinta di Archimede che ha provocato la rottura e la conseguente emersione è pari a 2.400.000 kN (prodotto tra volume di acqua spostato, densità e accelerazione di gravità).

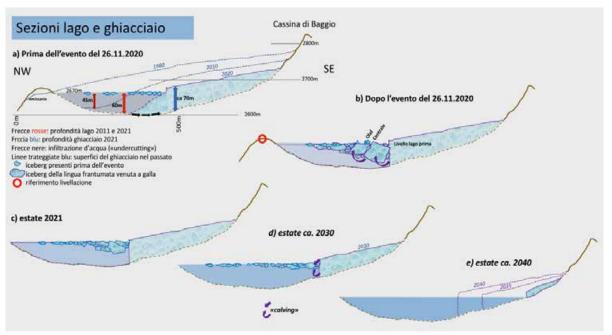
Batimetria semplice in alcuni punti del lago

La batimetria dell'estate 2011 era stata effettuata con un battellino teleco-

mandato. L'operazione, firmata VAW/ETHZ, avrebbe dovuto essere ripetuta a fine estate 2021, ma la presenza di troppo ghiaccio ha indotto i glaciologi a rinunciare. Questo è stato uno stimolo ulteriore per provare a eseguire alcune misure di profondità dell'acqua con un sistema diverso: anche con un numero inferiore di misurazioni sarebbe infatti stato possibile farsi un'idea della situazione, in particolare dopo aver ottenuto i risultati dello spessore del ghiacciaio in prossimità della linea di rottura.

Come descritto sopra, dopo qualche prova durante l'estate che non ha dato esito positivo, il 16 ottobre sono infine state effettuate alcune misure di profondità del lago. Grazie al ghiaccio lacustre autunnale, il lago è risultato facilmente accessibile ovunque. In 8 punti selezionati sono stati praticati dei fori con una trivella (carotatore) nei quali è stato calato un filo a piombo con una canna da pesca. I dati misurati sono risultati molto interessanti e rispecchiano l'idea che ci si era fatta in precedenza, con le profondità maggiori probabilmente situate sotto gli iceberg, dove le misurazioni erano impossibili da eseguire. Nelle due brevi sezioni Nord-Sud sono stati misurati 50, 58, 61 m, rispettivamente 48, 59 m. Siccome più a sud, a monte della rottura del ghiacciaio, è stato misurato uno spessore del ghiaccio di 60-80 m,

Fig. 27



la corrispondenza è molto buona. Infatti la parete di ghiaccio oltre il livello del lago è alta una decina di metri (Fig. 26). In base a tutte le misure effettuate, si giunge alla conclusione che il volume attuale del lago è di circa 4 milioni di m³ d'acqua, praticamente lo stesso volume che ha il ghiacciaio. Quando il ghiacciaio sarà scomparso del tutto, il lago avrà una forma circolare e una capienza tra i 5 e i 6 milioni di m³ d'acqua.

QUALITÀ DELL'ACQUA

Il prelievo di acqua dell'emissario del lago del Geren (campione del 5 settembre 2021) è stato analizzato dal laboratorio della Sezione della Protezione dell'Aria, dell'Acqua e del Suolo del Canton Ticino. L'ultimo rapporto sui laghi del Canton Ticino è stato pubblicato dal Dipartimento del Territorio nella primavera 2021.

Il lago del Geren però non rientra nella serie dei laghi monitorati. La responsabile del laboratorio Sandra Steingruber ha così commentato l'analisi del campione d'acqua: "L'acqua del Lago ha una conducibilità molto bassa, simile a quella delle precipitazioni, tipica di laghi sensibili all'acidificazione con un bacino imbrifero povero di carbonati. Nel caso del Lago del Geren la cosa non mi sorprende essendo l'acqua di provenienza glaciale, con poco contatto con il suolo o la roccia. Impressionanti invece le concentrazioni di alluminio e di ferro totale."

