

PermaNET

Rete di monitoraggio a lungo termine del permafrost

RELAZIONE DI SINTESI



Colophon

Autori

Mair Volkmar	Provincia Autonoma di Bolzano (Italia)
Zischg Andreas	Abenis Alpinexpert srl, Bolzano (Italia)
Lang Kathrin	Provincia Autonoma di Bolzano (Italia)
Tonidandel David	Provincia Autonoma di Bolzano (Italia)
Krainer Karl	Università di Innsbruck (Austria)
Kellerer-Pirklbauer Andreas	Università di Graz (Austria)
Deline Philip	Centro Nazionale per la Ricerca Scientifica EDYTEM, Grenoble (Francia)
Schoeneich Philippe	Università Joseph Fourier, Grenoble (Francia)
Cremonese Edoardo	ARPA Valle d'Aosta, Aosta (Italia)
Pogliotti Paolo	ARPA Valle d'Aosta, Aosta (Italia)
Gruber Stephan	Università di Zurigo, Zurigo (Svizzera)
Böckli Lorenz	Università di Zurigo, Zurigo (Svizzera)

Redazione della versione italiana

Carton Alberto	Università di Padova
Dall'Amico Matteo	Mountain-eering S.r.l.
Galuppo Anna	Regione Veneto
Seppi Roberto	Università di Pavia
Zampedri Giorgio	Provincia Autonoma di Trento
Zumiani Matteo	Geologo libero professionista

Traduzione a cura di

Regione Veneto, Provincia Autonoma di Trento

Finanziato da

Il progetto PermaNET fa parte della Cooperazione territoriale europea ed è co-finanziato dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR) nell'ambito del Programma Spazio Alpino: www.alpine-space.eu

Layout

Jörg Buchmann (standfotografie.com), INTERPRAEVENT

Stampato da

Centro duplicazioni della Provincia Autonoma di Trento

Citazione

Mair V., Zischg A., Lang K., Tonidandel D., Krainer K., Kellerer-Pirklbauer A., Deline P., Schoeneich P., Cremonese E., Pogliotti P., Gruber S., Böckli L. (2012): PermaNET – Rete di monitoraggio a lungo termine del permafrost. Relazione di sintesi. INTERPRAEVENT Serie della rivista 1, Rapporto 3. Klagenfurt.

Da ordinare presso

International Research Society INTERPRAEVENT
Flatschacher Straße 70
A-9020 Klagenfurt (Austria)
ISBN 978-3-901164-17-0

Download

www.interpraevent.at → service → publications

<http://www.permanet-alpinespace.eu>

PermaNET

Rete di monitoraggio a lungo termine del permafrost

RELAZIONE DI SINTESI

Prefazione del lead partner

Nelle discussioni relative ai possibili effetti del cambiamento climatico sulle Alpi, la degradazione del permafrost è spesso menzionata come una conseguenza negativa, accanto alla fusione dei ghiacciai e all'aumento dell'intensità delle precipitazioni.

Rispetto alla fusione dei ghiacciai, la degradazione del permafrost non è direttamente visibile nel paesaggio e pertanto, l'analisi della sua distribuzione e la valutazione delle conseguenze del cambiamento climatico sul permafrost sono soggette a grandi incertezze. I media, in particolare, tendono a esagerare o a trascurare le conseguenze della degradazione del permafrost e dei relativi pericoli naturali. Lo scopo principale del progetto PermaNET è stato quello di raccogliere dati e fatti sulla distribuzione del permafrost e sulla sua evoluzione termica in relazione al cambiamento climatico, creando una base di conoscenze valida alla scala di tutto l'arco alpino. Ciò ha comportato la necessità di un'interazione tra scienziati, stakeholder e organi decisionali nel campo della pianificazione territoriale. Il Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Bolzano ha avviato il progetto PermaNET, creato la partnership interdisciplinare di 13 partner e 23 osservatori nelle Alpi e gestito il progetto. I risultati di questa intensa cooperazione sono ora raccolti e sintetizzati in questa relazione. Per la prima volta, si è potuto mettere a punto un set di dati armonizzato e standardizzato sulla distribuzione del permafrost nelle Alpi.

Nel progetto PermaNET è stata creata una rete di monitoraggio estesa a tutto l'arco alpino mediante la quale potrà essere studiata l'evoluzione del permafrost. La condivisione di tutti i dati e le esperienze d'indagine hanno permesso di compiere notevoli passi avanti nella ricerca sul permafrost e nella gestione dei pericoli naturali. Il quadro conoscitivo elaborato offre infatti informazioni preziose per i soggetti pubblici e privati che operano in aree montane. Questa brochure ha lo scopo di sintetizzare i risultati più rilevanti e di presentare le carte tematiche, le banche dati, i manuali e linee guida elaborati dal team di PermaNET.

Volkmar Mair
Andreas Zischg

Lead partner PermaNET

Prefazione INTERPRAEVENT

La distribuzione del permafrost alpino e le sue variazioni sono aspetti da considerare nella gestione dei rischi e dei pericoli naturali nelle Alpi. La valutazione dei pericoli naturali e l'elaborazione di mappe di pericolosità nelle aree in cui è presente il permafrost è un compito piuttosto complesso. La sua degradazione sta influenzando la formazione e l'evoluzione di fenomeni che possono generare pericoli naturali, quali crolli rocciosi, frane in materiale sciolto e debris flow. Ciò può avere conseguenze dirette sulle infrastrutture nelle aree con permafrost e conseguenze indirette per altri pericoli naturali, come le inondazioni. Poiché l'aumento della temperatura dell'aria ha un impatto diretto sulle caratteristiche termiche dei materiali in condizioni di permafrost, influenzando il comportamento geotecnico dei terreni e geomeccanico delle rocce, il cambiamento climatico è un fenomeno da tenere in seria considerazione nella valutazione della stabilità dei versanti. Dopo tutto, il permafrost montano è un fattore che caratterizza il sistema complesso dei bacini imbriferi alpini. Pertanto, nelle aree montane, lo studio del permafrost e dei pericoli naturali ad esso connessi sono aspetti da tenere in considerazione nella gestione integrata dei bacini idrografici.

INTERPRAEVENT gestisce lo scambio di conoscenze ed esperienze tra la scienza e i professionisti nel campo dei pericoli naturali e della gestione dei rischi. Pertanto, questa brochure è una preziosa continuazione di precedenti lavori che hanno come scopo la documentazione dei dissesti montani come per esempio DOMODIS, (Documentation of Mountain Disaster, disponibile in inglese, francese e tedesco) e la brochure "Drift wood" sulla gestione dei rischi indotti dal legname trasportato da fiumi e torrenti durante le alluvioni (disponibile solo in tedesco).

Il team di PermaNET ha tentato di sintetizzare lo stato dell'arte del rilevamento, del monitoraggio e dello studio del permafrost nella valutazione dei pericoli naturali da un punto di vista degli esperti. Pertanto, questa brochure offre un contributo agli obiettivi principali di INTERPRAEVENT, nel fornire una base decisionale per gli stakeholder nella gestione dei pericoli naturali e dei rischi, presentando scoperte scientifiche e conclusioni agli esperti e creando supporti decisionali per tutte le problematiche di carattere tecnico, progettuale, amministrativo ed economico che afferiscono alla gestione del territorio.

Kurt Rohner, Presidente
Gernot Koboltschnig, Business Manager

Indice dei contenuti

Introduzione	4
Il progetto	5
La partnership	6
La rete di monitoraggio del permafrost	8
La distribuzione del permafrost nelle Alpi	10
Permafrost e pericoli naturali	16
Permafrost e cambiamento climatico	18
Permafrost e gestione delle risorse idriche	20
Raccomandazioni per i decisori	22

Introduzione

Il permafrost è definito come un materiale della litosfera (suolo o roccia) che rimane a una temperatura pari o inferiore a 0°C per più di due anni consecutivi. Il permafrost può, ma non necessariamente, contenere acqua o ghiaccio. Lo strato superficiale di un terreno interessato da permafrost è denominato "strato attivo" perché in esso la temperatura durante la stagione calda può superare gli 0°C e il materiale che lo costituisce può essere scongelato; nelle Alpi, lo strato attivo può avere spessori variabili tra 0,5 e 8 m.

Rispetto al permafrost di pianura (ad esempio quello delle regioni artiche), il permafrost alpino è fortemente influenzato dall'orografia e, pertanto, la sua eterogenea distribuzione è dovuta alla variabilità della topografia, della morfologia e delle condizioni climatiche tipiche della regione Alpina.

Il permafrost montano è molto sensibile ai cambiamenti climatici. Nel corso delle ultime estati è stato osservato, ad esempio, un aumento dell'intensità e della frequenza di frane e di debris flow nelle Alpi. Alcuni esempi sono il collasso di una morena a Mulinet (nelle Alpi Graie, lungo la linea di confine tra l'Italia e la Francia), le frane in roccia sul Matterhorn (Cervino) e sulla Thurwieser (in alta Valtellina) e un evento di debris flow a Guttannen (in Svizzera). I pericoli connessi alla degradazione del permafrost influenzano le vie di comunicazione, le aree turistiche, le infrastrutture e gli insediamenti. La sfida principale è capire come le autorità preposte debbano considerare questi fattori legati al cambiamento climatico nella prevenzione dei rischi e nello sviluppo regionale. In numerose località montane il tema della degradazione del permafrost in relazione ai cambiamenti climatici deve essere correttamente valutato e inserito nelle buone pratiche di gestione del rischio. Un ulteriore aspetto dell'importanza delle aree con presenza di permafrost è il contributo offerto dal ghiaccio di permafrost al sistema idrologico dei bacini idrografici alpini. Con lo sviluppo congiunto di una strategia comune per affrontare i pericoli connessi alla presenza di permafrost e con la creazione di una rete di monitoraggio a scala alpina, il progetto PermaNET mira a prevenire i pericoli naturali, contribuire allo sviluppo territoriale sostenibile e all'implementazione delle buone pratiche di governance.



Rock glacier. Foto: A. Zischg



Movimento di versante. Foto: A. Zischg



Solco generato da un crollo di roccia. Foto: V. Mair



Erosione di un rock glacier relitto. Foto: A. Zischg



Cedimento del terreno e conseguente addattamento delle fondazioni. Foto: A. Zischg

Il progetto

L'obiettivo principale del progetto è stato quello di dare un contributo alla mitigazione dei pericoli naturali connessi alla degradazione del permafrost e di proporre gli strumenti per gestirne le conseguenze, con particolare riferimento agli impatti dovuti ai cambiamenti climatici. A tale scopo, è stata sviluppata una strategia comune ed è stata istituita una rete di monitoraggio estesa all'intero arco alpino. Il progetto PermaNET, inoltre, ha avuto lo scopo di:

- contribuire allo sviluppo territoriale sostenibile e all'implementazione di buone pratiche di governance;
- supportare lo sviluppo di strategie di adeguamento regionali e locali;
- offrire agli amministratori e alle autorità locali una base decisionale e delle strategie per tenere in considerazione questi fattori nella loro attività.

Le conoscenze sulla distribuzione spaziale del permafrost sono aumentate e sono stati elaborati una mappa della distribuzione del permafrost e un database delle sue evidenze per l'intero Arco alpino. Sperimentando nuove e promettenti tecnologie e individuando soluzioni comuni per l'adeguamento delle pratiche di gestione del rischio, il progetto ha avuto lo scopo di promuovere lo Spazio Alpino quale regione-modello nel settore della ricerca e del monitoraggio del permafrost montano.

Le attività del progetto sono state così suddivise: due "pacchetti" di lavoro amministrativo (WP1-2); un "pacchetto" di lavoro per l'informazione e la divulgazione (WP3); quattro "pacchetti" di lavoro tecnicoscintifico (WP4-5-6-7). Le attività dei gruppi tecnici sono state supportate da WP1 "Preparazione del progetto", WP2 "Gestione del progetto" e WP3 "Informazione e pubblicità". Quest'ultimo ha anche curato la distribuzione dei prodotti realizzati e delle linee guida.

