

## Tavola 3.1<sup>2</sup>

## Reti di rilevamento per la criosfera: neve, ghiacciai, permafrost

### Introduzione

Le reti di rilevamento per la criosfera sono ultimamente andate incontro ad alcuni cambiamenti che hanno reso necessaria una rinnovata edizione della tavola 3.1. Mentre le reti nivometriche sono state sia estese che automatizzate, quella di osservazione dei ghiacciai ha subito solo alcuni adeguamenti e ampliamenti. Una nuova entrata è costituita dalla rete di misura del permafrost, avviata nel 2000 come progetto pilota. La Commissione di esperti della criosfera dell'Accademia svizzera di scienze naturali (scnat) si occupa del coordinamento di tali reti.

### Neve

Le misurazioni inerenti la neve vengono condotte principalmente presso le stazioni dell'Istituto federale per lo studio della neve e delle valanghe (SNV) e dell'Ufficio federale di meteorologia e climatologia (MeteoSvizzera). Si contano in aggiunta singole stazioni e reti minori a carattere locale. Esse assolvono soprattutto a finalità di ricerca, alle esigenze del turismo invernale, alla valutazione della sicurezza d'esercizio delle ferrovie; oppure vengono impiegate da società per la produzione di energia elettrica per la stima delle risorse idriche [5,7,14].

La carta, le tabelle e le figure offrono una panoramica sull'ubicazione delle stazioni, sulle grandezze caratteristiche rilevate e sulla completezza delle serie di misura delle reti nivometriche. Per quanto riguarda l'analisi delle misure effettive (cfr. ad es. [3,8,11]) occorre tenere conto che solo una parte dei dati è stata controllata, corretta e interpolata e che l'indicazione degli anni mancanti si riferisce solo alle altezze di neve. Non si può pertanto escludere che sussistano ulteriori buchi o dati mancanti relativamente agli altri valori caratteristici. Può inoltre succedere che le competenze delle reti di rilevamento si siano modificate nel corso degli anni; nella tavola è rappresentata la competenza aggiornata al 2006. Nel complesso sono riportate 581 stazioni di misurazione della neve delle quali 311 erano in esercizio nel 2006 (cfr. tab. 1). Si sono prese in considerazione solo le stazioni per le quali le misure sono disponibili in forma digitale nella banca dati della rispettiva istituzione.

### Grandezze caratteristiche della neve

Le tre più importanti misure caratteristiche della neve rappresentate in questa tavola sono l'altezza della neve (HS), l'altezza di neve fresca (HN) e l'equivalente in acqua del manto nevoso (SWE) (cfr. tab. 2). L'altezza della neve viene letta presso apposite aste graduate oppure viene rilevata in automatico mediante dispositivi a ultrasuoni. La misura dell'altezza di neve fresca avviene ogni 24 ore verso le 7 del mattino e non può ottenersi mediante sensore a ultrasuoni. Si ricorre manualmente a una piastra che viene ogni volta pulita e alloggiata sulla coltre nevosa e sulla quale si depositano gli apporti caduti dopo l'ultima rilevazione. L'equivalente in acqua del manto nevoso corrisponde all'altezza della neve che forma il manto stesso, se questa fosse allo stato liquido.

Presso le stazioni automatiche è possibile modellizzare la densità e l'equivalente in acqua della neve fresca, posto che oltre alla misura dell'altezza di neve si misuri anche la radiazione, l'umidità dell'aria, la direzione e la velocità del vento, la temperatura dell'aria e della neve a diverse profondità.

## Reti per la misurazione della neve

La rete automatica ANETZ di MeteoSvizzera è un sistema a elevata risoluzione temporale di misurazione al suolo. Esso è stato messo in opera tra il 1977 e il 1982 e comprende 72 stazioni che registrano automaticamente ogni 10 minuti e in tutta la Svizzera una vasta gamma di dati meteorologici (cfr. tavola 2.1<sup>2</sup>). Solo presso 34 di queste stazioni viene eseguita la misurazione della neve e in modo convenzionale. Dal 2005 le stazioni sono state trasferite nella nuova rete SwissMetNet, pure automatizzata, e con l'occasione munite di rilevatori automatici per la misura delle altezze di neve [10].

L'installazione della rete integrativa ENET è avvenuta tra il 1990 e il 1994 [9], a sostituzione della cosiddetta rete di allerta tempesta di Gfeller di MeteoSvizzera, e comprende 44 stazioni, 10 delle quali sono in alta montagna e rilevano dati sulla neve. Queste ultime sono stazioni sdoppiate, composte cioè di un'unità posta in vetta (anemometro riscaldato, sensore di misura della temperatura ventilata dell'aria e, talvolta, sensori di misura della radiazione) e di un'unità dislocata posizionata su un terreno pianeggiante (altezza della neve, temperatura superficiale della neve e temperatura della neve a diverse profondità).

