

# PERMAFROST:

Cos'è e perchè è importante studiarlo

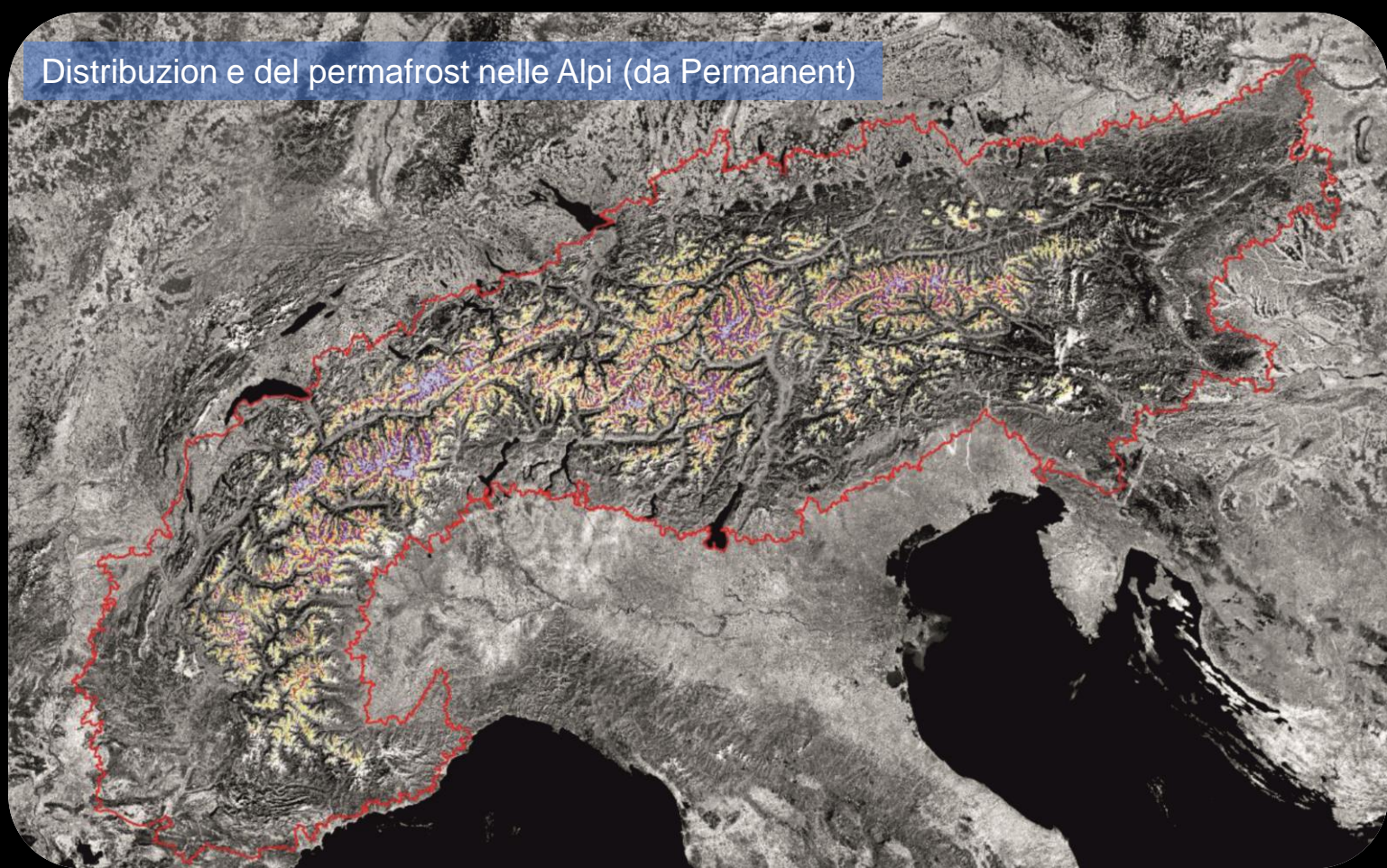
Adriano Ribolini

Dipartimento di Scienze della Terra  
Università di Pisa

[adriano.ribolini@unipi.it](mailto:adriano.ribolini@unipi.it)