Il WP4 "Rete di monitoraggio del permafrost" aveva lo scopo di raccogliere metadati sulle attività di monitoraggio del permafrost nelle Alpi, di estendere le reti di osservazione già esistenti e di definire le linee guida per le installazioni future. Nell'ambito del WP4 sono state allestite anche nuove stazioni di monitoraggio in località significative che forniscono ulteriori dati sull'attuale stato termico del permafrost e sulla sua evoluzione nel tempo.

Il WP5 "Permafrost e cambiamenti climatici" aveva lo scopo di fornire dati sulla distribuzione del permafrost nelle Alpi. Nell'ambito del WP5 è stato realizzato un inventario delle evidenze della presenza di permafrost esteso a tutto l'arco alpino. La carta della sua distribuzione fornirà una base per la valutazione degli effetti dei cambiamenti climatici sul permafrost e sui processi ad esso correlati, nonché il supporto per la messa a punto di eventuali misure di adeguamento per le attività economiche delle aree montane. È stata inoltre redatta una pubblicazione sulla risposta termica e sulla dinamica geomorfologica del permafrost in relazione ai cambiamenti cli-



Conferenza di inaugurazione di PermaNET, foto: Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Bolzano

matici, in atto e previsti, sulle Alpi. Il tutto è documentato da una serie di casi di studio riferiti allo Spazio Alpino. Infine, è stato realizzato un manuale sui metodi e sulle tecniche di mappatura e rilevamento del permafrost.

Il WP6 "Pericoli naturali connessi" ha fornito la base per l'elaborazione di una strategia comune da utilizzare per operare in zone interessate dal permafrost e per affrontare i pericoli connessi al suo degrado in uno scenario di cambiamento delle condizioni climatiche.

In questo WP sono state sviluppate raccomandazioni per gli organi decisionali, basate su alcuni casi di studio particolarmente significativi ai fini della definizione dei pericoli connessi alla presenza del permafrost nelle Alpi.

Con il WP7 "Risorse idriche" è stata creata una base conoscitiva che evidenzia la rilevanza del ghiaccio del permafrost nella gestione delle risorse idriche.

Infine, si sono sviluppate raccomandazioni, utilizzabili dagli enti regionali che operano sull'ambiente, per l'analisi della qualità delle acque sorgive con particolare attenzione all'inquinamento da metalli pesanti.

La partnership

Gran parte delle autorità preposte alla gestione dei rischi naturali è impegnata ad affrontare le problematiche legate alla presenza del permafrost e dei rischi naturali correlati alla sua degradazione. Tuttavia, le conoscenze e la disponibilità dei dati variano molto nelle diverse regioni delle Alpi. Il permafrost è un argomento di notevole interesse nelle attività di ricerca finalizzate allo studio degli effetti dei cambiamenti climatici sull'ambiente. Per questo motivo, il Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Bolzano ha avviato il progetto PermaNET, istituendo una partnership di progetto interdisciplinare.

Nel progetto sono stati coinvolti tutti gli stati partner del programma Spazio Alpino che si occupano di problematiche legate al permafrost. Sono state coinvolte autorità nazionali o regionali attive nei seguenti campi: gestione dei pericoli naturali; protezione ambientale; gestione forestale; ingegneria idraulica; meteorologia; protezione civile e gestione delle risorse idriche. Il coinvolgimento di istituzioni scientifiche, quali università e centri di ricerca, ha supportato il trasferimento di conoscenze dai ricercatori agli organi decisionali. Per problematiche specifiche, sono stati invitati a partecipare osservatori esterni, stakeholder delle Organizzazioni non Governative, dell'industria turistica e di società di produzione di energia elettrica. Per la mes-

sa a punto di strategie comuni sono stati inoltre consultati stakeholder nazionali e transnazionali. Gli osservatori di progetto hanno attivamente seguito le attività contribuendo alla loro realizzazione in misura considerevole.

Poiché la maggior parte delle regioni alpine sono e saranno interessate sempre più dai cambiamenti climatici e dalle conseguenze della degradazione della criosfera, la collaborazione tra gli scienziati e gli enti territoriali in tutto l'arco alpino è stata essenziale per la fattiva realizzazione del progetto. Inoltre, il coinvolgimento di politici, di autorità responsabili della gestione del rischio e di istituti scientifici ha permesso di trovare soluzioni integrate.

La collaborazione tra diversi stakeholder, enti e istituzioni strettamente legati ad altri settori chiave (per esempio, industria del turismo, enti di fornitura di acqua potabile, comprensori sciistici, esperti esterni) ha fornito un ampio campo di esperienze consentendo un approccio olistico e interdisciplinare. La cooperazione transnazionale, grazie allo scambio di conoscenze, dati ed esperienze, ha ridotto i costi nel reperire soluzioni per l'adeguamento delle azioni di governance per mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici sul permafrost.



Escursione del team PermaNET. Foto: Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Bolzano

La partnership

La partnership di progetto è costituita dalle seguenti istituzioni:

Partner di progetto

Provincia Autonoma di Bolzano, Ufficio Geologia e Prove Materiali / Autonome Provinz Bozen - Südtirol, Amt für Geologie und Baustoffprüfung

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Abteilung 10: Geologischer Dienst, Wirtschaftsgeologie, Bodenschutz

ARPA Piemonte - Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale, Dipartimento Geologia e Dissesto

Regione Autonoma Valle d'Aosta, Assessorato territorio e ambiente, Dipartimento territorio e ambiente, Direzione ambiente

Regione del Veneto, Direzione Geologia e Attività Estrattive, Servizio Geologia

Provincia Autonoma di Trento, Dipartimento Protezione Civile e Infrastrutture, Servizio Geologico

Österreichisches Bundesministerium für Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Universität Innsbruck, Institut für Geographie

Universität Graz, Institut für Geographie und Regionalforschung

Zentralanstalt f. Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Regionalstelle für Salzburg und Oberösterreich

Université Joseph Fourier - Grenoble I, Institut de Géographie Alpine, Laboratoire PACTE-Territoires

Centre National de la Recherche Scientifique – Laboratoire EDYTEM

Grenoble INP, GIPSA-lab

Schweizerisches Bundesamt für Umwelt BAFU

Gestione transnazionale del progetto

Abenis Alpinexpert GmbH/srl

Osservatori attivi

Università Zürich

WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF

Osservatori

International Research Society INTERPRAEVENT

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare



Incontro dei partner. Foto. Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Bolzano

Slovenian Torrent Erosion Control Service

Regione Piemonte, Direzione Ambiente, Settore Pianificazione Aree Protette

Seilbahnen Sulden

Dolomiti Superski

Skigebiet Ratschings-Jaufen

Confindustria Trento, Associazione Nazionale Esercenti Funiviarie (A.N.E.F.), Sezione impianti a fune

Società degli Alpinisti Tridentini

Bayerische Zugspitzbahn Bergbahn AG

Alpenverein Südtirol

Parco Naturale Adamello Brenta

Direction Régionale de l'Environnement Rhône Alpes

Pôle Grenoblois Risques Naturels

Office National des Forêts – Délégation Nationale Risques Naturels – RTM, Direction Technique Restauration des Terrains en Montagne

Parc National des Ecrins

Compagnie des Guides de Chamonix

Amt der Tiroler Landesregierung, Abt. Geoinformation

Land Salzburg, Landesgeologischer Dienst

Land Steiermark, Landes-Umwelt-Information Steiermark (LUIS)

Land Kärnten, Hydrographischer Dienst

Land Vorarlberg, Landesvermessungsamt

La rete di monitoraggio del permafrost

Nell'ambito del progetto PermaNET, è stato effettuato un censimento dettagliato dei siti di monitoraggio del permafrost già esistenti. I dati raccolti sono stati utilizzati per fornire una panoramica delle attività di monitoraggio in corso, evidenziare quali aree ne sono prive, e formulare linee guida per l'installazione di ulteriori stazioni.

In alcune località prive di rilevazioni sono state installate ed equipaggiate nuove stazioni di monitoraggio. La rete di monitoraggio delle Alpi è stata così ampliata con oltre 40 stazioni che misurano vari parametri e caratteristiche fisiche del permafrost sia in roccia sia nelle coperture detritiche.

L'installazione delle nuove stazioni di monitoraggio è stata in parte finanziata dal progetto PermaNET, mentre la manutenzione a lungo termine è garantita dall'istituto o dall'autorità che ha provveduto all'installazione.

Seguendo l'esempio della rete di coordinamento svizzera per il monitoraggio del permafrost, denominata PERMOS, sono state fondate nuove reti nazionali di coordinamento. In Francia è stata costituita la rete PermaFRANCE, mentre in Italia e Austria sono in fase di organizzazione le reti di monitoraggio nazionali. Le reti di monitoraggio nazionali stanno coordinando le attività di monitoraggio su scala nazionale. Tutti i siti di raccolta dati che compongono la rete di monitoraggio del permafrost sono inclusi nell'inventario delle evidenze

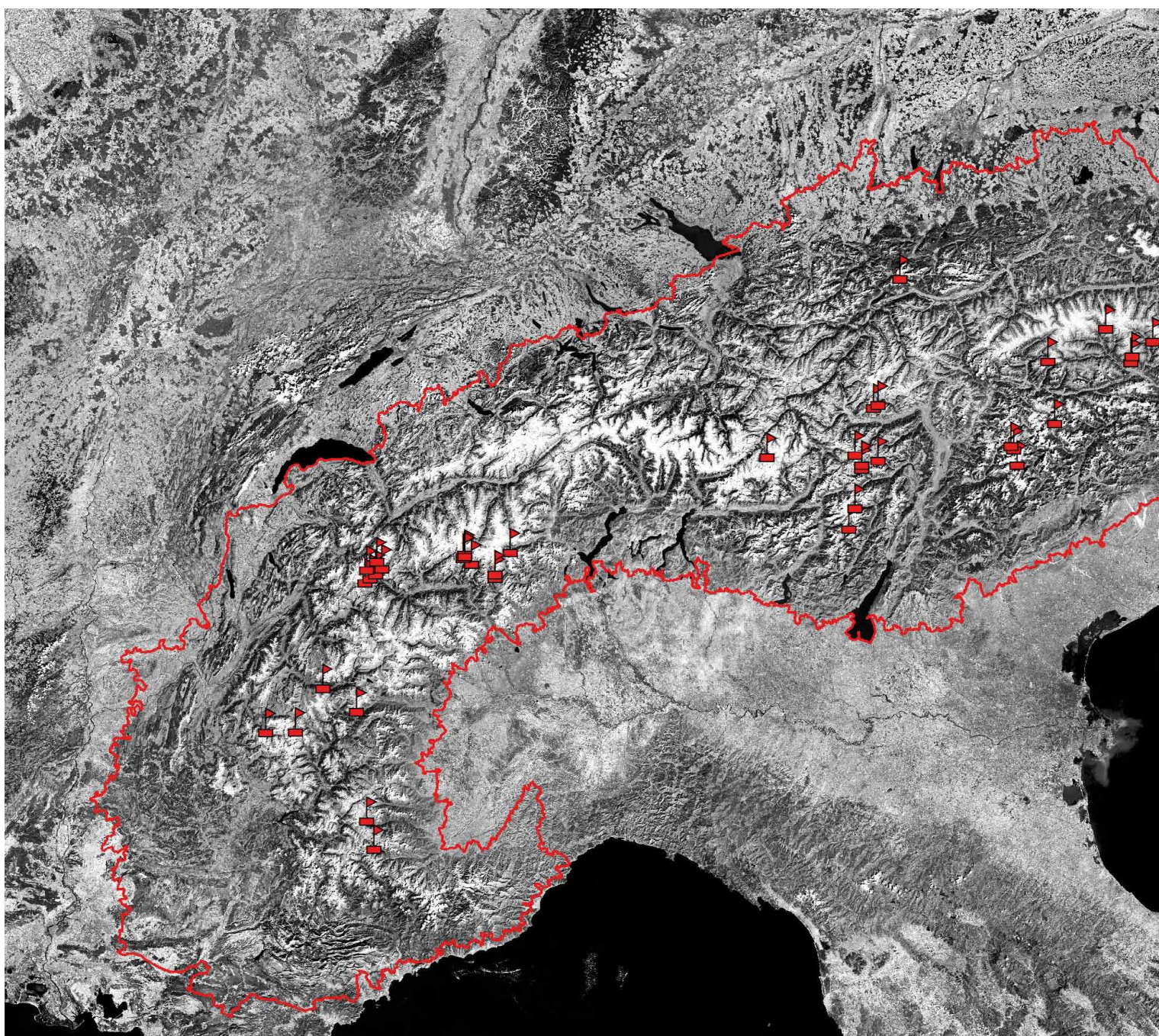


Fig. 1: Distribuzione delle stazioni di monitoraggio del permafrost sulle Alpi, che fanno parte della rete di monitoraggio PermaNET. I metadati delle stazioni di monitoraggio del permafrost saranno continuamente aggiornate assieme all'inventario delle evidenze di presenza del permafrost.