Secondo il geologo Giorgio Valenti l'alto contenuto di ferro e di alluminio può essere attribuito alla presenza di un filone anfibolitico che entra nel lago (di colore verde-nero ben visibile allo sbocco ticinese) contenente parecchia pirite (bisolfuro di ferro) e ai minerali di alterazione ad alto contenuto di questi due elementi come la clorite.

COME EVOLVERÀ LA SITUAZIONE?

L'evento "iceberg" va considerato come un fenomeno di transizione da un ghiacciaio a un lago. Entro pochi anni sul fronte del ghiacciaio del Chüeboben in ritiro, si formerà una parete di ghiaccio che potrebbe misurare anche alcune decine di metri sopra il livello del lago. Ciò che resta dei nostri iceberg galleggianti impiegherà diversi anni – leggi diverse estati - per scomparire. In questo periodo l'acqua del lago sarà sempre ad una temperatura attorno a O gradi e quindi il suo contributo alla fusione della parete di ghiaccio sarà molto limitato. Anche durante le misurazioni dell'estate 2021 abbiamo rilevato che le variazioni della temperatura dell'acqua sono sempre state dell'ordine di pochi decimi di grado. Non appena sarà scomparso il ghiaccio galleggiante la fusione del ghiacciaio sarà accelerata, poiché il calore estivo non sarà più utilizzato per far sciogliere i pezzi di ghiaccio galleggiante, bensì per riscaldare l'acqua del lago e di conseguenza accelerare lo scioglimento del ghiacciaio. Non appena l'acqua di superficie del lago raggiungerà la temperatura di 4 gradi C (punto di massima densità), scenderà sul fondo del lago.

Lì, a contatto con il "piede" del ghiacciaio, causerà la sua fusione, raffreddandosi nel contempo a sua volta fino a tornare alla temperatura di 0 gradi e risalire in superficie, per scaldarsi di nuovo al sole e tornare in profondità. Questa circolazione attiva dell'acqua del lago farà ritirare il ghiacciaio molto rapidamente fino a quando la sua base uscirà dall'acqua e verrà a mancare il contatto con questa circolazione "mangia-ghiaccio". In altre parole, nei prossimi anni avremo il lago sempre carico di blocchi di ghiaccio (piccole zattere o iceberg) poiché la formazione di ghiaccio galleggiante ("calving" in termini tecnici) terminerà solo quando si sarà perso il contatto tra il ghiacciaio e il lago. Ciò potrebbe avvenire verso il 2040 e ci ritroveremo con un bel laghetto del Geren piuttosto tondo, costeggiato a sud da una parete di ghiaccio, destinata a sparire anch'essa dopo alcuni anni (Fig. 27).

CONCLUSIONE

lceberg nelle Alpi! Una serie di fattori e di coincidenze hanno generato al Gerenpass un fenomeno della Natura che nessuno si sarebbe immaginato. Soprattutto non in un periodo di ritiro dei ghiacciai. E invece all'origine del fenomeno c'è proprio il passaggio da un ghiacciaio a un lago. In una conca rocciosa piuttosto profonda, riempitasi di ghiaccio nei millenni scorsi, è nato un laghetto di fusione sul ghiacciaio, che è andato crescendo negli ultimi 20 anni. La lingua sommersa del ghiacciaio improvvisamente è venuta a galla creando gli iceberg che abbiamo conosciuto. Evento drammatico, ma anche spettacolare, quasi un battesimo dentro il lago che accoglierà nei prossimi anni la fine del ghiacciaio. Ma l'acqua è vita, e dalla vita, si sa, nasce nuova vita. Leggendo il fenomeno in altri termini, possiamo vederlo come un monito: esso ci ricorda che in futuro, quando saremo confrontati con importanti cambiamenti dovuti al riscaldamento globale, non saremo mai in grado di prevederli correttamente, con tutte le loro sfaccettate consequenze. Vi saranno altre sorprese! Alle generazioni future l'augurio di poter vivere positivamente queste sorprese che la Natura ci offrirà (Fig. 28).



Fig. 28



La copertina della pubblicazione che sarà in vendita dalle prossime festività.