CIRSEC, Università di Pisa

Distribuzione del permafrost nelle Alpi (da Permanent)

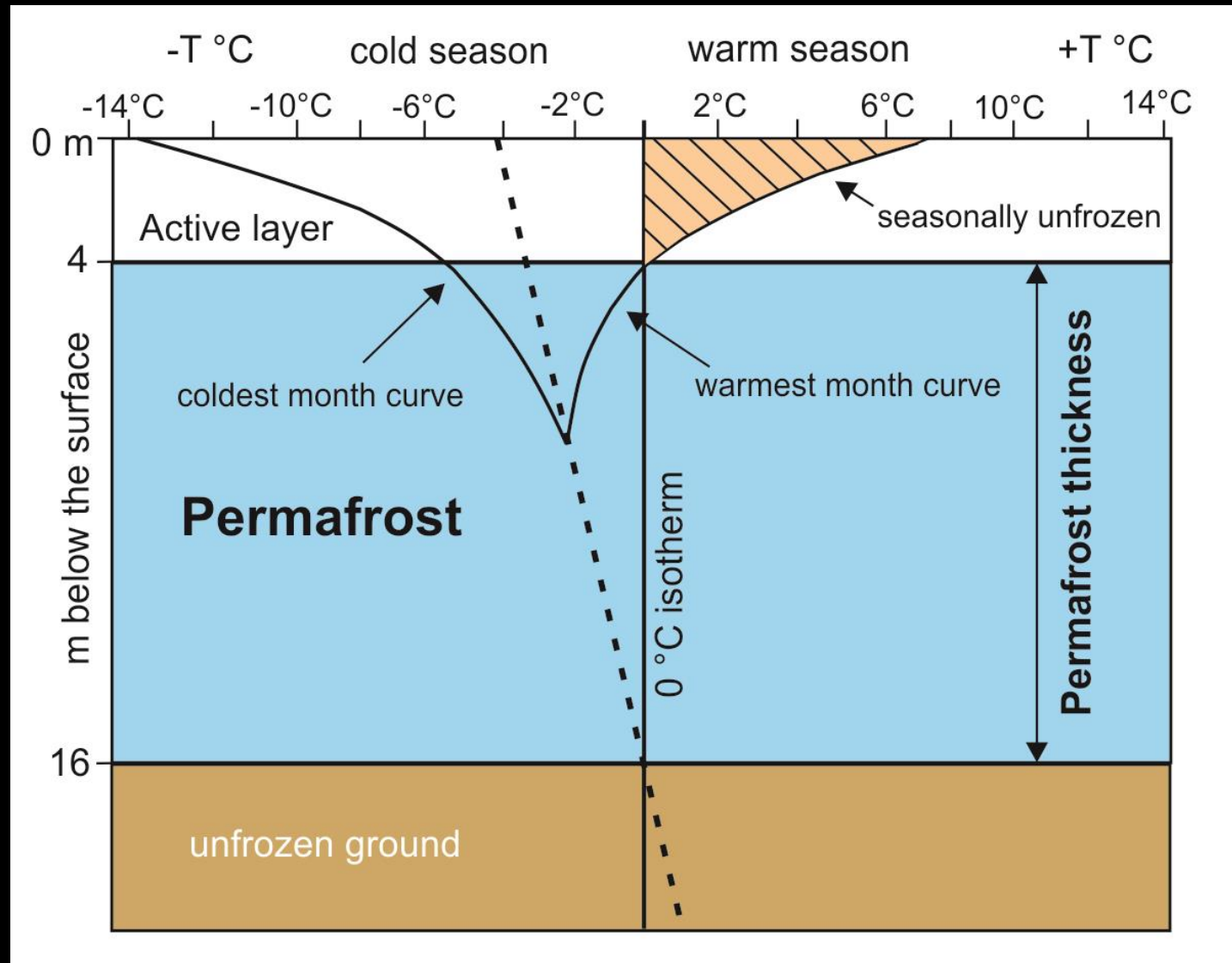


Il Permafrost è definito come materiale della litosfera (suolo o roccia, ghiaccio e materiale organico) che rimane al di sotto di 0 °C per almeno 2 anni consecutivamente.