Il sistema di misura e informativo intercantonale IMIS è stato sviluppato dal 1992 al 2006. Le sue 99 stazioni sono parimenti costituite da unità situate in vetta e su terreno pianeggiante. Oltre ai valori caratteristici ENET, sono misurati anche l'umidità dell'aria e la radiazione riflessa ad alta frequenza. Su questa base di dati si può applicare il modello di manto nevoso SNOWPACK [1], il quale simula le caratteristiche degli strati nevosi, l'indice di accumulo eolico, l'indice di brina, la neve fresca e l'equivalente in acqua.

La cosiddetta rete comparativa VG costituisce con le sue 80 stazioni il fondamento per l'allarme valanghe. A fianco delle grandezze caratteristiche della neve, gli osservatori comunicano informazioni sulle valanghe individuate e stimano il pericolo imminente nella loro regione.

## Ghiacciai

Lo scopo primario del programma di misurazioni atto a documentare la variazione a lungo termine dei ghiacciai è quello di soddisfare differenti esigenze professionali tramite la raccolta e la messa a disposizione di una base dati rappresentativa. Il programma di misurazioni non si focalizza solo sulle relazioni tra il clima e i ghiacciai, ma è inteso anche a fornire un supporto nel campo dell'economia (produzione idroelettrica, turismo), delle pubbliche relazioni (informazione, formazione), della identificazione e valutazione dei pericoli naturali.

L'inizio delle misurazioni sistematiche annuali risale al lontano 1880, quando con esse si voleva tra l'altro indagare sulle cause delle ere glaciali. Col passare del tempo le finalità di ricerca delle misurazioni sui ghiacciai si sono spostate, mentre nuovi metodi di rilevazione hanno fatto la loro comparsa. Oggi si combinano le moderne tecnologie (ad es. telerilevamento, geoinformatica) con i sistemi tradizionali (ad es. misurazioni sul campo). I risultati delle misure forniscono un contributo ai programmi internazionali di documentazione delle variazioni dei ghiacciai.

## Grandezze caratteristiche

La rete di rilevamento dei ghiacciai è strutturata in modo da consentire sia analisi globali che regionali delle variazioni dei ghiacciai. Il programma di misurazioni comprende la registrazione annuale o pluriennale della variazione di lunghezza, del bilancio di massa, della variazione di volume, della velocità di scorrimento, della temperatura del firn, nonché la determinazione periodica di grandezze caratteristiche dei ghiacciai (cfr. tab. 3).

La variazione della lunghezza viene determinata verso la fine dell'estate per circa 100 ghiacciai e richiede uno sforzo relativamente modesto, dato che si basa sulla semplice osservazione dello spostamento dell'apice della lingua. Vi sono all'uopo metodi di rilevamento applicabili localmente (metro a nastro, teodolite o GPS), come anche valutazioni di riprese aeree. Le variazioni di lunghezza rappresentano un segnale climatico filtrato e ritardato che è funzione delle dimensioni,

della geometria e della dinamica di flusso del ghiacciaio (cfr. tavola 3.7). La fitta rete di misura comprende ghiacciai di tutte le classi dimensionali e offre una buona visione d'insieme delle oscillazioni regionali (fig. 7,[6]). Dall'inizio delle registrazioni documentate del XIX secolo si sono prodotte circa 9100 osservazioni per una lunghezza media delle serie di misure di 71 anni.

Il bilancio di massa, che risulta dall'aumento della neve (accumulazione) e dalla diminuzione del ghiaccio (ablazione, soprattutto fusione) viene attualmente determinato presso tre ghiacciai alla fine dell'inverno (normalmente metà maggio) e alla fine dell'anno di bilancio (di solito verso la fine di settembre) mediante un metodo glaciologico diretto e alquanto impegnativo (aste graduate e trincee nella neve). A integrazione di questa rilevazione dettagliata vengono eseguite misurazioni puntuali presso alcuni altri ghiacciai, nonché misurazioni a lungo termine della variazione di volume complessiva di 25 ghiacciai [2]; la figura 8 riporta una selezione dei risultati delle misurazioni.

La velocità di scorrimento della superficie del ghiacciaio dipende dallo spessore del ghiaccio, dalla pendenza e dal processo di scivolamento sul substrato. La si ricava attraverso la misurazione sul campo con aste o sezioni trasversali, ma anche dall'analisi fotogrammetrica di riprese aeree a risoluzione annuale. I rilevamenti di temperatura relativi al firn o al ghiaccio che sono limitati a singoli ghiacciai non sono rappresentati in questa tavola. A completare il quadro vi sono registrazioni periodiche dell'intera superficie coperta dal ghiaccio nelle Alpi svizzere, nonché la derivazione di ulteriori grandezze caratteristiche (cfr. tavola 3.10).