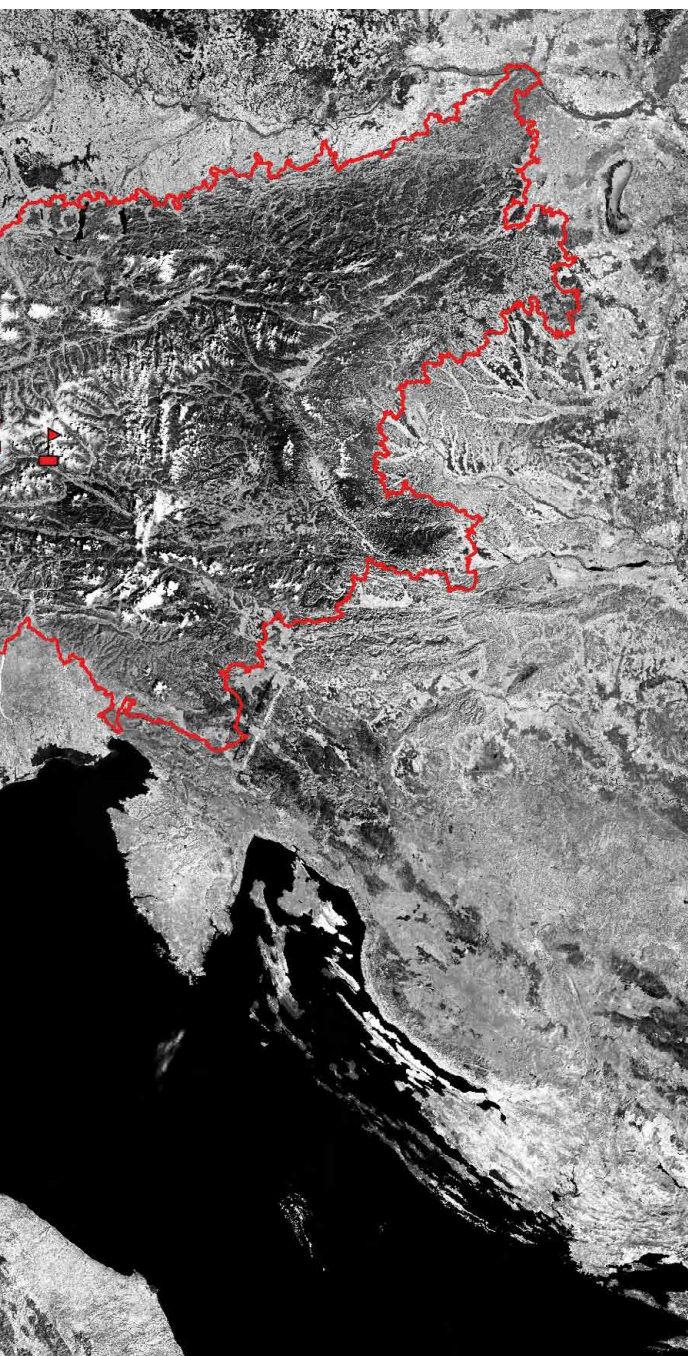
La rete di monitoraggio del permafrost

del permafrost (si veda la sezione seguente) che periodicamente aggiorna i parametri raccolti. Le attività di monitoraggio sono finanziate a lungo termine da enti locali, nazionali o internazionali.

Sono state sviluppate linee guida per l'installazione e la manutenzione delle stazioni di monitoraggio, in modo che la rete di misure possa essere estesa garantendo la comparabilità dei dati raccolti.

L'elenco delle stazioni di monitoraggio del permafrost installate e le linee guida per l'installazione di nuove stazioni di monitoraggio possono essere visualizzate sul sito:

www.permanet-alpinespace.eu/products/monitoringnetwork



Stazioni di monitoraggio del permafrost costituite o ampliate nell'ambito del progetto PermaNET:

- A-1 Hinteres Langtal
- A-2 Weissen Cirque
- A-3 Dösen Valley
- A-4 Hoher Sonnblick
- A-5 Goldbergspitze
- A-6 Hochreichart
- F-1 Orelle
- F-2 Laurichard
- F-3 Deux Alpes
- F-4 Aiguille de Midi
- F-5 Les Drus
- F-6 Bérard
- F-7 Casse des Clausins
- F-8 Foréant
- F-9 Dérochoir
- D-1 Zugspitze
- I-1 Senales - Grawand
- I-2 Senales - Lazaun
- I-3 Ultimo - Rossbänk
- I-4 Riva di Tures - Napfen
- I-5 Braies - Croda Rossa "Cadin del Ghiacciaio"
- I-6 Braies - Croda Rossa "Cadin di Croda Rossa"
- I-7 Passo Gardena - Lech del Dragon
- I-8 Solda - Madritsch
- I-9 Cavaion (GST)
- I-10 Cavaion (borehole)
- I-11 Lobbie
- I-12 Presena
- I-13 Cima Uomo
- I-14 Matterhorn Carrel sud
- I-15 Matterhorn Carrel nord
- I-16 Matterhorn Cheminee new
- I-17 Matterhorn Cheminee old
- I-18 Matterhorn Oriondè - frac
- I-19 Matterhorn Oriondè – not frac
- I-20 Col d'Entreves South
- I-21 Col d'Entreves North
- I-22 Grandes Jorasses South-right
- I-23 Grandes Jorasses South-left
- I-24 Col Peuterey North
- I-25 Aiguille Marbree
- I-26 Cime Bianche Pass – shallow
- I-27 Cime Bianche Pass - deep
- I-28 Piz Boè
- I-29 Mt. Moro Pass
- I-30 Salati Pass Mosso Inst.
- I-31 Salati Pass Corno dei Camosci
- I-32 Sommeiller Pass
- I-33 La Coletta Pass
- I-34 Gardetta Pass

La Svizzera è stato il primo Paese alpino ad aver coordinato le attività di monitoraggio del permafrost su scala nazionale. Tutte le stazioni di monitoraggio del permafrost in Svizzera sono coordinate da PERMOS (www.permos.ch).

PERMOS e PermaFRANCE elaborano e sintetizzano periodicamente i dati di misurazione.

Distribuzione del permafrost nelle Alpi

Uno degli obiettivi principali del progetto PermaNET è stato quello di realizzare una carta della distribuzione del permafrost nelle Alpi. È stato prima di tutto compilato un inventario dei siti nei quali sono presenti evidenze di permafrost; tale censimento è servito come base per sviluppare il modello statistico e per elaborare la carta di distribuzione del permafrost.

Inventario delle evidenze di permafrost

Sono state standardizzate e raccolte in un inventario le evidenze puntuali della presenza di permafrost censite nei vari paesi dalle istituzioni che hanno preso parte al progetto.

L'inventario consente ai ricercatori di inserire facilmente i dati nel database e contiene informazioni sulla temperatura di fori perforati in roccia o nel detrito, sulla temperatura della superficie del suolo, sulle nicchie di distacco di crolli in roccia, scavi o siti di costruzione di edifici e manufatti, su movimenti della superficie del terreno, su prospezioni geofisiche e sui rock glacier. L'inventario dei rock glacier è gestito separatamente da quello delle evidenze di tipo puntuale ed è costituito dall'unione di diversi catastri regionali nei quali le forme sono state rappresentate mediante poligoni. Lo sviluppo dell'inventario è stato supportato dall'Università di Zurigo e dal WSL "Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research SLF", entrambi osservatori del progetto PermaNET.

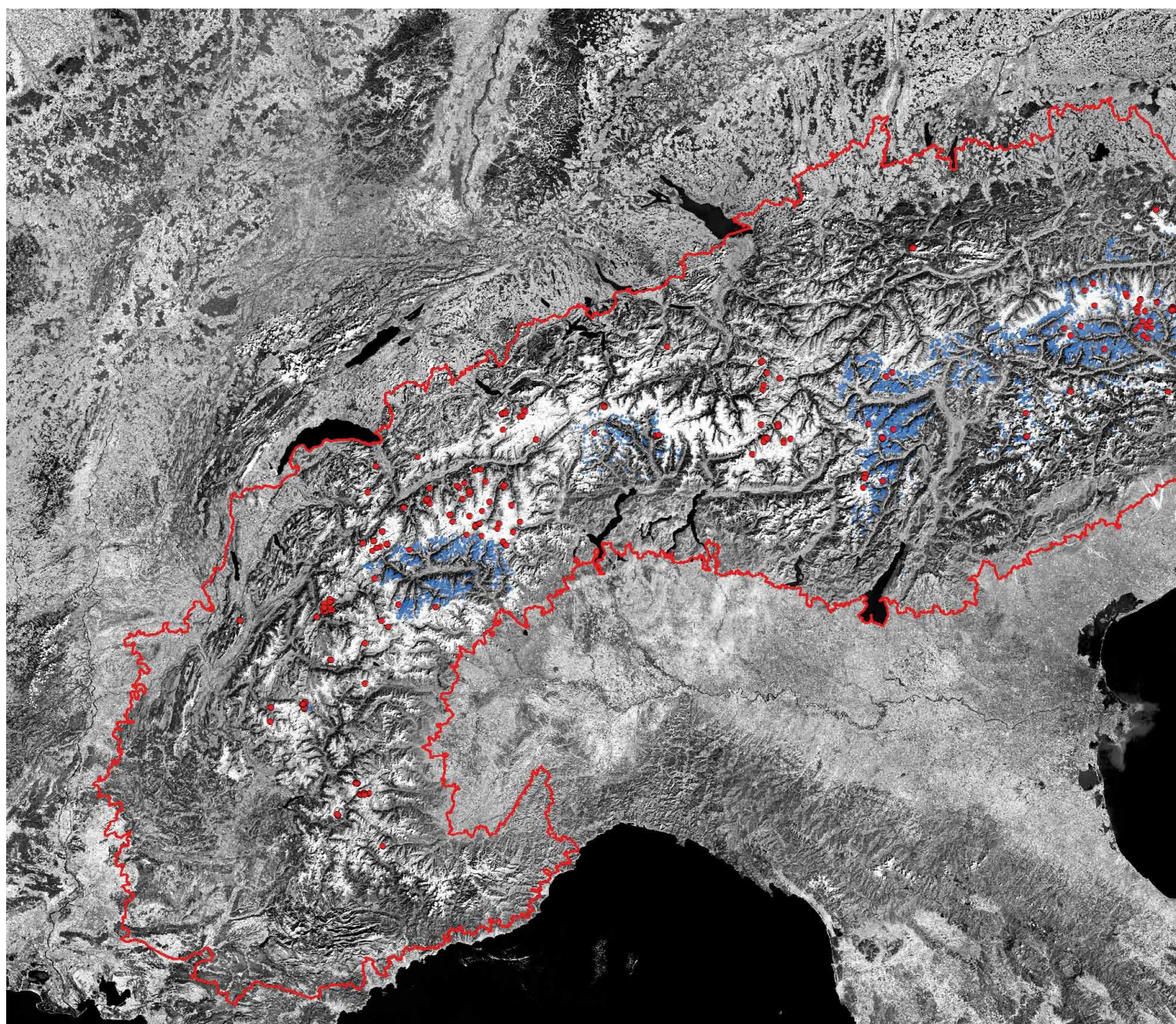


Fig. 2: Carta dell'inventario delle evidenze del permafrost. Attualmente nell'inventario sono contenute oltre 400 evidenze di tipo puntuale (punti rossi) e circa 5000 rock glacier (punti blu).