Le variazioni giornaliere di Temperatura dell'aria si trasmettono solo nei primi metri del suolo, mentre quelle stagionali si propagano più in profondità con uno sfasamento temporale.

Il profilo verticale di un terreno in condizioni di permafrost può essere diviso in due zone principali:

- Strato attivo (scongelato stagionalmente)
- Strato permanentemente congelato (permafrost)



Il Permafrost è uno dei componenti della Criosfera Terrestre, porzione della superficie terrestre dove l'acqua si trova allo stato solido (sea ice, lake ice, river ice, snow cover, glaciers and frozen ground)

Lo strato attivo può avere spessori da 30-40 cm nelle regioni artiche e fino a 5-6 m nelle zone alpine delle medie latitudini. Lo spessore del permafrost varia da regione a regione raggiungendo anche valori dell'ordine di centinaia di metri

Locality	Latitude	Permafrost Zone	Mean Air Temperature (°C)	Permafrost Thickness (m)
<b>Canada<sup>1</sup></b>				
Resolute, NWT	74°N	Continuous	-12	390-400
Inuvik, NWT.	69°N	Continuous	-9	100
Dawson City, YT	64°N	Discontinuous	-5	60
Yellowknife, NWT	62°N	Discontinuous	-6	60-100
Schefferville, PQ	54°N	Discontinuous	-4	80
Thompson, Man.	55°N	Discontinuous	-4	15
<b>Alaska<sup>2</sup></b>				
Barrow	71°N	Continuous	-12	304-405
Umiat	69°N	Continuous	-10	322
Fairbanks	64°N	Discontinuous	-3	30-120
Bethel	60°N	Discontinuous	-1	13-184
Nome	64°N	Discontinuous	-4	37
<b>USSR (FSU)<sup>3</sup></b>				
Nord'vik	72°N	Continuous	-12	610
Ust'Port	69°N	Continuous	-10	455
Yakutsk	62°N	Continuous	-10	195-250
<b>Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau<sup>4</sup></b>				
Fenghuo Shan	34°N	Widespread	-6	110
Wudaoliang	35°N	Widespread	-5	40



# Il Permafrost interagisce con il clima, gli ecosistemi e le attività umane

La formazione (aggradazione) e la fusione (degradazione) del Permafrost usualmente avviene in associazione con cambiamenti nella temperatura media del suolo a causa di variazioni (micro)climatiche. Tra questi cambiamenti quello relativo alla temperatura media dell'aria è il più importante, ma anche il regime delle precipitazioni (solide e liquide) e la durata/spessore della copertura nevosa giocano un ruolo non secondario.

La degradazione del Permafrost è vista come una sfida rilevante nell'ambito della discussione sul riscaldamento globale.



PNAS Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America

Home Articles Front Matter News Podcasts Auth

NEW RESEARCH IN Physical Sciences Social Sciences

RESEARCH ARTICLE

## Permafrost carbon-climate feedbacks accelerate global warming

Charles D. Koven, Bruno Ringeval, Pierre Friedlingstein, Philippe Ciais, Patricia Cadule, Dmitry Khvorostyanov, Gerhard Krinner, and Charles Tarnocai

PNAS September 6, 2011 108 (36) 14769-14774; <https://doi.org/10.1073/pnas.1103910108>



Permafrost and Periglacial Processes

Research Article | Full Access

## The assessment of potential geotechnical hazards associated with mountain permafrost in a warming global climate

Charles Harris, Michael C. R. Davies, Bernd Etzelmüller

First published: 02 April 2001 | <https://doi.org/10.1002/ppp.376> | Citations: 90

