

Tavola 3.9 Permafrost

Introduzione

Il «Permafrost» (o «permagelo»), letteralmente il suolo permanentemente ghiacciato, è un fenomeno termico noto soprattutto in Siberia e in Alaska, ma presente anche nelle Alpi dove lo si studia più approfonditamente dagli anni '70. La sua genesi va ricondotta in sostanza a un insufficiente bilancio termico stagionale. Quando l'accumulo del gelo invernale nel suolo non viene completamente compensato dal riscaldamento estivo, vi è una soglia di profondità, lo specchio di permafrost, al di sotto della quale le temperature si mantengono negative tutto l'anno. Negli strati soprastanti tale blocco sommerso di gelo perenne lo scambio termico provoca d'estate la fusione del ghiaccio. La temperatura cresce con la profondità in virtù del calore terrestre, tuttavia valori positivi si rinvenivano nuovamente solo al di sotto della base profonda del permafrost.

L'appellativo di permafrost è dato essenzialmente in funzione del regime termico. Il ghiaccio, dovuto alla presenza di acqua sottoraffreddata, costituisce pertanto un semplice effetto collaterale; del resto, esiste pure un permafrost secco, praticamente privo di ghiaccio.

Estensione del permafrost nelle Alpi

In generale, bisogna aspettarsi la presenza di permafrost al di sopra del limite forestale. Discriminante risulta in questo senso l'irraggiamento e, in seconda istanza, la temperatura media annuale dell'aria. Ciò spiega perché il permafrost compaia sui versanti esposti a nord a quote inferiori rispetto a quelli esposti a sud. La neve, le caratteristiche superficiali del suolo e la disponibilità idrica costituiscono altri importanti fattori.

Nella metà degli anni '70 si sono fissati dei criteri guida per la valutazione dello sviluppo del permafrost; vent'anni più tardi il Sistema informativo geografico (SIG) ha consentito la loro piena implementazione, con applicazioni allestite regione per regione. Si dispone così di vari modelli statistici [2] a differenti gradi di risoluzione spaziale, tutti basati su un modello digitale di tipo altimetrico; nell'ambito di una suddivisione in celle si analizzano la quota s.l.m., il grado di esposizione, la particolare posizione (ad es. al piede del pendio). Un ulteriore modello comporta il ricorso alla temperatura media annuale anziché alla quota e all'irraggiamento diretto anziché all'esposizione [4]. In [2] i modelli sono stati applicati alla medesima regione di prova e quindi confrontati. Per il tracciamento della carta che raffigura la distribuzione della probabile comparsa di permafrost si sono impiegati tre modelli regionali. Nell'insieme il permafrost copre il 4–6 % del territorio svizzero, un'area all'incirca doppia di quella occupata dai ghiacciai.

Ghiacciai rocciosi

Il permafrost si riconosce particolarmente bene quando si forma nei terreni incoerenti. Il gelo tiene i clasti separati e spesso ingrandisce gli interstizi, formando un ammasso di materiale detritico sovrassaturo di ghiaccio, dotato di caratteristiche peculiari. Quando la topografia locale lo consente l'ammasso inizia gradualmente a strisciare, dando luogo a colate dalla morfologia lavica, denominate ghiacciai rocciosi (rock glaciers), sebbene non abbiano nulla a che spartire con i ghiacciai veri e propri dal punto di vista dell'origine e del comportamento.

I ghiacciai rocciosi sono lunghi tipicamente qualche centinaio di metri, sono ricoperti di materiale detritico grossolano e traslano verso valle di alcuni decimetri all'anno (cfr. fig. 1). Lo scorrimento diminuisce verso i bordi, plasmando la superficie con tipiche tracce fluidali. Il fronte e i fianchi risultano solitamente alquanto scoscesi (sino a 40°); verso la loro sommità si trovano frammenti considerevoli che precipitano occasionalmente in avanti, andando a costituire un grembiule di depositi; nel mezzo si forma una fascia di materiale fine sulla quale, se il ghiacciaio roccioso è inattivo, può comparire la prima vegetazione. Nel caso di unità attive le piante cresciute in precedenza vengono invece distrutte dai movimenti del substrato e dalla reiterata caduta di pietre. Gli ammassi fossili sono solitamente privi di ghiaccio, risultando quindi collassati e spesso ricoperti

di folta vegetazione. La tabella riporta una cernita di ghiacciai rocciosi facilmente identificabili e accessibili, appartenenti alle tre categorie menzionate (attivi, inattivi, fossili).