Distribuzione del permafrost nelle Alpi

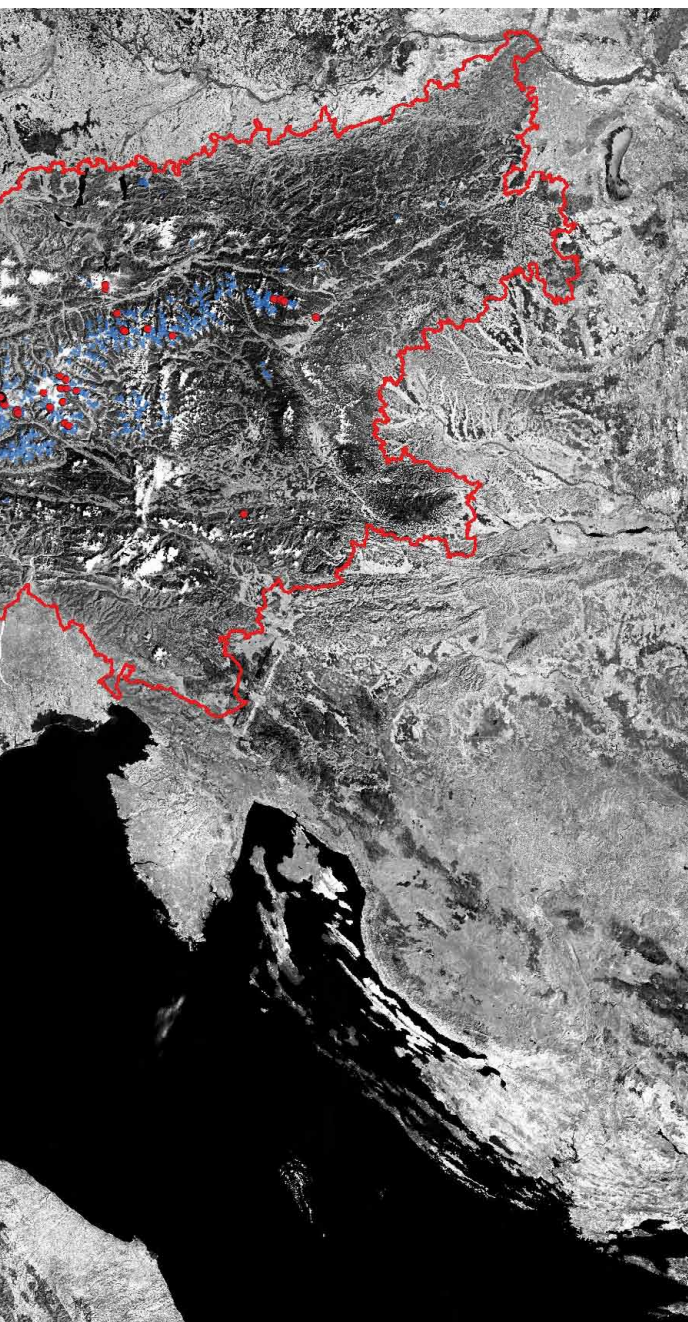
Oltre al team di PermaNET, trentacinque tra singoli ricercatori e istituzioni hanno fornito i dati, adeguandoli allo standard proprio di questo inventario. A ciò si aggiungono indagini specifiche in collaborazione con servizi geologici regionali e locali, operatori di comprensori sciistici, studi di ingegneria e associazioni di guide alpine.

Il numero totale di evidenze di permafrost di tipo puntuale è pari a 408 (aprile 2010), e si estende da 44.29° a 47.47° di latitudine N e da 5.91° a 14.88° di longitudine E, coprendo tutti i Paesi dell'arco alpino eccetto il Principato di Monaco, il Liechtenstein e la Slovenia. Il set di dati sui rock glacier include un totale di sette inventari forniti dall'Italia, dall'Austria, dalla Svizzera e dalla Francia, con un numero complessivo di 4795 forme.

I sette catasti regionali sono riferiti alla Valle d'Aosta, al Piemonte, al Veneto, al Trentino-Alto Adige per l'Italia mentre per gli altri Paesi sono riferiti alle regioni del Massif du Combeynot in Francia, del Canton Ticino in Svizzera e all'Austria centro-orientale. Il catasto dei rock glacier realizzato dal progetto pertanto non copre tutte le Alpi.

L'inventario è pubblicato in Internet sotto forma di database e gli utenti potranno continuare ad aggiornarlo con nuovi dati anche dopo la chiusura del progetto.

L'inventario delle evidenze di permafrost può essere visualizzato e consultato al seguente indirizzo:
www.permanet-alpinespace.eu/products/PED



Esempi di evidenze di permafrost:



Uno scavo con suolo ghiacciato visibile. Foto: X. Bodin



Rock glacier. Foto: X. Bodin



Nicchia di distacco roccioso con ghiaccio esposto lungo la "Via italiana" (Cheminée) al Cervino. Foto: L. Trucco

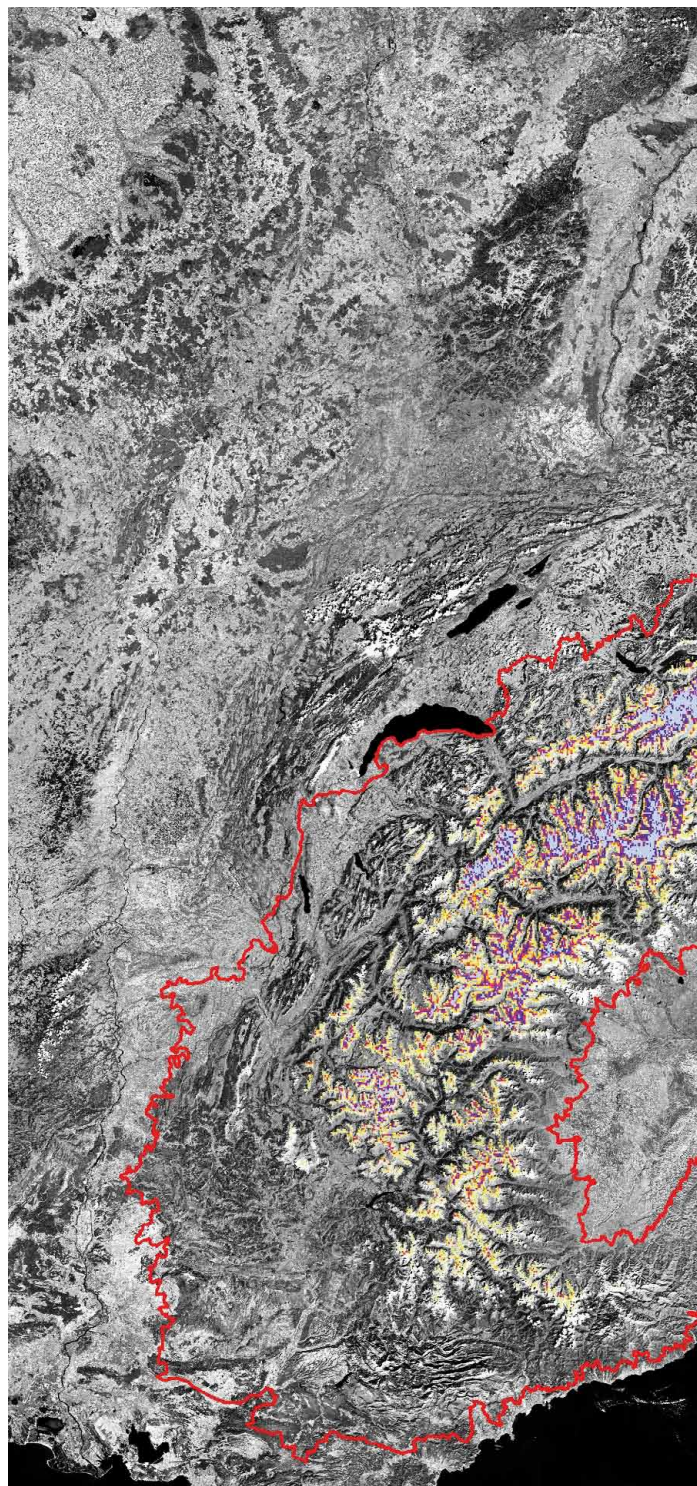


Perforazione in parete per l'installazione di sensori termometrici. Foto: P. Deline

Il modello di distribuzione del permafrost

Il modello statistico della distribuzione del permafrost comprende due sottomodelli, uno per le aree coperte da materiale detritico e uno per i versanti in roccia. I sottomodelli sono calibrati sulla base della presenza dei rock glacier e sulle misure di temperatura della roccia, entrambi contenuti nell'inventario delle evidenze di permafrost. Le variabili chiave sono la temperatura media annua dell'aria, la radiazione solare potenziale e le precipitazioni medie annue. Tali parametri sono stati calcolati per l'intero arco alpino e sono stati utilizzati per stimare la probabilità che i rock glacier siano intatti o che la temperatura della parete rocciosa sia inferiore a 0°C. Il modello quantitativo, tuttavia, necessita di informazioni aggiuntive che consentano

anche di conoscere le caratteristiche di altre aree oltre a quelle con rock glacier o ripidi pendii in roccia. A tal fine sono stati introdotti valori di offset derivati dalla letteratura, che descrivono in quale misura certi tipi di terreno abbiano temperature superiori o inferiori rispetto a quelle attese sulla base del modello. Poiché la definizione di tali valori di offset ha un certo grado di soggettività, il risultato del modello non può essere considerato una probabilità di presenza, ma un indice del permafrost.



Distribuzione del permafrost nelle Alpi

Mappa del permafrost

La mappa finale del permafrost mostra la distribuzione spaziale dell'indice del permafrost codificato cromaticamente e sovrapponibile a una cartografia di base. I ghiacciai, che per definizione non sono permafrost, sono indicati da un'apposita retinatura. La legenda della mappa è sempre accompagnata da una chiave di lettura che consente di precisare la stima con informazioni sulle condizioni locali del suolo. La mappa è stata elaborata dall'Università di Zurigo (osserva-

tore esterno del progetto) in collaborazione con il team di PermaNET, ed è liberamente utilizzabile con software GIS oppure on-line con applicazioni quali Google Earth. La risoluzione spaziale è di circa 30 m.

La mappa del permafrost è consultabile e accessibile all'indirizzo:

www.permanet-alpinespace.eu/products/pfmap

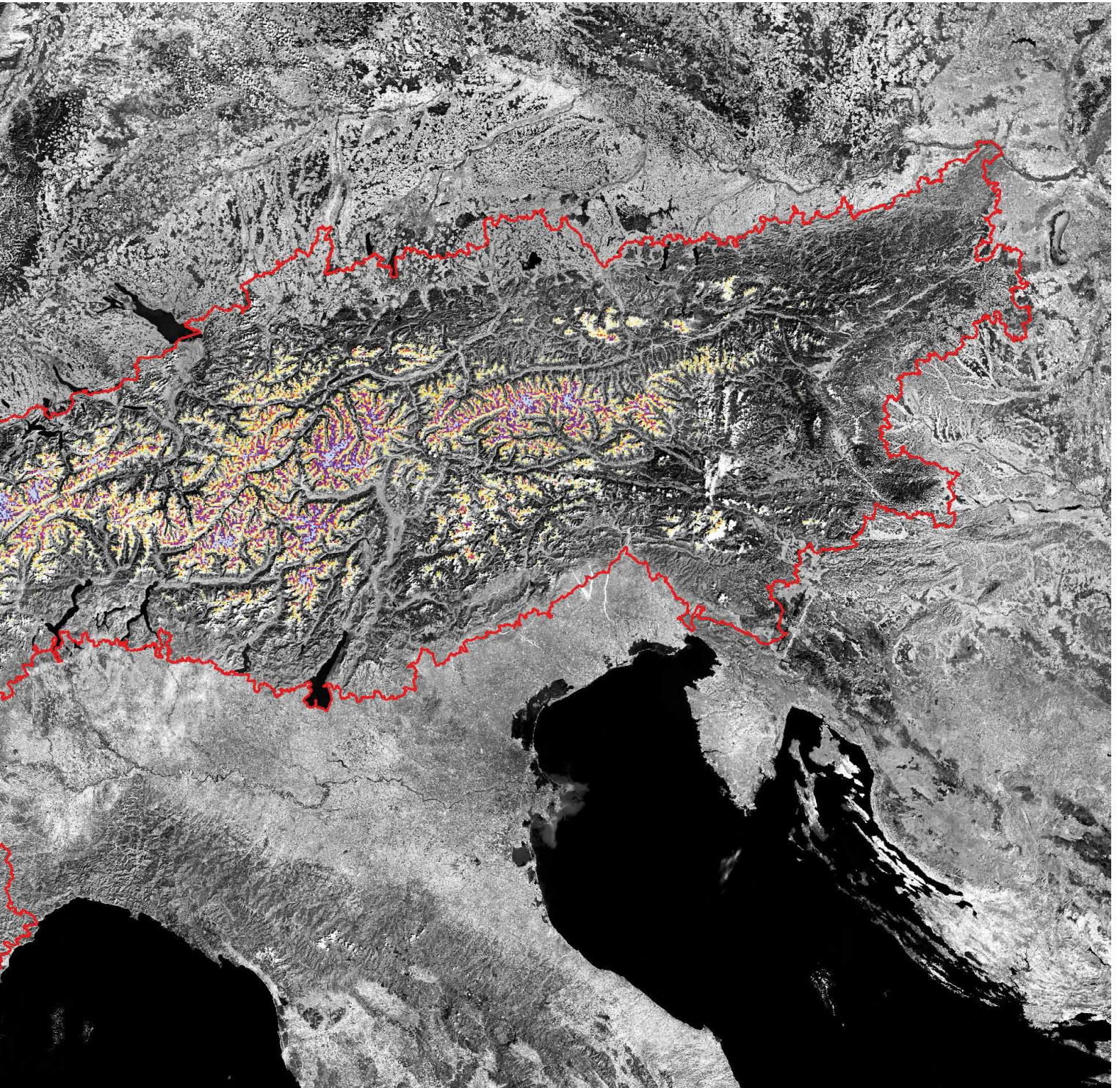


Fig. 3: Mappa della modellizzazione della distribuzione del permafrost sulle Alpi.

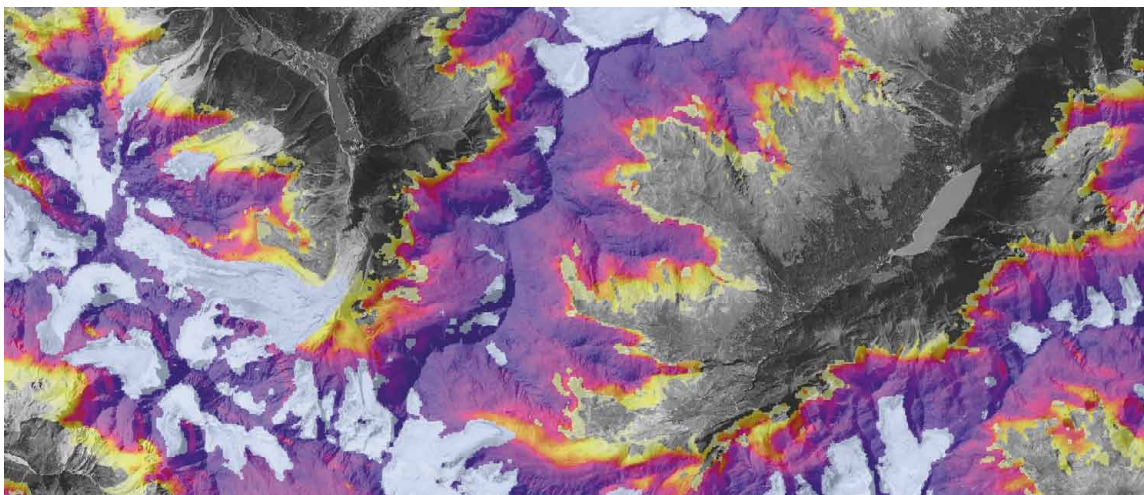






Fig. 4: Esempio locale della mappa del permafrost alpino. L'indice del permafrost codificato cromaticamente è sovrapposto ad una cartografia di base.

Legenda della mappa

La mappa mostra un indice qualitativo che descrive la probabilità della presenza di permafrost. È coerente per l'intero arco alpino e destinata all'utilizzo da parte di enti pubblici di pianificazione territoriale o nelle attività di progettazione ed alla manutenzione di infrastrutture.

	Blu: Permafrost in quasi tutte le condizioni
	Viola: Permafrost prevalentemente in condizioni di temperature basse
	Giallo: Permafrost solo in condizioni di temperature molto basse
	Ghiacciaio

Nella carta di distribuzione del permafrost alcuni fattori locali significativi, quali il materiale sub-superficiale o le condizioni del manto nevoso, sono stati presi in considerazione solo approssimativamente. Tuttavia, tali condizioni possono provocare forti differenze nella temperatura del suolo in situazioni topografiche altrimenti equivalenti. Per questo motivo la legenda della mappa è accompagnata da una chiave di lettura, mostrata sulla destra, utilizzabile a livello locale per affinare ulteriormente la stima indicata dalla mappa. Per esempio, non ci si aspetta del permafrost in materiale fine (B, cfr pg.15) o in roccia omogenea (H, cfr pg.15) laddove la mappa riporta una marcatura gialla. In circostanze particolari, può esservi permafrost al di fuori dell'area indicata dalla marcatura colorata. La mappa mostra le condizioni stimate; un grado maggiore di certezza può essere raggiunto localmente, ad esempio tramite indagini geofisiche o carotaggi.

Questa mappa è stata creata dall'Università di Zurigo (Svizzera) nell'ambito del progetto PermaNET.

Boeckli, L., Brenning, A., Gruber, S. & Noetzli J. (2011): A statistical permafrost distribution model for the European Alps, *The Cryosphere Discussions*, 5, 1419-1459, www.the-cryosphere-discuss.net/5/1419

Paul, F., Frey, H. and Le Bris, R. (subm.): A new glacier inventory for the European Alps from Landsat TM scenes of 2003: Challenges and results. *Annals of Glaciology*, 52(59).

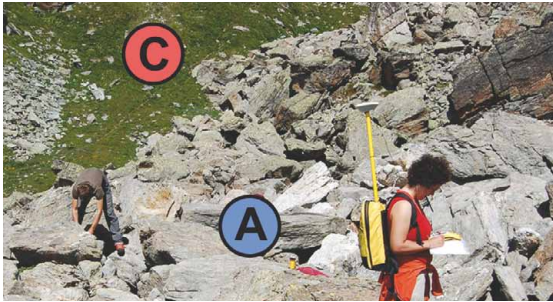


Foto: J. Fiddes



Foto: J. Fiddes



Foto: S. Gruber

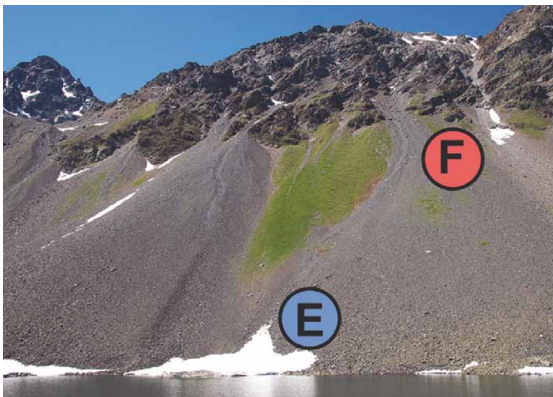


Foto: M. Phillips



Foto: S. Gruber

Chiave interpretativa

Dimensione dei clasti, proprietà del suolo e vegetazione.

Uno strato di copertura costituito da blocchi grossolani con vuoti aperti e nessun riempimento di materiale fine (A) indica condizioni di bassa temperatura. Roccia in posto, suolo a granulometria fine o a blocchi grossolani ma con riempimento di materiale fine (B) indicano condizioni di temperature relativamente più alte. Una fitta copertura di vegetazione (C) normalmente indica l'assenza di permafrost.

Rock glacier

I rock glacier attivi (intatti) (D) sono caratterizzati da indizi di movimento quali la scarpata frontale ripida e sono attendibili indicatori visivi della presenza di permafrost all'interno della massa detritica, ma non consentono di trarre conclusioni certe in merito alle aree adiacenti.

Versanti di detrito e presenza di nevai semi-perenni.

La temperatura del suolo può cambiare a seconda della posizione su un versante in detrito a causa della selezione dei clasti, della circolazione dell'aria all'interno del versante e della ridistribuzione della neve. Spesso, la base del versante (E) presenta temperature del suolo più basse. Essa è costituita da materiale più grossolano ed è interessata dalla presenza di nevai semi-perenni. Analogamente, la presenza di altri accumuli di neve perenne indicano condizioni di temperature più basse a livello locale. La sommità del versante (F) spesso presenta, a livello locale, temperature più alte. Frequentemente questa zona è costituita da clasti di dimensioni minori e riempimenti di materiale fine.

Versanti rocciosi

I versanti rocciosi hanno diversi gradi di eterogeneità, determinati dalla microtopografia e dalle fratture. Una maggiore eterogeneità (G) spesso consente la presenza di un sottile strato nevoso, la ventilazione e il deposito di neve in ampie fratture; situazione che indica condizioni locali con temperature relativamente più basse. Una superficie rocciosa fortemente inclinata, liscia e con ampi tratti privi di fratture (H) è indice di condizioni locali con temperature relativamente più alte. Tale effetto è più pronunciato nelle posizioni esposte al sole piuttosto che in quelle in ombra.

Il permafrost e i relativi pericoli naturali

Il WP6 si è occupato della relazione tra permafrost e pericoli naturali in relazione al cambiamento climatico. Il gruppo di lavoro ha valutato diversi metodi per il rilevamento e il monitoraggio dei movimenti dei versanti correlabili alla presenza di permafrost e ha formulato raccomandazioni per la gestione del rischio nelle aree interessate da degrado del permafrost.

Quali pericoli sono correlati al permafrost?

I più recenti aggiornamenti sui pericoli correlati alla presenza del permafrost ed alla sua degradazione sono contenuti in una relazione che, in quattro capitoli, affronta i temi dei rock glacier, dei debris flow, dei distacchi rocciosi e dei movimenti locali del suolo e dei loro effetti sulle infrastrutture. Ciascun capitolo sintetizza lo stato della conoscenza attuale per quanto riguarda tali processi e della loro relazione con i cambiamenti climatici, illustrandoli con numerosi e recenti casi di studio delle Alpi. Questi casi di studio mostrano la varietà degli effetti dei diversi fenomeni sulle infrastrutture nelle aree di alta montagna.

Che cosa può accadere se i cambiamenti climatici modificano i regimi del permafrost?

I rock glacier attivi sono accumuli di materiale detritico in movimento la cui velocità si misura in cm o dm all'anno. Le dinamiche osservate nei rock glacier mostrano variazioni di velocità indotte da fattori climatici. Nella maggior parte dei casi si verificano cambiamenti di velocità moderati correlati ai cambiamenti della temperatura media annua della superficie del suolo: l'aumento della temperatura del suolo induce l'accelerazione dei movimenti, mentre la diminuzione della temperatura ne provoca il rallentamento. In alcuni casi si è osservata un'accelerazione molto forte, fino ad alcuni decimetri per anno e non reversibile. Ciò può generare crolli di massi dalla fronte del rock

glacier o addirittura la rottura e il franamento dell'intera fronte (Fig. 5 e 6).

Tutti i movimenti superficiali del terreno possono provocare danni alle infrastrutture. Gli effetti dei movimenti di entità ridotta possono essere contenuti con alcuni accorgimenti in sede di progettazione, che tuttavia nulla possono contro le potenziali accelerazioni che potrebbero essere indotte dal riscaldamento del clima.