### Vulnerability of Permafrost Carbon to Climate Change: Implications for the Global Carbon Cycle

EDWARD A. G. SCHUUR, JAMES BOCKHEIM, JOSEP G. CANADELL, EUGENIE EUSKIRCHEN, CHRISTOPHER B. FIELD, SERGEY V. GORYACHKIN, STEFAN HAGEMANN, PETER KUHR, PETER M. LAFLEUR, HANNA LEE, GALINA MAZHITOVA, FREDERICK E. NELSON, ANNETTE RINKE, VLADIMIR E. ROMANOVSKY, NIKOLAY SHIKLOMANOV, CHARLES TARNOCAI, SERGEY VENEVSKY, JASON G. VOGEL, AND SERGEI A. ZIMOV

*BioScience*, Volume 58, 8, 2008

# Il Permafrost interagisce con il clima, gli ecosistemi e le attività umane

**nature reviews**  
microbiology

Review Article | Published: 12 May 2014

## The microbial ecology of permafrost

Janet K. Jansson  & Neslihan Taş

*Nature Reviews Microbiology* **12**, 414–425(2014) | Cite this article

**ECOLOGY**  
ECOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA

Article |  Full Access

## Warming effects on permafrost ecosystem carbon fluxes associated with plant nutrients

Fei Li, Yunfeng Peng, Susan M. Natali, Kelong Chen, Tianfeng Han, Guibiao Yang, Jinzhi Ding, Dianye Zhang, Guanqin Wang, Jun Wang, Jianchun Yu, Futing Liu, Yuanhe Yang 

First published: 02 August 2017 | <https://doi.org/10.1002/ecy.1975> | Citations: 9

# Ecological Response to Permafrost Thaw and Consequences for Local and Global Ecosystem Services

Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics

Vol. 49:279–301 (Volume publication date November 2018)  
<https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-121415-032349>

