

Meteorologia alpina, Glaciologia, Prevenzione Sicurezza in montagna

### **SPECIALE ISSW 2013**

Variabilità spaziale degli strati deboli Identificazione degli strati deboli L'energia termica nelle valanghe Scenari di pericolo valanghe Valanghe di neve bagnata Valanghe da slittamento ISSW 2013



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

REGIONE PIEMONTE ARPA Piemonte Dipartimento Sistemi Previsionali Via Pio VII 9 - 10135 Torino Tel 011 19681340 - fax 011 19681341 http://www.arpa.piemonte.it e-mail: sistemi.previsionali@arpa.piemonte.it

REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA Assessorato Opere pubbliche, difesa del suolo e edilizia residenziale pubblica Direzione assetto idrogeologico dei bilanci montani Ufficio neve e valanghe Loc. Amérique 33/A - 11020 Quart (AO) Tel. 0165 776600/1- fax 0165 776804 Bollettino Nivometeorologico Tel. 0165 776300 http://www.regione.vda.it e-mail: u-valanghe@regione.vda.it

### REGIONE LOMBARDIA ARPA Lombardia

Settore Tutela delle Risorse e Rischi Naturali U.O. Centro Nivometeorologico Via Monte Confinale 9 - 23032 Bormio (SO) Tel. 0342 914400 - Fax 0342 905133 Bollettino Nivometeorologico Risponditore telefonico e fax on demand 02 69666554 http://www.arpalombardia.it/meteo e-mail: nivometeo@arpalombardia.it

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO Servizio prevenzione rischi Via Vannetti 41 - 38122 Trento Via Vannetti 41 - 38122 Trento Tel. 0461 494870 - Fax 0461 238305 Bollettino Nivometeorologico Tel. 0461 238939 Self-fax 0461 237089 http://www.meteotrentino.it o mail: ufficio proviscio tel e-mail: ufficio.previsioni@provincia.tn.it

PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO Ufficio Idrografico, Servizio Prevenzione Valanghe e Servizio Meteorologico Viale Druso, 116 - 39100 Bolzano Tel. 0471 416140 - Fax 0471 416159 Bollettino Nivometeorologico Tel.0471 270555 Tel.0471 270555 Tel.0471 271177 anche self fax http://www.provincia.bz.it/valanghe e-mail: Hydro@provincia.bz.it

**REGIONE DEL VENETO** ARPA-Veneto Centro Valanghe di Arabba Via Pradat 5 - 32020 Arabba (BL) Tel. 0436 755711 - Fax 0436 79319 Bollettino Nivometeorologico Tel 049 8239399 http://www.arpa.veneto.it e-mail: cva@arpa.veneto.it

REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA REGIONE AUTONOMIA FRIDIT VENEZIA GIDELA Direzione centrale risorse rurali, agroalimentari e forestali Servizio del Corpo forestale regionale Settore neve e valanghe Via Sabbadini 31 - 33100 Udine Tel. 0432 555877 - Fax 0432 485782 Bollettino Nivometeorologico NUMERO VERDE 800860377 (in voce e self fax) http://www.regione.fvg.it/asp/newvalanghe/welcome.asp e-mail: neve.valanghe@regione.fvg.it

#### **REGIONE MARCHE**

REGIONE MARCHE Dipartimento per le Politiche Integrate di Sicurezza e Protezione Civile Centro Funzionale Multirischi per la Meteorologia e l'Idrologia Via del Colle Ameno, 5 - 60126 Ancona Tel. 071 8067743 - Fax 071 8067709 http://dr.doi.org/10.000709 http://protezionecivile.regione.marche.it e-mail: centrofunzionale@regione.marche.it

Sede AINEVA Vicolo dell'Adige, 18 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 e Foreste
- Assessorati Reg./Provinciali Turismo
- 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.



Meteorologia alpina, Glaciologia, Prevenzione e Sicurezza in montagna

Rivista dell'AINEVA - ISSN 1120 - 0642 Aut. Trib. di Rovereto (TN) N° 195/94NC del 28/09/1994 Sped in abb. postale Gr. IV - 50% Abbonamento annuo 2014: Euro 18,00 da versare sul c/c postale n. 14595383 intestato a: AINEVA Vicolo dell'Adige,18 - 38122 Trento

#### **Direttore Responsabile**

Anselmo CAGNATI ARPA Veneto Coordinamento redazionale: ARPA Lombardia e ARPA Veneto

Comitato di redazione: Luciano LIZZERO, Maria Cristina PROLA, Mauro VALT, Giovanna BURELLI, Elena BARBERA, Walter BEOZZO, Stefano SOFIA, Alfredo PRAOLINI, Fabio GHESER

Comitato scientifico editoriale: Valerio SEGOR, Alberto TRENTI, Secondo BARBERO, Francesco SOMMAVILLA, Daniele MORO, Maurizio FERRETTI,

Michela MUNARI, Giovanni PERETTI

Segreteria di Redazione: Vicolo dell'Adige, 18 38122 TRENTO Tel. 0461/230305 Fax 0461/232225

Videoimpaginazione e grafica: MOTTARELLA STUDIO GRAFICO www.mottarella.com Cosio Valtellino (SO)

Stampa: LITOTIPOGRAFIA ALCIONE srl Lavis (TN)

**Referenze fotografiche:** Foto di copertina: Igor Chiambretti

Igor Chiambretti: II, 2, 41, 48, 49 Mauro Valt: 5, 6 Lino Schmid: 17 Matthias Rieckh: 18 SLF: 19, 36 Walter Steinkogler: 20 ARPA Veneto: 12, 14, 23, 29, 34 Rémi Petit: 9 Fabiano Monti: 11

Hanno collaborato a questo numero: Serena Mottarella, Stefania Del Barba, Nadia Preghenella, Monica Rossi, Igor Chiambretti, Enrico Filaferro.

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

I dati forniti dagli abbonati e dagli inserzionisti vengono utilizzati esclusivamente per l'invio della presente pubblicazione (D.Lgs.30.06.2003 n.196).

# SOMMARIO

AGOSTO 2014 NUMERO 82



### VARIABILITÀ SPAZIALE DEGLI STRATI DEBOLI

J. Gaume, G. Chambon, N. Eckert, M. Naaim

**10** IDENTIFICAZIONE DEGLI STRATI DEBOLI

F. Monti, J. Schweizer

4

### **16** L'ENERGIA TERMICA NELLE VALANGHE

W. Steinkogler, B. Sovilla, T. Jonas, M. Lehning

22

### SCENARI DI PERICOLO VALANGHE

M. Valt, F. Berbenni

### 28

VALANGHE DI NEVE BAGNATA

C. Pielmeier, F. Techel, C. Marty, T. Stucki

34

VALANGHE DA SLITTAMENTO

L. Dreier, C. Mitterer, S. Harvey, S. Feick

40 ISSW 2013



## EDITORIALE

L'ISSW (*International Snow Science Workshop*) è oggi considerato, a livello internazionale, il più importante convegno sulle tematiche della neve e delle valanghe.

La chiave del successo è contenuta nel motto stesso del convegno: a merging of theory & practice (una fusione di teoria e pratica) ovvero nell'aver saputo coniugare, in un unico evento, gli studi scientifici più avanzati con le applicazioni pratiche, con lo scopo di trasferire direttamente i risultati della ricerca ai professionisti della neve.

Il convegno, che si tenne per la prima volta a Banff (Alberta, Canada) nel 1976, viene normalmente organizzato con cadenza biennale, negli anni pari, in una località di montagna del nord America. Solo recentemente, vista l'ampia partecipazione di delegati europei e la specificità delle problematiche che caratterizzano aree montane densamente popolate come quelle europee, si è derogato da questa regola generale, ed è stato organizzato per due volte nel vecchio continente in anni dispari, nel 2009 in Svizzera (Davos) e nel 2013 in Francia (Grenoble).

L'ISSW del 2013, che si è tenuto a Grenoble dal 7 all'11 ottobre 2013, è stato organizzato da ANENA, IR-STEA e Meteo-France. Il convegno ha visto la partecipazione di 740 delegati di 36 diversi paesi che hanno contribuito con 269 lavori (113 presentazioni orali e 250 poster). Visto l'enorme successo dell'evento, tenuto conto della specificità dei temi trattati, la redazione di Neve & Valanghe ha deciso di dedicare il n. 82 interamente all'ISSW 2013 pubblicando alcuni dei lavori presentati. In particolare, attraverso un sondaggio svolto fra i tecnici degli uffici valanghe, sono stati scelti 6 lavori particolarmente significativi che riguardano alcune tematiche di grande attualità quali la variabilità spaziale e l'identificazione degli strati deboli, l'energia termica delle valanghe, le valanghe da slittamento ecc. Si è scelto inoltre di pubblicare, in forma estesa, anche il principale lavoro su cui si sono impegnati i previsori valanghe degli uffici AINEVA, che riguarda l'utilizzo della matrice bavarese nella definizione degli scenari valanghivi.

L'ISSW 2013, vista la relativa vicinanza della sede del convegno, è stata anche un'occasione per i tecnici che lavorano nei vari uffici valanghe regionali e provinciali per partecipare in forma massiccia e attiva all'evento. Oltre al già citato lavoro sugli scenari valanghivi, sono stati ben 21 i contributi che hanno visto il coinvolgimento, in qualità di autori principali o coautori, di tecnici dei vari uffici valanghe e della sede AINEVA. Non è stato possibile, per ragioni di spazio, pubblicare in forma estesa tutti questi lavori tuttavia, con i riassunti in italiano degli stessi, si è voluto fornire ai lettori di Neve e Valanghe una panoramica delle attività di ricerca svolte dagli uffici valanghe nel settore.

> Anselmo Cagnati Direttore Responsabile

# La variabilità spaziale degli strati deboli come possibile fattore d'innesco della frattura da trazione nei lastroni **VARIABILITÀ SPAZIALE degli STRATI DEBOLI**

Johan Gaume WSL Istituto per lo studio della neve e delle valanghe SLF, Davos, Svizzera Corr.: gaume@slf.ch

Guillaume Chambon, Nicolas Eckert, Mohamed Naaim IRSTEA, Grenoble, Francia

La valutazione della posizione della frattura per trazione nei lastroni rappresenta un aspetto importante ai fini della valutazione dell'estensione delle zone di distacco delle valanghe e dunque per la valutazione del rischio. Nel presente studio viene simulato, utilizzando un metodo stocastico degli elementi finiti, un modello statistico meccanico del sistema lastrone-strato debole che tiene conto della variabilità spaziale degli strati deboli, delle ridistribuzioni delle sollecitazioni per elasticità del lastrone e della possibile frattura del lastrone per trazione. Nell'ambito delle simulazioni si distinguono due tipologie di distacchi valanghivi: (1) distacchi su tutto il pendio, per i guali viene simulato il distacco sull'intero pendio e in cui l'eterogeneità non è sufficiente ad innescare una rottura da trazione all'interno del lastrone; (2) distacchi parziali sul pendio, per i quali la rottura per trazione avviene all'interno del lastrone a causa dell'eterogeneità, di modo che si verifica il distacco su una sola parte del pendio. Viene presentata la proporzione di queste due tipologie di distacchi in funzione dei diversi modelli di parametri ricavati dalle simulazioni con elementi finiti. Uno dei risultati principali è che, in presenza di una resistenza alla trazione del lastrone maggiore della coesione media dello strato debole, tutti i distacchi sembrano verificarsi sull'intero pendio, il che giustifica la maggiore influenza che hanno le caratteristiche topografiche e morfologiche, ad esempio rocce, alberi, curvatura del pendio, cresta e manto nevoso eterogeneo, come spesso riportato in letteratura.



### INTRODUZIONE

Le procedure di mappatura del rischio valanghe hanno visto la crescente diffusione di modelli statistico-deterministici combinati per la valutazione della distanza d'arresto e delle distribuzioni delle pressioni massime in un qualsiasi punto della zona d'accumulo (Barbolini et al., 2000; Naaim et al., 2003; Ancey et al., 2004, Eckert et al., 2007a; Eckert et al., 2008 e Eckert et al., 2010). Questi modelli combinati richiedono il volume di distacco come dato di input, dato dalla combinazione tra spessore e area del distacco.

Riguardo la valutazione della profondità di distacco, vi sono già delle tecniche empiriche (linee guida svizzere: Salm et al., 1990) e, più recentemente, un modello statistico-meccanico combinato è stato proposto da Gaume et al., (2012, 2013) prendendo in esame fattori sia meccanici che meteorologici in un contesto probabilistico.

D'altra parte, la posizione ed ampiezza della zona di distacco sono stati oggetto di scarsi studi. Maggioni et al., (2002) e Maggioni e Gruber (2003), hanno preso in esame un database ben documentato di eventi valanghivi rispetto a diverse caratteristiche topografiche e hanno dimostrato come l'angolo medio del pendio, la curvatura e la distanza dalla cresta siano i parametri più importanti che vanno ad influire sulla distribuzione dei distacchi valanghivi. Failletaz et al., (2006), Fyffe e Zaiser (2004, 2007) hanno invece utilizzato approcci di tipo *automa cellulare*  (*cellular-automata*) per calcolare le distribuzioni delle aree di distacco delle valanghe. Questi modelli includono una fonte di variabilità stocastica, quale ad esempio l'eterogeneità delle proprietà meccaniche degli strati deboli. È interessante notare che questi modelli, in talune condizioni, sono in grado di riprodurre le distribuzioni a legge di potenza osservate mediante misurazioni sul campo (McClung, 2003, Failletaz et al., 2004).

Il nostro obiettivo è di utilizzare un modello probabilistico meccanico messo a punto in una fase precedente (Gaume et al., 2012, 2013) in modo da analizzare i parametri che influiscono sulla posizione della rottura per trazione dei lastroni e, dunque, sull'ampiezza della zona di distacco.

In un primo paragrafo, vengono richiamate le caratteristiche principali del modello e vengono illustrati i cambiamenti effettuati rispetto alle sue versioni precedenti. Nel secondo paragrafo, vengono estrapolate e presentate due tipologie di rottura. Infine, nel terzo paragrafo, viene quantificata l'influenza che l'eterogeneità degli strati deboli e la resistenza alla trazione dei lastroni esercitano sulla posizione della rottura per trazione nel lastrone.

### PRESENTAZIONE DEL MODELLO

In questo studio viene utilizzato il modello statistico meccanico proposto da Gaume et al., 2013. Ricordiamo qui le sue caratteristiche principali.



Il sistema simulato consiste in un pendio uniforme costituito da un lastrone e da uno strato debole di 50 m di lunghezza. Le simulazioni vengono effettuate utilizzando il codice ad elementi finiti Cast3m in 2D (condizioni di sollecitazione piana). La gravità è la sola forza esterna applicata ed il sistema viene caricato incrementando progressivamente l'angolo del pendio  $\theta$  fino al verificarsi della rottura.

Il cambiamento principale rispetto al modello di Gaume et al., 2013 riguarda la legge costitutiva del lastrone. Per prendere in esame la possibile frattura per trazione del lastrone, si ricorre alla legge di elasticitàfragilità. Il modulo di Young del lastrone è E = 1 MPa, il coefficiente di Poisson v = 0,2 e la densità  $\rho$ =250 kg·m<sup>-3</sup>.

La resistenza alla trazione del lastrone viene indicata con il simbolo  $\sigma_{T}$  e viene fatta variare tra 500 e 2000 Pa.

Lo strato debole viene modellato come un'interfaccia quasi-fragile (assorbimento delle sollecitazioni) con un criterio di rottura Mohr-Coulomb caratterizzato da una coesione c e da un coefficiente d'attrito  $\mu$ =tan 30°. L'eterogeneità spaziale dello strato debole viene rappresentata attraverso una distribuzione stocastica della coesione *c* con una funzione di covarianza sferica della lunghezza di correlazione  $\varepsilon$ . La coesione media viene indicata come < *c* > e la sua deviazione standard complessiva  $\sigma_c$ .

Oltre a consentire la valutazione delle distribuzioni delle profondità del distacco valanghivo, questo modello ha permesso di attestare un effetto di mitigazione dell'eterogeneità causata dalla ridistribuzione delle sollecitazioni dovuta all'elasticità del lastrone e caratterizzato dal rapporto tra lunghezza di correlazione  $\varepsilon$  ed una tipica scala di lunghezza del sistema associata ad effetti elastici (vedere Gaume et al., 2012, 2013).

### TIPOLOGIE DI DISTACCO

Nelle simulazioni si è distinto tra due tipologie di distacchi valanghivi:

(1) distacco sull'intero pendio, per il quale il distacco simulato si verifica sull'intero pendio senza che vi sia rottura per trazione all'interno del lastrone (Fig. 1a); (2) distacco parziale sul pendio, per il quale la rottura per trazione si verifica all'interno del lastrone, così che si ha il distacco solo di una parte del pendio (Fig. 1b). È comunque importante sottolineare che, per entrambe le tipologie di distacco, il processo di rottura primario osservato è sempre la rottura da taglio del lastrone debole. La rottura del lastrone, guando si verifica, rappresenta in modo sistematico un processo secondario. Nel caso di distacco sull'intero pendio, il grado di eteroqeneità non è sufficiente ad innescare una rottura da trazione all'interno del lastrone. La rottura da taglio basale nello strato debole si propaga così fino alla condizione al contorno superiore, che può essere vista come un punto d'ancoraggio o un'area di elevata concentrazione di sollecitazioni da trazione al cui interno può avvenire la rottura del lastrone per trazione (Fig. 1a). Ricollocata nel contesto di pendii valanghivi naturali, tale condizione al contorno può rappresentare una caratteristica morfologica forte suscettibile di innescare la rottura da trazione (creste, rocce, alberi, area convessa locale, ecc.).

Al contrario, nel caso di distacchi parziali sul pendio, le variazioni di coesione nello strato debole sono sufficienti a generare la rottura da trazione all'interno del sistema. La presenza di zone locali forti può arrestare in maniera efficace la progressione della rottura basale, e così l'eccesso di sollecitazione viene ridistribuito nel lastrone, generando l'apertura per trazione dello stesso.

### **RISULTATI**

Nel presente paragrafo vengono presentati i risultati in termini di probabilità di distacco parziale sul pendio, anche chiamata probabilità di rottura per trazione e indicata con  $P_{tf_i}$  in funzione dei seguenti parametri del modello: resistenza alla trazione  $\sigma_T$ , lunghezza di correlazione  $\varepsilon$ , spessore del lastrone *h*. In un primo stadio, la coesione media e la deviazione standard vengono mantenute fisse (< *c* > = 1 kPa,  $\sigma_c$ =300 Pa).



Fig. 1 - Diagramma rappresentante le due tipologie di frattura osservate nelle simulazioni. (a) Distacco sull'intero pendio: sulla posizione della rottura da trazione del lastrone influiscono le caratteristiche morfologiche (rocce, alberi, cresta, curvatura, ecc.). (b) Distacco parziale sul pendio: l'eterogeneità locale è sufficiente ad innescare la rottura da trazione all'interno del lastrone. La parte colorata in rosso dello strato debole rappresenta una zona locale di notevole resistenza al taglio. Le curve blu illustrano l'eterogeneità della differenza di sollecitazione di taglio tra due elementi adiacenti  $\Delta_{T}$ , mentre la linea tratteggiata rappresenta la resistenza alla trazione  $\sigma_{T}$ .

Fig. 2 - Probabilità di rottura per trazione del lastrone P++ all'interno del sistema simulato (distacco su pendio parziale) in funzione della resistenza alla trazione  $\sigma_{\tau}$  per diversi valori di  $\mathcal{E}$  ed uno spessore del lastrone costante h=1 m che rappresenta le due tipologie di frattura osservate nelle simulazioni. Le curve raffigurano la rettifica data dal modello statistico presentato.

### Influenza della resistenza alla trazione

600

 $\triangle$  FEM:  $\varepsilon = 0,5$  m  $\triangle$  FEM:  $\varepsilon = 3,5$  m

800

 $\square$  FEM:  $\epsilon = 5 \text{ m}$ 

1000

Resistenza alla trazione  $\sigma_T$  (Pa)

1200

fit:  $\varepsilon = 2 \text{ m}$ 

0

0

400

 $\nabla$  FEM:  $\epsilon = 2 \text{ m}$ 

La Fig. 2 rappresenta la probabilità di rottura da trazione  $P_{tf}$ all'interno del sistema in funzione della resistenza alla trazione  $\sigma_T$  per diversi valori della lunghezza di correlazione  $\varepsilon$  ed uno spessore costante del lastrone h=1m. l valori di resistenza alla trazione vengono fatti variare da 0,5 e 1,5 kPa.

fit:  $\varepsilon = 0,5$  m — fit:  $\varepsilon = 3,5$  m

1400

\_\_\_\_\_ fit: ε = 5 m

1600

Come previsto, questa probabilità diminuisce con la resistenza alla trazione  $\sigma_T$ dal 100 % allo 0 %. La velocità di decrescita e i valori di resistenza alla trazione a 0 e 100 % dipendono dalla lunghezza di correlazione  $\varepsilon$ .

### Influenza della lunghezza di correlazione

L'influenza della lunghezza di correlazione  $\varepsilon$  si nota anche nella Fig. 2. Più  $\varepsilon$  è elevato, più lentamente scende la probabilità con  $\sigma_{7}$ . Inoltre, per valori di resistenza alla trazione costanti,  $P_{tf}$ generalmente decresce con  $\varepsilon$ . Il valore di  $\sigma_{7}$  per  $P_{tf}$ = 100 % decresce al crescere della lunghezza di correlazione, mentre sul valore per  $P_{tf}$ = 0 %  $\varepsilon$  non influisce quasi per nulla.

### Influenza dello spessore del lastrone

La Fig. 3 illustra la probabilità di rottura per trazione  $P_{tf}$  in funzione di h per diversi valori di resistenza alla trazione ed una lunghezza di correlazione costante  $\varepsilon$  =0,5 m.

Per  $\sigma_T$  < 0,75 kPa,  $P_{tf}$  è all'incirca pari allo 0% per  $\sigma_T$  > 1,5 kPa. Per valori intermedi di  $\sigma_T$ ,  $P_{tf}$  scende da h=0,5 m a h=2 m.

Una singola simulazione per h=0,25 m è stata eseguita anche per  $\sigma_T=1$  kPa per confermare l'incremento di  $P_{tf}$  con h per h < 0,5 m, che verrà evidenziata nel modello statistico illustrato nel prossimo paragrafo.

UN MODELLO STATISTICO SEMPLICE

Allo scopo di valutare la proporzione tra

due tipologie di distacchi, è possibile definire la probabilità che la sollecitazione di trazione  $\sigma_{xx}$  nel lastrone sia superiore alla resistenza alla trazione  $\sigma_T$ . È stato dimostrato che una condizione necessaria per il distacco di lastroni è la rottura primaria da taglio del lastrone debole.

Si assume dunque che questa probabilità  $P(\sigma_{xx} > \sigma_T)$  sia uguale a  $P(\Delta_T > \sigma_T)$ , che è la probabilità che la differenza di sollecitazione di taglio  $\Delta_T$  tra due elementi adiacenti dello strato debole superi la resistenza alla trazione  $\sigma_T$ .

La differenza di sollecitazione al taglio  $\Delta_7$  è legata all'eterogeneità di coesione degli strati deboli.

A causa del carattere gaussiano dell'eterogeneità degli strati deboli, si assume che anche  $\Delta_T$  segua una legge delle medie gaussiana  $< \Delta_T >$  e la deviazione standard  $\sigma_{\Delta_T}$ .

Con quest'ultimo assunto, è possibile calcolare in modo analitico la probabilità di eccedenza  $P(\Delta_T > \sigma_T)$ . Questa viene data da:

$$P(\Delta_{T} > \sigma_{T}) = 1 - \frac{1}{2} \left[ 1 + \operatorname{erf}\left(\frac{\sigma_{T} - \langle \Delta_{T} \rangle}{\sqrt{2\sigma_{\Delta T}}}\right) \right] (1)$$

Tale equazione è stata rettificata in base ai risultati ottenuti con gli elementi finiti, cioè all'evoluzione di  $P_{tf}$  con  $\sigma_7$  per diversi valori di  $\varepsilon$  (Fig. 2, linee continue) e all'e-



voluzione di  $P_{tf}$  con  $\sigma_T$  per diversi valori di h (non rappresentati). I due parametri  $<\Delta_T>$ e  $\sigma_{\Delta_T}$ sono così stati valutati in funzione di *h* ed  $\varepsilon$ . Di conseguenza, guesto modello consente di prevedere la proporzione tra le due tipologie osservate per tutti i valori dei parametri. Per esempio, in Fig. 3 è stata raffigurata in forma di linee continue l'evoluzione completa di questa proporzione per diversi valori di spessore del lastrone. La concordanza con i punti dati FEM è eccellente. In particolare, il modello è stato calibrato utilizzando solo valori di h > 0,5 m. L'incremento di  $P_{tf}$  tra 0 e 0,5 m è stato dunque prima previsto dal modello, e successivamente confermato da un'ulteriore simulazione FEM condotta per h=0,25 m.

Ne consegue che questo modello semplice è in grado di riprodurre con un buon grado di precisione la proporzione relativa dei distacchi su pendio interi e parziali.

### DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Sono state presentate due differenti tipologie di distacco osservate nelle nostre simulazioni. (1) I distacchi sull'intero pendio sono influenzati dalla morfologia del percorso e/o dalle variazioni del manto nevoso, dal momento che la sola eterogeneità non è sufficiente ad innescare una rottura da trazione. Per esempio la rottura da trazione sarà molto sensibile alla presenza di alberi, rocce, creste e curvatura locale. (2) I distacchi parziali, per i quali le variazioni locali della coesione degli strati deboli sono sostanziali e possono da sole innescare la frattura per trazione nel lastrone. È importante osservare che, per entrambe le tipologie di distacco, il processo di rottura primaria osservato è sempre la rottura basale da taglio dello strato debole. Dunque la rottura del lastrone costituisce sistematicamente un processo secondario.