In ogni caso, edificare sul permafrost significa gravarsi di costi aggiuntivi di costruzione e di manutenzione, riducendo la vita utile delle infrastrutture. I distacchi rocciosi generano rischi per le attività alpinistiche e per le infrastrutture come funivie, ferrovie, strade e stazioni sciistiche. Le frane rocciose costituiscono una minaccia per gli abitanti a valle, anche quando questi si trovano a grande distanza dall'area di origine della frana. Il degrado del permafrost nelle pareti rocciose, indotto da fattori climatici, probabilmente è uno dei principali fattori scatenanti delle frane in roccia recenti, attuali e future (Fig. 6). Questo è suggerito dalle massicce formazioni di ghiaccio osservate in molte zone di distacco e dall'aumento superiore a 1°C della temperatura media annua dell'aria nelle Alpi nel corso del XX secolo, che ha subito un'accelerazione a partire dagli anni Ottanta. Dove la fronte di un rock glacier sovrasta versanti ripidi, vi sono dei processi secondari che possono causare il movimento verso valle del materiale detritico rilasciato. Sia questo fenomeno sia l'attività delle frane nelle aree caratterizzate dalla presenza di permafrost possono causare, ad esempio, l'aumento della produzione di materiale detritico e di conseguenza influenzare il volume dei debris flow. Il permafrost può condizionare l'attività dei debris flow in vari modi, primariamente aumentando l'alimentazione di materiale detritico al sistema torrentizio, ma anche condizionando il deflusso idrico sotterraneo. Tuttavia, l'influenza del permafrost sull'attività dei debris flow dipende soprattutto dalle caratteristiche specifiche del bacino dei torrenti. La fusione del ghiaccio nel terreno o nelle falde detritiche con permafrost causa l'ispessimento dello strato attivo e può condurre alla perdita di ghiaccio interno con conseguente diminuzione dell'effetto legante-stabilizzante del ghiaccio stesso.

Ciò può aumentare la disponibilità di materiale erodibile, il cedimento del suolo in aree pianeggianti e i movimenti dei versanti. La presenza di permafrost condiziona la conducibilità idrica e la stabilità complessiva del versante. In estate, lo strato attivo è spesso saturo a causa delle caratteristiche della tavola del permafrost, che costituisce un acquicludo. Pertanto, la capacità d'infiltrazione è bassa e il deflusso superficiale è elevato. La tavola del permafrost può inoltre fungere da superficie di scivolamento per le frane che s'impostano nello strato attivo. Come conseguenza, possono verificarsi lo smottamento del manto detritico, la compattazione del materiale detritico, con relativi movimenti di versante e franamenti. La fusione del ghiaccio

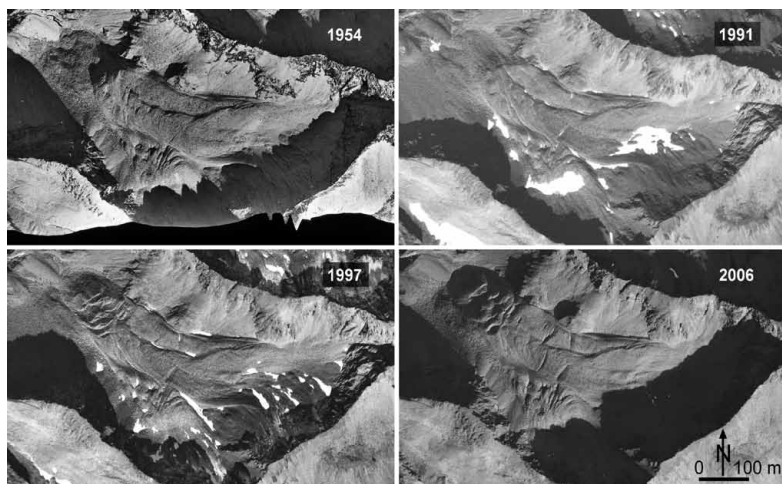


Fig. 5: Fotografie aeree del rock glacier Hinteres Langtalkar (Austria) tra il 1954 e il 2006. Nella parte anteriore è visibile la formazione di crepacci e la disintegrazione della parte frontale dovuta a processi di scivolamento attivo a partire dal 1994. Fotografie aeree dell'Ufficio federale di metrologia e sorveglianza austriaco (BEV), gentile concessione di V. Kaufmann e R. Ladstätter.

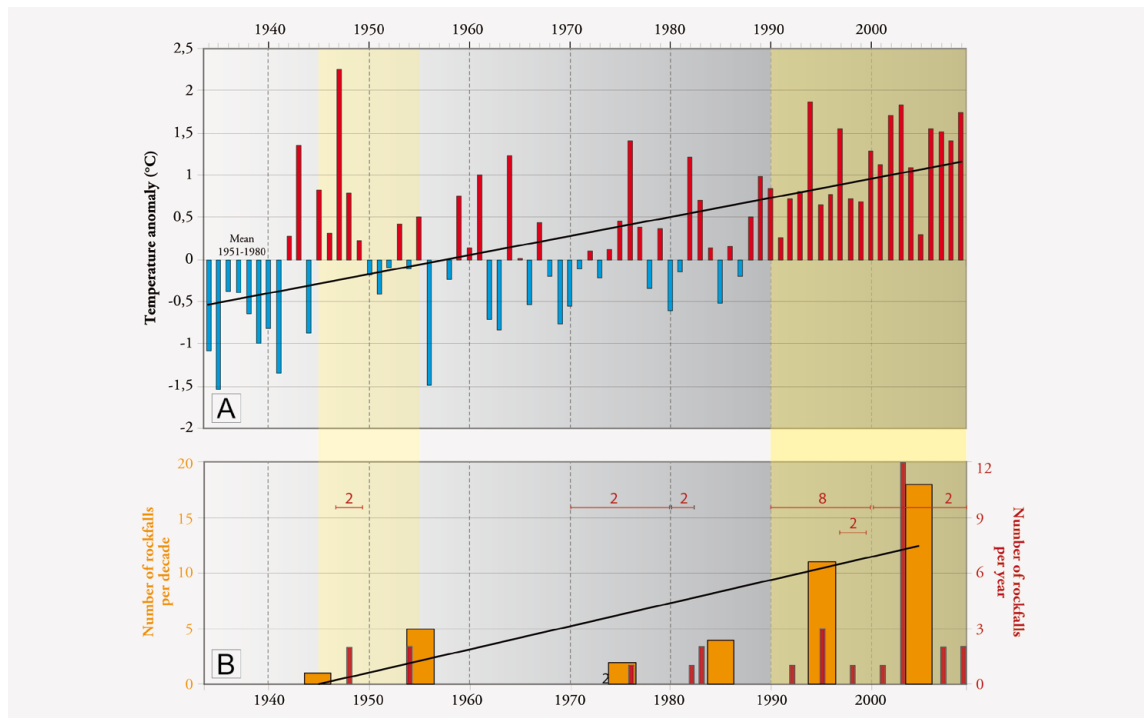


Fig. 6: Evoluzione comparata del clima di Chamonix (1040 m s.l.m.) e distacchi rocciosi sul versante nord degli Aiguilles di Chamonix (massiccio del Monte Bianco, Francia). A: anomalie della temperatura media annua dell'aria in riferimento alla media 1951 – 1980; B: numero di distacchi rocciosi per decennio e per anno. Linea nera: tendenza (regressione lineare, decennale per B); colonne larghe in B: distacchi rocciosi senza data precisa (dati meteorologici: Météo-France).

nel suolo contribuisce alla formazione di termocarsismo e di laghi termocarsici, con conseguente pericolo d'inondazione per collasso degli argini.

Quali azioni sono necessarie per far fronte al crescere dei rischi nelle zone interessate da permafrost?

Le situazioni di pericolo dovute ai processi descritti, riguardanti il permafrost e il suo degrado, interessano aree limitate. Tuttavia, in casi particolari i sopraccitati processi possono determinare situazioni di pericolo e di rischio di maggior portata. Il primo passo per ogni attività di pianificazione consiste nell'adozione della mappa del permafrost come strumento di conoscenza. Se la mappa indica la possibile presenza di permafrost nel luogo oggetto di studio, si raccomanderà quindi di procedere all'individuazione del permafrost secondo i metodi descritti nel manuale PERMANET. Se si ipotizza la presenza di permafrost è necessario che l'analisi dei processi debba essere supportata da specifici monitoraggi. Al fine di valutare gli approcci operativi per il rilevamento e per il monitoraggio dei movimenti dei versanti e la temperatura del suolo nelle aree in cui è presente permafrost, sono state predisposte le schede illustrative di sei metodi tra dGPS, GPR, DInSAR, ERT, TLS e fotogrammetria terrestre. Nelle schede sono presentati, in sintesi, i principi basilari di ciascun metodo, le loro possibili applicazioni, i principali risultati, le opportunità e i limiti; la scheda di ogni metodo è completa di riferimenti e figure. Sono stati fatti dei confronti tra alcune coppie di tali metodi e la valutazione è stata completata con un'analisi

SWOT (Strength Weakness Opportunity Threat). Sono state inoltre formulate raccomandazioni in materia di riduzione dei pericoli in aree caratterizzate dalla presenza di permafrost, per esempio: (i) evitare di costruire infrastrutture su rock glacier attivi o nella zona della fronte; (ii) mantenere una zona di sicurezza nelle aree con presenza di rock glacier; (iii) controllare con regolarità i sentieri che attraversano i rock glacier o passano sotto la loro fronte.

Il report sullo stato dell'arte dei pericoli naturali nelle aree con permafrost e il manuale per il rilevamento e la mappatura del permafrost nelle aree montane sono consultabili all'indirizzo:

www.permanet-alpinespace.eu/products/permafrost hazards



Fig. 7: Stazione di riferimento DGPS in un punto fisso d'osservazione di fronte al rock glacier Reichenkar (Austria). Foto: K. Krainer

Permafrost e cambiamenti climatici

Le regioni di alta quota e di elevata latitudine sono generalmente riconosciute come particolarmente sensibili agli effetti dei cambiamenti climatici.

Nelle Alpi, per esempio un'alta percentuale del permafrost è al punto di fusione o molto prossima a esso, ed è pertanto molto sensibile al riscaldamento atmosferico.

Risposte termiche e geomorfologiche del permafrost ai cambiamenti climatici presenti e futuri

I possibili effetti termici e geomorfologici dei cambiamenti climatici sono molteplici e le possibili reazioni termiche del permafrost includono:

- aumento della temperatura del suolo e conseguente riscaldamento del permafrost;
- disgelo del permafrost con tre effetti: riduzione dell'estensione spaziale del permafrost; ispessimento dello strato

- stagionale non ghiacciato (strato attivo); aumento della circolazione di acqua nel suolo e della sua pressione;
- modifica nel numero e nelle caratteristiche dei cicli di gelo e disgelo.

I possibili effetti geomorfologici legati alle modificazioni del permafrost includono:

- mutamento nella velocità di spostamento dei rock glacier (sia in verticale sia in orizzontale);
- cambiamento delle modalità di spostamento dei rock glacier (dalla deformazione lenta all'inizio dello slittamento basale o addirittura al collasso);
- mutamenti nell'alterazione criogenica;
- cambiamenti nel volume e nell'estensione dei versanti instabili;
- cambiamenti della frequenza e delle dimensioni degli eventi: di movimento in massa, di distacchi rocciosi, di scivolamenti rocciosi e di debris flow.

