

## Ambiente periglaciale e permafrost

### Cos'è?

**Ambiente periglaciale:** ambiente caratterizzato da processi in cui prevale l'azione del gelo indipendentemente dalla presenza dei ghiacciai (contraddistingue i settori di alta quota del paesaggio alpino).

**Permafrost:** detrito e/o roccia con temperatura inferiore a 0°C per almeno due anni consecutivi, indipendentemente dalla presenza di ghiaccio. La sua presenza è di difficile individuazione anche perché durante la stagione estiva la sua porzione più superficiale (detta "strato attivo") è sottoposta a temperature superiori a 0°C con conseguente scongelamento dell'eventuale ghiaccio presente.

### Perché studiarlo?

Il permafrost è direttamente collegato alle condizioni climatiche e gli ambienti con permafrost sono tra quelli in cui gli effetti del riscaldamento globale si manifestano probabilmente in modo più intenso. Tali alterazioni producono significativi impatti sia sugli equilibri naturali (ad es. modificazioni nel ciclo del carbonio e nel ciclo dell'acqua), sia sulle attività umane in ambiente montano (instabilità dei versanti con danni alle infrastrutture, perturbazione dei circuiti idrogeologici, ecc.). Per questi motivi, il permafrost è considerato un indicatore privilegiato del **cambiamento climatico**.

### Il progetto Permanet

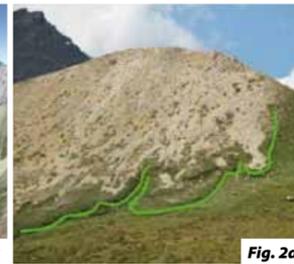
Il progetto europeo Alpine Space "PermaNet - Permafrost long-term monitoring Network" (2008/2011) ha consentito di approfondire le conoscenze sull'ambiente periglaciale e sul permafrost alpino in tutte le Alpi. Al progetto hanno partecipato quattordici istituzioni di cinque paesi (Italia, Austria, Germania, Francia e Svizzera), tra le quali Arpa Piemonte<sup>1</sup>, con lo scopo principale di realizzare una rete di monitoraggio del permafrost alpino e di valutare la distribuzione potenziale del permafrost nelle Alpi; tutto ciò finalizzato alla implementazione di strategie di governance per le aree di alta montagna.

<sup>1</sup> In collaborazione con Università degli Studi dell'Insubria

### Carta della criosfera delle Alpi piemontesi

La carta della criosfera (Fig. 1) rappresenta alcuni aspetti dell'ambiente periglaciale e glaciale. In questa carta viene anche rappresentata la distribuzione potenziale del permafrost alpino (distinto in relitto, possibile e probabile), basata sul catasto regionale degli indicatori del permafrost (Fig. 2).

Gli indicatori più comuni sono i **Rock Glacier** ed i **Protalus Rampart** ("morene nivali"), forme di accumulo detritico, che contengono o hanno contenuto ghiaccio al loro interno, caratterizzate da rughe ed ondulazioni generate dal lento movimento verso valle.



### Monitoraggio del permafrost

A partire dal 2009, in Piemonte sono state installate le stazioni di monitoraggio del permafrost costituite da pozzi verticali in roccia, collegate alla rete internazionale che copre tutto l'arco alpino.

Al Passo dei Salati sono stati realizzati due punti misura:

- in prossimità della cima del Corno del Camoscio è stato realizzato un pozzo profondo 30 m, attrezzato con 25 termometri che misurano la temperatura a diverse profondità (Fig. 6a);
- in prossimità dell'Ist. Mosso è stato realizzato un pozzo profondo circa 5 m, attrezzato con termometri e sensori di umidità del suolo, per misurare i parametri del livello superficiale soggetto a i cicli di gelo-disgelo (Fig. 6b).

Oltre alle misure dirette vengono effettuate misure indirette attraverso due metodi di analisi principali:

- **BTS (Bottom Temperature of the Snow cover)**. Consiste nel rilevare al termine dell'inverno (ma prima che la fusione del manto nevoso abbia inizio) la temperatura del suolo al di sotto della coltre di neve in una griglia di punti (Fig. 7).
- **Tomografia geo-elettrica**. Tipo di prospezione geofisica più idonea alla determinazione della presenza del permafrost (con ghiaccio) in ambito montano ottenuta attraverso la misura della resistività dei terreni e delle rocce (Fig. 8).

I dati derivanti dal monitoraggio del permafrost vengono messi in relazione con i dati climatici registrati dalle stazioni meteorologiche al fine di valutare come le condizioni in atmosfera si ripercuotono nel suolo e nel sottosuolo (Fig. 9).

**Figura 6.** Fasi della perforazione dei pozzi della stazione di monitoraggio del permafrost al Passo dei Salati. a) perforazione del pozzo profondo 30 m al Corno del Camoscio (in ordine, dall'alto verso il basso: la macchina perforatrice all'opera, lo scavo per la sede degli strumenti di raccolta dati, i sacchetti dei campioni di roccia macinata prelevati durante la perforazione); b) perforazione del pozzo profondo 5 m in prossimità dell'Ist. Mosso.