È stato dimostrato come la proporzione tra queste due tipologie dipenda notevolmente dai parametri del modello quali: resistenza alla trazione  $\sigma_{T}$ , spessore del lastrone *h*, lunghezza di correlazione  $\varepsilon$ e, più probabilmente, da altri parametri

Fig. 3 - Probabilità di rottura per trazione del lastrone  $P_{tf}$  con il sistema simulato (distacco su pendio parziale) in funzione dello spessore del lastrone h per diversi valori della resistenza alla trazione  $\sigma_{T}$  ed una lunghezza di correlazione costante  $\mathcal{E} = 0,5$  m. Le curve raffigurano la rettifica data dal modello statistico presentato. che non sono stati modificati nel presente studio, come ad esempio la coesione media < c > e la deviazione standard della coesione  $\sigma_c$ . Inoltre, è stato presentato un modello statistico semplice in grado di riprodurre la proporzione tra tipologie di distacchi in funzione dei parametri del modello. Due illustrazioni di questo modello semplice sono riportate in Fig. 1. Nel primo caso (Fig. 1a), la differenza di sollecitazione di taglio  $\Delta_T$  è sempre inferiore alla resistenza alla trazione  $\sigma_T$ .

La frattura basale si propaga così nell'intero sistema fino alla condizione al contorno superiore, che è una zona ad elevata concentrazione di sollecitazioni di trazione. Questa zona può essere identificata in una cresta, una roccia, un albero o una curvatura locale. Nel secondo caso (Fig. 1b), una zona locale di sostanziale differenza di sollecitazione da taglio  $\Delta_T$ , a seguito di forti variazioni della coesione genera una frattura da trazione locale all'interno del lastrone, poiché  $\Delta_T > \sigma_T$ .

E' stato dimostrato che per valori di  $\sigma_T$ più elevati della coesione media < c >=1kPa (in questo caso) i distacchi avvengono quasi sempre sull'intero pendio e di conseguenza sono controllati dalla morfologia del percorso.

Ricordiamo che i valori di resistenza alla

trazione ricavati dai test di laboratorio appaiono essere in generale più elevati di 1 kPa (Jamieson e Johnston 1990, Sigrist 2006) anche con tecniche diverse di misurazione, mentre i valori di resistenza al taglio degli strati deboli sono tipicamente inferiori a 1kPa.

Ciò denota, per valori realistici dei parametri meccanici, la notevole influenza che la morfologia e la topografia del pendio hanno sulla posizione della frattura da trazione del lastrone e quindi sull'ampiezza della zona di distacco.

Questo effetto è ulteriormente amplificato quando lo spessore del lastrone è elevato rispetto alla lunghezza di correlazione e l'elasticità tende ad attenuare l'influenza dell'eterogeneità.

Una conclusione di questo tipo corrobo-

ra e apporta una qualche giustificazione di tipo meccanico ai risultati raccolti da Maggioni e Gruber 2003, che hanno analizzato l'influenza che le caratteristiche morfologiche del percorso esercitano sull'ampiezza della zona di distacco ricorrendo a un approccio statistico puramente basato sui dati, arrivando a concludere che la geometria locale gioca un ruolo dominante nella localizzazione e dimensione delle valanghe.

Dunque, in pratica, la zona di distacco dipende per lo più dalla topografia del pendio (curvatura locale, cresta, ecc.), o dalla presenza di rocce e alberi. Per esempio, la Fig. 4 mostra una tipica zona di distacco di una valanga a lastroni definita dalla cresta in corrispondenza del fronte e da rocce e alberi sui fianchi del pendio.



Fig. 4 - Dittico. Valanga innescata da uno snowboarder. L'area di distacco è definita dalla cresta alla corona e dalle rocce e alberi ai fianchi. Lato sinistro: prima dell'impatto dello snowboarder. Lato destro: dopo l'impatto. © Rémi Petit

### Bibliografia

Ancey, C, C Gervasoni and M Meunier, 2004. Computing extreme avalanches, Cold Reg. Sci. Technol., 39, 161–180.

Barbolini, M, U Gruber, C Keylock, M Naaim and F Savi, 2000. Application and evaluation of statistical and hydraulic-continuum dense-snow avalanche models to five real European sites, Cold Reg. Sci. Technol., 31(2), 133–149.

Eckert, N, M Naaim and E. Parent, 2010. Long-term avalanche hazard assessment with a Bayesian depth-averaged propagation model, J. Glaciol., 56(198), 563–586.

Eckert, N., E. Parent, M Naaim and D. Richard, 2008. Bayesian stochastic modelling for avalanche predetermination: from a general system framework to return period computations, SERRA, 22, 185–206.

Eckert, N, E. Parent and D. Richard, 2007. Revisiting statistical topographical methods for avalanche predetermination: Bayesian modelling for runout distance predictive distribution, Cold Reg. Sci. Technol., 49(1), 88–107.

Failletaz, J, F Louchet and J.R Grasso, 2004. Two-threshold model for scaling laws of noninteracting snow avalanches, Phys. Rev.Lett., 93(20), 208001.

Failletaz, J, F Louchet and J.R Grasso, 2006. Cellular automaton modelling of slab avalanche triggering mechanisms : from the universal statistical behaviour to particular cases, Proceedings of the ISSW, 174- 180.

Fyffe, B and M Zaiser, 2004. The effects of snow variability on slab avalanche release, Cold Reg. Sci. Technol., 40, 229–242. Fyffe, B and M Zaiser, 2007. Interplay of basal shear fracture and slab rupture in slab avalanche release, Cold Reg. Sci. Technol., 49, 2638.

Gaume, J., G. Chambon, N. Eckert and M. Naaim, 2013. Influence of weak-layer heterogeneity on snow slab avalanche release: Application to the evaluation of avalanche release depths., J.Glaciol., 59(215), 423-437

Gaume, J., G. Chambon, N. Eckert and M. Naaim, 2012. Relative influence of mechanical and meteorological factors on avalanche release depth distributions.,Geophys. Res. Lett., 39, L12401

Jamieson, B and C Johnston, 1990. In-situ tensile tests of snowpack layers, J. Glaciol., 36(122), 102–106.

Maggioni, M. and U Gruber, 2003. The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency, Cold Reg. Sci. Technol., 37, 407–419.

Maggioni, M., U. Gruber and M. Stoffel, 2002. Definition and characterisation of potential avalanche release areas, Proceedings of the ESRI Conference, San Diego.

McClung, D.M., 2003. Size scaling for dry snow slab release, J. Geophys. Res., 108(B10), 2465–2477. Naaim, Mohamed, T Faug and F Naaim-Bouvet, 2003. Dry granular flow modelling including erosion and deposition, Surveys in Geophysics, 24, 569–585.

Salm, B., A. Burkard and H. Gubler, 1990. Berechnung von fliesslawinen: eine anleitung für pratiker mit beispielen, Internal report EISLF (in German), 47.

Sigrist, C, 2006. Measurements of fracture mechanical properties of snow and application to dry snow slab avalanche release, (PhD thesis), ETHZ.

# IDENTIFICAZIONE degli STRATI DEBOLI

### Un approccio basato sulle differenze relative per identificare potenziali strati deboli all'interno di un profilo stratigrafico

Fabiano Monti, Jürg Schweizer WSL Istituto Neve e Valanghe SLF, Davos, Svizzera Corr.: monti@slf.ch

Ridurre la soggettività nel processo d'interpretazione dei profili stratigrafici ed incrementare la risoluzione spaziale e temporale delle informazioni disponibili sono due delle strade attualmente percorse per migliorare l'attività di previsione valanghe. In questi ultimi anni sono stati sviluppati diversi metodi semiquantitativi (per es. il Threshold Sum Approach, ossia il metodo della somma delle variabili critiche) allo scopo di riuscire a valutare in modo più oggettivo i profili stratigrafici. D'altro canto, la modellazione numerica, ad esempio, tramite il modello del manto nevoso 1-D SNOWPACK, ha la capacità di fornire informazioni sulla stratigrafia del manto nevoso anche in periodi e in aree in cui l'osservazione manuale è impossibile. In questo lavoro è stato perfezionato il metodo per l'interpretazione dei profili stratigrafici basato sulla somma delle variabili critiche (TSA). Le proprietà del manto nevoso prese in esame sono le stesse di quelle considerate con il metodo TSA (dimensione dei grani, tipologia, durezza, profondità, differenza di dimensione dei grani e durezza). Ogni variabile è stata trasformata in una quantità adimensionale e standardizzata all'interno del singolo profilo stratigrafico. Si sono quindi utilizzati valori e differenze relative per la localizzazione degli strati che hanno una maggiore probabilità di essere potenziali strati deboli. Tale metodo, denominato metodo della somma delle variabili relative (Relative Threshold Sum Approach, RTA) è stato, in primis, testato su dataset costituito da 107 profili manuali, raccolti vicino alle corone di frattura di valanghe o su pendii adiacenti a valanghe innescate da sciatori. Quindi, lo si è applicato a profili simulati con il modello 1-D SNOWPACK. Le caratteristiche dei potenziali strati deboli rilevati per mezzo dei metodi RTA e TSA sono state messe a confronto con le caratteristiche degli strati deboli identificati con i test di compressione in 83 profili manuali. Infine, si è verificato se le proprietà dei potenziali strati deboli e dei lastroni identificati con il metodo RTA all'interno dei profili simulati fossero legate alla stabilità della neve reale, verificata in giorni per i quali erano disponibili numerose osservazioni in situ. In generale, il metodo RTA si è dimostrato atto a identificare in modo soddisfacente i potenziali strati deboli sia nei profili manuali sia simulati. Abbinato al classico indice di stabilità dello sciatore, fornisce una stima della stabilità. il metodo RTA si è anche rivelato in grado di identificare i potenziali strati deboli simulati che hanno poi mostrato caratteristiche compatibili con la stabilità verificata su scala regionale. L'approccio proposto, basato sulle differenze relative, evita possibili incoerenze con le procedure di acquisizione dei dati, o ancora, differenze tra dati simulati e raccolti manualmente. Mentre il metodo RTA consente di identificare i potenziali strati deboli all'interno di un profilo stratigrafico, non fornisce però una stima assoluta della sua debolezza.



### INTRODUZIONE

Le informazioni sulla stratigrafia del manto nevoso sono essenziali per la previsione valanghe e le si considerano come i dati più importanti dopo le osservazioni dirette delle valanghe o i test di stabilità in situ (LaChapelle, 1980). L'interpretazione dei dati disponibili (p. es. profili stratigrafici) è soggettiva al punto che molti la considerano un'arte più che una scienza (Schweizer and Wiesinger, 2001). Ridurre il grado di soggettività nell'interpretazione dei profili stratigrafici riguardo all'instabilità è un obiettivo impegnativo e in questi ultimi anni sono stati proposti diversi metodi semiguantitativi.

Per esempio, il metodo della somma delle variabili critiche (TSA) presentato per la prima volta da Jamieson e Schweizer (2005) e affinato da Schweizer e Jamieson (2007) e Schweizer et al. (2008) stabilisce un procedimento obiettivo e semiquantitativo per dedurre l'instabilità della neve sulla base di un profilo stratigrafico.

Il metodo TSA identifica le discontinuità strutturali legate all'instabilità meccanica analizzando gli strati di neve e le loro proprietà interfacciali.

Sono stati individuati sei parametri della neve legati all'instabilità strutturale all'interno del manto nevoso (Schweizer e Jamieson, 2003); tre di essi fanno riferimento alle proprietà interfacciali (differenza di dimensione dei grani e differenza di durezza tra due strati adiacenti, e profondità dello strato), tre rappresentano proprietà dello strato specifico (dimensione dei grani, durezza e tipologia dei grani). Il fatto che una variabile superi il rispettivo valore soglia (Tab. 1), viene considerato come indicatore di potenziale instabilità. Gli svantaggi principali del metodo TSA sono la ridotta specificità (nonostante un'elevata sensibilità) (Winkler e Schwei-



Tab. 1 - Range critici delle variabili utilizzate per calcolare l'indice del TSA. Sono riportati i valori soglia utilizzati sia per i profili osservati che per quelli simulati.

	VALORE SOGLIA			
VARIADILE	Osservato	Simulato		
Dimensione dei grani nello strato di rottura (mm)	≥ 1.25	> 0.6		
Differenza nella dimensione dei grani (mm)	≥ 0.75	≥ 40%		
Differenza nella durezza	≥ 1.7	≥ 1.7		
Durezza nello strato di rottura	≤ 1.3	≤ 1.3		
Forma dei grani nello strato di rottura	persistente	persistente		
Spessore del lastrone o profondità dello strato di rottura (cm)	≤ 100	≤ 100		

zer, 2009) e il fatto di basarsi su valori di soglia assoluti (per es. differenza dimensione dei grani in corrispondenza dell'interfaccia  $\geq$  0,75 mm). Sebbene i valori di soglia assoluti siano stati statisticamente ottimizzati utilizzando un'ampia serie di dati che includono profili rilevati in climi diversi, essi sono in parte soggettivi, essendo condizionati dalle procedure di misurazione adottate.

Inoltre, prima che il metodo TSA possa essere utilizzato per interpretare il profilo stratigrafico simulato (per es. il modello 1-D SNOWPACK) i valori di soglia assoluti devono essere modificati in modo da poter determinare i corrispondenti range critici per le caratteristiche simulate (Monti et al., 2012a). Nel caso in cui parte della parametrizzazione del modello sia affinata, (per es. stima della durezza della neve) i valori soglia TSA devono essere egualmente rettificati (Monti et al., 2012b).

### OBIETTIVI

L'obiettivo di questo studio era definire un metodo per l'individuazione di potenziali strati deboli all'interno del manto nevoso. Abbiamo migliorato il metodo TSA trasformando ogni variabile in una quantità adimensionale, standardizzata all'interno del singolo profilo. Sono state utilizzate differenze e valori relativi per identificare la posizione degli strati che hanno una maggiore probabilità di altri di essere strati deboli. Il metodo della sommatoria delle variabili relative (RTA), rispetto al TSA, vuol essere meno sensibile alla soggettività intrinseca alle osservazioni manuali e più compatibile con i profili stratigrafici simulati ottenuti, per esempio, con il modello 1-D SNOWPACK. Abbiamo poi verificato se i potenziali strati deboli identificati all'interno dei profili simulati si potessero porre in relazione con la stabilità osservata.

### DATI

Per valutare la capacità del metodo RTA di individuare potenziali strati deboli, abbiamo verificato se fosse in grado di distinguere tra strati di rottura e non all'interno di 107 profili stratigrafici raccolti manual-



mente nelle immediate vicinanze delle linee di frattura di valanghe o su pendii adiacenti a valanghe innescate da sciatori. Abbiamo poi applicato il metodo RTA ai profili simulati relativi a due stazioni nivo-meteorologiche automatiche (AWS), Weissfluhjoch (2540 m s.l.m.) e Wannengrat (2440 m s.l.m.) nei pressi di Davos, Svizzera. Queste simulazioni sono state paragonate ai corrispondenti 83 profili stratigrafici osservati manualmente nelle aree di studio intorno alle due stazioni AWS dal 1999 al 2012.

I profili manuali sono affiancati da almeno un test di compressione (*compression test*, CT). In totale, sono stati individuati 180 strati di rottura mediante il test di compressione; solo per 129 di essi è stato specificato il carattere della frattura (van Herwijnen e Jamieson, 2007). In totale, 1790 strati osservati manualmente sono stati associati a 7926 strati simulati.

Infine, si sono utilizzate le simulazioni eseguite per quattro stazioni nivo-meteorologiche automatiche installate nei dintorni di Davos (Weissfluhjoch, 2540 m s.l.m., Gatschiefer 2310 m s.l.m., Hanengretji 2450 m s.l.m., e Bärentälli 2560 m s.l.m.) allo scopo di confrontare le informazioni simulate sulla stabilità della neve con la stabilità verificata del manto nevoso regionale in un periodo di 10 giorni nel corso degli inverni 2001–2002 e 2002–2003. Per l'analisi, i profili stratigrafici manuali sono stati suddivisi in tre classi di stabilità (scarsa, discreta, buona) accorpando due coppie delle cinque classi di stabilità proposte da Schweizer e Wiesinger (2001) (molto scarsa/scarsa e buona/molto buona).

In totale, si sono messi a confronto 33 profili simulati con le corrispondenti condizioni di stabilità regionale verificate.

### METODI Calcolo RTA

Proponiamo un metodo TSA riveduto per l'interpretazione del profilo stratigrafico. Le proprietà dello strato di neve considerate sono le stesse 6 variabili prese in esame con il metodo TSA (Tab. 1).

Non sono stati definiti valori soglia assoluti, ma le proprietà dello strato vengono analizzate in relazione con le proprietà del profilo disponibile. Ogni variabile è stata trasformata in una quantità adimensionale, ad esempio per la dimensione dei grani *E* dello strato *i*:

$$E_{RTA}^{i} = \frac{E' - m_{E}}{\sigma_{E}}$$
(1)

dove,  $E'_{RTA}$  è la dimensione relativa dei grani,  $E^i$  è la dimensione dei grani dello strato *i*,  $m_E$  è la misura media dei grani facenti parte del profilo, e  $\sigma_E$  è il corrispondente scostamento standard.

Il valore di dimensione relativa dei grani è stato poi trasformato in un indice con un range compreso tra 0 e 1 ([ $E_{RTA}^{min}$ ,  $E_{RTA}^{max}$ ] a [0,1]):

$$l_E^i = \frac{E_{RTA}^i - E_{RTA}^{min}}{E_{RTA}^{max} - E_{RTA}^{min}}$$
(2)

Il punteggio per ogni variabile di stabilità

strutturale viene assegnato al rispettivo strato di neve così come indicato per il metodo TSA in Monti et al. (2012a). Infine, sommando le 6 variabili relative si ottiene l'indice del metodo di somma delle variabili relative (RTA) per un determinato strato *i*, l'indice viene poi nuovamente trasformato in un range compreso tra 0 e 1 (Fig. 1).

### RTA applicato ai profili simulati

A differenza del metodo TSA, il metodo RTA non richiede alcuna correzione prima che possa essere applicato a caratteristiche del manto nevoso simulate. Per verificare se il metodo RTA fornisce risultati indicativi quando applicato a profili simulati, abbiamo messo a confronto gli strati di rottura individuati all'interno dei profili manuali mediante test di compressione (CT) con i potenziali strati deboli identificati dal RTA all'interno delle simulazioni. Per compiere il raffronto in modo oggettivo, gli strati deboli potenziali rilevati nei profili osservati sono stati confrontati con gli strati simulati posti approssimativamente alla stessa profondità (è stato adattato il metodo proposto da Lehning et al. (2001)). Secondo tale metodo, per prima cosa, viene azzerata la differenza di altezza tra i due profili modificando lo spessore della stratigrafia simulata; ai fini della mappatura è stato poi calcolato un range di profondità intorno al potenziale strato debole; all'interno di questo range sono stati ricercati i corrispondenti strati dei profili manuali.

Fig. 1 - Profili stratigrafici manuali (a, b, c) associati al test del blocco di slittamento (RB test). Per ogni profilo è mostrato un profilo rilevato con il test della mano, completato con i colori associati ai valori indice forniti dal metodo della somma delle variabili relative (RTA) Viene inoltre riportato il numero di variabili nel rispettivo range critico determinato con il metodo della somma delle variabili critiche (TSA); un'interfaccia viene considerata potenzialmente instabile se 5 o 6 variabili ricadono nel rispettivo range critico (in rosso). L'indice RTA riesce a identificare potenziali strati deboli sia nei manti nevosi generalmente bene (b, c) e sia in quelli scarsamente (c) consolidati. Nel caso di profili perlopiù deboli, il metodo RTA non evidenzia diversi falsi strati potenzialmente critici, come invece avviene con il metodo TSA (a).

Fig. 2 - Profili RTA e SK38. Gli strati con valore dell'indice RTA superiore a 0.8 (linea rossa) sono stati classificati come potenzialmente instabili (in questo caso 3 strati. a 178 cm, 172 cm e 137 cm). La stabilità di questi strati è stata poi valutata in base all'indice SK38 (linea azzurra). In questo caso, lo strato a 178 cm presenta un valore SK38 inferiore a 1 ed è classificato come instabile.

Per effettuare un confronto oggettivo, gli strati potenzialmente deboli rilevati nei profili osservati sono stati correlati con gli strati presenti nelle simulazioni ad un'analoga profondità, adottando il metodo proposto da Lehning et al. (2001). In guesta procedura, preliminarmente le differenze nell'altezza della neve sono state rimosse allungando o restringendo la stratigrafia calcolata; successivamente, ai fini del plottaggio, è stata calcolata una gamma di ampiezza attorno allo strato debole potenziale; entro questa gamma sono stati cercati manualmente gli strati corrispondenti. Abbiamo poi ricercato nel manto nevoso simulato i punti di debolezza rilevati mediante il metodo RTA intorno alla profondità dello strato di rottura individuato con CT. Per l'analisi abbiamo operato una distinzione tra strati caratterizzati da collasso improvviso (sudden collapse,SC) e rimanenti tipi di frattura (van Herwijnen e Jamieson, 2007).

### Stima della stabilità sulla base di un manto nevoso simulato

Il metodo RTA, sia se applicato a profili manuali che simulati, non fornisce una

stima della stabilità del manto nevoso, ma individua soltanto gli strati all'interno di un profilo che sono da considerarsi potenzialmente deboli da un punto di vista strutturale. Nel modello di simulazione numerica del manto nevoso SNOWPACK, sono già implementati alcuni parametri meccanici o strutturali atti alla localizzazione di potenziali strati deboli e alla valutazione della loro resistenza (p.es. Durand et al. 1999; Lehning et al., 2004). Uno degli indici di stabilità forniti dal modello è l'indice di stabilità dello sciatore SK38, proposto da Föhn (1987) e rifinito da Jamieson and Johnston (1998).

Tutti gli strati aventi un indice RTA superiore a 0,8 sono stati selezionati come potenziali strati deboli e si è quindi valutata la loro stabilità utilizzando il valore corrispondente di SK38. Abbiamo dunque classificato come potenzialmente instabili tutti gli strati con valore SK38 inferiore a 1 (Fig. 2).

### **RISULTATI**

Abbiamo voluto verificare se l'indice RTA fosse in grado di distinguere, all'interno di profili manuali esequiti su pendii instabili, gli strati di rottura (n = 138) dagli altri strati (Fig. 3).

Il metodo RTA ha mostrato maggiore efficacia del metodo TSA nel discriminare tra strati di rottura e non. Ponendo 0,8 come valore soglia, RTA ha evidenziato una sensibilità di 0,85 ed una specificità di 0,89 (rispettivamente 0,67 e 0,86 per il metodo TSA).

Per verificare se il metodo RTA possa essere applicato in modo appropriato al manto nevoso simulato, per ogni strato di rottura individuato in un profilo manuale con il CT (n=180), si è ricercato un corrispondente potenziale strato debole nel profilo simulato. Ancora una volta il metodo RTA ha mostrato di saper distinguere tra strati di rottura e non (Fig. 4).

Prendendo in esame gli strati deboli identificati tramite CT caratterizzati da tutte le tipologie di frattura e utilizzando 0,8 come valore soglia per l'indice RTA, i metodi RTA e TSA hanno evidenziato un grado di sensibilità analogo (POD=0,48); migliori risultati si sono ottenuti quando si sono presi in esame solo gli strati deboli con tipologia di frattura SC (n=15): sensibilità per RTA 0,73 e 0,8 per TSA;





specificità 0,89 per RTA e 0,86 per TSA. Infine, si sono messi a confronto i risultati di stabilità del modello SNOWPACK, ottenuti dall'abbinata RTA e SK38, con la stabilità regionale osservata (verificata) (n=33). Su 12 casi associati a stabilità regionale classificata come "scarsa", 11 sono stati correttamente previsti dal modello. 9 su 10 casi di stabilità regionale classificata come "discreta" sono invece stati classificati come "scarsa" dal modello. Infine, il modello ha classificato correttamente come "buona" la stabilità in 8 casi su 11.

### CONCLUSIONI

Abbiamo proposto una versione perfezionata del metodo TSA per l'interpretazione del profilo stratigrafico .

Tale metodo, chiamato della somma delle variabili relative (RTA), ha evidenziato di saper distinguere efficacemente, all'interno di un determinato profilo manuale, tra gli strati deboli e non.

Il metodo RTA consente di identificare potenziali strati deboli all'interno di un profilo, ma non fornisce una stima assoluta della loro debolezza.

Il miglioramento rispetto al metodo della somma delle variabili critiche (TSA) è evidente, in particolare in termini di accresciuta specificità.

L'approccio RTA si può applicare alla stratigrafia simulata del manto nevoso (per es. modello SNOWPACK) senza la necessità di ulteriori tarature. I risultati ottenuti con il manto nevoso simulato sono comparabili a quelli che si ottengono con il TSA, ma con il vantaggio di non utilizzare valori soglia assoluti (da ricorreggere nel caso di futuri miglioramenti del modello). L'accoppiamento del metodo RTA all'indice di stabilità dello sciatore (SK38) è stato utilizzato per fornire una stima della stabilità. Pur con un limitato numero di profili di stabilità osservati, le classi di stabilità "scarsa" e "discreta" sono state differenziate in modo appropriato dalla classe di stabilità "buona".

I risultati sono incoraggianti e mostrano che il manto nevoso simulato può essere utilizzato per derivare la stabilità della neve.





### **Bibliografia**

Durand, Y., Giraud, G., Brun, E., Mérindol, L. and Martin, E., 1999. A computer-based system simulating snowpack structures as a tool for regional avalanche forecasting. J. Glaciol., 45(151): 469-484.