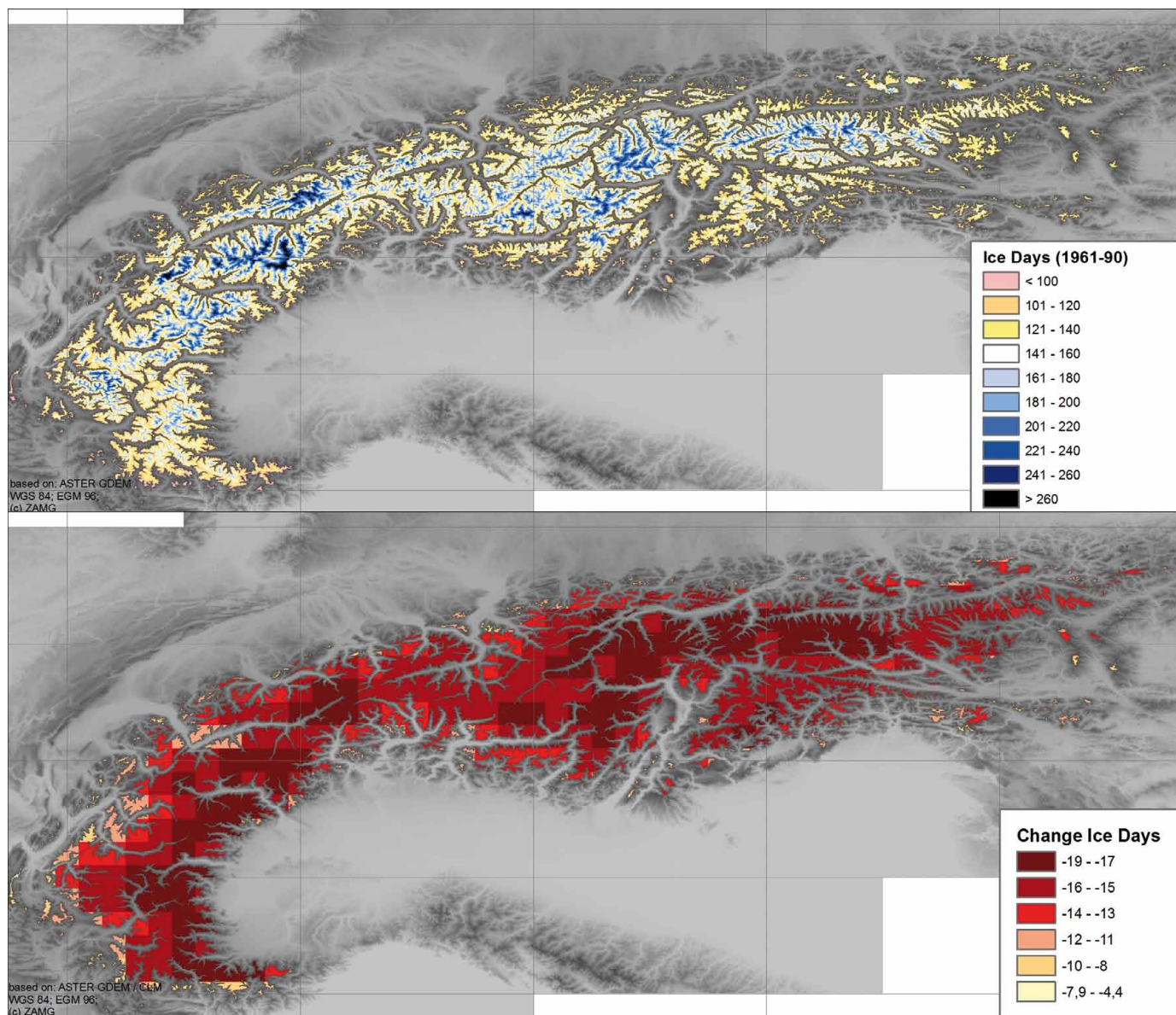


Fig. 8: Giorni di ghiaccio (1961 – 90) e differenza stimata tra i giorni di ghiaccio dei periodi 1961 – 90 e 2021 – 2050 oltre gli 1800 m s.l.m. Fonte: ZAMG.

Casi di studio nelle Alpi

PermaNET ha studiato la risposta termica e geomorfologica del permafrost ai cambiamenti climatici presenti e futuri. A tale scopo la ricerca è stata eseguita in più di dieci siti di studio, distribuiti lungo l'intero arco alpino, in Austria, Svizzera, Francia e Italia.

La ricerca è stata svolta in due fasi; nella prima fase, i cambiamenti climatici presenti sono stati analizzati e tradotti in modelli concentrati sui giorni di gelo, ghiaccio e gelo-disgelo per i periodi 1961–90 e 2021–2050 nella regione alpina (Fig. 8). Nella seconda fase, i risultati dell'analisi dei cambiamenti climatici sono stati combinati con i dati rilevati presso i siti di studio, mediante l'analisi dell'andamento della temperatura, della recente evoluzione geomorfologica di una forma del paesaggio (es. rock glacier) e della sua possibile futura risposta ai cambiamenti climatici ipotizzati. Lo studio mette in luce le dimensioni delle possibili risposte del permafrost a un riscaldamento climatico. Di seguito si riportano due esempi in merito.

Esempio 1: Frane nel Massiccio del Monte Bianco

Tra il 2007 e il 2009, nell'area centrale del massiccio del Monte Bianco, sono state documentate un totale di 139 frane e 53 sono state datate con precisione. Tra queste, 51 sono avvenute durante i mesi più caldi dell'anno e 38 in seguito a periodi caratterizzati da aumenti della temperatura media dell'aria protrattisi per almeno due giorni (Fig. 9). È importante osservare che maggiori erano le temperature estive, maggiore l'altitudine delle zone di distacco delle frane. Ciò indica che, in futuro, le frane si origineranno in nuove aree di distacco, generando nuove zone di trasporto e deposito della roccia franata, zone che saranno situate mediamente ad altitudini maggiori.

Esempio 2: Velocità dei rock glacier nell'Austria centrale

I rock glacier attivi sono fenomeni di lenta deformazione del permafrost. Il loro movimento è fortemente correlato alle condizioni climatiche e di conseguenza alla temperatura del suolo. Come dimostrano diversi studi, esiste una mutua relazione tra l'andamento del movimento dei rock glacier e l'andamento climatico degli ultimi anni e decenni. Presso il rock glacier Dösen, nell'Austria centrale, per esempio, nel 2003-2004 e nel 2008-2010 sono stati rilevati due picchi di variazione della velocità di spostamento della superficie (Fig. 10). L'andamento della velocità indica che questo rock glacier reagisce rapidamente in seguito a un periodo freddo, con una decelerazione. Diversamente, lo stesso rock glacier necessita di un tempo più lungo per reagire a periodi più caldi con un'accelerazione della velocità del movimento, in relazione all'inerzia del sistema del rock glacier nei confronti del riscaldamento del suolo. Ciò indica, per il futuro, che il previsto riscaldamento climatico causerà innanzitutto un aumento delle velocità di deformazione dei rock glacier. Tuttavia, in una fase più avanzata, ciò porterà alla cessazione dell'attività di molti rock glacier che sono attualmente attivi. Alcuni rock glacier in fase di

degradazione potrebbero addirittura collassare per intero e perciò per questo costituire una fonte di pericolo.

Il report sulla risposta termica e geomorfologica del permafrost ai cambiamenti climatici presenti e futuri nelle Alpi è disponibile all'indirizzo: www.permanet-alpinespace.eu/products/permafrostresponse

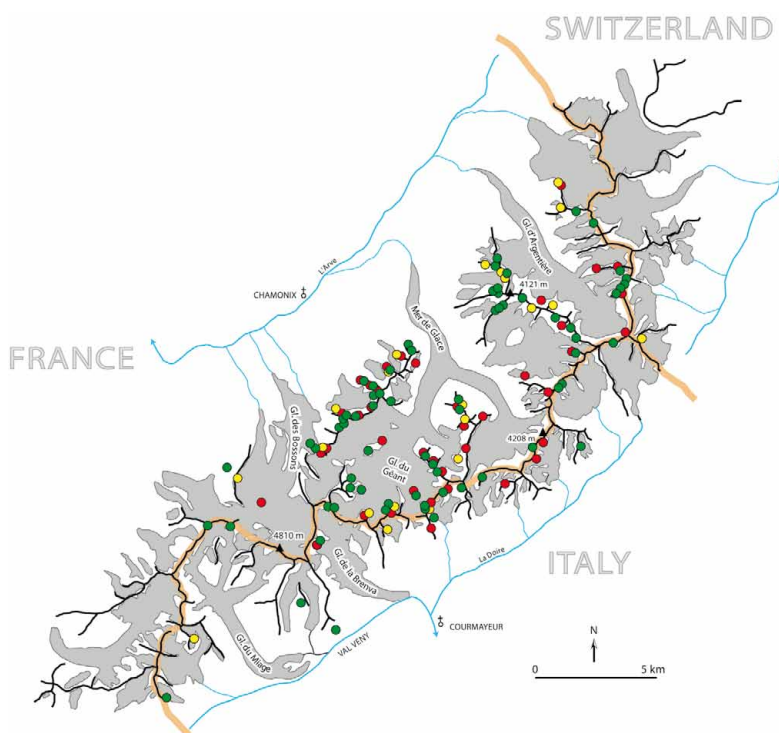


Fig. 9: Distacchi rocciosi documentati nel massiccio del Monte Bianco nel 2007 (punti rossi), 2008 (punti gialli), e 2009 (punti verdi).

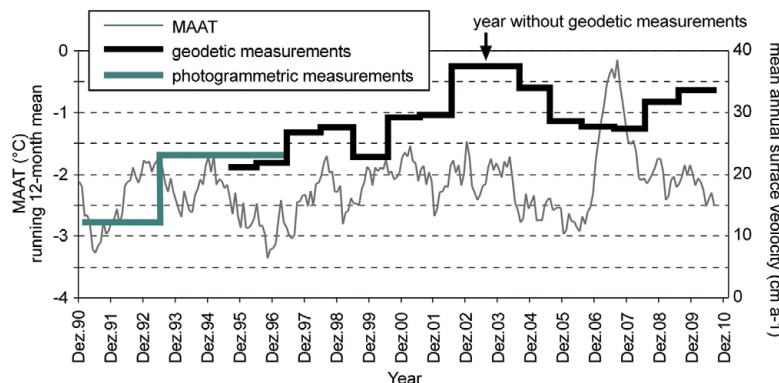


Fig. 10: Temperatura media annua dell'aria /MAAT (media mobile su 12 mesi) e spostamento orizzontale della superficie del rock glacier Dösen (Austria) tra il 1990 e il 2010.

Permafrost e gestione delle risorse idriche

È ancora poco conosciuto l'impatto dei cambiamenti climatici sul permafrost alpino e le alterazioni indotte da un incremento nella fusione del ghiaccio del permafrost sulla portata e sulla qualità dell'acqua dei bacini alpini. L'innalzamento della temperatura dell'aria ha causato la fuoriuscita dai rock glacier di acqua di fusione altamente concentrata in ioni e metalli pesanti. In risposta all'aumentato rilascio di acqua così altamente concentrata, il chimismo dell'acqua dei laghi ad alta quota, che raccolgono l'acqua di fusione dei rock glacier, può subire un'alterazione sostanziale. In particolare, le elevate concentrazioni di Ni possono eccedere di molto il limite di potabilità, come riscontrato nelle acque di fusione che escono dai rock glacier attivi e dai ghiacciai presso Schnalstal (Alpi di Ötztal). Il contenuto in ghiaccio del permafrost alpino è ancora sconosciuto, al pari di quello dei rock glacier. Il regime idrologico dei rock glacier attivi, tuttavia, è prevalentemente determinato dalla quantità di acqua consolidata in ghiaccio nello strato di permafrost del suolo. Per capire il regime idrologico dei rock glacier attivi e la loro risposta ai cambiamenti climatici, presso la località di Lazaun (Schnalstal) si sono studiati la portata, la temperatura, la conducibilità elettrica e la chimica dell'acqua (anioni, cationi, metalli pesanti) delle sorgenti del rock glacier; si è quindi proceduto a comparare i risultati dello studio con i dati relativi ai corsi d'acqua formati dall'acqua di fusione glaciale e con le sorgenti non interessate dalla presenza di permafrost. Si sono effettuati carotaggi presso due rock glacier attivi (Lazaun – Schnalstal e Rossbänk – Ultental Val d'Ultimo). Le caratteristiche delle carote sono state dettagliatamente documentate e attualmente sono oggetto di analisi volte a definirne il contenuto in ghiaccio, la chimica del ghiaccio, gli isotopi stabili e la palinologia. I fori di carotaggio sono stati attrezzati con data logger, che registrano le temperature, ed inclinometri, che registrano gli spostamenti alle diverse profondità, al fine di raccogliere dati sulle caratteristiche termiche e dinamiche dei rock glacier. Il carotaggio e le misurazioni idrologiche e chimiche si accompagnano all'analisi sedimentologica

del mantello detritico dei rock glacier, inclusa la tipologia di roccia, la granulometria, la distribuzione granulometrica (selezione), l'arrotondamento e l'orientamento dei clasti sulla superficie, il contenuto in matrice fine, lo spessore e la struttura del mantello detritico, la composizione mineralogica e geochimica e il contenuto in ghiaccio della parte superiore dello strato congelato. Ulteriori informazioni su spessore, struttura interna e contenuto in ghiaccio dei rock glacier attivi e del suolo con permafrost sono state ottenute con il ricorso a metodi geofisici quali il geo-radar. Il degrado indotto nel permafrost dai cambiamenti climatici può avere un maggiore impatto sugli ecosistemi, la stabilità del paesaggio, sull'essere umano e la sua sussistenza. Si raccomanda quindi un attento studio delle sorgenti che scaturiscono dai rock glacier e dal permafrost alpino. Prima dell'utilizzo di tali sorgenti per l'approvvigionamento di acqua potabile è opportuno protrarre l'indagine per un intero anno idrologico, concentrandosi sulla qualità dell'acqua (anioni, cationi, metalli pesanti, batteri), sul carico sospeso, sulla temperatura e sulla portata.