**Figura 7.** Fasi dei rilievi BTS (misura della temperatura del suolo, all'interfaccia neve-suolo). a) preparazione del foro di misura; b) inserimento del sensore nel perforo; c) raccolta dati (punto GPS, caratteristiche morfologiche e nivologiche del punto misura, misura della temperatura BTS).

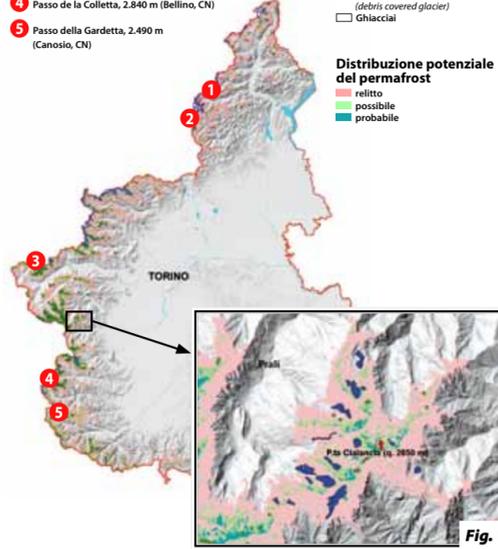
**Figura 8.** Rilievi geofisici (tomografia elettrica). La tecnica si basa nel far passare una corrente elettrica nel terreno/roccia misurandone la resistività (attitudine di un materiale a opporre resistenza al passaggio delle cariche elettriche). Tale tecnica consente di individuare l'eventuale presenza di ghiaccio nel sottosuolo ed è pertanto molto utilizzata negli studi degli ambienti con permafrost. Nella foto si possono osservare gli strumenti di misura dei parametri elettrici e gli stendimenti di cavi che attraverso picchetti metallici trasferiscono la corrente elettrica al terreno.

# Il permafrost nelle Alpi Piemontesi

## Sito del Passo dei Salati

### Stazioni di monitoraggio del permafrost

- 1 Passo Monte Moro, 2.870 m (Macugnaga, VB)
- 2 Passo dei Salati (Alagna Valsesia, VC): Ist. Mosso (2.920 m), Corno del Camoscio (3.020 m)
- 3 Colle Sommeiller, 2.990 m (Bardonecchia, TO)
- 4 Passo della Colletta, 2.840 m (Belluno, CN)
- 5 Passo della Gardetta, 2.490 m (Canosio, CN)



**Figura 1.** Carta della Criosfera delle Alpi Piemontesi (dettaglio ingrandito nel riquadro in basso).

### Figura 2.

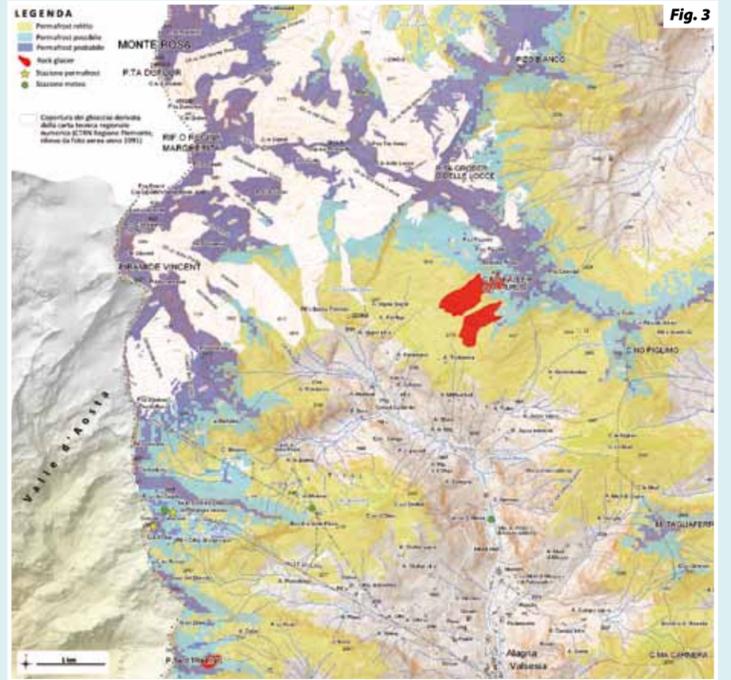
- Indicatori del permafrost:
- a) rock glacier,
  - b) protalus rampart ("morene nivali"),
  - c) ghiacciai "neri" (debris covered glacier),
  - d) lobi di geliflusso.

### Inventario della Criosfera

- Rock Glacier e Protalus Rampart
- attivi
  - complessi
  - inattivi
  - attività incerta
- lobi di geliflusso
- Ghiacciai "neri" (debris covered glacier)
  - Ghiacciai

### Distribuzione potenziale del permafrost

- relitto
- possibile
- probabile



**Figura 3.** Distribuzione potenziale del permafrost nell'alta Val Sesia. Circa il 60% dell'area è interessata da permafrost di tipo "relitto" legato a condizioni climatiche del passato, più fredde di quelle attuali (non è possibile osservare in superficie questo tipo di permafrost). Il permafrost "possibile" (25%) e "probabile" (15%), in equilibrio con le condizioni climatiche odierne, è prevalentemente localizzato sui versanti settentrionali al di sopra dei 2400-2500 m di quota.