Edward A.G. Schuur and Michelle C. Mack

**nature**

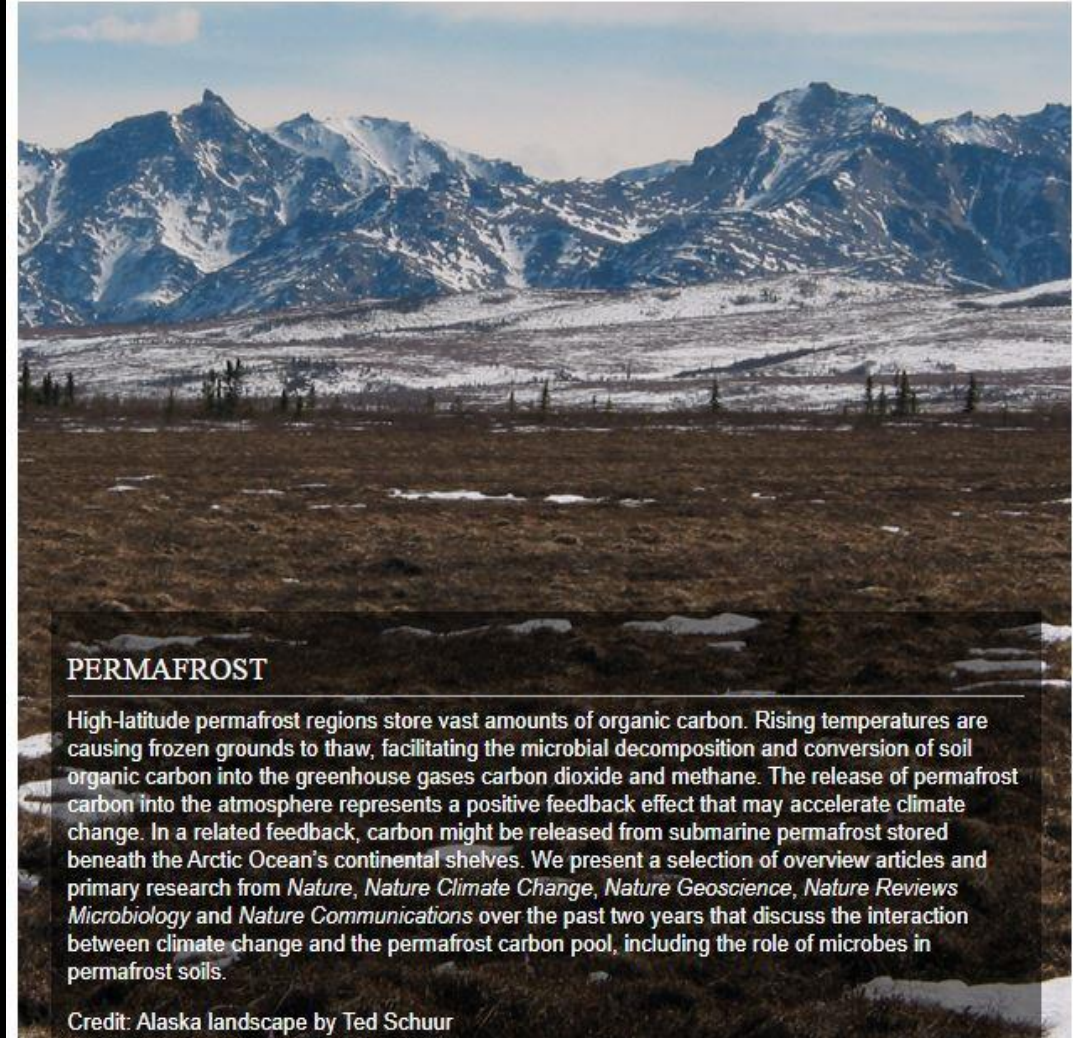
International weekly journal of science

[Home](#) | [News & Comment](#) | [Research](#) | [Careers & Jobs](#) | [Current Issue](#) | [Archive](#) | [Audio & Video](#) | [For](#)

[Archive](#) > [Specials & supplements archive](#) > [Permafrost](#)

SPECIAL

 [See all specials](#)



### PERMAFROST


High-latitude permafrost regions store vast amounts of organic carbon. Rising temperatures are causing frozen grounds to thaw, facilitating the microbial decomposition and conversion of soil organic carbon into the greenhouse gases carbon dioxide and methane. The release of permafrost carbon into the atmosphere represents a positive feedback effect that may accelerate climate change. In a related feedback, carbon might be released from submarine permafrost stored beneath the Arctic Ocean's continental shelves. We present a selection of overview articles and primary research from *Nature*, *Nature Climate Change*, *Nature Geoscience*, *Nature Reviews Microbiology* and *Nature Communications* over the past two years that discuss the interaction between climate change and the permafrost carbon pool, including the role of microbes in permafrost soils.

Credit: Alaska landscape by Ted Schuur

La criosfera alpina si è dimostrata essere molto sensibile ai cambiamenti climatici ed ambientali

- Le trasformazioni forzate dal clima nello stato del Permafrost alpino sono critiche per le popolazioni e gli ecosistemi. Esse inducono una generale destabilizzazione dei versanti montuosi, cambiamenti nei processi geomorfologici, variazioni nell'idrogeologia dei bacini fluviali con conseguenti scenari di rischio. Questi fenomeni possono impattare su aree popolate, infrastrutture di alta quota (ski resorts, rifugi, strade, etc.), rappresentando un rischio serio ed una sfida per le autorità locali

- Inoltre le aree interessate da Permafrost costituiscono riserve di lungo termine di acqua allo stato solido, destinate a diventare sempre più importante nell'attuale tendenza al riscaldamento globale