Föhn, P.M.B., 1987. The stability index and various triggering mechanisms. In: B. Salm and H. Gubler (Editors), Symposium at Davos 1986 - Avalanche Formation, Movement and Effects, IAHS Publ., 162. International Association of Hydrological Sciences, Wallingford, 0xfordshire, U.K., pp. 195–214.

Jamieson, J.B. and Johnston, C.D., 1998. Refinements to the stability index for skiertriggered dry slab avalanches. Ann. Glaciol., 26: 296–302.

Jamieson, J.B. and Schweizer, J., 2005. Using a checklist to assess manual snow profiles. Avalanche News, 72: 57-61.

LaChapelle, E.R., 1980. The fundamental process in conventional avalanche forecasting. J. Glaciol., 26 (94): 75–84.

Lehning, M., Fierz, C., Brown, R.L. and Jamieson, J.B., 2004. Modeling instability for the snow cover model SNOWPACK. Annals of Glaciology, 38: 331-338.

Lehning, M., Bartelt, P., Brown, R.L., Russi, T., Stöckli, U. and Zimmerli, M., 1999. Snowpack model calculations for avalanche warning based upon a new network of weather and snow stations. Cold Reg. Sci. Technol., 30(1-3): 145-157.

Lehning, M., Fierz, C. and Lundy, C., 2001. An objective snow profile comparison method and its application to SNOWPACK. Cold Reg. Sci. Technol., 33(2-3): 253-261. Monti, F., Cagnati, A., Valt, M. and Schweizer, J., 2012a. A new method for visualizing snow stability profiles. Cold Reg. Sci. Technol., 78: 64-72.

Monti, F.,Schweizer, J., and Fierz, C., 2012b. Weak layer detection in simulated snow stratigraphy. Proceedings International Snow Science Workshop, Anchorage, Alaska state, USA, pp. 16-21 September 2012: 92-97.

Schweizer, J. and Jamieson, J.B., 2007. A threshold sum approach to stability evaluation of manual snow profiles. Cold Reg. Sci. Technol., 47(1-2): 50-59.

Schweizer, J. and Jamieson, J.B., 2003. Snowpack properties for snow profile analysis. Cold Reg. Sci. Technol., 37 (3): 233-241.

Schweizer, J. and Wiesinger, T., 2001. Snow profile interpretation for stability evaluation. Cold Reg. Sci. Technol., 33(2-3): 179-188.

Schweizer, J., McCammon, I., Jamieson, J.B., 2008, Snowpack observations and fracture concepts for skier-triggering of dry-snow slab avalanches. Cold Reg. Sci. Technol., 51(2–3),: 112–121

Van Herwijnen, A. and Jamieson, J.B., 2007. Fracture character in compression tests. Cold Reg. Sci. Technol., 47(1-2): 60-68.

Winkler, K. and Schweizer, J., 2009. Comparison of snow stability tests: Extended column test, rutschblock test and compression test. Cold Reg. Sci. Technol., 59(2-3): 217-226 Fig. 3 - Indice RTA e TSA per strati di rottura e non, identificati con il test del blocco. Le due distribuzioni si sono rivelate statisticamente diverse (U-test Mann-Whitney non parametrico p<0,001).

I riquadri includono lo scarto interquartile dal primo al terzo quartile con una linea orizzontale che evidenzia la mediana. Le tacche in corrispondenza della mediana denotano l'intervallo di confidenza (p < 0,05). I "baffi" evidenziano il range dei valori osservati che cadono in 1,5 volte sopra e sotto lo scarto interquartile.

Fig. 4 - Indici RTA e TSA per strati simulati di rottura e non, corrispondenti agli strati deboli individuati nei profili manuali mediante test di compressione (CT). Le differenze osservate tra le distribuzioni sono state giudicate statisticamente significative (test U, p<0.001).

# L'ENERGIA TERNICA Nelle VALANGHE

### Walter Steinkogler, Michael Lehning

WSL Istituto per lo studio di neve e valanghe SLF, Davos Dorf, Svizzera CRYOS, School of Architecture, Civil and Environmental Engineering, EPFL, Losanna, Svizzera Corr.: steinkogler@slf.ch

> Betty Sovilla, Tobias Jonas WSL Istituto per lo studio di neve e valanghe SLF, Davos Dorf, Svizzera

Le valanghe sono caratterizzate da diversi regimi di flusso, da quelli delle valanghe polverose a quelli delle valanghe di neve bagnata. I regimi di flusso sono ampiamente controllati dalle proprietà della neve rilasciata al distacco e raccolta lungo il percorso della valanga. Recenti studi hanno dimostrato come la temperatura della neve in movimento sia uno dei principali fattori che influiscono sulla mobilità del flusso. La temperatura di una valanga è determinata dalla temperatura della neve rilasciata al distacco ed erosa lungo il percorso e cresce con il tempo per l'azione dei processi di attrito e collisione. Scopo del presente studio è quello di indagare il bilancio termico di una valanga. Si è fatto uso della tecnica della termografia agli infrarossi per valutare la temperatura superficiale prima, durante e subito dopo la discesa di una valanga con un'elevata risoluzione spaziale. I profili di temperatura della neve rilevati manualmente lungo il percorso della valanga e nell'area di deposito hanno consentito di quantificare la temperatura degli strati di neve erosi e depositati lungo il percorso. Questa serie di dati consente di calcolare il bilancio termico di una valanga, dal momento del distacco al deposito, nonché di prendere in esame le grandezze delle diverse fonti di energia termica nelle valanghe.



### INTRODUZIONE

È noto che le valanghe possono presentare diversi regimi di flusso (Gauer et al., 2008) ed il trasporto di massa non è l'unico fattore che determina la forma del flusso della valanga (Bartelt et al., 2012). Dati raccolti presso il sito sperimentale Vallée de la Sionne, in Svizzera, hanno infatti rivelato che valanghe diverse si possono formare con condizioni iniziali simili e sullo stesso percorso valanghivo sulla base delle proprietà intrinseche del manto nevoso.



Fig. 1 - Sito sperimentale

al Flüelapass vicino a

contorno della valanga.

Le crocette colorate indicano le ubicazioni

dei profili stratigrafici

manuali

Davos, Svizzera. La linea rossa indica il Di recente è stato dimostrato che la temperatura della neve all'interno di una valanga può mutarne in modo significativo le dinamiche di flusso (Naaim and Durand, 2012, Steinkogler et al., 2013).

Potenziali fonti di energia termica sono i processi di attrito e l'erosione di neve più calda lungo il percorso della valanga (Vera et al., 2012).

Misurare la temperatura all'interno di una valanga radente o all'interno del suo deposito si è rivelato difficile a causa di vincoli tecnici o per l'impossibilità di eseguire le misurazioni per ragioni di sicurezza. Oltre ai profili stratigrafici manuali, si è dunque presa in esame la potenziale

applicazione della tecnologia basata sulla termografia a raggi infrarossi (IRT) al campo delle dinamiche valanghive.

La tecnologia IRT è stata applicata a molti problemi di ricerca criosferica, come ad esempio la misurazione della temperatura della neve lungo i profili stratigrafici (Shea and Jamieson, 2011).

È noto che la tecnologia IRT presenta molte complessità tecniche e carenze riguardo alla sua applicazione nel campo della nivologia, come per es. l'angolo di vista fotografico (Dozier and Warren, 1982), tuttavia negli ultimi tempi si è discusso su molte possibili applicazioni in campo nivologico (Schimer and Jamieson, 2013).

### **METODI E DATI**

Nell'inverno 2012/13 sono state provocate diverse valanghe artificiali presso il sito sperimentale Flüelapass vicino a Davos, in Svizzera.

In questa sede viene presa in esame una valanga estrapolata da questo database. Il pendio, con esposizione nordest, ha una dislivello di 600 metri e i depositi delle valanghe di maggiori dimensioni solitamente raggiungono il lago ubicato a 2374 m s.l.m. (Fig. 1).

Osservazioni e misurazioni a distanza si possono eseguire in tutta sicurezza da una strada vicina. L'angolo di inclinazione del pendio varia dai 50° della parete rocciosa sulla sommità ai 20° in corrispondenza dell'inizio dell'area di arresto, con una media di 30° per il pendio aperto intorno ai 2600 m s.l.m..

In tutti gli esperimenti, con l'uso di esplo-



sivi è stato provocato il distacco di cornici sulla cresta, a 2900 m s.l.m..

Il contributo apportato dalle cornici alla massa nevosa è solitamente relativamente modesto se confrontato con la massa di neve trascinata lungo il pendio aperto sottostante.

Inoltre, si assume che la neve trasportata nei canaloni della parete rocciosa non costituisca un apporto significativo, dal momento che la superficie del manto nevoso viene continuamente erosa dall'azione di piccole valanghe che scendono con regolarità. Ciò vale soprattutto per la valanga presa in esame (Fig. 2), in cui una significativa quantità di neve è stata trasportata al di sotto della parete rocciosa. Nel corso dell'esperimento, prevalevano condizioni di cielo sereno, venti da leggeri a moderati, bassa umidità relativa e temperatura dell'aria fredda.

Siccome le valanghe si sono verificate dopo una bufera di neve, la maggior parte della neve scaricata era costituita da neve asciutta. La valanga oggetto dello studio ha in ogni caso trascinato con sé strati più profondi e quindi più caldi a causa







Fig. 2 - Valanga presso il sito di Flüelapass provocata artificialmente mediante distacco artificiale delle cornici sulla cresta. Da notare il significativo distacco secondario al di sotto della parete rocciosa.

Fig. 3 - Misurazioni della temperatura superficiale della neve acquisite con la fotocamera IRT dopo che la valanga si è arrestata e la nuvola di neve polverosa è scomparsa.



Fig. 4 - Misurazioni della temperatura della neve eseguite nella zona di distacco (Tdistacco), lungo il percorso nella neve indisturbata (Tpercorso), nella zona di deposito (Tdepo\_mezzo, Tdepo\_iato) e nel manto nevoso indisturbato presente nella zona d'arresto (Tindisturbato). I colori sono conformi alle localizzazioni dei profili in Fig. 1.



del distacco secondario verificatosi sotto la parete rocciosa (Fig. 2).

Profili stratigrafici manuali (Fierz et al., 2009) sono stati eseguiti nella zona di distacco, cioè appena al di sotto della parete, lungo il percorso nella neve indisturbata e nella zona di accumulo.

Si è poi utilizzata una fotocamera a raggi infrarossi per rilevare le temperature superficiali della neve prima, durante e dopo la valanga. Allo scopo è stata utilizzata una InfraTec VarioCAM hr 384 sl che opera nello spettro dell'infrarosso a onde lunghe (LWIR9), da 7,5 a 14 µm.

Le temperature superficiali della neve acquisite con la fotocamera ad infrarossi, più avanti chiamata Tss-IRT, sono state confrontate con le misurazioni della temperatura superficiale del manto nevoso eseguite manualmente nei depositi valanghivi e la superficie della neve dello strato di erosione è stata messa a confronto con gli strati corrispondenti all'interno del profilo. Entrambe le misurazioni hanno evidenziato di essere sostanzialmente in linea nel *range* di  $\pm$  1 °C.

### FONTI DI ENERGIA TERMICA

Il riscaldamento totale della valanga è evidente confrontando il profilo di temperatura della neve nella zona di deposito (linea rossa in Fig. 4) con un profilo rilevato alla stessa altitudine ma al di fuori dei depositi (linea verde in Fig. 4). La temperatura media della neve per la profondità dell'intero deposito (linea rossa), è di -6,4 °C. La media del profilo di temperatura relativo alla neve indisturbata (linea verde) è di -8,8 °C.

Per analizzare il riscaldamento totale di ~ 2,4°C ed eseguire una stima approssimativa della grandezza delle fonti di energia termica nella valanga presa in esame, si è scomposto il riscaldamento totale in riscaldamento legato all'erosione della neve e riscaldamento legato all'attrito. Altre potenziali fonti di energia termica,



per es. il riscaldamento adiabatico, non sono state considerate in questo calcolo in quanto classificate come trascurabili in termini di grandezza. Da un'interpretazione approssimativa dei profili di temperatura della neve (Fig. 4) si ha come risultato un incremento della temperatura legato all'erosione di circa 0,7 °C e, dunque, l'erosione può non essere la fonte esclusiva di energia termica, in quanto non può spiegare l'incremento totale della temperatura di 2,4 °C.

L'incremento termico legato all'attrito è stato calcolato assumendo che tutta l'energia potenziale venga trasformata in calore. Calcolando sulla base di un dislivello di 300 m, corrispondente al pendio sotto la parete fino alla zona d'arresto della valanga, si ha un aumento della temperatura di 1,5 °C dovuto all'attrito.

### CONCLUSIONI

Sono stati condotti una serie di esperimenti valanghivi in scala reale presso il

### **Bibliografia**

Bartelt, P. and McArdell, B. W. ,2009. Granulometric investigations of snow avalanches. Journal of Glaciology, 55(193), 829–833.

Bartelt, P., Buehler, Y., Buser, O., 2012. Modeling mass-dependent flow regime transitions to predict the stopping and depositional behavior of snow avalanches. Journal of Geophysical Research-earth Surface, 117, F01015 D0I:10.1029/2010JF001957

Christen, M., Kowalski, J., and Bartelt, P., 2010. Ramms: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. Cold Regions Science and Technology, 63(1-2), 1–14.

Dozier, J. and Warren, S.G., 1982. Effect of viewing angle on the infrared brightness temperature of snow. Water Resources Research, 18(5),1424–1434.

Fierz, C., Armstrong, R.L., Durand, Y., Etchevers, P., Greene, E., Mc-Clung, D.M., Nishimura, K., Satyawali, P.K., and Sokratov, S.A., 2009. The International Classification for Seasonal Snow on the Ground. The International Association of Cryospheric Sciences IACS.

Gauer, P., Issler, D., Lied, K., Kristensen, K., and Sandersen, F., 2008. On snow avalanche flow regimes: inferences from observations and measurements. In Proceedings, International Snow Science Workshop ISSW 2008, Whistler, Canada.

Naaim, M. and Durand, Y., 2012. Dense avalanche friction coefficients influence of nivological parameters. In Proceedings, International Snow Science Workshop ISSW 2012, Anchorage, Alaska.

Schirmer, M. and Jamieson, B., 2013. Limitations of an infrared camera to measure snow pit –wall temperatures. In Proceedings, International Snow Science Workshop ISSW 2013, Grenoble, France

Shea, C. and Jamieson, B., 2011. Some fundamentals of handheld snow surface thermography. Cryosphere, 5(1), 55–66.

Sovilla, B., Margreth, S., and Bartelt, P. 2007, On snow entrainment in avalanche dynamics calculations. Cold Regions Science and Technology, 47(1-2),69–79.

Steinkogler W., B. Sovilla and M. Lehning, 2013. Influence of snow cover properties on avalanche dynamics, Submitted to Cold Regions Science and Technology

Vera, C., Feistl, T., Steinkogler, W., Buser, O., and Bartelt, P., 2012. Thermal temperature in avalanche flow. Proceedings, International Snow Science Workshop ISSW 2012, Anchorage, Alaska.

sito di Flüelapass sopra Davos, in Svizzera, con l'obiettivo di analizzare le fonti di energia termica e gli incrementi di temperatura all'interno della valanga. Un ulteriore obiettivo era verificare l'utilizzabilità della termografia a raggi infrarossi (IRT) in questo contesto. I dati locali rilevati hanno consentito di operare una scomposizione approssimativa dell'incremento totale della temperatura (2,4 °C) in fonti di energia termica legata all'attrito (1,5 °C) e all'erosione della neve (0,7 °C).

I dati IRT hanno permesso di osservare il fenomeno valanghivo con occhi diversi e offrono la possibilità di eseguire ricerche più dettagliate nel campo della dinamica delle valanghe, sia quantitativa che qualitativa, anche se non sono ancora stati utilizzati nello studio qui presentato.

Anche se è ancora necessario verificare le misurazioni e definire fino a che punto si possono misurare le temperature assolute della superficie nevosa.

La distribuzione spaziale delle tempera-

ture in superficie è sicuramente di aiuto nell'interpolazione dei profili di temperatura misurati manualmente.

I nostri risultati consentono una migliore comprensione delle temperature della neve all'interno del flusso valanghivo e le conseguenze che queste hanno sui regimi di flusso. Queste informazioni si possono utilizzare direttamente per verificare e migliorare le prestazioni dei modelli dinamici delle valanghe (Christen et al., 2010) e sono dunque di grande interesse per gli operatori.

### RINGRAZIAMENTI

Questa ricerca è stata finanziata attraverso il progetto interregionale STRADA dai partner seguenti: Amt für Wald Graubünden, Etat du Valais, ARPA Lombardia, ARPA Piemonte, Valle d'Aosta, Regione Lombardia. Gli autori vogliono ringraziare tutti coloro che li hanno aiutati a raccogliere i dati nel corso degli esperimenti sul campo.

# SCENARI di PERICOLO VALANGHE

Individuazione degli scenari di pericolo più frequentemente utilizzati nei bollettini valanghe sulla base della scala europea del pericolo valanghe e della matrice bavarese

Il previsore valanghe cerca di descrivere, senza ambiguità e in maniera chiara per gli

utenti, il pericolo di valanghe di una area montuosa.

### Mauro Valt

ARPAV-DRST, Servizio Neve e Valanghe, 32020 Arabba BL, Italia AINEVA, 38100 Trento, Italia Corr.: mvalt@arpa.veneto.it

### Flavio Berbenni

ARPA Lombardia, Centro Nivometeorologico, 23032 - Bormio SO, Italia AINEVA, 38100 Trento, Italia Per il previsore, la matrice bavarese è un valido supporto per definire oggettivamente gli scenari di pericolo valanghe. Negli ultimi anni, l'uso sistematico della matrice ha permesso di verificare l'esistenza di scenari di pericolosità intermedi fra il grado di pericolo 2-moderato e il 3-marcato, la loro frequenza e la possibilità di rappresentarli, in via sperimentale, per mezzo di un'icona.



### INTRODUZIONE

La previsione del pericolo valanghe è un processo decisionale complesso che si basa sulla conoscenza dei processi fisici della neve, sulla disponibilità dei dati relativi alla stabilità del manto nevoso e sull'esperienza del previsore valanghe (LaChapelle, 1980). Il pericolo di valanghe è descritto mediante una scala di pericolo, unificata a livello europeo, che interseca la stabilità del manto nevoso con la possibilità del verificarsi di fenomeni valanghivi naturali o generati da sovraccarichi artificiali (sciatori, esplosivi, etc.). In una struttura organizzata, dove i previsori valanghe si alternano durante la staqione invernale, è indispensabile disporre di procedure che consentano un elevato grado di oggettività della previsione e della definizione del grado di pericolo valanghe. L'espressione di un grado di pericolo spesso ha delle ricadute anche sulle attività economiche in alta quota (apertura piste di sci, chiusura strade, etc.).

A tal fine, il Servizio Valanghe Bavarese, agli inizi degli anni 2000, sulla base della scala di pericolo europea, ha realizzato una matrice di supporto alla previsione valanghe. La matrice si basa sulla possibilità di distacco delle valanghe e sulla distribuzione areale dei fenomeni.

Nel presente lavoro viene illustrato l'utilizzo della matrice da parte dei Servizi valanghe italiani negli ultimi anni, evidenziando gli scenari valanghivi più ricorrenti della matrice stessa.

Inoltre vengono presentate le situazioni di pericolo che si pongono spesso fra un grado e l'altro, proponendo di definire dei pesi ai diversi gradi di pericolo in funzione dello scenario individuato nella matrice.

### IL PERICOLO VALANGHE IN ITALIA

La previsione del pericolo di valanghe sulle Alpi italiane è effettuata dai Servizi valanghe regionali o provinciali associati fra di loro nell'AINEVA. Le aree regionali o provinciali di singola competenza sono suddivise in piccole aree climatiche omogenee per quanto riquarda la neve al suolo. Ad oggi le aree sono 54 e per ogni una di esse è espresso un grado di pericolo valanghe giornaliero (www.aineva.it). È pertanto possibile determinare, per singola stagione invernale, il grado di pericolo maggiormente utilizzato nei bollettini valanghe (Fig.1). Dall'analisi delle percentuali di utilizzo per stagione invernale è possibile anche avere una indicazione del tipo di stagione che è stata dal punto di vista del pericolo di valanghe. Nella stagione invernale 2008-2009 è stato utilizzato, più che nelle altre stagioni, il grado 4-forte ed in effetti è stata la 3ª stagione invernale più nevosa dal 1930 (Valt e Cianfarra, 2010). Nella stagione 2009-2010 il grado 3-marcato è stato maggiormente utilizzato ed è stata, a causa delle frequenti nevicate e dei venti, la stagione in Italia con il maggior numero di vittime da valanga (45 morti; media 1984-2013:20). Nelle stagioni poco nevose 2006-2007 e 2011-2012 il grado 1-debole è stato utilizzato spesso. Ogni servizio valanghe dell'arco alpino italiano ha una propria organizzazione ma i processi di valutazione del pericolo sono comuni e condivisi, come l'utilizzo della matrice bavarese.

### LA MATRICE BAVARESE (MB)

La Matrice Bavarese (di seguito MB) si basa sulla scala di pericolo valanghe e precisa-



mente sull'analisi della probabilità di distacco delle valanghe in relazione alla distribuzione dei luoghi pericolosi.

La matrice è stata presentata, per la prima volta, alla riunione plenaria dei Servizi valanghe europei EAWS (European Avalanche Warning Services) di Monaco del 2003 (Zencke, 2003). Nelle riunioni di Monaco e di Davos (2005), la MB è stata discussa e approvata (Fig. 2) e, successivamente, integrata nella maggior parte dei flussi decisionali dei Servizi valanghe europei (Frigo et al., 2012; Valt, 2012). La MB è divisa in due sezioni, una relativa ai distacchi provocati con sovraccarico (parte di sinistra) e una relativa ai distacchi spontanei (parte di destra).

Incrociando la probabilità di distacco in relazione alla distribuzione dei luoghi pericolosi, si ricava il valore numerico del grado di pericolo valanghe per ciascuna delle due sezioni. Di norma il previsore valanghe sceglie il grado di pericolo più elevato risultante dal confronto fra le due sezione.

La MB, come si può osservare in Fig. 2, è caratterizzata da celle colorate con il grado di pericolo, da celle non colorate e da celle vuote (senza grado). Le celle colorate e con il grado di pericolo valanghe sono quelle concordate e approvate a Monaco e Davos dall'EAWS e rappresentano le situazioni più comuni. Le celle senza colore, ma con il grado di pericolo, sono situazioni poco frequenti e non ancora ben studiate. Le celle vuote invece sono indeterminate e rappresentano situazioni poco realistiche (ad esempio molte valanghe di grandi dimensioni con pericolo debole).

Le combinazioni possibili nella "sezione distacchi provocati" sono:

- 1 cella con grado 1-debole
- 8 celle con grado 2-moderato
- 4 celle con grado 3-marcato
- 3 celle con grado 4-forte

 - 1 cella con grado 5-molto forte
Nella "sezione distacchi spontanei", le combinazioni sono minori:

- 1 cella con grado 1-debole
- 3 celle con grado 2-moderato
- 4 celle con grado 3-marcato
- 5 celle con grado 4-forte
- 3 celle con grado 5-molto forte.

Fig. 1 - Utilizzo del grado di pericolo valanghe nelle ultime stagioni invernali sull'arco alpino italiano. Le numerose celle con lo stesso grado di pericolo, dovute a diverse combinazioni delle probabilità di distacco con la distribuzione dei luoghi pericolosi, consentono di individuare con maggior precisione gli scenari di pericolosità. Nella riunione dell'EAWS di Grenoble, Berbenni e Valt (2011) hanno presentato una nuova classificazione delle celle del grado di pericolo della MB, inserendo nei gradi il "+" e il "-"in funzione dello scostamento dello scenario valanghivo della MB dalla definizione classica della Scala di pericolo valanghe (Fig. 3).

### **METODO DI LAVORO**

Distribuzione dei luoghi pericolosi

Di norma, il previsore valanghe, sulla base

delle informazioni disponibili e dell'analisi della situazione della stabilità del manto nevoso del giorno di emissione del bollettino o prevista nei giorni futuri (24-72h), cerca e individua nella MB lo scenario o gli scenari che meglio descrivono il pericolo di valanghe per l'area di competenza per quella giornata.

La scelta viene effettuata sia nella sezione del pericolo per distacchi provocati sia in quella relativa ai distacchi spontanei, incrociando la probabilità di distacco delle valanghe (riga in alto) con l'estensione areale in cui si manifesta tale probabilità (colonna a sinistra per entrambe le sezioni). Spesso il previsore valanghe individua più

scenari per la stessa sezione. Il lavoro qui presentato è consistito nella raccolta di tutte le MB compilate a mano (Veneto, Lombardia) o archiviate in data base locali (Friuli Venezia Giulia, Piemonte) e nell'organizzazione delle stesse in un unico set di dati, numerando le singole celle per righe e colonne.

Le prime analisi sono state condotte raggruppando le celle con lo stesso grado di pericolo (1, 2-,2,2+,3-,3,3+,4-,4,4+, 5) secondo la proposta di Berbenni e Valt (2011), verificando grado per grado guante sono state le giornate in cui ogni singolo grado fluttuava da "-" a "+".

Sono state poi analizzate le situazioni in cui il grado di pericolo di una sezione era mag-

> Fig. 2 - La matrice bavarese classica.



Fig. 3 - La matrice bavarese con individuati gli scenari intermedi (Berbenni&Valt 2011).