Ablazione nivale e interesse idrologico

La sostanziale impermeabilità del blocco di permafrost condiziona notevolmente gli assetti idrologici nei terreni detritici congelati. Vi sono inoltre interazioni tra il permafrost e l'ablazione nivale; così, nel dominio del permafrost lo scioglimento della neve viene ritardato di circa 15–20 giorni [6].

Due bacini sono stati presi come riferimento per indagini più specifiche. Nel primo di essi, il bacino di Furggentälti [7], l'oggetto principale di studio è un ghiacciaio roccioso lungo all'incirca 350 m, situato al piede del versante settentrionale dei Plattenhörner (cfr. foto). Con un fronte che avanza mediamente di 40 cm all'anno la sua attività risulta al momento decisamente pronunciata. Tra il 1960 e il 1992 esso ha perso nel complesso 48 000 m³ di massa ghiacciata, laddove il tasso annuale di scioglimento tra il 1985 e il 1992 risulta quadruplicato rispetto a quello tra il 1960 e il 1985. Ricerche condotte in loco hanno mostrato che il permafrost è circoscritto principalmente alle zone sulle quali l'irraggiamento diretto è scarso (fig. 4).

L'ablazione nivale nel dominio dei ghiacciai rocciosi si documenta con l'ausilio di un apparecchio fotografico automatico (fig. 6). In primavera la fusione della neve subentra in periodi e si sviluppa con celerità che dipendono sensibilmente da caso a caso (fig. 7). Nondimeno, lo schema di ablazione nivale si presenta ogni anno con gli stessi tratti distintivi (fig. 5), risultando influenzato soprattutto dalla curvatura del suolo, dal trasporto eolico, dall'irraggiamento e dalle temperature del terreno, a loro volta condizionate dalla presenza di permafrost. L'andamento combinato dei fenomeni d'irraggiamento e di ablazione nivale consente viceversa di trarre conclusioni sullo sviluppo del permafrost.

Nel secondo bacino sottoposto a indagine, quello di Vallon de Réchy, il deflusso è rilevato dal 1988 in due sotto-bacini imbriferi, il bacino 1 e il bacino 2 (fig. 8, [1]). Il bacino 2 di 20.5 ha si estende per il 90 % circa nel dominio del permafrost e comprende anche la porzione sudoccidentale del ghiacciaio roccioso di Becs de Bosson. Il corpo maggiore di quest'ultimo si trova comunque nel bacino 1 di 76 ha che per circa il 50 % è interessato dalla presenza di permafrost. Dalla figura 8 si nota che il manto erboso alpino ricopre nel bacino 2 un'aliquota superficiale molto più piccola che nel bacino 1.

A tratteggiare qui le condizioni idrologiche sono le temperature rigide (media annuale del periodo 1993–1997: -1 °C), la vegetazione rada e il permafrost. Così, l'altezza di evaporazione annuale ammonta a circa 300 mm (cfr. tavola 4.1). Il decorso decisamente stagionale dei processi idrologici è caratteristico; il regime di deflusso è di tipo nivale, con portate ridotte in inverno e cospicue tra maggio e agosto a seguito dello scioglimento della neve. La figura 9 illustra chiaramente le diversità che intercorrono nelle modalità di deflusso specifico dei due sotto-bacini. I contributi del bacino 2, in cui predomina il permafrost, sono decisamente più elevati. L'acqua di fusione percola in prossimità della superficie, nello strato di scambio termico posto al di sopra del blocco di permafrost (cfr. fig. 10), andando a rimpinguare le sorgenti ai bordi del ghiacciaio roccioso. Le possibilità di accumulo idrico sono notevolmente superiori nel bacino 1, grazie alla maggiore porzione di aree libere da permafrost; ciò che comporta contributi al deflusso decisamente minori. È altresì possibile che una parte del bacino 1, specialmente nella zona del ghiacciaio roccioso, alimenti il bacino 2 per via sotterranea. Il deflusso basale più elevato del bacino 2 trae probabilmente la propria origine da una riserva idrica situata sotto il ghiacciaio roccioso.

Ghiacciaio roccioso di Murtèl-Corvatsch (Engadina)

Nel quadro di un progetto di ricerca si è proceduto nel 1987 a una trivellazione sperimentale a 60 m di profondità del ghiacciaio roccioso di Murtèl-Corvatsch [3]. Si sono prelevate carote, si sono eseguite rilevazioni geofisiche nella colonna di trivellazione e si sono installate apparecchiature per osservazioni a lungo termine (fig. 2). Il carotaggio ha consentito per la prima volta di gettare uno sguardo nella struttura interna del permafrost strisciante [8].