## Permafrost

Il permafrost è un indicatore importante dei mutamenti ambientali ad alta quota, la cui ricerca ha acquisito sempre maggiore importanza negli ultimi anni. Dopo un periodo preparatorio pluriennale si è riusciti tra il 2000 e il 2006 a tradurre un'idea di PERMOS (PERmafrost MONitoring Switzerland) in un'effettiva fase pilota [12,13]. In questo modo sono state rese certe alcune serie di misure già esistenti e si è affinata la metodica per l'osservazione del permafrost.

Insieme all'analisi di riprese aeree periodiche, i rilevamenti permettono di meglio inquadrare i pericoli naturali che traggono origine dalle regioni del permafrost (ad es. colate detritiche e fenomeni di crollo). In primo piano stanno le seguenti grandezze caratteristiche:

- Potenza dello strato affiorante, temperature del permafrost nelle perforazioni: le osservazioni mostrano che occorre circa mezzo anno prima che un segnale termico si trasferisca dalla superficie a 10 m di profondità. A questa profondità non si riscontrano più oscillazioni a breve termine (ad es. giorno-notte); per contro, gli influssi delle escursioni stagionali risultano meglio apprezzabili (cfr. fig. 6).
- Temperature della superficie del suolo e delle rocce: i sensori termici posti appena sotto la superficie rilevano gli effetti prodotti sulla temperatura del suolo da grandezze come la temperatura dell'aria, la radiazione solare, la coltre di neve e l'eventuale circolazione d'aria tra blocchi rocciosi. Alcuni sensori sono applicati a pareti rocciose subverticali sulle quali non può depositarsi neve, altri sono collocati su aree piane. È così possibile identificare l'influenza differenziata delle suddette grandezze e osservare la loro variazione nel tempo (cfr. fig. 5).

## Bibliografia

- [1] **Bartelt, P., Lehning, M. (2002):** A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning, Part I: numerical model. In: Cold regions Science and Technology 35:123–145, Amsterdam.
- [2] **Bauder, A. (2001):** Bestimmung der Massenbilanz von Gletschern mit Fernerkundungsmethoden und Fließmodellierungen. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 169, Zürich.
- [3] **Beniston, M., Keller, F., Goyette, S. (2003):** Snow pack in the Swiss Alps under changing climatic conditions: an empirical approach for climate impacts studies. In: Theoretical and Applied Climatology, V74, N1–2:19–31, Wien.
- [4] **Colbeck, S. et al. (1990):** The International Classification for Seasonal Snow on the Ground. ICSI, International Association of Scientific Hydrology, Springfield.
- [5] **Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung (1936/37–2002/03):** Winterberichte. Davos.
- [6] **Gletscherberichte (1881–2006):** Die Gletscher der Schweizer Alpen. Nr. 1–126, Zürich.
- [7] **Laternser, M. (2002):** Langjährige SLF-, SMA- und RhB-Schneedatenreihen: Übersicht und Grundlagen für die Messnetzevaluation. Interner Bericht Nr. 746 des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos.
- [8] **Laternser, M. (2002):** Snow and Avalanche Climatology of Switzerland. Diss. ETH No. 14493, Zurich.
- [9] **MeteoSchweiz (1995):** Automatisches meteorologisches Ergänzungsnetz (ENET). Arbeitsbericht Nr. 180 des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz), Zürich.
- [10] **MeteoSchweiz (2002):** Konzept Messnetz 2010 von MeteoSchweiz. Arbeitsbericht Nr. 199 des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz), Zürich.
- [11] **Scherrer, S.C., Appenzeller, C., Laternser, M. (2004):** Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local- and large-scale climate variability. In: Geophysical Research Letters, Vol 31; L13215, Washington.
- [12] **Vonder Mühll, D. et al. (2004):** Permafrost in Switzerland 2000/2001 and 2001/2002. Glaciological Report (Permafrost) No 2/3. Permafrost Monitoring Switzerland. Zurich.
- [13] **Vonder Mühll, D. et al. (2005):** Permafrost in den Schweizer Alpen 2002/2003 und 2003/2004. In: Die Alpen 10/05:24–31, Bern.
- [14] **Witmer, U. (1986):** Erfassung, Bearbeitung und Kartierung von Schneedaten in der Schweiz. Geographica Bernensia. G25, Bern.