	Generalmente solo con forte sovraccanco	Particolarmente con forte sovescoarico (possibile anche con debole sovraccarico)	Grá con debole sovraccanco POSICIENE P	Con debale souracearice PROBABILE	Dr	Distanchi spostansi di piccole valangne POBSINALE	Destanchi spontanei di valanghe di stedie desensioni e in alcuni casi di grandi cimensioni POSSIBILE	Distances spontame di motto valanghe di motto canensioni e in diversi casi di grandi dimensioni PROBABILE	Distacchi spertane di melte valarghe o grandi dimensioni PHOBADILE
Pochissimi kuoghi pericolosi (specificani) nel bolistino valanghe*)	\$	$\Rightarrow$	*	2					
Luoghi pericolosi su alicuni pendii ripidi (specificatii nel boliettine velanghe*)	$\widehat{\mathbf{v}}$	$\widehat{}$	<b>A</b>	*		$\widehat{\mathbf{r}}$	°	*	
Luoghi pericelosi su molti pendii ripidi (specificatiri nel bolettino valenghe*)	2	*	-	•		*	1	°	*
Luophi pericolosi sulla maggior parte del pendii ripidi **	2	*	*	*		3	*	*	5
Luoghi pericolosi anche su pendii moderatamente ripidi				5			4	5	5

Sotto, dall'alto in basso: Fig 4 - Scenari di pericolo valanghe definiti con la MB per il data set 1 (5 stagioni invernali, 1 Servizio valanghe). Fia. 5 - Scenari di pericolo valanghe intermedi per il data set 1 (5 stagioni invernali, 1 Servizio valanghe). Fia. 6 - Scenari di pericolo valanghe definiti con la MB per il data set 2 (1 stagione invernale, 4 Servizi valanghe), Fia. 7 - Scenari di pericolo valanghe intermedi per il data set 2 (1 stagione invernale, 4 Servizi valanghe).

giore che nell'altra ed infine è stato effettuato un confronto con il grado di pericolo assegnato nel bollettino valanghe.

### FONTE DEI DATI

Sono stati analizzati due diversi data set relativi alla MB:

a) 395 MB compilate dai previsori valanghe del Servizio neve e valanghe di Arabba negli inverni dal 2008 al 2012;

 b) 689 MB compilate dai previsori valanghe dei Servizi valanghe AINEVA nel corso dell'inverno 2013 secondo il seguente dettaglio:









 Regione autonoma Friuli Venezia Giulia -Ufficio valanghe di Udine: dal 27 dicembre 2012 al 9 maggio 2013 per le aree delle Alpi Giulie e delle Alpi Carniche;

Regione del Veneto - Ufficio valanghe di Arabba: dal 1º dicembre 2012 al 2 giugno 2013 per l'area delle Dolomiti;

Regione Lombardia - Ufficio valanghe di Bormio: dal 3 dicembre 2012 al 13 maggio 2013 per l'area dell'Alta Valtellina; Regione Piemonte - Ufficio valanghe di Torino: in modo discontinuo dal 23 gennaio 2013 al 13 maggio 2013 per le aree delle Alpi Liguri e Lepontine Settentrionali.

· Il totale delle MB compilate è di 1084.

### **RISULTATI**

### Data set 1: 5 stagioni invernali, 1 Servizio valanghe

In 296 delle 395 giornate analizzate (75%), il grado di pericolo è risultato uguale nelle sezioni "distacchi provocati" e "distacchi spontanei". In 26 giornate il grado della sezione distacchi spontanei è risultato maggiore di 1 grado (7 casi per il grado forte, 9 casi per il grado marcato e 10 casi per il grado debole).

Nelle rimanenti 73 giornate, è risultato inferiore di 1 grado in 70 casi e di 2 gradi in 3 casi. Il grado di pericolo maggiormente formulato è stato il 2-moderato (51%, 200 giornate) seguito dal 3-marcato (31%, 123 giornate), dall'1-debole (13%, 51 giornate) e dal 4-forte (5%, 21 giornate).

Non c'è stata alcuna giornata con grado di pericolo 5-molto forte. Le analisi di dettaglio delle risultanze delle elaborazioni con la MB, come proposta da Berbenni e Valt (2011), evidenziano aspetti interessanti, come si può osservare in Fig. 4.

Per quanto riguarda il pericolo 1-debole, la cella della matrice è unica e quindi il risultato è univoco. Per quanto riguarda il pericolo 2-moderato, la percentuale maggiore (46%) è centrata sul grado 2-moderato, una percentuale minore (19%) sul grado moderato "2-" e un buon 35% (69 giornate) sul grado moderato "2+".

Per quanto riguarda il grado 3-marcato, la percentuale maggiore di giornate (50%) è relativa al grado "3-", ovvero con tendenza

verso il 2-moderato.

Per il grado 4-forte, le situazioni più frequenti sono di grado "4-" rispetto al grado classico.

Appare evidente il gran numero di giornate in cui il previsore valanghe osserva una situazione intermedia fra il grado 2-moderato e il grado 3-marcato (34%, pari a 132 giornate nelle 5 stagioni invernali).

In particolare, se osserviamo il raggruppamento degli scenari relativi ai gradi [2- e 2], [2+ e 3-], [3 e 3+] possiamo evidenziare che nelle maggior parte dei casi gli scenari di pericolo valanghe ricadono nel raggruppamento [2+ e 3-] (Fig. 5).

### Data set 2: 1 stagione invernale, 4 Servizi valanghe

In 413 delle 689 giornate analizzate (60%), il grado di pericolo è risultato uguale nelle sezioni "distacchi provocati" e "distacchi spontanei".

In 222 giornate (32%) il grado della sezione distacchi provocati è risultato maggiore del grado delle sezioni distacchi spontanei.

Pur essendo stata la stagione 2012- 2013 molto nevosa, gli scenari più gravi di pericolo valanghe sono stati quelli relativi ai distacchi provocati.

Il grado di pericolo maggiormente formulato è stato il 3-marcato (48%), seguito dal 2-moderato (41%), dal 4-forte (6%) e dall'1-debole (5%). Non c'è stata alcuna giornata con grado di pericolo 5-molto forte. Come per il primo data set, è stata effettuata un'analisi di dettaglio dei gradi di pericolo secondo la proposta da Berbenni e Valt (2011) i cui risultati sono riportati in Fig. 6. Anche per questo data set le situazioni intermedie fra il grado 2 e 3 (2+ e 3-) rappresentano una percentuale importante (37%).

Meno accentuata rispetto al primo data set la situazione fra il grado 3 e 4 con una percentuale dell' 8% dei casi di situazioni intermedie. Anche in questo caso, se osserviamo il raggruppamento degli scenari relativi ai gradi [2- e 2], [2+ e 3-], [3 e3+] possiamo evidenziare che nella maggior parte dei casi gli scenari di pericolo valanghe ricadono nel raggruppamento [2+ e 3-] (Fig. 7).

### DISCUSSIONE

Analizzando i due data set, uno relativo a 5 stagioni invernali per un Servizio valanghe e l'altro relativo a 1 stagione invernale per 4 Servizi valanghe, appare evidente che in entrambi la percentuale di situazioni intermedie, che il previsore identifica, sono frequenti. Nelle situazioni con uno scenario di grado di pericolo identificato come "2+", nel 79% dei casi il previsore ha indicato un grado di pericolo moderato e nei rimanenti marcato, ovvero il grado superiore.

Nelle situazioni con scenario di grado di pericolo identificato come "3-", nell'82% dei casi il grado di pericolo del bollettino è rimasto sul grado 3 e nei rimanenti sul grado 2. Da questi dati si può dedurre che quasi nella metà dei casi (42%) in cui lo scenario di grado di pericolo è fra il 2-moderato e il 3-marcato, viene indicato uno scenario meno grave di guanto il previsore abbia identificato. Per quanto riguarda gli scenari di "3+", nella quasi totalità delle situazioni (96%) è stato indicato il grado 3-marcato mentre negli scenari di "4-" il grado 3-marcato è stato indicato nel 22% delle situazioni e nel rimanente 78% è stato indicato il grado 4-forte.

### CONCLUSIONI

La MB è un buon strumento di analisi e individuazione degli scenari valanghivi per distacchi provocati o spontanei.

La raccolta e l'archiviazione degli scenari individuati per ogni singolo bollettino emesso, consente di confrontare in modo oggettivo le analisi sul pericolo di valanghe. I gradi di pericolo più frequentemente utilizzati in Italia sono il 2-moderato e il 3-marcato. Dall'analisi dei dati della MB è emerso che sono molte le situazioni con

Bibliografia

Berbenni F., Valt M. (2011). Avalanche danger scale new ideas to provide a better information to users. 16 EWAS Meeting, Grenoble 15th – 17th September 2011

Cagnati A. (1993). La nuova scala unificata per la classificazione del pericolo da valanghe. Neve e Valanghe. 19. 26-31.

Frigo B., Prola M.C. e Faletto M. (2012). Valutazione della stabilità del manto nevoso: linee guida per la raccolta e l'interpretazione dei dati. Regione Autonoma Valle d'Aosta, pp. 103 uno scenario che si interpone fra questi due gradi e anche fra i gradi 3-marcato e 4-forte.

Inoltre, come possiamo vedere in Fig. 8, il maggior numero di incidenti da valanga con vittime relativi agli ultimi 7 anni si è verificato con gradi di pericolo 2 e 3. La scala di pericolo è a 5 gradi ma di fatto

nella MB gli scenari possibili sono 17 per i distacchi provocati e 16 per i distacchi spontanei (33 celle numerate con e senza colore) che corrispondono a 11 gradi di pericolo valanghe (1, 2-, 2, 2+, 3-, 3, 3+, 4-, 4, 4+, 5).

Pertanto, al fine di migliorare la comunicazione verso il pubblico rendendola più esplicita e dettagliata e per rendere ancor più oggettiva la previsione del pericolo valanghe, senza cambiare le basi della scala di pericolo valanghe, si propongono due soluzioni:

- Nei soli casi di scenari di pericolo "2+" e "3+", aggiungere alle icone EAWS un ulteriore piccolo punto esclamativo in alto per sottolineare l'importanza di quel grado (Fig. 9-a); nei casi di "2-", "3-" e "4-" non verrebbe modificata l'icona, che verrebbe mantenuta l'icona con il grado intero a titolo precauzionale.
- Aggiungere una piccola icona con un indicatore se la situazione è centrata nel grado descritto della scala di pericolo valanghe o più o meno gravosa (Fig. 9-b, 9c). In questo caso verrebbero comprese tutte le situazioni di "+" e "-".

### **RINGRAZIAMENTI**

Si ringrazia Bernard Zenke per le informazioni fornite di persona e gli uffici valanghe AINEVA per la collaborazione nella raccolta dati.

Valt M. e Cianfarra P. (2010). Recent snow cover variations and avalanche activities in the Southern Alps. Cold Regions Science and Technology Volume 64, Issue 2, November 2010, Pages 146-151

Valt M. (2012). 5 anni di esperienze con la matrice bavarese. Neve e Valanghe. 76. 4-13 Zencke B. (2003). Die Lawinengefahrenstufen – Wie kommt der Lawinenwarner zur aktuellen Gefahrenstufe. http://www. lawinenwarndienst-bayern.de/download/ infothek/vortrag\_wklzg\_2003\_print.pdf









Fig. 8 - Incidenti da valanga noti sull'arco alpino italiano dal 2007 al 2013 in relazione al pericolo di valanghe descritto nei bollettini dell'area dell'incidente.

Fig. 9a - Grado di pericolo moderato, prima proposta: il punto esclamativo aggiunto in alto a destra è utilizzato per le situazioni individuate come "2+" con la MB.

Fig. 9b - Grado di pericolo moderato, seconda proposta: la freccia e il cursore sono utilizzati per le situazioni individuate come "2+" con la MB.

Fig. 9c - Grado di pericolo moderato, seconda proposta: la freccia e il cursore sono utilizzati per le situazioni individuate come "2-" con la MB.

# VALANGHE di NEVE BAGNATA Analisi dei trend delle valanghe di neve bagnata nella parte centrale dell'inverno

sulle Alpi svizzere

Christine Pielmeier, Frank Techel, Christoph Marty, Thomas Stucki WSL Istituto per lo studio della neve e delle valanghe SLF, 7260 Davos Dorf, Switzerland Corr.: pielmeier@slf.ch

Nel corso dell'inverno 2011-2012 sulle Alpi si sono registrati ripetuti periodi di elevata attività valanghiva di neve bagnata e valanghe di fondo da slittamento, nella parte centrale dell'inverno (da dicembre a febbraio). Di conseguenza si sono avuti danni alle infrastrutture ma anche delle vittime. Tornando indietro di 5 anni, in quattro su cinque stagioni, nella parte centrale dell'inverno si è registrato almeno un intenso e diffuso periodo di valanghe di neve bagnata e valanghe di fondo. Per studiare le tendenza nel lungo termine, si sono analizzate le variazioni dell'attività valanghiva di neve bagnata e delle valanghe di fondo da slittamento nel corso della parte centrale dell'inverno nel periodo dal 1952 al 2013, basandosi su stazioni di osservazione a lungo termine. Le analisi delle lunghe serie temporali hanno evidenziato un trend positivo quanto a numero e percentuale di registrazioni di valanghe di neve bagnata e valanghe di fondo. La tendenza coincide con un trend dell'incremento delle temperature dell'aria in Svizzera. Si evidenzia inoltre una interruzione nelle serie di dati che è probabilmente legata ad un'importante revisione del sistema di registrazione dei dati nivologici e valanghivi avvenuta nel 2002. Nel periodo di 50 anni antecedente questa revisione, la percentuale di valanghe di neve bagnata è cresciuta dello 0,4% su base annua. Alla luce della previsione di un incremento delle temperature sulle Alpi, il trend positivo dell'attività valanghiva di neve bagnata è molto probabilmente destinato a continuare, il che richiede degli adattamenti nella gestione del rischio.



### INTRODUZIONE

Uno studio dettagliato effettuato alla metà degli anni '90 non riuscì a fornire la prova dell'esistenza di un trend di nevicate estreme e di un'intensa attività valanghiva sulle Alpi svizzere nel periodo 1500-1990 (Laternser e Pfister, 1997; Schneebeli et al. 1997; Laternser, 2002). Più di recente, Marty e Blanchet (2012) hanno esaminato i trend temporali dell'altezza massima della neve annua e la sommatoria delle nevicate di 3 giorni negli ultimi 80 inverni, dove le stazioni situate a bassa altitudine in particolare hanno evidenziato un notevole calo dell'altezza massima della neve.

Tale trend viene attribuito a un calo del rapporto neve/pioggia osservato (Serquet et al., 2011) legato all'incremento delle temperature dell'aria. Ma questo rialzo delle temperature influisce sull'attività valanghiva di neve bagnata nella parte centrale dell'inverno (da dicembre a febbraio)?

Soggettivamente, negli ultimi anni in Svizzera le valanghe di neve bagnata e le valanghe di fondo da slittamento sono divenute più frequenti nella parte centrale dell'inverno. Ad esempio, l'inverno nevoso del 2012 (vale a dire la stagione 2011-2012) ebbe come conseguenza un'elevata attività valanghiva con danni ad infrastrutture e foreste, per lo più provocati da valanghe di fondo da slittamento verificatesi in dicembre e gennaio (Techel et al., 2013). E il 23 dicembre 2012 piovve fin sopra i 2000 metri, con un conseguente massimo dell'attività valanghiva dell'intero inverno e con il 90% di valanghe di neve bagnata e parzialmente umida (Darms, 2013). Sulla base di queste ed altre osservazioni è possibile ipotizzare che nella parte centrale dell'inverno sia notevolmente cresciuta la percentuale di valanghe di neve bagnata e di fondo.

Scopo del presente studio è quantificare le correlazioni e i trend dell'attività valanghiva ricorrendo all'analisi di serie temporali molto lunghe. Lo studio si basa sulle registrazioni di dati nivologici e valanghivi raccolti dalle stazioni di osservazione dell'SLF. Queste registrazioni distinguono tra valanghe di neve asciutta e umida o valanghe di neve parzialmente umida a partire dall'inverno 1951-1952 fino all'inverno 2012-2013. Questi trend vengono discussi nell'ambito dei cambiamenti climatici in Svizzera. Vengono illustrati in questa sede gli adattamenti attuati nelle previsioni locali e regionali e vengono discusse le sfide per il futuro.

### **DATI E METODI**

Dati sulle valanghe nel periodo 1952-2013 L'attività valanghiva sulle Alpi svizzere viene attualmente registrata da oltre 150 osservatori appartenenti al Servizio valanghe svizzero. A partire dall'inverno 1952, i dati sulle valanghe osservate vengono raccolti nel database dell'SLF. Laternser (2002) ha classificato le stazioni di osservazione a lungo termine in base alla qualità dell'osservazione della valanga. Nel nostro studio utilizziamo 24 stazioni a lungo termine (Tab. 1) che sono uniformemente distribuite nelle sette regioni delle Alpi svizzere, sono tutte ubicate a media altitudine (da 1195 a 1800 m slm), dispongono delle serie di dati più complete, sono ancora oggi in funzione ed hanno livelli di qualità dell'osservazione da medi a elevati secondo Laternser (2002). Per gli inverni 1952-2001, i dati delle valan-

ghe sono disponibili sulla base del sistema di codifica illustrato in Tab. 2.

Nei primi anni, gli osservatori trasmettevano le loro osservazioni di dati nivologici e valanghivi codificate per telegramma, telefono, telex o telefax all'istituto di Davos, dove venivano poi raccolte nel database. Alla fine degli anni '80 si ebbe l'avvento della trasmissione digitale. Nel 1987 il sistema di codifica delle osservazioni valanghive venne leggermente modificato. Per quanto possibile i vecchi codici furono convertiti in codici L2 e L5 (Tab. 2).

Una modifica ancora maggiore del sistema di codificazione si ebbe dopo l'inverno 1999, a seguito del lancio in Svizzera dell'Intercantonal Early Warning and Crisis Information System – IFKIS, sistema intercantonale di allertamento e gestione crisi (Bründl et al., 2004). Questo comportò, all'inizio dell'inverno 2002 una revisione completa delle linee guida sulle osservazioni e dei codici abbinati alle osservazioni di dati nivologici e valanghivi. La piattaforma fu basata su internet e i modelli di rilevamento si fecero molto più dettagliati.

Dal momento che nel nuovo sistema di codifica i dati sulle valanghe sono più dettagliati che nel vecchio sistema, abbiamo raggruppato manualmente i dati delle valanghe dal 2002 al 2013 nello schema di codifica precedente. La variazione del sistema di osservazione e codifica coincide tuttavia con un marcato decremento del numero di record di valanghe raccolti dalle stazioni di osservazione su 24 ore (Fig. 1), tema che verrà discusso nel paragrafo 4.

La tipologia e il numero delle valanghe sono stati attinti dal database SLF in base

Tab. 1 - Dettagli delle 24 stazioni di osservazione di dati nivologici e valanghivi di SLF. Tra parentesi è indicato il numero di anni in cui mancano i dati per l'intero anno.

CODICE	STAZIONE	(m s.l.m.)	DAL
1MR	Mürren	1660	1951
1MN	Moleson	1520	1965
1AD	Adelboden	1350	1954
1 WE	Wengen	1310	1969
1GS	Gsteig	1195	1954
2AN	Andermatt	1440	1952
2ME	Meien	1320	1954
2ST	Stoos	1280	1952
3BR	Braunwald	1340	1954
3SW	Schwägalp	1290	1967 (11)
4BP	Bourg-St-Pierre	1610	1952
4GR	Grimentz	1570	1954
4UL	Ulrichen	1350	1953 (1)
5AR	Arosa	1820	1954 (3)
5BI	Bivio	1770	1953 (2)
5SA	St. Antönien	1510	1952
5SP	Splügen	1460	1952
5SE	Sedrun	1420	1952 (1)
6SB	San Bernardino	1640	1952
6BG	Bosco Gurin	1490	1952
7MA	Maloja	1800	1952
7SN	Samnaun	1750	1952
7LD	La Drossa	1710	1968
7ZU	Zuoz	1710	1952

ai codici L2 (tipo di valanga) e L5 (numero, dimensione e impatto della valanga) per il periodo 1952-2001. In base alle linee guida sulle osservazioni (SLF, 1987) i codici delle valanghe L2 e L5 sono stati determinati dall'osservatore scorrendo le tabelle di codifica dall'alto in basso e scegliendo il primo codice applicabile secondo la Tab. 2.

Poiché L5 contiene dati con scala eterogenea, ordinati per categoria, non possiamo contare ogni singola valanga. Tuttavia è possibile raggruppare e contare i record delle valanghe in base all'umidità della neve e alla grandezza della valanga, dove:

- Le valanghe di neve asciutta di piccola dimensione corrispondono a L2 = 2, 4, 7, 9 e L5 = 1, 2, 7, 8, 9;
- Le valanghe di neve asciutta di grande dimensione corrispondono a L2 = 2, 4, 7, 9 e L5 = 3, 4, 5, 6;
- Le valanghe di neve bagnata/miste di piccola dimensione corrispondono a L2 = 1, 3, 5, 6, 8 e L5 = 1, 2, 7, 8, 9;
- Le valanghe di neve bagnata/miste di grande dimensione corrispondono a L2 = 1, 3, 5, 6, 8 e L5 = 3, 4, 5, 6.

Per definizione, le valanghe di tipo sconosciuto sono considerate come record di valanghe di neve asciutta. Le valanghe miste (neve asciutta e umida) e le valanghe di fondo da slittamento sono considerate valanghe di neve bagnata. Per il periodo 2002-2013, tutti i record di valanghe presenti nel database sono stati raggruppati conformemente a quanto sopra evidenziato. Le valanghe che provocano danni vengono registrate separatamente nel database sopracitato. In questo database sono registrate 4340 valanghe verificatesi in tutte le regioni della Svizzera che hanno causato danni a edifici, infrastrutture o foreste nella parte centrale dell'inverno (1952-2013). Tuttavia, il 75% di queste registrazioni non contiene informazioni sul grado di umidità delle valanghe. Pertanto questi dati non si possono utilizzare per integrare l'analisi a lungo termine dei record di valanghe di neve bagnata e di neve asciutta.

### Dati di temperature e altezza neve nel periodo 1952-2013

Le anomalie mensili della temperatura

CODICE L2	TIPOLOGIA DI VALANGA	CODICE L5	NUMERO, DIMENSIONE E IMPATTO DELLA VALANGA
/	osservazione impossibile	/	osservazione impossibile
0	nessuna valanga	0	nessuna valanga
9	tipo di valanga sconosciuta	9	grandezza sconosciuta
8	valanga di fondo da slittamento	8	valanga con vittime
7	valanga a lastroni di neve asciutta	7	valanga con persone travolte o sepolte
6	valanga a lastroni di neve bagnata	6	valanga con danni a proprietà (edifici, foreste, strade, ferrovie)
5	valanga a lastroni di neve asciutta e umida	5	diverse (più di due) grandi valanghe, senza danni
4	valanga a lastroni e valanga di neve asciutta a scarsa coesione	4	poche (una o due) grandi valanghe, senza danni
3	valanga a lastroni e valanga di neve bagnata a scarsa coesione	3	diverse (più di due) valanghe medie, senza danni
2	valanga di neve asciutta a scarsa coesione	2	poche (una o due) valanghe medie, senza danni
1	valanga di neve bagnata a scarsa coesione	1	poche o diverse piccole valanghe, senza danni



Fig. 1 - Numero di osservazioni di valanghe di neve asciutta e di neve bagnata nella parte centrale dell'inverno per le 62 stagioni nel periodo 1952-2013. La linea grigia verticale contrassegna l'inverno 2002, anno un cui è stato introdotto il nuovo sistema di codifica delle osservazioni e del database. Questo coincide con un calo sistematico della quantità di dati. Le linee orizzontali tratteggiate, blu e rosse, corrispondono alla mediana di 10 stagioni, prima dell'inverno 2001 e dopo.

Tab. 2 - Sistema di

codifica SLF per le

osservazioni delle valanghe dal 1952 al

2001 (SLF, 1987).

dell'aria per le parte centrale dell'inverno in Svizzera, si basano su serie omogenee di dati relativi a 13 stazioni MeteoSwiss a lungo termine.

L'anomalia per la parte centrale dell'inverno è data dalla differenza tra la media delle anomalie mensili (dTA) per dicembre, gennaio e febbraio per il periodo 1952-2013 e la media 1961-1990 (MeteoSwiss, 2013). Per le 24 stazioni di osservazione a lungo termine di dati nivologici e valanghivi SLF (Tab. 1) per la parte centrale dell'inverno sono state calcolate le medie dei seguenti parametri nivologici: mediana altezza della neve (HSmediana) e massima altezza della neve (HSmax).

La Fig. 2 riporta le medie di dTA e HSmax per le 62 stagioni. Dalla fine degli anni '80 in poi si sono avute importanti variazioni interannuali unitamente a trend di temperature in aumento e altezza della neve in diminuzione.

### Analisi statistica

Le correlazioni sono state analizzate con la correlazione per ranghi non parametrica di Spearman ( $\rho$ ) per la ricerca di una relazione monotòna (Crawley, 2007).

È stata eseguita una analisi delle serie temporali di lunga durata attraverso un test del trend non parametrico servendosi del software statistico R (R, 2011).

È stato applicato il test MannKendall (McLeod, 2011) per la prova della significatività e la statistica di Theil-Sen per la stima del gradiente (Bronaugh and Werner, 2009).

L'analisi statistica è stata eseguita per le serie di 62 anni (1952-2013) e 50 anni (1952-2001) di record di valanghe di neve asciutta e umida nella parte centrale dell'inverno, per le anomalie di temperatura e per i parametri nivologici.

I trend sono stati considerati significativi se il livello di significatività era  $\alpha \leq 0,05$ .

Fig. 2 - Medie dei massimi di altezza della neve e anomalie di temperatura per la parte centrale dell'inverno degli anni 1952-2013. La linea curva nera raffigura la media mobile semplice su un periodo di 10 anni. Sono evidenti un incremento delle anomalie di temperatura e un calo dell'altezza massima della neve verso la fine degli anni '80.