### L'area del Passo dei Salati

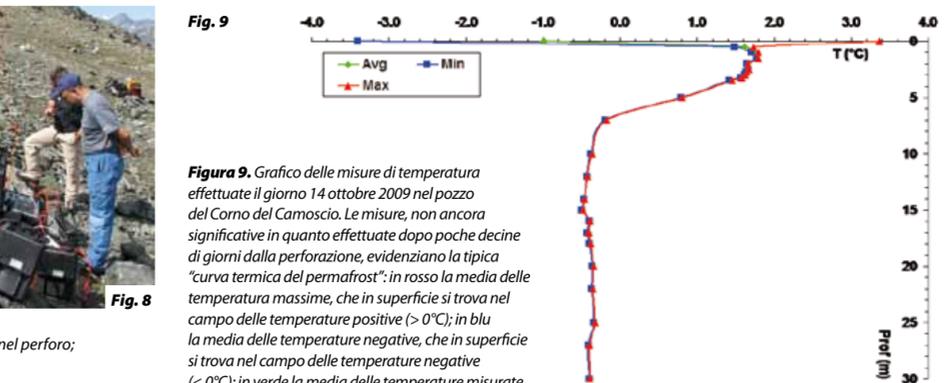
Il Passo dei Salati (che prende il nome dalla popolazione che viveva in queste zone nell'antichità) è caratterizzato da un assetto geologico-strutturale molto particolare, legato alla collisione tra i paleo-continenti Europa-Africa. Infatti, i continui movimenti crostali hanno via via ravvicinato i margini di questi due continenti facendo scomparire l'oceano (la Tetide) che fino a circa 50 milioni di anni fa si estendeva fra essi e portando alla formazione delle Alpi.

Lungo la sezione nord-sud posta in corrispondenza della cresta spartiacque che unisce il Corno del Camoscio allo Stolemberg è possibile osservare sia le rocce appartenenti al margine continentale europeo (Falda del Monte Rosa) sia quelle appartenenti all'antico fondale oceanico (Unità Zermatt-Saas). Le diverse unità sono costituite da rocce differenti la cui composizione caratterizza anche una colorazione ben distinguibile osservando il paesaggio: tipiche delle unità oceaniche sono le rocce scure (serpentiniti e anfiboliti) mentre le rocce più chiare contraddistinguono le unità continentali (gneiss chiari e micascisti a granato) (Fig. 4).

Anche la storia geologica più recente è ricca di aspetti interessanti legati prevalentemente all'azione dei ghiacciai e dei cicli di gelo-disgelo, processi che hanno modellato e modellano tuttora il paesaggio attuale. Attraverso l'osservazione e l'analisi delle forme e dei depositi superficiali (Fig. 4, 5) è possibile ricostruire l'evoluzione di questa area la cui peculiarità la rendono unica nel panorama alpino piemontese. Per le sue caratteristiche geologico-geomorfologiche e climatiche, l'area del Passo dei Salati è stata scelta quale sito di studio del permafrost (Fig. 3).

**Figura 4.** Panorama ripreso dalle pendici dello Stolemberg verso sud. Nell'area compresa tra il Passo dei Salati e l'Ist. Mosso affiorano prevalentemente gneiss chiari e micascisti a granato (nel riquadro in basso a destra) appartenenti alla Falda del M. Rosa, mentre il Corno del Camoscio è costituito da rocce di origine oceanica di colore più scuro (nella foto è tratteggiato il contatto tettonico tra le due unità). L'area circostante l'Ist. Mosso è caratterizzata da rocce levigate ("montonate"), testimoni del passaggio di antichi ghiacciai, e dalla presenza di forme e depositi legati all'azione dei cicli di gelo-disgelo e dalla lunga permanenza al suolo della neve.

**Figura 5.** Suoli selezionati e striati. L'alternanza dei cicli di gelo-disgelo combinata con i movimenti lungo il pendio origina queste forme allungate tipiche dell'ambiente periglaciale, forme evidenziate dalla differente dimensione dei ciottoli e dalla loro verticalizzazione e iso-orientazione. I versanti in prossimità del Passo dei Salati presentano estesi fenomeni di questo tipo.



**Figura 9.** Grafico delle misure di temperatura effettuate il giorno 14 ottobre 2009 nel pozzo del Corno del Camoscio. Le misure, non ancora significative in quanto effettuate dopo poche decine di giorni dalla perforazione, evidenziano la tipica "curva termica del permafrost": in rosso la media delle temperature massime, che in superficie si trova nel campo delle temperature positive (> 0°C); in blu la media delle temperature negative, che in superficie si trova nel campo delle temperature negative (< 0°C); in verde la media delle temperature misurate nella giornata. Le tre curve si sovrappongono ad una profondità di circa un metro e passano nel campo delle temperature negative ad una profondità di circa 7-8 m da cui, probabilmente, inizia il permafrost.