

L'ENERGIA TERMICA 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 Davos, Svizzera.

La linea rossa indica il contorno della valanga. Le crocette colorate indicano le ubicazioni dei profili stratigrafici manuali.



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 canali 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'esperienza, 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.

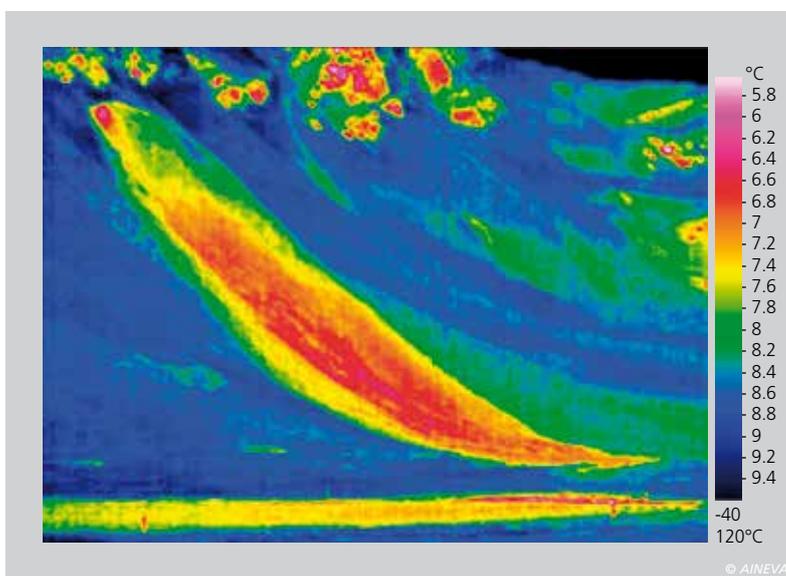
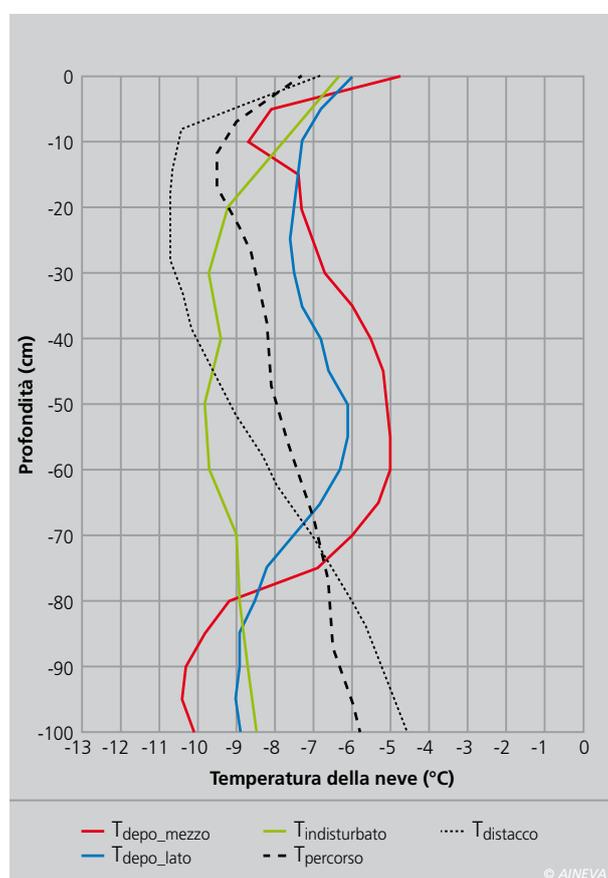


Fig. 3 - Misurazioni della temperatura superficiale della neve acquisite con la fotocamera IRT dopo che la valanga si è arrestata e la nuvola di neve polverosa è scomparsa.



Fig. 4 - Misurazioni della temperatura della neve eseguite nella zona di distacco ($T_{distacco}$), lungo il percorso nella neve indisturbata ($T_{percorso}$), nella zona di deposito (T_{depo_mezzo} , T_{depo_lato}) e nel manto nevoso indisturbato presente nella zona d'arresto ($T_{indisturbato}$). 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 ± 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 $\sim 2,4$ °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,



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 DOI: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., McClung, 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 nivalogical 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.

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

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.