Fig. 3 - Percentuale del numero di osservazioni di valanghe di neve asciutta (area blu) e neve bagnata (area rossa) per la parte centrale dell'inverno del periodo 1952-2013. La linea curva nera raffigura la media mobile semplice su un periodo di 10 anni. È evidente un incremento della percentuale di record di valanghe di neve bagnata (area rossa) alla fine degli anni '80.





### **RISULTATI** Correlazione della serie di dati

Per il periodo di 62 anni, il numero di record di valanghe di neve asciutta è correlato con le misurazioni dell'altezza del manto nevoso, per lo più con la media di HS<sub>max</sub> ( $\rho$ =0,72, p<10<sup>-7</sup>). L'attività valanghiva con valanghe di neve bagnata è correlata ad entrambi i parametri, sia all'altezza del manto nevoso, sia alle anomalie di temperatura. Tuttavia la correlazione è debole (HS<sub>max</sub>:  $\rho$ =0.35, p<0.01, dTA:  $\rho$ =0.45, p<10<sup>-3</sup>). La percentuale di valanghe di neve da umida ad asciutta presenta una moderata correlazione con le anomalie di temperatura (dTA:  $\rho$ =0,61, p<10<sup>-6</sup>), ma nessuna correlazione significativa con le variabili relative all'altezza del manto nevoso.

### Trend per il periodo di 62 anni (1952-2013) e per il periodo di 50 anni (1952-2001)

I numeri assoluti di record di valanghe di neve asciutta e di neve bagnata sono ri-

portati in Fig. 1, le loro frequenze relative in Fig. 3. Le percentuali di record di valanghe di neve asciutta e di neve bagnata sono molto meno influenzate dall'introduzione del nuovo sistema di codifica nel 2002 che non i numeri assoluti delle osservazioni di valanghe. È evidente un incremento della percentuale di valanghe di neve bagnata nella media mobile di 10 anni (Fig. 3) e, dalla fine degli anni '80, questo incremento coincide con un aumento delle anomalie di temperatura (Fig. 2).

Il numero assoluto di record di valanghe di neve bagnata e di neve asciutta, le loro frequenze relative, le anomalie di temperatura e i parametri nivologici sopra descritti sono stati analizzati con il test di Mann-Kendall (MK) e con la stima del gradiente di Theil-Sen (TS). La Tab. 3 riporta i valori di p e le statistiche del gradiente per i parametri significativi. In previsione della modifica del sistema di codifica attuato nell'inverno 2002, le tendenze sono state calcolate per l'intero periodo di 62 anni così come per i 50 anni antecedenti l'introduzione del nuovo sistema di codifica.

Il test di Mann-Kendall ha così evidenziato un trend positivo altamente significativo in merito al numero di osservazioni di valanghe di neve bagnata, la percentuale di osservazioni di valanghe di neve bagnata e le anomalie di temperatura nel periodo di 62 e 50 anni. Nel periodo di 50 anni, le osservazioni di valanghe di neve bagnata sono aumentati di 2,2 eventi ogni anno, e la percentuale di osservazioni di valanghe di neve bagnata è aumentata dello 0,4% annuo. Il trend del numero di osservazioni di valanghe di neve asciutta è risultato significativo unicamente nel periodo di 50 anni. Le anomalie di temperatura sono aumentate di 0,04 °C su base annua.

Nessuno dei parametri nivologici ha evidenziato un trend significativo. Tuttavia, se si guardano le statistiche descrittive per periodi di tempo abbastanza lungh, la mediana di  $HS_{max}$  è risultata inferiore per gli anni 2002-2013 (106 cm) rispetto ai 50 anni precedenti (117 cm, p=0,06), seppure non di molto inferiore rispetto ai 10 anni direttamente precedenti il 2002. Analogamente il valore di dTA non ha evidenziato scarti significativi in questi periodi.

### DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Abbiamo analizzato una serie di dati a lungo termine sulle osservazioni delle valanghe allo scopo di identificare dei trend dell'attività valanghiva di valanghe di neve asciutta e valanghe di neve bagnata nella parte centrale dell'inverno (dicembre-febbraio) per un periodo di 62 anni. Sono state selezionate 24 stazioni di osservazione in base alla lunghezza e alla qualità delle osservazioni delle valanghe. Abbiamo rilevato un trend temporale significativo nella percentuale e nel numero assoluto di record di valanghe di neve bagnata nella parte centrale dell'inverno. Il trend è risultato più pronunciato nel periodo di 50 anni dal 1952 al 2001 che non nell'intero periodo di 62 anni fino al 2013. Nel periodo di 50 anni, la percentuale media di record di valanghe di neve bagnata è cresciuta del 12%, dal 35% dei primi 10 anni al 47% degli ultimi 10 anni. L'anomalia delle temperature medie è ugualmente cresciuta in modo significativo, di 0,04 °C su base annua, dato che coincide con la percentuale ed il numero di valanghe di neve bagnata, in particolare a partire dalla fine degli anni '80 (Figg. 2 e 3). L'altezza media e massima della neve non hanno evidenziato alcun trend significativo.

Nel 2002 il sistema di osservazione e codifica è stato oggetto di un'importante revisione. Questo ha coinciso con un calo del numero di grandi valanghe registrato dalle 24 stazioni di osservazione a lungo termine a partire dall'inverno 2002.

Inoltre, dal 2002 si è anche avuto un calo del numero di osservazioni di valanghe, mentre la proporzione tra le valanghe di neve da bagnata e quelle di neve asciutta non ha risentito molto. Questo calo si potrebbe forse spiegare con l'introduzione di un team aggiuntivo di osservatori nelle stesse regioni, che hanno condiviso con gli osservatori a lungo termine il compito di osservare le valanghe, e che non vengono considerati nel presente studio.

Le variazioni delle linee guida di osservazione e dei metodi di registrazione pongono sempre un'importante sfida quando si tratta di interpretare i dati delle valanghe a lungo termine.

Gobiet et al. (2013) e Bavay et al. (2007) prevedono per le Alpi un calo dell'innevamento per un crescente rapporto neve/pioggia leqato al rialzo delle temperature. Presumibilmente, il trend dell'incremento dell'attività valanghiva di valanghe neve bagnata è destinato a continuare e i previsori e le autorità preposte alla sicurezza avranno dunque sempre più a che fare con intensi periodi di attività valanghiva di valanghe di neve bagnata e valanghe di fondo da slittamento nei mesi di dicembre, gennaio e febbraio. La previsione delle valanghe rimane difficile, ed in particolare per le valanghe di fondo. La capacità di previsione di una valanga di neve bagnata causata da pioggia su neve ad un'elevata altitudine o per irraggiamento solare dipende molto dalla disponibilità di accurate previsioni meteo a breve termine, per es. limite delle nevicate e quantità della precipitazione (Teich et al., 2012), dal monitoraggio del bilancio energetico (Mitterer and Schweizer, 2013) e dalle informazioni disponibili su stabilità e grado di umidità del manto nevoso (Baggi and Schweizer, 2009, Techel et al., 2011). L'intensificazione delle osservazioni del manto nevoso e delle valanghe anche tramite strumenti in remoto (Durand, 2012; Lato et al., 2012), unitamente all'analisi dei processi attraverso l'uso di più efficaci modelli meteorologici e nivologici possono essere di aiuto agli esperti di valanghe locali nell'affrontare le sfide presenti e future. Il personale locale preposto alla sicurezza può inoltre avvalersi di strumenti speciali, quali la classificazione svizzera del rischio per le valanghe di fondo da slittamento, speciali strumenti di comunicazione di massa e nuove linee guida.

### RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo gli osservatori a lungo termine dell'istituto SLF che ci forniscono in modo costante osservazioni di dati nivologici e valanghivi. Ringraziamo anche Michel Bovey per il suo aiuto nel consultare i database, così come Kurt Winkler e Jürg Schweizer per i loro preziosi commenti al manoscritto. Tab. 3 - Parametri con trend significativi desunti dal test di Mann-Kendall (MK) e dalla stima del gradiente di Theil-Sen (TS) per le serie di 62 anni (62a) e 50 anni (50a) relativamente alla parte centrale dell'inverno (tra parentesi i trend non significativi).

PARAMETRO	МК: 62а	TS: trend 62a	МК: 50а	TS: trend 50a
Osservazioni valanghe di neve bagnata	p = 0,02	+ 0,8 / a	p < 10 <sup>-4</sup>	+ 2,2 / a
Percentuale osservazioni valanghe di neve bagnata	p = 0,01	+ 0,2% / a	p < 0,01	+ 0,4% / a
Anomalie di temperatire	p = 0,04	+ 0,02 °C / a	p < 0,01	+ 0,04 °C / a
Osservazioni valanghe di neve asciutta	(p > 0,05)	(- 0,1 / a)	p = 0,04	+ 1,5 / a

### **Bibliografia**

Baggi, S. and Schweizer, J., 2009. Characteristics of wet snow avalanche activity: 20 years of observations from a high alpine valley (Dischma, Switzerland). Natural Hazards, 50(1): 97-108.

Bavay, M., Grünewald, T., Lehning, M., 2013. Response of snow cover and runoff to climate change in high Alpine catchments of Eastern Switzerland. Advances in Water Resources, 55: 4-16.

Bronaugh, D. and A. Werner, 2009. zyp: Zhang + Yue-Pilon trends package. R package version 0.9-1. http://www.R-project.org/

Bründl, M.; Etter, H.-J.; Steiniger, M.; Klingler, C.; Rhyner, J.; Ammann, W.J., 2004. IFKIS - a basis for managing avalanche risk in settlements and on roads in Switzerland. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 4: 257-262.

Crawley, M., 2007. The R Book. Wiley, 942 p. ISBN: 978-0-470-51024-7

Darms, G., 2013: Wetter, Schneedecke und Lawinengefahr in den Schweizer Alpen. Hydrologisches Jahr 2012/13. Davos, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 30 S.

Durand, Y., Giraud, G. Goetz, D., Maris, M., Payen, V., 2012. Modeled snow cover in Pyrenees mountains and cross-comparisons between remote-sensed and land-based observation data. Proceedings of the Int. Snow Science Workshop, September 16-21, 2012, Anchorage, AK, USA. 998-1004.

Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J., Stoffel, M., 2013. 21st century climate change in the European Alps. Science of the Total Environment, doi:org/10.1016/j. scitotenv.2013.07.050.

Laternser, M., 2002. Snow and Avalanche Climatology of Switzerland. Dissertation ETH Zürich, CH, No. 14493, 139 p.

Laternser, M., Pfister, C., 1997. Avalanches in Switzerland 1500-1990. In: Frenzel, B., Matthews, J., Gläser, A., Weiss, M. (Eds.): Rapid mass movement as a source of climatic evidence for the Holocene. Palaeoclimate Research, 19: 241-266.

Lato, M.J., Frauenfelder, R., Bühler, Y., 2012. Automated avalanche deposit mapping from VHR optical imagery. Proceedings of the Int. Snow Science Workshop, September 16-21, 2012, Anchorage, AK, USA. 392-394.

Marty, C., Blanchet, J., 2012. Long-term changes in annual maximum snow depth and snowfall in Switzerland based

on extreme value statistics, Climatic Change, doi:10.1007/ s10584-011-0159-9.

McLeod, A.I., 2011. Kendall: Kendall rank correlation and Mann-Kendall trend test. R package version 2.2. http://CRAN.R-project.org/package=Kendall

MeteoSwiss, 2013. Federal Office of Meteorology and Climatology, Zürich, CH. Monthly temperature anomalies of 13 homogeneous Swiss meteo stations. Online http://www.meteoschweiz.admin.ch)

Mitterer, C. and Schweizer, J., 2013. Analysis of the snowatmosphere energy balance during wet-snow instabilities and implications for avalanche prediction. The Cryosphere, 7(1): 205-216.

R, Development Core Team (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, AUT. ISBN 3-900051-07-0, http://www.R-project.org/

Schneebeli, M., Laternser, M., Ammann, W., 1997. Destructive snow avalanches and climate change in the Swiss Alps. Eclogae geol. Helv., 90: 457-461.

Serquet, G., Marty, C., Rebetez, M., Dulex, J.P., 2011. Seasonal trends and temperature dependence of the snowfall/precipitation day ratio in Switzerland, Geophysical Research Letters, 38, L07703, doi:10.1029/2011 GL046976.

SLF Handbuch für Beobachter (SLF observer guidelines), 1987. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos, CH, 35 p.

Techel, F., Pielmeier, C., Darms, G, Teich, M., Margreth, S., 2013. Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen. Hydrologisches Jahr 2011/12. Davos, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, WSL Ber. 5, 118 p., ISSN 2296-3448.

Techel, F.; Pielmeier, C.; Schneebeli, M., 2011. Microstructural resistance of snow following first wetting. Cold Reg. Sci. Technol. 65: 382-391.

Teich, M., Marty, C., Gollut, C., Grêt-Regamey, A., Bebi, P., 2012: Snow and weather conditions associated with avalanche releases in forests: Rare situations with decreasing trends during the last 41 years, Cold Reg. Sci. Technol., doi:10.1016/j. coldregions. 2012.06.007.

# VALANGHEda SLITANGHEDO L'influenza di alcuni parametri meteorologici

### sulle valanghe da slittamento

#### Lisa Dreier, Christoph Mitterer, Stephan Harvey WSL, Istituto per lo studio

della neve e delle valanghe SLF, Davos, Svizzera Corr.: lisa.dreier@slf.ch

### Sebastian Feick

Istituto di geografia, Università di Erlangen-Nürnberg, Germania

Nel corso dell'inverno 2011-2012 sulle Alpi svizzere si è riscontrata un'elevata attività valanghiva per slittamento della neve. Il pericolo legato alle valanghe da slittamento, unitamente alle notevoli altezze del manto nevoso, hanno posto un'importante sfida alle autorità locali. Le valanghe da slittamento sono infatti difficili da prevedere e da controllare. Tempo, manto nevoso, suolo e terreno sono tutti fattori che influiscono sul fenomeno di slittamento. Finora, tuttavia, non si è riusciti a stabilire un chiaro nesso tra queste variabili e l'attività di slittamento della neve. I risultati di molte ricerche evidenziano che uno strato basale di neve umida è fondamentale per la formazione delle valanghe da slittamento. Sulla base di osservazioni, viene ipotizzato che vi siano processi diversi che favoriscono la formazione di questo strato basale e quindi l'innesco dei fenomeni di slittamento della neve in inverno e in primavera. In inverno il manto nevoso è solitamente freddo e asciutto, in primavera è più caldo e umido. Pertanto sono diversi i processi che formano acqua in corrispondenza dell'interfaccia neve-suolo. Per fare un po' di luce su questi due diversi periodi, il processo di slittamento della neve è stato monitorato presso un noto sito di valanghe da slittamento a Dorfberg, sopra Davos, in Svizzera, durante le stagioni invernali 2008-2009 e 2011-2012 utilizzando la tecnica della fotografia time-lapse. L'attività valanghiva da slittamento è stata messa confronto con i parametri meteorologici di una vicina stazione meteo. Ci siamo serviti di metodi statistici univariati e multivariati per analizzare i dati. I risultati evidenziano il verificarsi di processi diversi in inverno e in primavera. I parametri meteo più importanti in inverno sono la temperatura massima dell'aria, la sommatoria di 5 giorni di neve fresca e l'irraggiamento a onde corte in entrata. In primavera, appaiono invece più importanti parametri quali la temperatura della superficie della neve, la temperatura minima dell'aria, la differenza della temperatura dell'aria rispetto al giorno prima e l'umidità relativa. La differenza, in fatto di parametri importanti, tra inverno e primavera è indicativa del fatto che vi sono vari fattori alla base della formazione di strati d'acqua sottili sull'interfaccia neve-suolo e dunque che vi sono diversi processi alla base del fenomeno di slittamento della neve.



### INTRODUZIONE

Nell'inverno 2011-2012, sulle Alpi svizzere si è registrata un'attività valanghiva per slittamento al di sopra della media. Unitamente alle notevoli altezze del manto nevoso, le valanghe di questo tipo, difficili da prevedere e da controllare, hanno costituito una sfida critica per le autorità locali.

È noto come la presenza di uno strato d'acqua sottile nel punto di contatto nevesuolo sia cruciale per lo slittamento della neve (Clarke e McClung, 1999; Mitterer e Schweizer, 2012).

L'acqua presente sull'interfaccia neve-suolo proviene: i) dalla fusione dello strato di neve basale sul terreno riscaldato, ii) dalla pioggia o dall'acqua di fusione che percola dalla superficie attraverso l'intero manto nevoso, iii) dalla fusione della neve in aree ad energia elevata (per es. rocce esposte al sole e riscaldate) con formazione di acqua che scorre lungo l'interfaccia nevesuolo (McClung e Clarke, 1987; Mitterer e Schweizer, 2012).

Le condizioni presenti in corrispondenza del punto di contatto neve-suolo dipendono



Fig. 1 - Pendii monitorati (autunno e inverno) a

Dorfberg sopra Davos

(Svizzera).

dal tempo atmosferico, dal manto nevoso e dalle caratteristiche del suolo e del terreno. Tuttavia, finora non è stato possibile stabilire un rapporto chiaro tra queste variabili e l'attività di slittamento della neve.

L'influenza delle condizioni meteorologiche sul processo di slittamento della neve è stata esaminata in diversi lavori. Le varie osservazioni hanno evidenziato una maqgiore frequenza di valanghe da slittamento della neve a seguito di periodi di pioggia e neve (Clarke e McClung, 1995; Lackinger, 1987; Stimberis e Rubin, 2005; Stimberis e Rubin, 2011). Höller (2001) ha riportato frequenti distacchi di valanghe da slittamento in primavera, in concomitanza con un rialzo della temperatura della neve. Peitzsch et al. (2012) hanno invece studiato le valanghe da slittamento e le valanghe di neve umida in primavera. I ricercatori hanno indicato nella temperatura dell'aria e nell'assestamento del manto nevoso due importanti parametri ai fini della classificazione di giorni con valanghe e giorni senza valanghe.

In der Gand e Zupančič (1966) e Höller (2001) hanno messo in relazione l'incremento delle velocità di scorrimento e la frequente formazione di crepe nel manto nevoso con un più elevato carico di neve. Lo slittamento della neve è probabilmente dovuto a diversi processi in inverno, quando il manto nevoso è freddo e asciutto, e in primavera, quando il manto è più caldo e umido. Clarke e McClung (1999) hanno descritto le valanghe da slittamento della neve in inverno come *eventi con basse temperature* che, contrariamente agli *eventi con alte temperature* in primavera, non si possono porre in relazione con periodi più caldi.

Nel presente lavoro abbiamo esaminato l'influenza del tempo atmosferico sulle valanghe da slittamento, allo scopo di fare luce sui processi che sono alla base dei fenomeni di slittamento della neve in inverno (*eventi con basse temperature*) quando il manto nevoso è freddo e asciutto e in primavera (*eventi con alte temperature*) quando il manto nevoso è isotermico e umido.

Il nostro obiettivo era consolidare la conoscenza dei processi di slittamento della neve e contribuire al miglioramento della prevedibilità delle valanghe da slittamento.

### DATI E METODI Monitoraggio degli eventi di slittamento della neve

Abbiamo utilizzato la tecnica di riprese temporizzate (intervalli di 15 minuti) per monitorare le valanghe da slittamento presso il sito di Dorfberg sopra Davos (Alpi svizzere orientali), un sito noto per questo tipo di valanghe. La fotocamera per il monitoraggio è stata installata sopra un edificio di Davos e copre gran parte dei pendii di Dorfberg esposti a est-sud-est (Fig. 1), la cui altitudine varia da 1700 m a 2400 m sopra il livello del mare (vetta principale: Salezer Horn, 2536 m s.l.m.). La copertura del terreno è costituita per lo più da prati ripidi e molto ripidi, ma anche da zone rocciose, cespugli e boschi chiusi e aperti. Le fotocamere standard riprendono immagini nello spettro del visibile e la qualità è legata alla buona visibilità. Nei periodi di scarsa visibilità, legata a condizioni di tempo brutto o di notte, non si possono raccogliere informazioni, o si hanno informazioni incomplete. I periodi presi in esame vanno dal 9 dicembre 2008 al 2 aprile 2009 e dall'8 dicembre 2011 al 9 marzo 2012, poiché in ambedue gli anni si è riscontrato un numero di eventi valanghivi per slittamento della neve superiore alla media. Ogni immagine è stata analizzata manualmente e sono state registrate data e ora del primo avvistamento di ogni valanga (Feick et al., 2012).

### Dati meteorologici

Per la nostra analisi sono stati utilizzati i parametri meteo (Tab. 1) registrati presso la stazione meteorologica del sito sperimentale di Weissfluhjoch (2540 m s.l.m.), localizzato a nord-ovest di Dorfberg.

Abbiamo calcolato i valori minimi, massimi e medi per giornata e le differenze corrispondenti a diversi giorni prima, in modo da tener conto delle potenziali influenze di sfasamento di questi parametri sull'attività valanghiva per slittamento.

L'altezza della neve fresca è stata misurata ogni mattina a Davos (1560 m s.l.m.) e sul Weissfluhjoch (2540 m s.l.m.) da osservatori locali. La media di entrambi i valori è stata considerata rappresentativa per Dorfberg. Dal momento che riteniamo che il carico causato dalla neve fresca svolga un importante ruolo nell'attività valanghiva per slittamento, abbiamo calcolato la sommatoria della neve fresca su cinque giorni (il giorno presente più quattro giorni prima) e abbiamo aggiunto il risultato al set di dati dei parametri meteo. Il set di dati utilizzato per l'analisi statistica è costituito da 26 parametri meteo.

Clarke e McClung (1999) hanno distinto tra eventi con basse temperature ed eventi con alte temperature. Abbiamo supposto che vi siano diversi processi alla base dello slittamento di un manto nevoso asciutto e freddo (soprattutto in inverno) e di un manto nevoso umido e caldo in primavera. Allo scopo di far luce su questi processi, abbiamo suddiviso le due stagioni invernali 2008-2009 e 2011-2012 in periodo invernale e primaverile. L'inizio del periodo primaverile è stato fissato al 16 febbraio 2009 per l'inverno 2008-2009 e all'11 febbraio 2012 per l'inverno 2011-2012. I periodi di primavera e inverno di ambedue le stagioni invernali sono stati analizzati insieme.

### Analisi statistica univariata e multivariata

L'attività valanghiva per slittamento è stata considerata come una variabile binaria: le valanghe sono state osservate in un giorno prestabilito o meno (giorni con valanghe/ senza valanghe). Abbiamo utilizzato dei *boxplot* per descrivere la distribuzione dei parametri meteo sui giorni con valanghe e senza valanghe. E' stato eseguito il *ranksum test* di Wilcoxon per testare la coerenza di distribuzione di un dato parametro meteo sui giorni con valanghe e senza valanghe (significativo: valore p < 0,05, altamente significativo: valore p < 0,01).

I metodi di statistica multivariata includevano alberi di decisione e foreste casuali (Breiman, 2001; Hothorn et al., 2006; Liaw e Wiener, 2002) e sono stati applicati per analizzare l'influsso di combinazioni di diversi parametri meteo sull'attività valanghiva per slittamento. Gli alberi di decisione binaria forniscono un'idea degli effetti dei parametri di input (Hothorn et al., 2006). Questo metodo consolidato è stato utilizzato in diversi lavori di previsione delle valanghe per l'analisi dei dati, oltre che per l'attività di previsione (Peitzsch et al., 2012). Gli alberi di decisione binaria suddividono il set di dati in due categorie, in guesto caso giorni con valanghe e giorni senza valanghe. L'albero suddivide ricorsivamente il set di dati in base al parametro di input che presenta il nesso più forte con la variabile di risposta e un valore p < 0,05. Se non è possibile trovare alcun parametro significativo, l'albero smette di crescere. Le foreste casuali sono costituite da numerosi alberi di classificazione binaria (n. d'alberi = 2500) e in questo lavoro sono state utilizzate per calcolare i parametri meteo più importanti. Due terzi del set di dati sono stati utilizzati per far crescere l'albero. Per suddividere il set di dati è stato testato un sottoinsieme di parametri meteo di input (N = 12). Questo sottoinsieme variava per ogni albero, così che sono stati sviluppati numerosi alberi diversi. Ogni giorno osservato è stato classificato come giorno con valanghe o giorno senza valanghe a seconda di quale categoria prevaleva su tutti gli alberi.

L'importanza dei parametri meteo di input è stata valutata mediante le misurazioni del decremento medio dell'accuratezza e del coefficiente di Gini. Il processo di valutazione segue i seguenti passi: i) calcolo della misura specificata per ogni albero, ii) permutazione dei dati del parametro di input usato per suddividere il set di dati e iii) nuovo calcolo della misura specificata. La permutazione spezza il legame tra variabile esplicativa e variabile di risposta. Se, per esempio, la variabile esplicativa spiega bene la variabile di risposta, l'accuratezza della classificazione diminuisce dopo la permutazione (Breiman, 2001; Strobl et al., 2008). Le misure specificate sono state ripartite in modo proporzionale su tutti gli alberi per ogni parametro meteo di input. Le differenze dei parametri meteo più importanti risultanti dalle diverse misurazioni sono state sincronizzate manualmente con i cinque parametri più importanti.

Per eseguire l'analisi statistica è stato utilizzato il linguaggio e l'ambiente R per il calcolo statistico, compresi i pacchetti di ambiente *R 'party'* (Hothorn et al., 2006) e *'randomForest'* (Liaw e Wiener, 2002).

Parametro	Unità
Temperatura aria	°C
Umidità relativa	%
Radiazione onde corte incidente	W/m <sup>2</sup>
Radiazione onde corte riflessa	W/m <sup>2</sup>
Radiazione onde lunghe incidente	W/m <sup>2</sup>
Radiazione onde lunghe in uscita	W/m <sup>2</sup>
Altezza neve	cm

### RISULTATI E DISCUSSIONE

Abbiamo registrato 73 valanghe da slittamento su 23 giorni nell'inverno 2008-2009 e 101 eventi su 26 giorni durante l'inverno 2011-2012. Nell'inverno 2008-2009 sono stati identificati due periodi di attività elevata in dicembre e alcuni giorni in marzo e aprile. La stagione invernale 2011-2012 ha evidenziato un'attività continua di slittamento della neve con cinque distinti periodi di elevata attività da dicembre agli inizi di marzo.