SCIENTIFIC REPORTS 

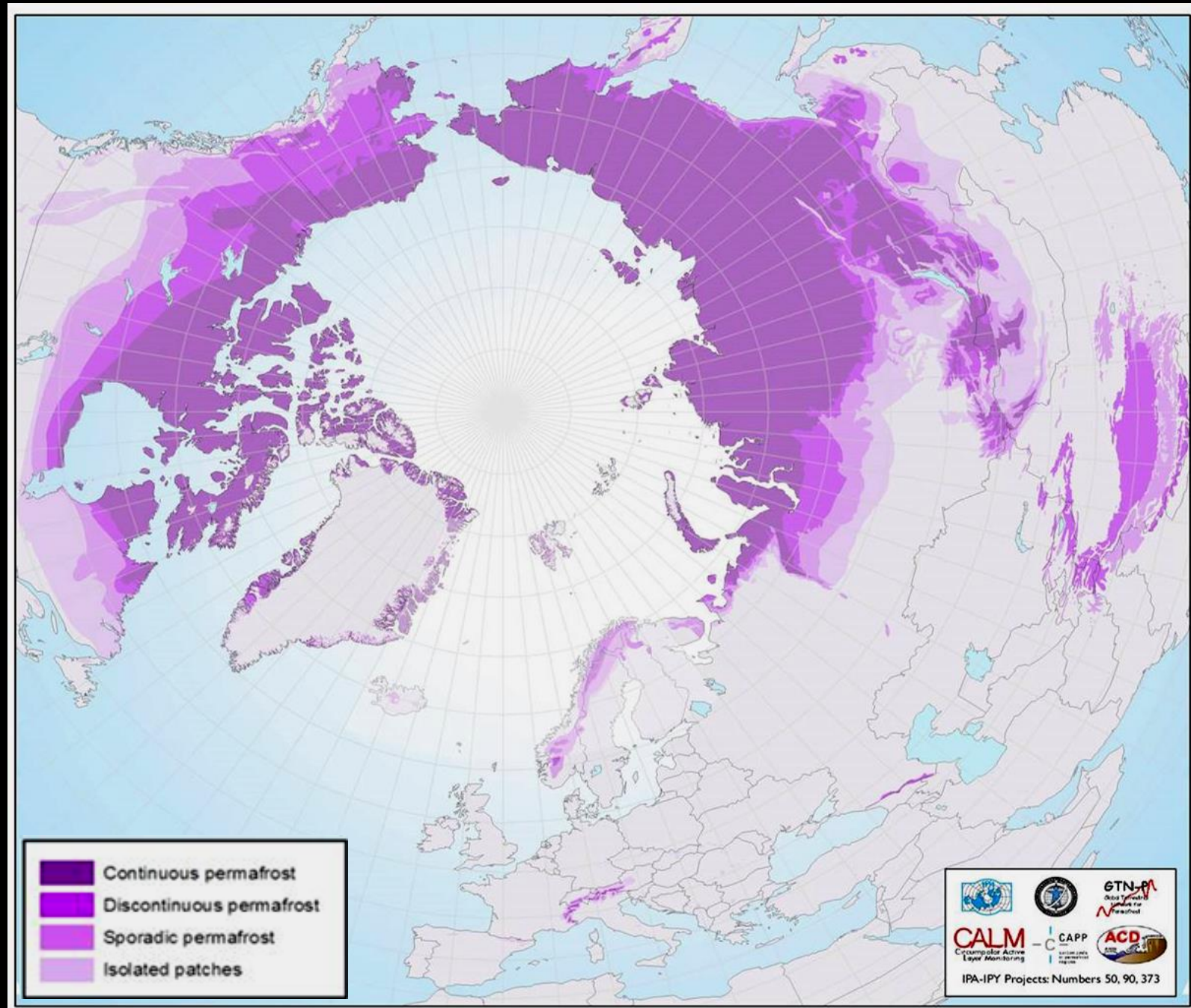
OPEN **Mountain rock glaciers contain globally significant water stores**