La relazione "Permafrost e gestione delle risorse idriche" è consultabile all'indirizzo:

<http://www.permanet-alpinespace.eu/products/pfwaterresources>



Misure di portata. Foto: K. Krainer



Campione di ghiaccio da rock glacier. Foto: D. Tonidandel



Raccomandazioni per gli organi decisionali

L'approccio interdisciplinare e integrato alle conoscenze attuali sul permafrost delle Alpi ha permesso la creazione di molti prodotti di valore utilizzabili nelle prassi per la gestione dei pericoli naturali e nella pianificazione territoriale.

I principali risultati del progetto PermaNET sono:

- rete di monitoraggio del permafrost dello spazio alpino e relativi manuali;
- creazione di un catasto delle evidenze di permafrost;
- mappa della distribuzione del permafrost sulle Alpi;
- linee guida per la considerazione del permafrost nella gestione dei rischi naturali.

La rete di monitoraggio del permafrost consentirà di ampliare le conoscenze relative allo stato del permafrost nelle Alpi e consentirà di valutare la futura risposta termica del permafrost ai cambiamenti climatici. Da un lato, questa rete per il monitoraggio sul lungo termine consentirà di registrare il segnale del riscaldamento globale in corso, mentre dall'altro porterà all'acquisizione di dati fondamentali per la valutazione delle conseguenze dei cambiamenti climatici sul permafrost e per la valutazione dei pericoli naturali correlati. Il quadro emerso dai dati sulla distribuzione del permafrost fornisce una base decisionale per l'interpretazione dei cambiamenti osservati nel paesaggio. Per il settore di pianificazione, il repertorio dei dati sul permafrost e la relativa mappa forniscono una base decisionale per l'individuazione di metodi adeguati per ciascun specifico campo d'indagine. Se la mappa indica la possibile presenza di permafrost in un particolare luogo in cui vi siano problemi dovuti a movimenti del suolo o in cui sia pianificata la costruzione di infrastrutture, i manuali elaborati per il rilevamento e il monitoraggio del permafrost potrebbero costituire la base su cui decidere quali tecniche impiegare per affrontare correttamente le problematiche connesse alla presenza del permafrost. Con tali prodotti, PermaNET ha contribuito a ottimizzare le basi decisionali per la pianificazione territoriale, la gestione dei pericoli naturali e la gestione delle risorse idriche.

A sintesi dei maggiori risultati di PermaNET, si formulano le seguenti raccomandazioni:

1. Le conoscenze relative al permafrost, agli effetti dei mutamenti climatici sui fenomeni legati al permafrost e ai pericoli correlati, sono ancora frammentarie e presentano gradi di approfondimento diffusi nei diversi paesi dell'arco alpino. La raccolta di tutte le esperienze e le indagini effettuate con un unico protocollo condiviso hanno condotto alla formazione di una sofisticata base decisionale e ha reso possibile la realizzazione di una mappa della distribuzione del permafrost sulle Alpi. Per ampliare ulteriormente la conoscenza dell'argomento, si ritiene molto importante continuare la collaborazione interdisciplinare transnazionale.

2. I fenomeni legati al permafrost e al suo degrado mostrano una grande variabilità spaziale nelle proprie manifestazioni lungo l'arco alpino. La documentazione raccolta e gli studi prodotti in PermaNET rappresentano lo stato dell'arte della conoscenza del permafrost alpino sotto diversi aspetti. I fenomeni legati al permafrost ed i pericoli naturali correlati (inclusi gli effetti dei cambiamenti climatici) dovrebbero essere presi in attenta considerazione ai fini di una gestione dei pericoli e dei rischi naturali che sia il più uniforme possibile lungo l'intero arco alpino. I pericoli naturali relativi al permafrost e alla sua degradazione si riducono, a livello locale, a casi specifici, ed è opportuno prestare attenzione a non sopravvalutarli né trascurarli. Prima di trarre conclusioni e di indicare decisioni in materia di gestione dei rischi, è opportuno studiare il fenomeno in situ e in modo approfondito. Alcune conclusioni sono tuttavia valide per località diverse: (i) evitare di costruire infrastrutture su rock glacier attivi o in prossimità della fronte; (ii) mantenere una zona di sicurezza nelle aree dove sono presenti rock glacier; (iii) controllare con regolarità i sentieri che attraversano i rock glacier o passano sotto la loro fronte.

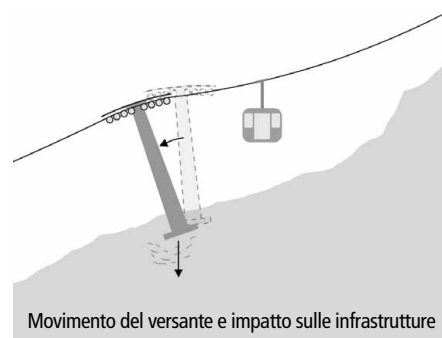
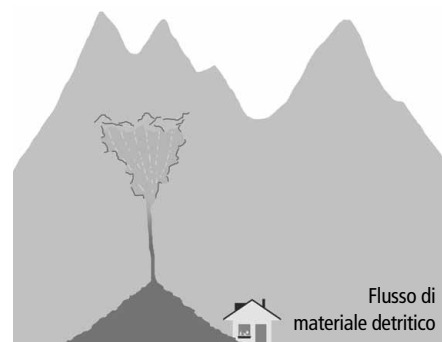
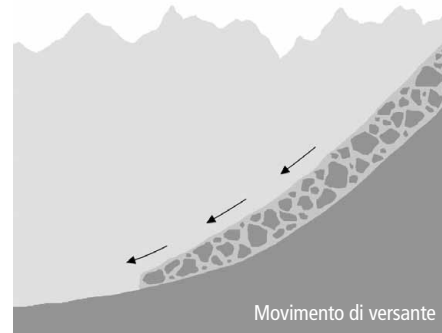
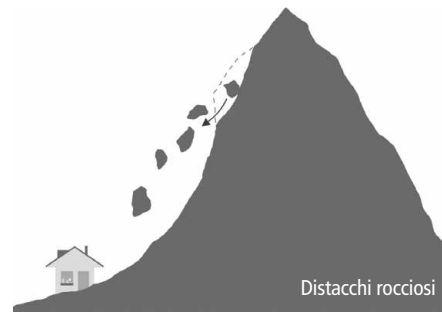
3. Per tutte le attività di pianificazione in ambiente montano ad alta quota è importante sapere se è possibile che vi sia del permafrost, e di conseguenza è importante conoscere i possibili effetti su eventuali attività pianificate. Una maggiore consapevolezza dell'esistenza di permafrost e dei possibili effetti negativi sulle attività economiche è utile per migliorare l'efficienza e la sostenibilità degli investimenti. Si invitano tutti gli stakeholder a far uso della mappa del permafrost che abbiamo elaborato, e ad aggiungere le loro osservazioni al repertorio delle evidenze scientifiche sul permafrost. Con tale supporto, si potrà estendere il database e ampliare la conoscenza della distribuzione del permafrost.

4. In caso di deformazione dei versanti in aree caratterizzate dalla presenza di permafrost, le tecniche per il monitoraggio dei versanti costituiscono strumenti fondamentali per la valutazione e la prevenzione dei rischi, ed è pertanto opportuno incoraggiare il loro utilizzo. Il monitoraggio dei movimenti dei versanti nelle aree con permafrost richiede metodi specifici e deve soddisfare requisiti specifici. Si invitano pertanto tutti gli stakeholder a far uso del manuale che abbiamo elaborato sul rilevamento e il monitoraggio del permafrost, in quanto fornisce utili indicazioni.

5. Per promuovere lo scambio delle esperienze, è necessario estendere le serie di dati disponibili e giungere alla loro armonizzazione. Si deve altresì mantenere attiva la rete transnazionale per il monitoraggio del permafrost, composta di ricercatori e professionisti. Si raccomanda agli enti territoriali ambientali dei paesi coinvolti di supportare l'ulteriore sviluppo di questo network di persone e di istituti, e di supportare finanziariamente il mantenimento delle stazioni di monitoraggio. Gli effetti del cambiamento climatico possono essere apprezzati pienamente solo mediante osservazioni sullo stato del permafrost, su una vasta area e a lungo termine.

Prospettive

Il progetto PermaNET ha fornito le basi per la costituzione di una rete transnazionale per il monitoraggio del permafrost nelle Alpi. Spetta ora agli stakeholder e agli organi decisionali costruire e garantire, su tali basi, la continuità del monitoraggio del permafrost. I partner del progetto PermaNET e gli istituti partner continueranno a mantenere e migliorare la rete di monitoraggio. Il passo successivo consiste nell'individuazione di una modalità di gestione e coordinamento della rete transnazionale di monitoraggio del permafrost, nella compilazione e nell'analisi dei dati di monitoraggio al fine di poter realizzare un report periodico sullo stato termico del permafrost nelle Alpi.



Illustrazioni: J. Buchmann

Le seguenti persone hanno contribuito al progetto PermaNET e alle attività correlate:

Lorenz Böckli,
Xavier Bodin,
Lucia Borasi,
Laurence Bourjot,
Fulvio Bovet,
Jörg Buchmann,
Anselmo Cagnati,
Alberto Carton,
Edoardo Cremonese,
Andrea Crepaz,
Michèle Curtaz,
Matteo Dall'Amico,
Valentina Defendi,
Philip Deline,
Thomas Echelard,
Simone Frigerio,
Jacopo Gabrieli,
Anna Galuppo,
Michel Gay,
Stephan Gruber,
Mauro Guglielmin,
Viktor Kaufmann,
Andreas Kellerer-Pirklbauer,
Alexander Klee,
Gernot Koboltschnig,
Karl Krainer,
Christine Kroisleitner,
Jean-Michel Krysiecki,
Kathrin Lang,
Stéphanie Letey,
Gerhard Lieb,
Laura Magnabosco,

Volkmar Mair,
Matteo Mantovani,
Markus Maukisch,
Matthias Monreal,
Umberto Morra di Cella,
Stefania Muti,
Caterina Naldi,
Jeannette Noetzli,
Luca Paro,
Christine Pasquettaz,
Alessandro Pasuto,
Marcia Phillips,
Paolo Pogliotti,
Andreas von Poschinger,
Hugo Raetzo,
Ludovic Ravel,
Claudia Riedl,
Riccardo Rigon,
Simonetta Riva,
Philippe Schoeneich,
Wolfgang Schöner,
Hubert Siegel,
Roberto Seppi,
Johann Stötter,
Christoph Suter,
David Tonidandel,
Marco Vagliasindi,
Jean-Marc Vengeon,
Iris Voyat,
Giorgio Zampedri,
Andreas Zischg,
Matteo Zumiani

Ulteriori informazioni

Il sito web del progetto PermaNET fornisce relazioni dettagliate sugli argomenti trattati in questa brochure. Inoltre, relazioni, manuali e linee guida dettagliati disponibili sul sito forniscono ulteriori indicazioni bibliografiche.

Il sito web PermaNET offre servizi web per la visualizzazione e l'analisi del repertorio delle prove scientifiche sul permafrost e della mappa della distribuzione del permafrost. Per ulteriori informazioni consultare:

www.permanet-alpinespace.eu