Le temperature dell'aria e della neve sembrano influire sull'attività valanghiva per slittamento, dal momento che nei periodi invernali e primaverili sia la temperatura massima dell'aria sia la temperatura massima della superficie del manto nevoso (legata alle radiazioni a onde lunghe in uscita) hanno evidenziato differenze molto significative tra i giorni con valanghe e i giorni senza valanghe (Fig. 2). In inverno, le temperature dell'aria in oltre il 75% dei giorni con valanghe si sono mantenute al di sotto di 0 °C, mentre le temperature dell'aria sono salite sopra 0 °C in metà dei giorni con valanghe in primavera. Le temperature della superficie del manto nevoso si sono mantenute ben al di sotto di 0 °C in inverno. Tuttavia, nella metà dei giorni con valanghe in primavera le temperature della superficie del manto hanno raggiunto 0 °C. I regimi di temperatura nei giorni con valanghe sono risultati notevolmente diversi da quelli rilevati nei giorni senza valanghe. I risultati ottenuti con gli alberi di classificazione hanno sottolineato l'importanza delle temperature dell'aria e della superficie del manto nevoso. Per i periodi invernali specificati la temperatura massima dell'aria è risultato il parametro più importante, seguito dal dato della sommatoria di neve fresca in 5 giorni (Fig. 3).

Tab.1 - Parametri meteo registrati presso il sito sperimentale di Weissfluhjoch (2540 m s.l.m.).

Sotto, dall'alto in basso: Fig. 2 - Boxplot di (a) temperatura massima dell'aria e (h) temperatura massima della superficie del manto nevoso per i periodi invernali nei giorni con valanghe (Ad) e nei giorni senza valanghe (nAd). Boxplot della (c) temperatura massima dell'aria e (d) temperatura massima della superficie del manto nevoso per i periodi primaverili specificati di entrambe le stagioni invernali 2008-2009 e 2011-2012. I set di dati non sono bilanciati, poiché in ambedue le stagioni invernali sono stati monitorati più giorni senza valanghe che giorni con valanahe. La linea orizzontale grigia contrassegna il livello 0 °C.

Fig. 3 - Albero di decisione per i periodi invernali specificati di ambedue le stagioni invernali 2008-2009 e 2011-2012.

La temperatura massima dell'aria divide il set di dati con un valore soglia di -2,6 °C nei giorni con valanghe (temperature più elevate) e nei giorni senza valanghe (temperature uquali o inferiori). I giorni senza valanghe vengono poi ulteriormente classificati in base alla sommatoria di neve fresca caduta in 5 giorni nei giorni con valanghe (più di 80 cm) e nei giorni senza valanghe (80 cm o meno di 80 cm di neve fresca in cinque giorni). I box in Fig. 3 indicano la percentuale di giorni con valanghe osservati (grigio scuro) e giorni senza valanghe (grigio chiaro) per ogni nodo finale. Le temperature elevate dell'aria e il forte caricamento del manto nevoso sembrano favorire il verificarsi di valanghe da slittamento in inverno. L'albero di classificazione per i periodi primaverili specificati, suddivide il set di dati in base alla temperatura media dell'aria nei qiorni con valanghe (> -0,4 °C) e nei giorni senza valanghe ( $\leq$  -0,4 °C).

In primavera, le elevate temperature medie dell'aria sembrano favorire il processo di slittamento della neve come unico impor-



0.4

0.2

0.4

0

tante parametro meteo. Le foreste casuali hanno nuovamente evidenziato come la significatività delle temperature dell'aria e della superficie del manto nevoso siano i parametri più importanti in inverno e primavera (Tab. 2). Oltre alle temperature dell'aria e della superficie del manto nevoso (legate alle radiazioni a onde lunghe in uscita), la quantità di neve fresca, la variazione di altezza della neve e l'irraggiamento a onde corte in entrata sono risultati i parametri meteo più importanti legati alle valanghe da slittamento della neve nei periodi invernali. Le temperature della superficie del manto nevoso e dell'aria e le variazioni di altezza della neve e di umidità relativa hanno invece influito molto sullo slittamento della neve nei periodi di primavera.

### Discussione sui parametri meteo statisticamente significativi nei periodi invernali

In entrambe le stagioni invernali, le temperature dell'aria e della superficie del manto nevoso sono risultate più elevate nei giorni con valanghe che nei giorni senza valanqhe (Fiq. 2). Nei periodi invernali non si è avuta formazione d'acqua liquida in superficie poiché le temperature del manto nevoso raggiungevano appena 0 °C, il che suggerisce che non si è avuta percolazione d'acqua di fusione nel manto nevoso. La presenza d'acqua all'interfaccia neve-suolo era probabilmente da porre in relazione con il processo di fusione della neve a contatto con il terreno caldo oppure con la presenza d'acqua che sale dal terreno e dall'erba per effetto della capillarità (Mitterer e Schweizer, 2012).

L'analisi statistica ha dimostrato come una grande quantità di neve fresca sia altamente correlata ai giorni con valanghe. La neve fresca accresce il carico sul manto nevoso, il che si traduce in elevate velocità di assestamento e una maggiore attività di slittamento e reptazione del manto nevoso. Le forze presenti lungo il pendio crescono con l'aumentare del carico sul manto nevoso (Höller, 2001; In der Gand e Zupančič , 1966). Il movimento del e all'interno del manto nevoso potrebbe turbare l'equilibrio di forze e portare a un distacco della neve che sostiene la zona di scorrimento, che conseguentemente potrebbe staccarsi in forma di valanga per slittamento (Bartelt et al., 2012).

Gli incrementi delle temperature dell'aria e della superficie del manto sono legati ai giorni con nevicate, e dunque è ovvio che questi tre parametri indichino un'elevata attività di slittamento della neve. Giorni molto freddi senza nevicate hanno invece evidenziato un'attività di slittamento marginale.

Il forte influsso dell'irraggiamento a onde corte in entrata è indicativo di come le valanghe da slittamento si verifichino di frequente nei giorni soleggiati in inverno. Clarke e McClung (1999) hanno supposto che le radiazioni a onde corte riscaldino le rocce sottostanti il manto nevoso, con conseguente fusione dello strato di neve basale. L'acqua presente sull'interfaccia nevesuolo riduce l'attrito sul terreno del manto nevoso, con conseguenti maggiori velocità di slittamento (McClung e Clarke, 1987).

Le ipotesi avanzate da Clarke e McClung (1999) si adattano a diverse zone del Dorfberg (Fig.1). Questo risultato è fortemente legato alla topografia locale dell'area di studio e potrebbe non essere generalizzato.

### Discussione sui parametri meteo statisticamente significativi nei periodi primaverili

Le temperature dell'aria e della superficie del manto nevoso (derivate dall'irraggiamento a onde lunghe in uscita) si sono rivelate importanti ai fini del moto di slittamento della neve nei periodi primaverili (Fig. 2). Le temperature indicano un manto nevoso con 0 °C o una superficie della neve prossima a 0 °C nei giorni con valanghe. Potrebbe essersi verificato un processo di fusione con consequente infiltrazione di acqua nel manto nevoso (Mitterer e Schweizer, 2012). Questo risultato è in linea con le osservazioni di Clarke e McClung (1999), che hanno messo in correlazione periodi di elevate temperature dell'aria a giorni con elevate velocità di slittamento della neve. Peitzsch et al. (2012) hanno identificato il processo di assestamento del manto nevoso come un altro importante parametro.

0.4

0.2

In guesto lavoro l'approccio multivariato delle foreste casuali ha sottolineato l'importanza della variazione dell'altezza del manto nevoso (Tab. 2). Poiché la direzione di variazione dell'altezza della neve non si ottiene in modo inequivocabile dalle foreste casuali, è difficile analizzare questo aspetto. Da un lato una variazione dell'altezza della neve potrebbe dipendere dalla neve fresca che, come sopra discusso, comporta un maggiore carico e dungue un movimento all'interno del manto nevoso che può influire sull'equilibrio delle forze tra la zona di slittamento e il piede del lastrone sottostante (Bartelt et al., 2012). Dall'altro lato l'assestamento del manto nevoso potrebbe essere responsabile di una variazione dell'altezza della neve. Il processo di assestamento spesso procede di pari passo con la fusione della neve, e dunque può accadere che l'acqua risultante percoli attraverso il manto nevoso e riduca l'attrito all'interfaccia neve-suolo (Peitzsch et al., 2012). In primavera sembrano essere più probabili periodi con un più accentuato assestamento del manto nevoso.

### Separazione di periodi invernali e primaverili

La differenza in fatto di parametri importanti fra periodi invernali e primaverili denota la presenza di diversi processi fondamentali alla base del moto di slittamento della neve. Clarke e McClung (1999) e Mitterer e Schweizer (2012) condividono questo punto di vista. Clarke e McClung (1999) hanno suddiviso le valanghe da slittamento da loro osservate in eventi con basse temperature ed eventi con alte temperature. Nel presente lavoro le valanghe da slittamento sono state classificate di conseguenza, separando le stagioni invernali in periodi invernali e periodi primaverili. In inverno (eventi con basse temperature), l'acqua non è percolata attraverso il manto nevoso per la presenza di un manto nevoso sempre freddo (superficie manto nevoso  $\leq$  0 °C) e asciutto. L'acqua presente all'interfaccia neve-suolo è provenuta da altre fonti (Mitterer e Schweizer, 2012). In primavera (eventi con alte temperature), l'acqua di fusione si è infiltrata nel manto nevoso. L'acqua di fu-

Inverno	Primavera
Temperatura massima aria	Radiazioni onde lunghe in uscita
Sommatoria 5 giorni di neve fresca	Temperatura minima dell'aria
Differenza altezza della neve in 24 h	Differenza temperatura aria in 24 h
Radiazioni onde corte in entrata	Differenza altezza della neve in 72 h
Radiazioni onde lunghe in uscita	Umidità relativa media

sione è probabilmente percolata attraverso il manto nevoso e ha formato una pellicola d'acqua sottile all'interfaccia neve-suolo che ha ridotto l'attrito tra zona di slittamento e terreno (Clarke e McClung, 1999).

### CONCLUSIONE

Abbiamo preso in esame l'attività valanghiva per slittamento della neve a Dorfberg sopra Davos (Alpi svizzere orientali). L'influenza dei parametri meteorologici è stata esaminata con metodi statistici univariati e multivariati, tra cui gli alberi di decisione e le foreste casuali. Sono state eseguite analisi per i due periodi, invernale e primaverile, sulla base della supposizione che nei due periodi vi sono processi diversi che causano il moto di slittamento della neve (Clarke e McClung, 1999). I risultati avvalorano tali ipotesi, dal momento che diversi parametri meteo sembrano essere importanti nei due periodi. In inverno, i parametri più importanti sono la temperatura dell'aria, la sommatoria della neve fresca e l'irraggiamento solare (onde corte). In primavera, hanno un ruolo importante la temperatura della superficie della neve, la temperatura dell'aria e la variazione di altezza della neve.

Lo strato d'acqua sottile (In der Gand e Zupančič, 1966) presente all'interfaccia neve-suolo ha origini diverse per i due periodi. In inverno (eventi con basse temperature), si ha la formazione di una pellicola d'acqua in corrispondenza dello strato di neve basale del manto nevoso freddo e asciutto a causa della fusione dello strato di neve basale a contatto con il terreno caldo o per l'afflusso d'acqua che sale dal terreno e filtra nel manto nevoso per gli effetti della capillarità (Mitterer e Schweizer, 2012). In primavera (eventi con alte temperature), l'acqua di fusione s'infiltra e percola attraverso il manto nevoso, fino a raggiungere l'interfaccia neve-suolo (Clarke e McClung, 1999). Il fatto che vi siano diverse fonti d'acqua indica chiaramente la presenza di diversi processi che causano lo slittamento della neve nei due diversi periodi.

### RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo Matthias Braun e Jürg Schweizer per averci supportato nello svolgimento del presente lavoro.

### **Bibliografia**

Bartelt, P., Feistl, T., Bühler, Y. and Buser, O., 2012. Overcoming the stauchwall: Viscoelastic stress redistribution and the start of full-depth gliding snow avalanches. Geophysical Research Letters, 39(16).

Breiman, L., 2001. Random Forests. Machine Learning, 45(1): 5-32.

Clarke, J.A. and McClung, D.M., 1995. Correlation of fast rates of snow glide with full-depth avalanche occurrence, International Snow Science Workshop ISSW 1994. ISSW 1994 Organizing Committee, Snowbird UT, USA, Snowbird, Utah, USA, pp. 405-407.

Clarke, J.A. and McClung, D.M., 1999. Full- depth avalanche occurrences caused by snow gliding, Coquihalla, British Columbia, Canada. Journal of Glaciology, 45(151): 539-546.

Feick, S., Mitterer, C., Dreier, L., Harvey, S. and Schweizer, J., 2012. Automated detection and mapping of glide-snow events using satellite based optical remote sensing and terrestrial photography, International Snow Science Workshop ISSW 2012, Anchorage AK, USA, pp. 603-609.

Höller, P., 2001. Snow gliding and avalanches in a south-facing larch stand, Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer Schemes and Large-Scale Hydrological Models (Symposium at 6th IAHS Scientific Assembly). International Association of Hydrological Sciences, Wallingford, Oxfordshire, U.K., Maastricht, The Netherlands, pp. 355-358.

Hothorn, T., Hornik, K. and Zeileis, A., 2006. Unbiased Recursive Partitioning: A Conditional Inference Framework. Journal of Computational and Graphical Statistics, 15(3): 651-674.

In der Gand, H.R. and Zupančič, M., 1966. Snow gliding and avalanches, Symposium at Davos 1965 - Scientific Aspects of Snow and Ice Avalanches. Int. Assoc. Hydrol. Sci., Wallingford, UK, pp. 230-242.

Lackinger, B., 1987. Stability and fracture of the snow pack for glide avalanches. In: B. Salm and H. Gubler (Editors), Symposium at Davos 1986 -Avalanche Formation, Movement and Effects. International Association of Hydrological Sciences, Wallingford, Oxfordshire, U.K., pp. 229-241.

 $\_$  Liaw, A. and Wiener, M., 2002. Classification and Regression by randomForest. R News, 2(3): 18–22.

McClung, D.M. and Clarke, G.K.C., 1987. The effects of free water on snow gliding. Journal of Geophysical Research, 92(B7): 6301- 6309.

Mitterer, C. and Schweizer, J., 2012. Towards a Better Understanding of Glide-Snow Avalanche Formation, International Snow Science Workshop ISSW 2012, Anchorage, AK, USA, pp. 610-616.

Peitzsch, E.H., Hendrikx, J., Fagre, D.B. and Reardon, B., 2012. Examining spring wet slab and glide avalanche occurrence along the Going-to-the-Sun Road corridor, Glacier National Park, Montana, USA. Cold Regions Science and Technology, 78: 73-81.

Stimberis, J. and Rubin, C., 2005. Glide avalanche detection on a smooth rock slope, Snoqualmie Pass, Washington. In: K. Elder (Editor), International Snow Science Workshop ISSW 2004, Jackson Hole, WY, USA, pp. 608–610.

Stimberis, J. and Rubin, C., 2011. Glide avalanche response to an extreme rain-on-snow event, Snoqualmie Pass, Washington, USA. Journal of Glaciology, 37(203): 468-474.

Strobl, C., Boulesteix, A.-L., Kneib, T., Augustin, T. and Zeileis, A., 2008. Conditional Variable Importance for Random Forests, BMC Bioinformatics.

Tab. 2 - Importanza della variabile secondo l'analisi delle foreste casuali. I principali parametri meteo sono elencati in ordine discendente.

# ISSN 2013 RIASSUNTI DEI LAVORI PRESENTATI DAGLI UFFICI

Vengono di seguito riportati i riassunti dei lavori ai quali hanno contribuito, come autori principali o come coautori, tecnici e ricercatori afferenti agli uffici valanghe AINEVA e alla segreteria AINEVA. Maggiori informazioni sulle ricerche presentate possono essere richieste direttamente ai rispettivi uffici valanghe o alla segreteria AINEVA (vedi indirizzi in seconda di copertina). I lavori completi, in lingua inglese sono consultabili al sito http://arc.lib.montana.edu/snow-science/ facendo una ricerca per autore.

VALANGHE AINEVA



### VALLE D'AOSTA

### Influenza della topografia estiva e invernale sulle simulazioni numeriche di valanghe

Maggioni M., Bovet E., Dreier L., Buehler Y., Godone D., Bartelt P., Freppaz M., Chiaia B., Segor V. I modelli numerici di dinamica valanghiva sono ampiamente utilizzati per simulare valanghe estreme nella mappatura del rischio e nella pianificazione della mitigazione territoriale. Un dato di ingresso basilare per i modelli è il terreno rappresentato dai modelli digitali del terreno (DEM).

Solitamente viene utilizzata come input del modello la topografia del terreno estivo, sebbene la maggior parte delle valanghe si verifichi su terreni innevati con canaloni anche ricolmi di neve e con una rugosità smussata. Inoltre, i depositi di eventi valanghivi precedenti possono influenzare significativamente le dinamiche di eventi successivi, soprattutto considerando il verificarsi di valanghe frequenti sullo stesso percorso.

Lo scopo di questo lavoro è quello di analizzare e comparare gli output del modello di dinamica valanghivo RAMMS ottenuti utilizzando sia il DEM estivo sia il modello digitale di superficie (DSM) invernale generato da una scansione laser e dalla fotogrammetria digitale.

Viene utilizzato il modello 2D RAMMS per simulare le valanghe in due aree di studio: nel sito sperimentale Seehore in Valle d'Aosta (I) e a Davos (CH). Nel sito Seehore si analizzano due piccole valanghe distaccate artificialmente. In quelle occasioni, era stato effettuato un rilievo laser scan terrestre (TLS) pre e post evento integrato con la fotogrammetria, in modo tale da ricavare informazioni sul volume della valanga e sulla distribuzione del manto nevoso prima dell'evento. Si può notare come i depositi precedenti influenzano la dinamica del flusso valanghivo, ed in particolare, la direzione e la forma del deposito. Le simulazioni con il DSM invernale risultano essere più vicine alla realtà e danno risultati più accurati rispetto alle simulazioni effettuate su DFM estivo

Nell'area di Davos si considerano due percorsi valanghivi e vengono simulati due eventi valanghivi sia con il DEM estivo sia con il DSM invernale generato da fotogrammetria aerea digitale. Si nota una lieve differenza nella velocità del flusso e nel percorso seguito dalle valanghe simulate.

In particolare i canaloni riempiti dalla neve rivestono un ruolo importante nella determinazione del percorso seguito dalla valanga.

In questo lavoro sono presentati i risultati ottenuti in queste due aree di studio e sono tratte delle conclusioni generali su questo problema che, se pur importante, non è ancora stato sviluppato in precedenza.

### I primi rilievi e misure di trasporto eolico della neve al sito valanghivo sperimentale di Punta Seehore - Valle d'Aosta (IT)

Maggioni M., Durand N., Frigo B., Pallara O., Freppaz M., Viglietti D., Dellavedova P., Segor V., Naaim-Bouvet F., Bellot H.

Nelle aree ad alta quota, il trasporto eolico della neve, snowdrift, influenza la distribuzione spaziale del manto nevoso e, di conseguenza, la sua stabilità. In particolare, la velocità con cui il manto nevoso viene sovraccaricato nelle zone di possibile distacco valanghivo a seguito di ridistribuzione della neve dovuta al vento è un del parametri fondamentale per la comprensione del ritardo rispetto alla nevicata del distacco delle valanghe a lastroni. La quantità di neve erosa dal lato sopravvento ed accumulata sul lato sottovento non è soltanto una funzione delle caratteristiche del vento, ma dipende anche dalle condizioni del manto nevoso.

Uno degli obiettivi del progetto MAP<sup>3</sup> "Monitoring for the Avalanche Prevision, Prediction and Protection" – P.O. Cooperazione territoriale europea Italia/Francia (Alpi) 2007-2013 è quello di migliorare la comprensione dell'influenza dello *snowdrift* sulla distribuzione spaziale del manto nevoso nel lato sottovento delle zone di cresta, dove maggiormente si verifica il distacco (naturale o artificiale) delle valanghe a lastroni.

Per raggiungere questo obiettivo, durante l'estate 2012, il sito valanghivo sperimentale di P.ta Seehore in Valle d'Aosta (IT) è stato attrezzato con una stazione nivometeorologica installata sul crinale a 2570 m slm. La stazione è composta da: 1 anemometro, 1 sensore per la misura della direzione del vento, 1 nivometro e 4 sensori per la misura del trasporto della neve da parte del vento (*Wenglor YH08NCT8 LASER*), posti ad altezze variabili di 110, 210, 310 e 550 cm da terra.

Le misure sono registrate sia localmente da un *data-logger* sia inviate, grazie ad un particolare sistema di trasmissione, in tempo reale, al Politecnico di Torino.

In caso di distacco valanghivo, le proprietà del manto nevoso, come ad es. densità e temperatura della neve, tipo di cristallo, ecc... e le caratteristiche di distacco, come ad es. spessore del lastrone lungo la linea di corona, larghezza media della superficie distaccata, posizione e caratteristiche dello strato debole, ecc..., vengono misurate grazie a rilievi in campo. Completano il rilievo le misure laser scan e la fotogrammetria eseguite anche per ottenere informazioni sulla distribuzione spaziale del manto nevoso su tutto il bacino valanghivo, con particolare attenzione alla zona di distacco

L'articolo presenta la concezione, la progettazione e l'installazione del sistema e le prime misure effettuate.

Da una semplice analisi dei dati registrati durante il primo inverno operativo (2012-13) scaturisce che il trasporto eolico della neve è direttamente correlato alle condizioni della nevicata, del vento e dell'inclinazione del pendio. Dalle poche valanghe artificiali distaccate nella stagione 2012-13, l'analisi delle caratteristiche del distacco e del manto nevoso rispetto alle condizioni di *snowdrift* ha fornito solo alcuni risultati preliminari e ulteriori rilievi sono previsti per le prossime stagioni invernali.

Tuttavia, questo nuovo sito sperimentale sullo *snowdrift* presenta una grande potenzialità sia perché direttamente correlato ad un sito valanghivo monitorato con distacchi controllati, sia grazie alle sue piccole dimensioni e relativa semplice logistica per la raccolta dati.

### Nuova applicazione ad immagini 3D per la perimetrazione rapida dei limiti degli eventi valanghivi: procedura e prima validazione

Bornaz L., Frigo B., Durand N., Dellavedova P., Segor V. Grazie al progetto "Monitoring for the Avalanche Prevision, Prediction and Protection" (MAP<sup>3</sup>) - P.O. Cooperazione territoriale europea Italia/Francia (Alpi) 2007-2013, si sta sviluppando una nuova applicazione per la mappatura tridimensionale al fine di ridurre i tempi di censimento delle valanghe e di implementazione del Catasto Valanghe valdostano. La metodologia è nata per supportare i previsori e i cartografi del rischio valanghe nell'azione di misurare e disegnare rapidamente i limiti delle valanghe, in special modo nella zona di deposito.

L'applicazione gestisce gli scatti (o scatto) fotografici digitali effettuati da una macchina fotografica appositamente calibrata ed è in grado di integrate l'immagine della valanga con il modello digitale del terreno e le ortofotomappe regionali.

Essa crea così un'immagine solida geo-riferita a seguito dell'individuazione di pochi punti (minimo 3) e la riporta in ambiente GIS-3D.

Lo sviluppo della metodologia permette agli esperti di riportare rapidamente in cartografia la corretta perimetrazione della valanga censita seguendo la reale morfologia del bacino valanghivo. Una volta creata l'immagine solida, l'operatore può eseguire varie misurazioni come ottenere la superficie interessata dalla valanga oppure dell'area di distacco/scorrimento/accumulo, nonché definire alcune distanze da obiettivi strategici come, ad esempio, strade, costruzioni, impianti di risalita, ecc. Questa procedura automatica, dopo un breve time processing fornisce come output la perimetrazione della valanga in formato shape file insieme ad una tabella contenente varie informazioni inserite sia di default (ad esempio la localizzazione del bacino in cartografia regionale, Comune di appartenenza, esposizione, ecc.) che dall'operatore (ad esempio data ed ora del distacco, informazioni su eventuali danni, ecc.).

Al fine della validazione della metodologia, tre siti sperimentali valanghivi sono stati presi in considerazione all'interno del territorio regionale: P.ta Seehore in Gressoney-La-Trinité (il sito sperimentale valdostano per lo studio della dinamica di valanghe di piccole/medie dimensioni), Menthieu in Valgrisenche e Crammont in Pré-Saint-Didier. Per ciascun bacino valanghivo sono stati presi in considerazione diversi metodi per il rilievo dei limiti di eventi valanghivi verificatisi durante l'inverno 2012/13 (laser scanner, GPS, ecc.) al fine di confrontare correttamente la precisione, i vantaggi e le limitazioni di questa metodologia e, in questo modo, calibrarla. L'obiettivo principe è di fornire agli Uffici neve e valanghe un semplice strumento per il rapido rilievo e la conseguente mappatura di eventi valanghivi per avere un aggiornamento quasi in tempo reale del Catasto Regionale Valanghe.

### Un metodo semplice per studiare i processi di erosione e di deposito della neve nelle valanghe di piccola dimensione: lo straw test

Bovet E., Maggioni M., Pitet L., Chiaia B., Freppaz M., Segor V., Dellavedova P.

