

# 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 tendenze 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 valanghe 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 raggruppati 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	NOME DELLA STAZIONE	ALTITUDINE (m s.l.m.)	OSSERVAZIONE DAL
1MR	Mürren	1660	1951
1MN	Moleson	1520	1965
1AD	Adelboden	1350	1954
1WE	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

© AINEVA

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.

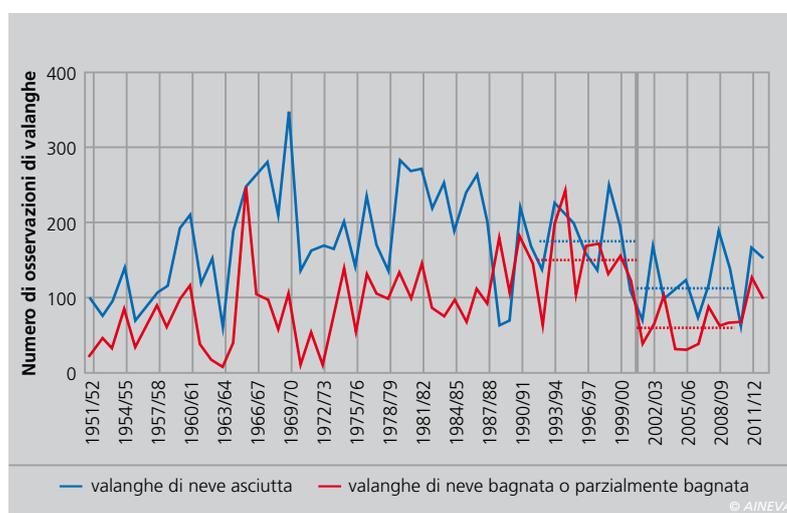
### Dati di temperature e altezza neve nel periodo 1952-2013

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

© AINEVA

Tab. 2 - Sistema di codifica SLF per le osservazioni delle valanghe dal 1952 al 2001 (SLF, 1987).



© AINEVA

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 in 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.

dell'aria per la 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 monotona (Crawley, 2007).

È stata eseguita un'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.

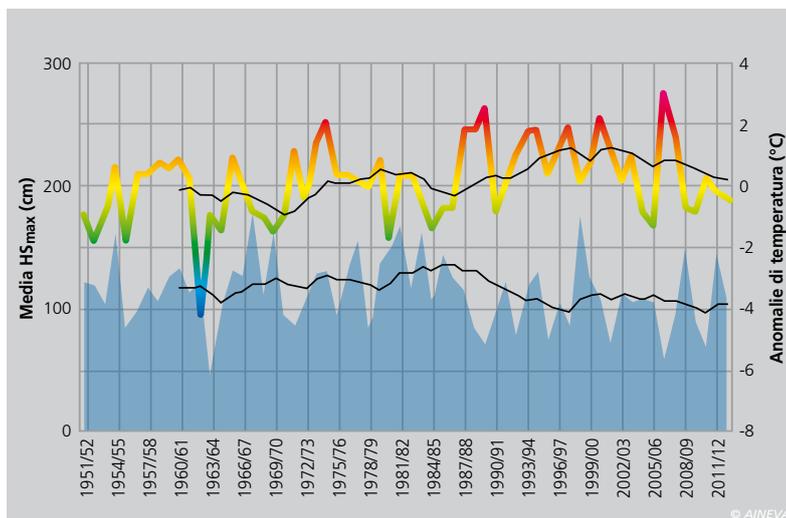
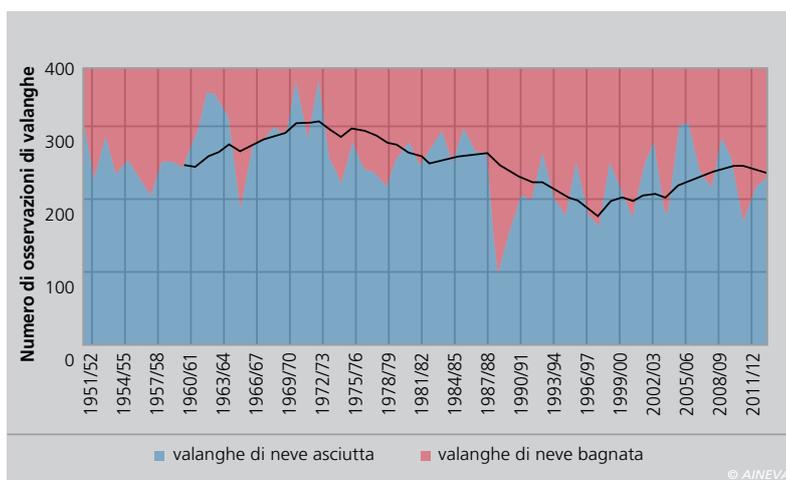


Fig. 3 - Percentuale del numero di osservazioni di valanghe di neve asciutta (area blu) e neve bagnata (area rossa) per la parte centrale dell'inverno del periodo 1952-2013. La linea curva nera raffigura la media mobile semplice su un periodo di 10 anni. È evidente un incremento della percentuale di 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  $HS_{max}$  ( $p=0,72$ ,  $p<10^{-7}$ ). 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 ( $HS_{max}$ :  $p=0,35$ ,  $p<0,01$ ,  $dTA$ :  $p=0,45$ ,  $p<10^{-3}$ ). La percentuale di valanghe di neve da umida ad asciutta presenta una moderata correlazione con le anomalie di temperatura ( $dTA$ :  $p=0,61$ ,  $p<10^{-6}$ ), 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 lunghi, 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'innnevamento per un crescente rapporto neve/pioggia legato 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	MK: 62a	TS: trend 62a	MK: 50a	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 temperature	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

© AINEVA

## 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., Grünwald, 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.
- Latenser, M., 2002. *Snow and Avalanche Climatology of Switzerland*. Dissertation ETH Zürich, CH, No. 14493, 139 p.
- Latenser, 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 snow-atmosphere 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., Latenser, 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.