Lo strato superficiale del ghiacciaio roccioso, di circa 3 m di spessore, è composto di blocchi di vario diametro (dai centimetri fino ai metri). Come mostra il profilo di densità di figura 2, sotto di esso e fino a una profondità di circa 30 m vi è ghiaccio quasi puro. Tra i 30 e i 57 m prevalgono nuovamente blocchi separati da ghiaccio interstiziale. La roccia massiccia compare a 57 m di profondità.

In corrispondenza del punto di trivellazione la superficie del permafrost si sposta verso valle di 6 cm all'anno. Come si evince da misure della deformazione della cavità di carotaggio, due terzi circa di questa velocità (4 cm/anno) sono imputabili alla superficie di taglio posta tra 28 e 30 m di profondità (fig. 2).

Tecniche di elaborazione fotogrammetrica ad alta risoluzione di riprese aeree rendono conto degli spostamenti della superficie del permafrost (fig. 1). I movimenti determinati in questa maniera presso il punto di perforazione corrispondono sensibilmente alle misure relative al carotaggio. Dal 1987 al 1996 la superficie del ghiacciaio roccioso è sprofondata mediamente di 4 cm all'anno, mentre le velocità orizzontali massime di strisciamento hanno toccato i 15 cm/anno. La configurazione del campo di flusso porta ad attribuire al ghiacciaio roccioso un'età di circa 10 000 anni [5].

A profondità comprese tra 3.5 e circa 50 m vigono per tutto l'anno temperature negative, con oscillazioni riscontrabili sino a 20 m di profondità (fig. 3). Inaspettatamente, tra i 52 e i 56 m s'instaura un regime termico stagionale; sotto di esso la temperatura torna a stabilizzarsi su valori negativi. S'inferisce la presenza nel blocco di permafrost di una falda idrica sotterranea che si attiva d'estate. Nell'intervallo tra il 1987 e il 1994 i 30 m superiori si sono fortemente riscaldati. Poiché nei due inverni 1994/1995 e 1995/1996 è caduta poca neve in Engadina, il manto nevoso è rimasto sottile e non ha isolato a sufficienza il terreno nei confronti del gelo esterno. Ciò spiega perché alla profondità di 11.6 m (fig. 3) la temperatura del 1996 sia risultata allineata a quella del 1987 e tenda da allora a ricrescere.

Bibliografia

- [1] **Gardaz, J.-M. (1999):** Permafrost prospecting, periglacial and rockglacier hydrology in mountain areas: Cases studies in the Valais Alps, Switzerland. University of Fribourg, Fribourg.
- [2] **Haerberli, W. et al. (1996):** Simulation der Permafrostverbreitung in den Alpen mit Geographischen Informationssystemen. Arbeitsbericht NFP 31, Zürich.
- [3] **Haerberli, W. et al. (1998):** Ten years after drilling through the permafrost of the active rock glacier Murtèl, Eastern Swiss Alps: answered questions and new perspectives. In: Seventh International Conference on Permafrost, Yellowknife, Canada. Proceedings:403–410, Collection Nordicana, N° 57, Laval.
- [4] **Hölzle, M. (1994):** Permafrost und Gletscher im Oberengadin. Grundlagen und Anwendungsbeispiele für automatisierte Schätzverfahren. Mitteilung der VAW, Nr. 132, Zürich.
- [5] **Kääb, A. (1998):** Oberflächenkinematik ausgewählter Blockgletscher des Oberengadins. In: Beiträge aus der Gebirgs-Geomorphologie. Jahrestagung 1997 der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft. Mitteilung der VAW, Nr. 158:121–140, Zürich.
- [6] **Keller, F. (1994):** Interaktion zwischen Schnee und Permafrost. Eine Grundlagenstudie im Oberengadin. Mitteilung der VAW, Nr. 127, Zürich.
- [7] **Krummenacher, B. et al. (1998):** Periglaziale Prozesse und Formen im Furggentälti, Gemmipass. Mitteilung Nr. 56, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos.
- [8] **Vonder Mühl, D. (1993):** Geophysikalische Untersuchungen im Permafrost des Oberengadins. Mitteilung der VAW, Nr. 122, Zürich.