I processi di erosione e di deposito della neve rivestono un ruolo fondamentale nella dinamica valanghiva. Oggi, sono utilizzate per studiare questi processi tecniche sofisticate e costose, come il *laser scan* e i radar FMCW. Lo scopo di questo lavoro è quello di proporre un metodo alternativo, semplice ed economico per distinguere il deposito della valanga dal sottostante manto nevoso indisturbato e di quantificare l'altezza netta di erosione e di deposito.

Il metodo è basato sull'analisi del numero di cannucce di plastica opportunamente inserite all'interno del manto nevoso in punti specifici lungo il percorso valanghivo. Sulla base di diverse variabili, come il codice della cannuccia superiore e la quantità di neve fresca, registrata al tempo dell'installazione, appena prima e dopo il fenomeno valanghivo, è possibile ottenere informazioni sulla neve effettivamente erosa e depositata. Maggiore è il numero di punti e più estesa è la loro distribuzione lungo il percorso, maggiori sono le informazioni che possono essere ottenute riguardanti la distribuzione spaziale della neve erosa e depositata.

Lo *straw test* è stato applicato fin dall'inverno 2010-2011 presso il sito sperimentale italiano del Seehore (Valle d'Aosta, Alpi italiane nord occidentali), all'interno dei progetti DynAval e MAP<sup>3</sup>. I punti di monitoraggio sono localizzati in prossimità dell'ostacolo che si trova sul pendio oppure al di sotto di rocce e permettono anche lo studio dell'interazione tra le valanghe e le strutture o rocce. In questo lavoro sono presentati i vantaggi e gli svantaggi dello *straw test*, nonché le possibili soluzioni e i

miglioramenti futuri per far fronte alle problematiche riscontrate.

### La ricerca storica per il catasto valanghe come strumento per affinare le cartografie di rischio: il caso della valanga storica di Avieil, (Valle d'Aosta - Italy)

Roveyaz S., Debernardi A., Segor V. Alcune valanghe che in passato hanno dato luogo ad eventi catastrofici ma che non si sono più ripetute, risultano in definitiva poco o niente conosciute. Per questo motivo, recuperare e conservare la memoria storica di questi eventi calamitosi può risultare importante per affinare le cartografie dell'*hazard mapping* fondamentali per garantire una corretta pianificazione territoriale.

Lunedì 27 febbraio 1888 tra le ore 9.00 e le 10.00, dopo alcuni giorni molto nevosi (Hn 3gg: 400 cm a Champorcher, 1400 m s.l.m.), una grande valanga si distacca dall'ampio pendio meridionale compreso tra il Mont-Chizzagne e la Cime-Granla (1850 m s.l.m. in media), andando a raggiungere e distruggere il villaggio di Avieil (Comune di Arnad) posto a 915 s.l.m..Dalle cronache dell'epoca (opere letterarie, periodici dell'epoca, testimonianze orali, archivi storici locali) è stato possibile ricostruire la dinamica dell'evento valanghivo con un bilancio dei danni molto pesante: 13 sono le persone travolte, di cui 2 feriti e 11 vittime estratte solo dopo numerose ore di frenetiche ricerche; 18 abitazioni distrutte ad Avieil: danni al bestiame e ai boschi limitrofi.

L'unico edificio salvatosi risulta la cappella di Saint-Clair edificata nel 1689, attorno alla quale si era sviluppato il nucleo abitato distrutto.

Per la ricostruzione cartografica del nucleo principale del villaggio, prima e dopo l'evento valanghivo, e delle successive fasi di restauro ed eventuale delocalizzazione degli edifici, sono state analizzate le mappe prodotte dall'Ufficio di Architettura rurale (Tutela dei Beni Paesaggistici e Architettonici dell'Assessorato Istruzione e cultura): la mappa dei volumi costruiti in fasi successive, un elaborato cartografico in cui è riportata la datazione dei vari edifici o parti di essi, e la mappa di confronto che fornisce indicazioni relative al periodo in cui alcuni edifici sono divenuti ruderi ed eventualmente sono stati ristrutturati.

È stato interessante notare come, nel primo decennio successivo all'evento valanghivo, gli abitanti abbiano attuato una strategia preventiva dislocando i nuovi edifici nelle zone non raggiunte dalla massa nevosa. Al contrario, con l'ulteriore ampliamento urbanistico avvenuto ad Avieil dal 1945 ad oggi, si è tornati a edificare anche in quelle aree interessate nel 1888 dall'evento valanghivo. Questa tendenza al riuso di aree precedentemente evitate, è confermata dalla ricostruzione di alcuni edifici distrutti nel 1888.

L'analisi di queste mappe unita alla ricostruzione della dinamica dell'evento valanghivo ha permesso di aggiornare la cartografia del fenomeno valanghivo. Poiché sia all'interno del catasto valanghe regionale sia nell'ambito della legge 11 la perimetrazione risultava molto sottostimata, non includendo il nucleo abitato storico, questa ricerca storica risulta essere uno strumento di grande importanza sia per la conservazione della perduta memoria storica, sia per l'aggiornamento delle mappe del rischio.

### Il Catasto Valanghe della Regione Valle d'Aosta (*NW Italian Alps*): il nuovo portale web (http://catastovalanghe. partout.it/)

### Debernardi A., Segor V.

Le valanghe sono fenomeni naturali che, nel contesto di una Regione caratterizzata da un territorio prettamente montano come la Valle d'Aosta, possono condizionare notevolmente l'uso del suolo, il normale svolgimento delle attività di fondovalle, le attività economiche e quelle escursionistiche. Per questo motivo è fondamentale che l'Amministrazione Regionale possa avvalersi di strumenti capaci di riassumere, conservare e rendere facilmente fruibili le informazioni storiche relative ai fenomeni valanghivi. Il Catasto Regionale Valanghe è lo strumento con cui, dai primi anni Settanta, l'Ufficio Neve e Valanghe dell'Amministrazione regionale registra la storia delle valanghe osservate sulle montagne valdostane. Dal 1970 al 2013, sono stati censiti n. 2033 siti valanghivi, che vanno ad interessare circa il 15% del territorio regionale. Di queste valanghe n. 432 risultano potenzialmente capaci di arrecare danni ad edifici e n. 922 possono interessare la rete viaria (in totale 152 km interessati).

Oltre alla documentazione raccolta dai tecnici regionali, convergono informazioni e segnalazioni fornite dai rilevatori nivologici, documenti scritti, fotografie, misurazioni e quant'altro risulti utile a descrivere l'evento valanghivo osservato e a conservarne la memoria. Dopo molti anni dedicati a riordinare i dati già esistenti, l'Ufficio neve e valanghe ha raggiunto l'obiettivo di pubblicare sul sito della Regione Autonoma Valle d'Aosta (http://www. regione.vda.it/) un portale web interamente dedicato al Catasto Valanghe, dal quale si rendono accessibili a un vasto pubblico tutti i dati, inerenti le valanghe, raccolti e informatizzati.

Il portale è costituito da tre geonavigatori, strumenti cartografici che permettono di visualizzare i limiti valanghivi sovrapposti a carte tecniche e ortofotocarte, e da due applicativi che rendono consultabili anche tutte le informazioni, i dati alfanumerici e le fotografie disponibili; nel portale del Catasto sono inoltre presenti anche altri utili collegamenti ad aree attinenti la tematica valanghiva.

Per rendere facilmente disponibili i molti dati che popolano il database del Catasto sono state create diverse tematizzazioni specifiche. Le stesse valanghe possono essere visualizzabili sia con la colorazione classica (verde per le valanghe catalogate, rosso per gli incidenti da valanga, azzurro per le aree valanghive sospette), sia con una colorazione che risulta ideale per la visualizzazione dei limiti valanghivi quando vengono sovrapposti a ortofotocarte.

Per gli eventi di cui è stato possibile documentare la zona di distacco della valanga è stata valutata anche l'esposizione prevalente del distacco: nella tematizzazione dedicata si possono distinguere, per mezzo delle diverse colorazioni, le varie esposizioni da cui si sono originate le valanghe rilevate durante i sopralluoghi.

Molta attenzione è stata dedicata alla ricerca e all'identificazione dei fenomeni valanghivi in cartografia.

Una volta selezionati i poligoni valanghivi, è possibile consultarne più facilmente le forme, grazie a zoom specifici, e i dati alfanumerici, grazie alla scheda di sintesi e ai tre collegamenti alla parte alfanumerica, ovvero alle schede di dettaglio dell'evento, al catalogo delle immagini correlate e al catalogo di tutte le date in cui la valanga è stata documentata. I limiti valanghivi selezionati possono : anche essere esportati su simulatori di volo 3D in formato KML (Google Earth). La trasposizione della valanga su di un supporto 3D può rendere più agevole la lettura delle informazioni cartografiche contenute nel Catasto. Nell'ottica di rendere più agevole la consultazione, si sono sviluppati anche tre filmati tutorial, consultabili dai link presenti sulla home page del sito. Tali filmati sono stati pensati e creati per facilitare l'utenza che si affaccia per le prime volte alla consultazione del Catasto. Il portale del Catasto Valanghe riporta anche un'altra serie di utili collegamenti ad aree attinenti la tematica valanghiva come la pagina web del Bollettino neve e valanghe della Regione Valle d'Aosta o il collegamento ai bollettini di dettaglio nivometrici gestiti dal Centro funzionale regionale e al geonavigatore dedicato ai membri delle commissioni locali valanghe presenti sul territorio valdostano. Il Catasto Valanghe così strutturato, oltre a valorizzare decisamente i numerosi anni di paziente catalogazione e aggiornamento effettuato dai tecnici dell'Ufficio, si pone come solida base per studi futuri relativi a singole valanghe o a studi di più largo respiro e come strumento utile a preservare la memoria storica delle valanghe verificatesi in passato.

Tutte le azioni sopra menzionate hanno richiesto un notevole sforzo organizzativo e dispendio di tempo e di risorse umane dedicate.

Rendere disponibile a tutti il frutto di decenni di lavoro da parte dell'Amministrazione regionale è il motivo principale per cui l'Ufficio neve e valanghe ha voluto con determinazione e continua a aggiornare il Catasto Valanghe web.

### La rete di osservazione nivometeorologica nella regione Valle d'Aosta

Burelli G., Dellavedova P., Frigo B., Segor V.

I dati nivometeorologici e la loro spazializzazione sul territorio sono fondamentali per la valutazione della stabilità del manto nevoso, del pericolo valanghe, quindi, per l'emissione del bollettino di pericolo valanghe.

Gli uffici neve e valanghe basano le loro analisi e previsioni sui dati forniti dalle stazioni nivometeorologiche automatiche e manuali, sui profili stratigrafici in campi fissi o itineranti, sui test di stabilità e su numerose altre osservazioni. In generale, la quantità di dati dipende dal budget che le amministrazioni hanno a disposizione, e, sempre più spesso, anche dalla cortesia di numerosi volontari che ormai inviano dati in maniera quasi consueta. In virtù della morfologia complessa e della grande variabilità spaziale, legata alle condizioni climatiche peculiari della regione, la Valle d'Aosta possiede una fitta rete di osservazione nivometeorologica, composta da:

- 81 stazioni meteorologiche e nivometeorologiche automatiche poste a diverse quote e gestite dal Centro Funzionale Regionale e dall'agenzia Regionale per l'Ambiente (ARPA);
- una rete manuale con 36 modelli nivometeorologici giornalieri (MOD 1 AINEVA), 25 profili stratigrafici settimanali in campi fissi (MOD 4 AINE-VA) e circa 30 osservazioni (MOD 6 AINEVA) sul manto nevoso e sull'attività valanghiva;
- 4 rilievi itineranti settimanali con profili stratigrafici (MOD 4 AINEVA), test di stabilità (RB ed ECT) e osservazioni effettuate durante il percorso sulla copertura nevosa e sull'attività valanghiva (MOD 6 AINEVA).

I rilievi itineranti, che vengono effettuati da guide alpine, servono a reperire informazioni sui terreni più impervi e in quota. I rilievi si snodano lungo percorsi di sci-alpinismo in cui vengono effettuate osservazioni e valutazioni sulla stabilità del manto nevoso, dei pendii potenzialmente instabili e sull'attività valanghiva. L'ubicazione di questi rilievi è definita dall'Ufficio Valanghe sulla base delle esigenze, in termini di dati, del bollettino neve e valanghe. La rete di osservazione nivometeorologica è attiva ogni anno da novembre a maggio, i dati sono raccolti dai tecnici dell'Ufficio neve e valanghe, dai rilevatori regionali, dalle guide alpine, dagli operatori dei comprensori sciistici, dal personale delle dighe (CVA), dal Corpo Forestale Valdostano (CFV), dalla Guardia di Finanza (SAGF), dai rifugi alpini, dalle guide che effettuano heliski ecc.. L'Ufficio dispone di appositi software per la visualizzare dei dati delle stazioni automatiche e di diversi altri strumenti per l'invio/reperimento dei dati: via sms i Modelli 1 AINEVA, via ftp i modelli 4 e 6 AINEVA.

Numero totale di dati da novembre 2011 a Maggio 2012: n. 4588 MOD1 AINEVA, n. 382 MOD 4 AINEVA, n. 280 MOD6 AINEVA, n. 99 rilievi delle guide alpine per l'emissione di 73 bollettini neve e valanghe.

### Verso migliori strumenti decisionali per la gestione delle valanghe frequenti

Segor, V., Pitet L., Bovet E., Dellavedova P., Sovilla B., Steinkogler W., Veitinger J., Maggioni M., Chiambretti I., Prola M. Sovente i responsabili per la sicurezza dalle valanghe devono affrontare la decisione se chiudere una strada o un comprensorio sciistico che sono esposti frequentemente a valanghe. Tali decisioni sono spesso difficili, a causa della mancanza di una previsione locale e specifica sulla possibile evoluzione delle condizioni meteo e delle caratteristiche del manto nevoso, così come dell'influenza di questi ultimi sulla dinamica valanghiva e sulle distanze di arresto previste.

Per colmare questa lacuna, è nato il progetto STRADA, con lo scopo di fornire strategie e strumenti per la gestione dei rischi naturali.

In diversi siti sperimentali sono state monitorate delle valanghe e sono state determinate indirettamente le corrispondenti caratteristiche del manto nevoso utilizzando i modelli numerici SNOWPACK e Alpine3D.

L'analisi combinata di questi dati ha mostrato l'importanza di conoscere la distribuzione e le caratteristiche del manto nevoso per definire il distacco e la distanza di arresto.

Questa nuova conoscenza, combinata con la buona pratica e i migliori strumenti per la simulazione delle valanghe, come il modello numerico RAMMS, permette di migliorare le strategie di mitigazione del rischio sulle strade e sui comprensori sciistici. In sintesi, per la gestione delle strade e dei comprensori sciistici sono proposte tre possibili strategie: (1) il monitoraggio e la definizione di criteri di base: è importante conoscere le condizioni locali del manto nevoso lungo tutto il percorso, e anche la precedente attività valanghiva; (2) la simulazione di scenari di valanghe: un modello numerico di simulazione delle valanghe può essere applicato per valutare diverse ipotesi di rischio utilizzando come dati di input differenti condizioni del manto nevoso; (3) la simulazione di scenari del manto nevoso: si simula il manto nevoso in un intero bacino utilizzando modelli numerici come SNOWPACK e Alpine 3D, con lo scopo sia di previsione sia di realizzare scenari in tempo reale.

### La gestione del rischio valanghe nel comprensorio di Monterosa Ski (Valle d'Aosta - IT) durante l'inverno 2012/13

### Frigo B., Prola A., Welf A., Durand N., Dellavedova P., Segor V.

Il Monterosa Ski è una dei comprensori sciistici più importanti nel Nord / Ovest delle Alpi italiane. Estendendosi attraverso tre valli in due regioni (Valle d'Aosta e Piemonte - IT), il territorio di Monterosa Ski parte dai 1.710 m slm di Antagnod, attraversa Champoluc-Frachey, sale fino ai 2.727 m del Colle Bettaforca, abbraccia Gressoney-La-Trinité e Gressoney-Saint-Jean (1.818 m slm), si arrampica fino ai 2.971 m del Passo dei Salati, raggiunge i 3.275 m di Punta Indren e ridiscende fino ai 1.212 m di Alagna Valsesia (Piemonte), all'ombra di molti "4000": Castore (4.226m), Lyskamm (4.532 m), P.ta Gnifetti (4.559 m) e Punta Dufour (4.633 m), con 180 km per 67 piste servite da 37 impianti di risalita (per una capacità di oltre 50000 persone / ora) di cui 150 km collegate da 35 impianti di risalita in Valle d'Aosta. Anche se geograficamente vicine, le due valli valdostane del comprensorio (Ayas e Gressoney) sono diverse sia dal punto di vista territoriale che climatico, anche rispetto alla distribuzione di piste e impianti di risalita all'interno dell'area sciabile. Presentando gli attori (gualifica, knowhow, competenze del personale e sua gestione), i dispositivi disponibili e la pianificazione della gestione del rischio valanghe, l'articolo presenta, al di là delle decisioni prese, come sia fondamentale un'analisi critica delle condizioni nivo-meteorologiche nelle due valli principali al fine della scelta della tipologia di distacco artificiale valanghe (impianti fissi a gas, impianti mobili a gas/esplosivi, ecc...) e, successivamente, della tempistica di riapertura delle piste da sci.

A titolo di esempio, l'articolo presenta alcune situazioni critiche di stabilità del manto nevoso risolte utilizzando il distacco controllato nell'inverno 2012/13, compresi episodi indotti da grandi nevicate, vento forte e il manto nevoso umido.

La ricerca è stata possibile grazie alla Regione Autonoma Valle d'Aosta

nell'ambito del progetto MAP<sup>3</sup> - PO Cooperazione territoriale EUROPEO Italia / Francia (Alpi) 2007-2013 che si ringrazia.

### Il sito valanghivo sperimentale di Punta Seehore in Valle d'Aosta (IT)

Segor V., Pitet L., Maggioni M., Frigo B., Freppaz M., Chiaia B., Bovet E., Ceaglio E., Dellavedova P., Welf A. Dal 2009 e grazie al P.O. Italia-Francia (Alpi ALCOTRA) Progetti n. 48 "DynAval" e n. 144 "MAP<sup>3</sup>", il sito valanghivo sperimentale di P.ta Seehore è operativo nel comprensorio di Monterosa Ski in Valle d'Aosta. Questo sito, a scala reale, ha lo scopo di studiare la dinamica delle piccole/medie valanghe, i processi di distacco delle valanghe e l'interazione tra flusso valanghivo e ostacolo.

Il pendio, con un dislivello di circa 300 m (2570-2300 m slm), presenta una esposizione NNW, un'inclinazione media di circa 28° ed è costituito da uno strato superficiale di detriti spesso circa 10 m al di sopra di un substrato altamente fratturato con una rugosità superficiale molto alta.

Il sito è strumentato con un ostacolo in acciaio zincato progettato e costruito in modo da misurare le forze dell'impatto valanghivo e dei loro effetti su di esso. L'ostacolo, di circa 4 m di altezza, sostiene 5 piastre orizzontali, ma in grado di essere posizionate a diverse altezze, che misurano le variabili d'impatto grazie a 10 celle di carico, 4 accelerometri, 4 termocoppie e un trasduttore di pressione. In precedenza, per l'identificazione strutturale della struttura sono stati eseguiti test sia statici che dinamici in laboratorio per calibrare modelli numerici FEM. Dall'estate 2012, il sistema ospita un microfono infrasonico ad elevata sensibilità al basso rumore per l'analisi della freguenza infrasonica caratteristica prodotta da diversi tipi di valanahe di neve.

Sebbene la maggior parte delle valanghe distaccate a P.ta Seehore siano innescate artificialmente seguendo il PIDAV per garantire la sicurezza nelle piste all'interno del Monterosa Ski, il sistema registra anche eventi naturali.

In caso di distacco artificiale, erosione/deposito della massa e la velocità del fronte valanghivo vengono valutati da misure di *laser scan* e di fotogrammetria. Il perimetro della valanga viene registrato mediante dispositivi GPS accoppiando misure di spessore del deposito. Nella zona di distacco, le proprietà del manto nevoso e del distacco sono note grazie a indagini in campo. Un rilievo specifico viene eseguito per il deposito valanghivo intorno all'ostacolo, annotando, ad esempio, proprietà della neve, forma e dimensione del deposito, fenomeni di erosione, ecc. Nella zona di arresto, il rilievo include anche la misura di densità e granulometria della neve deposta. Per meglio comprendere l'influenza del trasporto della neve da parte del vento sui meccanismi di distacco delle valanghe, nell'estate 2012, P.ta Seehore è stata attrezzata con una stazione automatica nivometeorologica posta in cresta a 2570 m slm. La stazione è composta da 1 anemometro, 1 sensore per la misura della direzione del vento. 1 nivometro e 4 sensori per la misura del trasporto della neve da parte del vento posti ad altezze variabili di 110. 210. 310 e 550 cm da terra.

I dati registrati dall'ostacolo e dalla stazione nivo-meteorologica in cresta sono registrati localmente da *dataloggers*, trasmessi in remoto via fibraottica ad un server presso la stazione di arrivo della cabinovia Gabiet (accessibile con qualunque condizione meteo) e inviati mediante un sistema GSM, in tempo reale, al Politecnico di Torino.

L'articolo descrive nel dettaglio il sito valanghivo sperimentali e presenta alcune misure e rilievi effettuati durante le prime tre stagioni operative (2010/2011, 2011/12 e 2012/13).

### PREVRISK ENFANTS: formazione dei più giovani sui rischi naturali in montagna Troyer I., Burelli G., Franco D.,

Dellavedova P., Antonello G., Bovet E., Ceaglio E., Debernardi A., Durand N., Frigo B., Luboz M. Il 30 agosto del 2011 Fondazione Montagna sicura (FMS) ha avviato un nuovo progetto transfrontaliero per sensibilizzare il pubblico sui rischi naturali: il progetto PrévRiskMont-Blanc. FMS, assieme alla Chamoniarde, Associazione con sede a Chamonix (F) che sostiene la prevenzione e la sicurezza in montagna, e che ha promosso diverse iniziative per lo sviluppo di un approccio più responsabile alla montagna. Il progetto è stato suddiviso in diverse attività, tra cui "PRE-

VRISK ENFANTS" che promuove l'educazione dei bambini ai rischi naturali in montagna d'inverno. I bambini delle scuole primarie di tutta la Regione sono stati coinvolti in diverse giornate di formazione sulla neve nei comprensori sciistici. Ogni giornata ha incluso 4 attività:

- regole di comportamento sugli sci e norme di sicurezza nei comprensori sciistici da parte dei *Pisteurs Secouristes*;
- 2. nozioni di base sulla scienza del la neve e delle valanghe fornite dai tecnici dell'Ufficio neve e valanghe regionale;
- nozioni e regole di sicurezza da tenere nelle attività fuori-pista (*freeride*, sci-alpinismo, racchette da neve ecc.) tenute da guide alpine e focalizzate principalmente sull'autosoccorso in valanga;
- ricerca dimostrativa da parte di un cane da valanga di una persona sepolta sotto valanga.
- I risultati: 711 bambini in 19 giornate di formazione.

Grande quindi il successo e l'entusiasmo con cui è stata accolta l'iniziativa, sia da parte degli alunni che da parte degli insegnanti. Il risultato ottenuto, molto soddisfacente ed incoraggiante, evidenzia l'importanza di sensibilizzare i più piccoli alla consapevolezza dei rischi naturali e dell'ambiente in generale.

### Monitoraggio in tempo reale delle valanghe di neve grazie all'Infrasonic Array Network (IAN) nel dicembre 2012 in Valtournenche - Valle d'Aosta (IT).

Durand N., Ulivieri G., Marchetti E., Frigo B., Dellavedova P. Segor V. Dal 2009 e nell'ambito del P.O. Italia-Francia (Alpi ALCOTRA) - Progetti "DynAval" (2009-2012) e "MAP3" (2012-2014), la tecnologia "array infrasonico" è stata testata in Valle d'Aosta al fine del monitoraggio in tempo reale delle valanghe di neve (naturali e provocate) nelle zone alpine. Dall'inverno 2012, la Array Infrasonic Network (IAN) è attiva nelle zone del Monte Rosa e del Cervino, monitorando circa 250 km<sup>2</sup> distribuite tra le valli di Valtournenche, Ayas e Gressoney. Sebbene il singolo array infrasonico permetta di rilevare valanghe polverose di piccole-medie dimensioni (~ 500 mc) ad una distanza di circa 3-10 km, fornendo la posizione relativa (direzione di provenienza e tempo di registrazione) della sorgente, la IAN permette una più precisa localizzazione dell'evento (posizione geografica e il tempo di accadimento) anche ai limiti della zona scansionata dal sistema. Le informazioni su eventi identificati vengono automaticamente trasmessi ogni 15 minuti, indicando in questo modo i settori con una maggiore attività, dato prezioso per la previsione di pericolo valanghe.

La validazione del sistema avviene confrontando gli eventi valanghivi noti (naturali o artificiali) con le misure infrasoniche. Ciò è stato possibile grazie alla raccolta dei dati giornalieri eseguita dall'Ufficio Neve e Valanghe valdostano in stretta ed eccellente cooperazione con gli osservatori nivologici, guide alpine, direttori piste, operatori dighe, guardie forestali, guardie di finanza, ecc.

L'articolo presenta i dati e l'analisi degli eventi naturali verificatisi nel dicembre 2012 a Valtournenche (Valle d'Aosta - IT), che mostrano come la IAN sia in grado di rilevare valanghe di piccole e medie dimensioni in tempo reale, anche in cattive condizioni atmosferiche (tempeste di neve, nebbia, ecc. e in zone non accessibili.

### Un sistema integrato per la valutazione delle forze indotte dallo slittamento sulle opere di difesa attiva: il sito sperimentale di La Tour - Valle d'Aosta (IT)

De Biagi V., Frigo B., Barbero M., Barpi F., Borri Brunetto M., Ceaglio E., Freppaz M., Maggioni M., Pallara O., Segor V., Viglietti D.

L'evento catastrofico valanghivo del dicembre 2008 nella Valsavarenche (Valle d'Aosta) ha causato il crollo o il danneggiamento di alcune case nel villaggio di Les Thoules. A seguito di ciò, 714 ombrelli da neve sono stati installati nella zona di distacco tra i 2325 e i 2575 m slm in località La Tour. Dal 2010, questa installazione è diventata un sito sperimentale dedicato allo studio degli effetti del manto nevoso sulle opere di difesa attiva.

Il cuore del sito sperimentale è composto da un ombrello da neve strumentato, elemento paravalanghe semi-flessibile; e da una serie di slittini per la misura del movimento gravitativo del manto nevoso: la prima (4 glide-shoes) è collocata all'interno dell'area attrezzata con gli ombrelli; la seconda al di fuori. Completano : il sistema i sensori di temperatura all'interfaccia neve/suolo e i sensori di umidità, insieme ad una stazione automatica nivometeorologica sperimentale, permettendo la registrazione delle condizioni ambientali in loco. L'alimentazione è fornita da un pannello solare e il sistema di acquisizione è composto da un dispositivo programmabile che registra i dati ogni 30 min. Il sito è stato attrezzato in due fasi: 1) nell'ottobre 2010, viene posto in loco l'ombrello strumentato insieme al primo set di slittini (2 all'interno e 2 all'esterno dell'area attrezzata) completo di sensori di temperatura; 2) nell'ottobre 2012, vengono aggiunti il secondo set di slittini insieme ai sensori di umidità e alla stazione nivometeorologica sperimentale.

Con questo set-up sperimentale, sono stati definiti quattro obiettivi: a) analizzare le forze locali che agiscono sull'ombrello e determinare le forze interne negli elementi strutturali dovuti alla spinta del manto nevoso; b) valutare in situ le prestazioni della fondazione della struttura; c) monitorare le forze indotte dai movimenti del manto nevoso considerando l'ombrello come un sensore; d) valutare i fattori influenzanti lo scivolamento del manto discriminandoli in presenza o meno di opere di difesa attiva. La forze sull'opera di difesa viene valutata monitorando lo scivolamento del manto nevoso accoppiato con la deformazione di una traversa costituente l'ombrello da neve e la forza complessiva sulla fondazione. Il carico neve è in sequito calcolato grazie ad un modello strutturale manto nevoso/ombrello. Questo articolo illustra la funzionalità della strumentazione, le prime misure sperimentali insieme all'analisi strutturale ed evidenzia l'importanza di un sistema integrato per valutare le forze in gioco.

### PIEMONTE

### Analisi climatologiche e valutazioni degli eventi nevosi estremi nelle Alpi occidentali italiane nel contesto del progetto Interreg STRADA

Fratianni S., Terzago S., Faletto M., Acquaotta F., Prola M.C., Barbero S. In questo studio vengono presentati i risultati di una attività del progetto strategico STRADA (STRategie di ADAttamento ai cambiamenti climatici), nel quadro del programma Interreg Italia-Svizzera 2007-2013. Sono state analizzate le variazioni di spessore del manto nevoso nelle Alpi italiane occidentali durante il periodo 1930-2010. Queste serie erano disponibili fino ad ora, solo su carta: i dati giornalieri sono stati recuperati e digitalizzati. È stato effettuato il controllo della qualità sui dati storici permettendo un'analisi completa del clima, con l'individuazione delle tendenze e la loro significatività statistica. La disponibilità di serie giornaliere ha consentito anche l'applicazione di tecniche statistiche avanzate sulla base della distribuzione generalizzata di eventi estremi e di valutare i tempi di ritorno. I risultati forniscono informazioni utili per la previsione e l'adattamento dei rischi climatici. Inoltre, nell'ultimo periodo (2001-2010) lo studio è stato migliorato dai dati forniti da 46 stazioni automatiche nivo-meteorologiche di ARPA Piemonte al fine di ottenere informazioni più dettagliate sulle caratteristiche climatiche del nordovest italiano. Infatti, le stazioni automatiche forniscono dati provenienti da una range altitudinale maggiore (meno di 700 m s.l.m. e oltre 2500 m s.l.m.) permettendo inoltre di ottenere dati in zone non raggiungibili durante la stagione invernale.

### Un algoritmo innovativo per la validazione delle misure di spessore del manto nevoso delle stazioni nivometriche automatiche

Terzago S., Faletto M., Prola M.C., Fratianni S., Cremonin R., Barbero S. Le stazioni nivometriche automatiche

Le stazioni nivometriche automatiche sono in grado di fornire dati ad alta risoluzione temporale che vengono utilizzati per valutare lo spessore della neve al suolo e la neve fresca per scopi idrogeologici e di valutazione del pericolo valanghe. Tuttavia, le misure ottenute da sensori ad ultrasuoni, possono essere influenzati da condizioni di vento, persone o animali che possono interferire con i sensori. Per questo motivo i dati acquisiti dalla rete automatica sono regolarmente validati da un operatore specializzato di ARPA Piemonte - l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente - che verifica i dati manualmente. Questo lavoro, realizzato da una collaborazione tra ARPA Piemonte e il Dipartimento di Scienze della Terra (Università di Torino), mostra le prestazioni

di un innovativo algoritmo applicato a queste misurazioni automatiche dello spessore della neve. Questo processo automatizzato è in grado di trovare dati sospetti come picchi isolati o valori anomali rispetto a quelli climatologici. Per verificare la bontà delle misure sono stati implementati diversi test sulla temperatura dell'aria e un modello di fusione della neve.

L'algoritmo è stato validato confrontando serie di altezze neve storiche controllate manualmente con i risultati dell'algoritmo. Dalla stagione invernale 2012 questo processo è diventato operativo ed è applicato ai dati giornalieri. Lo stesso algoritmo viene quotidianamente controllato da specialisti della neve per migliorarne le prestazioni e l'accuratezza.

Questo nuovo processo di validazione automatica delle altezze di neve ha migliorato la qualità dei dati eliminando valori anomali e le stime di altezza neve spurie, limitando la soggettività durante la fase di validazione eseguita da specialisti.

### Raccolta dati nivologici con Ushahidi: esperienza di ARPA Piemonte durante la stagione invernale 2013 *Cremonini R., Gaeta A.R., Solero E.,*

Pispico R., Faletto M., Prola M.C., Barbero S.

Per le valutazioni delle condizioni di stabilità del manto nevoso e del pericolo è di fondamentale importanza avere misurazioni nivo-meteorologiche accurate e aggiornate.

Recentemente, ARPA Piemonte ha personalizzato uno strumento innovativo per raccogliere misurazioni nivologiche con smartphone e anche tramite PC da web. Il software gratuito Ushahidi, utilizzato da ARPAPiemonte, permette di ottenere informazioni in modo facile e veloce attraverso la compilazione di moduli specifici utilizzando diversi canali: SMS, e-mail, Twitter e il web. ARPAPiemonte ha personalizzato l'interfaccia standard Ushahidi per adattarla alle informazioni inviate dagli operatori nivologici specializzati. Le condizioni della neve, l'attività valanghiva, l'attività eolica e report dettagliati sullo stato della neve possono essere caricati con l'applicazione tramite i tradizionali browser o smartphone.

Inoltre possono essere inviati filmati e foto per fornire informazioni visive su fenomeni di rilievo. Le informazioni e le misure georiferite raccolte sono poi validate e successivamente pubblicate, in base al profilo del provider, per essere condivise con altri specialisti sul campo e quindi memorizzati in un database relazionale MySQL. Infine, un flusso di dati periodico riporta le osservazioni raccolte dal sito web ai database di Arpa Piemonte per ulteriori elaborazioni.

Durante la stagione invernale 2012/2013 Arpa Piemonte ha lanciato una fase pre-operativa per testare il nuovo strumento e valutarne l'effettiva operatività sul campo per gli specialisti. Si riporta il resoconto dei risultati ottenuti.

### VENETO

### Incidenti da valanga in Italia Valt M., Pivot S.

La documentazione degli incidenti da valanga è di fondamentale importanza per comprendere le dinamiche delle attività a rischio che si svolgono sulla neve anche al fine di attuare le migliori strategie di prevenzione.

Ogni anno muoiono sulle Alpi un centinaio di persone travolte da valanghe, di cui circa il 20% sul versante italiano delle Alpi. In Italia, pur disponendo di una statistica di mortalità dal 1967 al 2012, è dal 1984 che la documentazione viene raccolta in modo sistematico. Nella banca dati AINEVA, sono a oggi documentati circa 1200 incidenti da valanga noti, compresi anche alcuni incidenti significativi dei monti Appennini, che hanno visto travolte più 2400 persone con oltre 500 morti. Il numero di decessi è variabile di stagione in stagione in relazione al tipo di manto nevoso al suolo.

L'attività ricreativa maggiormente interessata è ancora lo sci alpinismo, seguita dallo sci fuori pista. Dal 1984 ad oggi le condizioni di innevamento delle Alpi sono cambiate notevolmente come anche le abitudini degli escursionisti. Negli ultimi anni si registrano incidenti già ad inizio inverno mentre negli anni '80 gli incidenti avvenivano soprattutto in primavera. I versanti più pericolosi sulle Alpi italiane sono quelli settentrionali, seguiti da quelli esposti ai quadranti orientali, dove i distacchi avvengono con minor spessore di neve. Se negli anni '90 erano in crescendo gli incidenti con lo snowboard, negli anni 2000 quelli fra gli escursionisti con racchette da neve.



Negli ultimi anni sono noti incidenti con motoslitta e durante la pratica dell'*eliski.* 

Gli incidenti che vedono coinvolti stranieri sono in sensibile aumento.

Per quanto riguarda la ricerca dei travolti da valanga sono ora disponibili i primi dati sui tempi di intervento del soccorso organizzato e dei tempi di ricerca mediante le tecniche di autosoccorso.

Le esperienze condotte negli ultimi 5 anni nei campi di esercitazione con ARTVA evidenziano la diminuzione dei tempi di ricerca con gli apparecchi di ultima generazione.

### Cambiamenti climatici: un nuovo software per lo studio della variazione della copertura nevosa utilizzando le immagini webcam

Valt M., Salvatori R., Plini P., Salzano R., Giusto M., Montagnoli M.

Il manto nevoso stagionale e la sua estensione giocano un ruolo rilevante per gli studi ambientali delle zone montane soprattutto considerando la sua variazione nel tempo; la stima della distribuzione areale dell' innevamento è quindi particolarmente interessante per gli studi sulla dinamica atmosferica e l'evoluzione del clima. Recentemente, le immagini webcam raccolte al giorno o addirittura ogni ora vengono utilizzate come strumenti per osservare la copertura nevosa a fini turistici; queste immagini, opportunamente trattate, possono rappresentare un importante datasource ambientale.

Nel presente lavoro viene presentato il software Snow-noSnow specificamente progettato per rilevare automaticamente l'estensione della copertura nevosa da immagini webcam.

Il software che testato su immagini raccolte su Alpi (rete webcam ARPAV) e sugli Appennini in una stazione di pilotaggio adeguatamente attrezzato per questo progetto dal CNR-IIA.

### Cambiamenti climatici sulle Alpi italiane: analisi della precipitazione nevosa, della durata del manto nevoso e dell'attività valanghiva

Valt M., Cianfarra P.

In questo lavoro sono presentati e analizzati i dati storici (1961-2010) di precipitazione nevosa, durata del manto nevoso e temperatura dell'aria relativi alle Alpi italiane. Sulle Alpi italiane, negli ultimi 40 anni, è stata osservata una riduzione della durata del manto nevoso e della precipitazione nevosa con la massima diminuzione negli anni '90.

L'ultima decade (2004-2013) è caratterizzata da un'inversione di tendenza più evidente nella fascia altimetrica fra gli 800 e i 1500 m.

L'analisi del trend delle componenti principali della durata del manto nevoso e della precipitazione evidenziano un trend negativo.

L'analisi dei *breakpoints* della durata del manto nevoso e della precipitazione, per fasce altimetriche e per stagioni, evidenziano dei punti di cambiamento di regime fra il 1984 e il 1994. Questi *breakpoints* evidenziano una importante variazione di trend nelle serie storiche: un trend positivo prima del punto di variazione e un trend negativo nella serie storica dopo il punto di variazione.

Questi trend negativi derivano dalla diminuzione della precipitazione nevosa in inverno e in primavera.

Questi cambiamenti sono ricollegabili ad un cambiamento nella frazione liquido/solida della precipitazione e/o associata ad un importante aumento della temperatura.

Le tendenze del manto nevoso nell'emisfero settentrionale e nelle Api italiane, sono strettamente correlati nel dominio della frequenza. Il periodo di 11,2 è la frequenza dominante ed è corrispondente al ciclo di attività solare di 11 anni.

Anche l'analisi dei dati di temperatura dell'aria ha mostrato andamento simile. Inoltre, il confronto della durata di neve e le temperature in primavera (marzo-aprile) ha mostrato una forte correlazione lineare (livello di significatività 0,001).

I dati relativi all'attività valanghiva hanno un tempo di intervallo molto limitato rispetto alle serie storiche di temperatura e neve.

Buona copertura dei dati sono disponibili dal 1985 per un numero limitato di stazioni delle Alpi italiane.

I dati trattati mostrano un trend positivo nel numero di giorni con valanghe, nel periodo 1980-2012.

La tendenza di giorni con valanghe sembra seguire lo stesso trend dell'accumulo di neve (indice SAI) e della durata della copertura nevosa (deviazione dalla media) trattati per lo stesso intervallo di tempo (1980-2012).

### **SEDE AINEVA**

### Comparazione tra gli indici d'instabilità strutturale (lemons) ed i punteggi ECT e RB

*Chiambretti I., Monti F., Valt M.* Quasi tutti i servizi di previsione valanghe possiedono una rete di stazioni

tradizionali dove vengono eseguite giornalmente o settimanalmente una serie di misure od osservazioni nel manto nevoso (penetrometrie, profili del manto nevoso, test di stabilità). Le penetrometrie ed i profili del manto nevoso sono classificabili come dati a media entropia, mentre i test di stabilità presentano una bassa entropia e richiedono un'interpretazione da parte dei previsori valanghe.

Negli ultimi anni, diversi metodi sono stati sviluppati per analizzare i profili e per valutare, con maggiore obiettività, la stabilità del manto nevoso identificando i livelli fragili, le loro caratteristiche e proprietà. Durante il periodo 2010-2013 diversi uffici regionali afferenti ad AINEVA hanno raccolto un dataset di centinaia di profili del manto nevoso ciascuno accompagnato da test di stabilità (ECT e/o RB) eseguiti a fianco. Un campione di questo dataset è stato analizzato utilizzando il metodo delle variabili critiche trovando interessanti correlazioni tra le caratteristiche dei livelli fragili (indici d'instabilità strutturale o "lemon", tipologia di grani, spessore degli strati, proprietà del livello fragile) ed i risultati dei test di stabilità.

Vengono qui discussi i dati preliminari di questa ricerca i quali mostrano che la migliore correlazione tra i punteggi più elevati degli indici d'instabilità strutturale e i risultati dei test di stabilità è individuabile per i livelli fragili

sviluppatisi a seguito di metamorfismi di gradiente medio o elevato.

Correlazioni meno valide sono state individuate per i livelli fragili costituiti da neve fresca (PP e DF) o da diverse tipologie di croste od interfacce lisce tra strati. L'intero *dataset*, infine, è stato analizzato per comparare gli ECT versus gli RB nella capacità di discriminare il principale livello fragile trovando relazioni tra i gradini di carico, le tipologie delle fratture e la loro profondità, il piano di taglio e le caratteristiche del livello fragile.

### Come la semantica e la resilienza di Twitter sono utilizzati per la consapevolezza del rischio valanghe

Bartoli F., Chiambretti I.

Twitter è una nuova forma di comunicazione che utilizza largamente le abbreviazioni per adempiere a scopi specifici durante la gestione dei disastri naturali. Durante l'ultimo inverno. diversi "hashtags" sono stati utilizzati per comunicare l'accadimento d'incidenti in valanga e per pubblicare avvisi di condizioni meteorologiche avverse e micro-bollettini, ma talvolta questi short tags risultano semanticamente poveri nel collegarsi ai dati sulle valanghe. Verranno descritte statistiche ed esempi di utilizzo sia buoni sia cattivi (ossia ampio significato della parola "valanga") di queste comunicazioni rapide ma sintetiche, nonché le strategie di educazione dell'utenza ad un utilizzo migliore.

Questo lavoro intende descrivere come un comportamento resiliente della comunità potrebbe influenzare la consapevolezza del rischio valanghe e come questo possa influenzare positivamente i servizi di previsione valanghe.



## ABSTRACT

### WEAK LAYER SPATIAL VARIABILITY Weak-Laver Spatial Variability as a Possible **Trigger of Slab Tensile** Failure

J. Gaume, G. Chambon, N. Eckert, M. Naaim

The evaluation of the location : of slab tensile failure represents an important concern for the evaluation of the extent of avalanche release zones and hence hazard assessment.

In this study, a mechanicallybased statistical model of the slabweak layer system accounting for weak-layer spatial variability, stress redistributions by elasticity of the slab and the slab possible tensile failure is simulated using a stochastic finite element method. Two types of avalanche releases are distinguished in the simulations: (1) full slope releases, for which the entire simulated slope is released and the heterogeneity is not sufficient to trigger a tensile failure within the slab; (2) partial slope releases, for which tensile failure occurs within the slab due to the heterogeneity so that only a part of the slope is released.

We present the proportion of these two release types as a function of the different model parameters obtained from finite element simulations.

One of the main outcomes is that, for slab tensile strength higher than the average cohesion of the weak layer, all the releases appear to be fullslope, justifying the major influence of topographical and morphological features such as rocks, trees, slope curvature, ridge and heterogeneous snow cover often claimed in the literature.

### WEAK LAYERS **IDENTIFICATION** A Relative Difference Approach to Detect Potential Weak Layers Within a **Snow Profile**

F. Monti, J. Schweizer

Reducing the subjectivity of stability evaluation derived from snow profiles and increasing the spatial ÷

and temporal resolution of snow stratigraphy information are among the current possibilities to improve avalanche forecasting.

In the last few years, several semiquantitative methods (e.g. the threshold sum approach) have been developed to more objectively evaluate snow profiles.

On the other hand, numerical modelling, for example, with the 1-D snow cover model SNOWPACK has the potential to supply snow cover stratigraphy information even in periods and from locations where manual observation are impossible. We propose a revised threshold sum approach (TSA) for snow profile interpretation. The considered snow cover properties are the same as with the TSA (i.e. grain size, type, hardness, depth, difference in grain size and hardness). Each variable was transformed in a dimensionless. quantity and standardized within the single snow profile. Hence, relative differences and values were used to identify the location of lavers which have a higher probability than others to be potential weak layers. This relative threshold sum approach (RTA) was preliminarily tested on a dataset of 107 manually recorded snow profiles, which were collected at skier-triggered avalanches

The characteristics of potential weak layers detected by RTA and TSA in simulated snow stratigraphy profiles were then compared with the characteristics of the failure layers found with compression tests in 83 manual profiles. Overall, the RTA was capable of detecting potential weak layers in manual as well as simulated snow profiles. Combined with the skier stability index it provides an estimate of stability.

### THERMAL ENERGY IN **SNOW AVALANCHES**

W. Steinkogler, M. Lehning, B. Sovilla, T. Jonas

Avalanches can exhibit many different flow regimes from powder clouds to slush flows. Flow regimes are largely controlled by the properties of the snow released

and entrained along the path. Recent investigations showed the temperature of the moving snow to be one of the most important factors controlling the mobility of the flow. The temperature of an avalanche is determined by the temperature of the released and entrained snow but also increases by frictional and collisional processes with time.

The aim of this study is to investigate the thermal balance of an avalanche. Infrared thermography technology was used to assess the surface temperature before, during and just after the avalanche with a high spatial resolution.

Manually measured snow temperature profiles along the avalanche track and in the deposition area allowed quantifying the temperature of the eroded snow layers. This data set allows to calculate the thermal balance, from release to deposition, of an avalanche and to discuss the magnitudes of different sources of thermal energy in snow avalanches.

### **AVALANCHE DANGER SCENARIOS**

Identification of Avalanche Danger Scenarios frequently used in Avalanche Bulletins based on the European Avalanche Danger Scale and the Bavarian Matrix

M. Valt. F. Berbenni

The avalanche forecaster should describe and represent, unambiguously and clearly to users, the avalanche danger through the bulletin. The EAWS Bavarian matrix, adopted in 2005, is a valuable support to the forecaster to determine avalanche hazard scenarios and to define, objectively, the level of danger. In recent years, its systematic use allowed us to verify the existence of intermediate hazard scenarios and their frequency for level 2-moderate and 3-considerable and to represent them in the bulletins. on a trial basis. by means of an icon.

The collection of data relating to the frequency of intermediate situations shows that it is important : During the winter 2011-2012 the

to explicitly provide users with the information relating to the "weight" of the avalanche danger within each single scale degree.

:

### WET SNOW **AVALANCHES** Wet Snow Avalanche Activity in the Swiss Alps – Trend Analysis for Mid-Winter Season

C. Pielmeier, F., C. Marty, T. Stucki During the winter 2011-2012 the Alps experienced repeated periods with high activity of wet snow and full-depth glide avalanches during mid-winter season (December to February).

Damage to infrastructure, but also fatalities, were the consequence.

Looking back 5 years, there was at least one intense and widespread wet snow and full-depth glide avalanche period in four out of five midwinter seasons. To study the long-term trend, changes in wet snow and full-depth glide avalanche activity during mid-winter season were analyzed from 1952 to 2013, based on long-term observation stations.

Robust time series analyses showed a positive trend in number and proportion of wet snow and full-depth glide avalanche records. The trend coincides with the trend in increasing air temperature in Switzerland

A break in the data series is shown that originates probably from a major revision of the snow and avalanche recording system in 2002. For the 50 year period before the revision, the proportion of wet snow avalanches increased by 0.4% per year. With the anticipated increasing temperatures in the European Alps, the positive trend in wet snow avalanche activity will most likely continue, which requires adaptations in risk management.

### **GLIDE-SNOW AVALANCHES** The Influence of Weather on Glide-Snow Avalanches

L. Dreier, C. Mitterer, S. Harvey, S. Feick



# ULTIMORA

Swiss Alps experienced high glide-snow activity. The danger of glide-snow avalanches combined with large snow depths posed a challenge to the local authorities. Glide-snow avalanches are difficult to predict and hard to control.

Weather, snowpack, soil and terrain are known to influence snow gliding. So far, however, no clear relationship between these variables and glidesnow activity could be established. Many research results report that a wet basal layer is paramount for the formation of glide-snow avalanches. Based on observations, the assumption is made that different processes favor the production of this basal layer and thus the triggering of snow gliding in winter and in spring.

In winter the snowpack is usually cold and dry, in spring it's warm and wet.

Thus, there are different processes causing water at the snow-soil boundary. In order to shed some light into these two different periods, glide-snow activity was monitored at a well-known glide-snow avalanche site, the Dorfberg above Davos, Switzerland during the winter seasons 2008-2009 and 2011-2012 using time-lapse photography. Glide-snow avalanche activity was compared to weather parameters of a nearby weather station.

We used univariate and multivariate statistical methods to explore the data.

Results verify different processes in winter and spring. Most important weather parameters in winter are maximal air temperature, the 5-day sum of new snow and incoming shortwave radiation.

In spring, parameters as snow surface temperature, minimal air temperature, difference in air temperature to the day before and relative humidity seem most important.

The difference in important parameters for winter and spring periods indicate different sources of the thin water layer at the snowsoil interface and therefore different underlying processes that lead to snow gliding.



### DOVE LA PRATICA INCONTRA LA SCIENZA CORSO DI FORMAZIONE

INTERNAZIONALE AVANZATO SU NEVE E VALANGHE

Quando: 23 - 27 febbraio 2015 Dove: Davos, Svizzera Lingua: Inglese

**Organizzatore:** WSL Istituto per lo studio della neve e delle valanghe SLF, Davos, Svizzera **Chi:** Può partecipare chiunque lavori nei settori della neve e delle valanghe. Tuttavia, poiché si tratta di un corso avanzato, sono richieste conoscenze di base sulla neve e sulla valutazione e gestione del pericolo di valanghe. Il corso è destinato a previsori valanghe, specialisti di valanghe e consulenti, istruttori valanghe, gestori del pericolo di valanghe per le infrastrutture, servizi di controllo valanghe, rappresentanti di istituzioni, servizi privati e associazioni.

### Argomenti del corso sono:

- Proprietà fisiche e meccaniche della neve
- Formazione e dinamica delle valanghe
- Valutazione della stabilità del manto nevoso
- Previsione valanghe
- Gestione e mitigazione del rischio

**Per ulteriori informazioni e iscrizioni:** www.slf.ch/more/training

Iscrizioni **entro il 31 dicembre 2014** (numero limitato di partecipanti).

### WHERE PRACTICE MEETS SCIENCE

INTERNATIONAL ADVANCED TRAINING COURSE ON SNOW AND AVALANCHES

When: 23 - 27 February 2015 Where: Davos, Switzerland Language: English Organizer: WSL Institute for Snow and Avalanche

Research SLF, Davos, Switzerland

Who: Anyone working in the snow and avalanche business can participate. However, since it is an advanced course, basic knowledge of snow and avalanche danger assessment and management is required. The course is intended for avalanche forecasters, avalanche specialists and consultants, avalanche instructors, avalanche hazard managers for infrastructures, avalanche control services, representatives of institutions, private services and associations.

### Course topics are:

- Physical and mechanical properties of snow
- Avalanche formation and avalanche dynamics
- Snow stability evaluation
- Avalanche forecasting
- Risk management and mitigation

Further information and registration: www.slf.ch/more/training

*Sign up until* **31 December 2014** (*limited number of participants*).