D. B. Jones<sup>1</sup>, S. Harrison<sup>1</sup>, K. Anderson<sup>2</sup> & R. A. Betts<sup>3,4</sup>

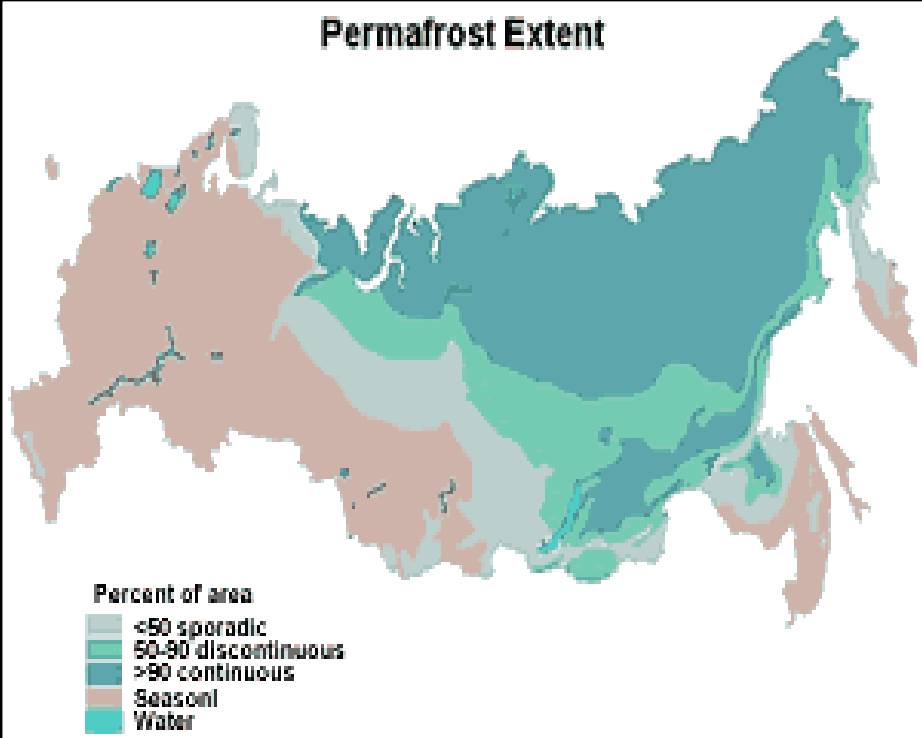
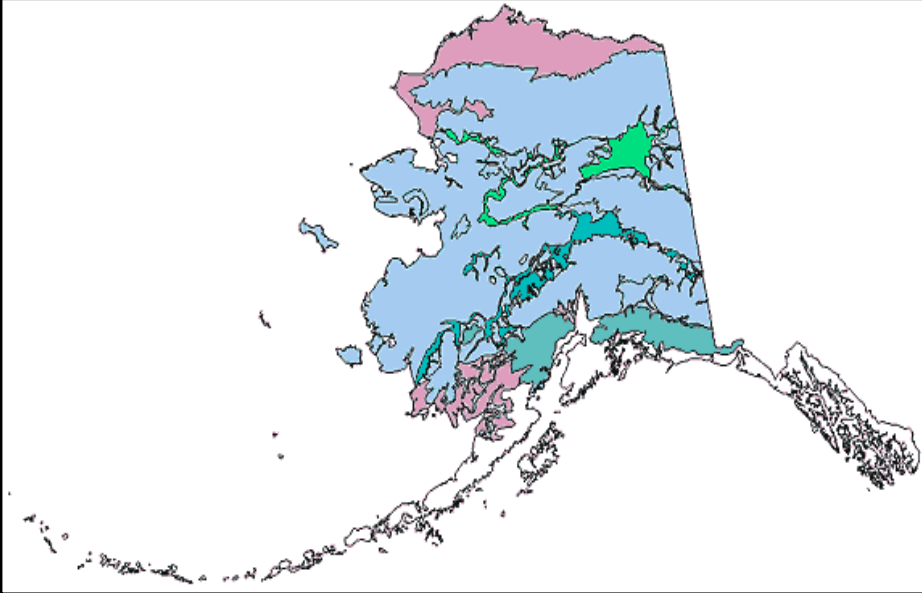
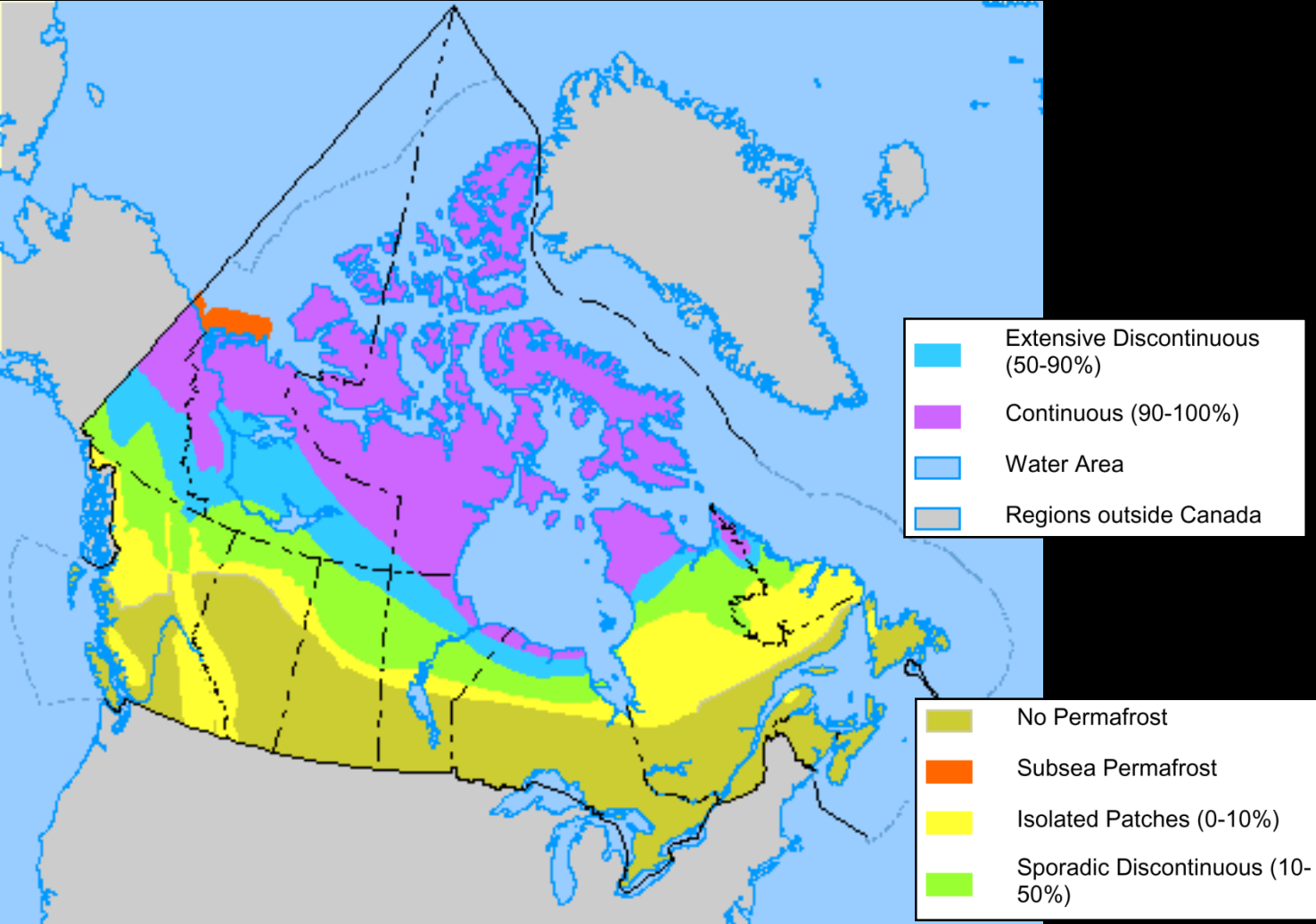
Received: 23 May 2017  
Accepted: 1 February 2018  
Published online: 12 February 2018

Glacier- and snowpack-derived meltwaters are threatened by climate change. Features such as rock glaciers (RGs) are climatically more resilient than glaciers and potentially contain hydrologically valuable ice volumes. However, while the distribution and hydrological significance of glaciers is well studied, RGs have received comparatively little attention. Here, we present the first near-global RG database (RGDB) through an analysis of current inventories and this contains >73,000 RGs. Using the RGDB, we identify key data-deficient regions as research priorities (e.g., Central Asia). We provide the first approximation of near-global RG water volume equivalent and this is  $83.72 \pm 16.74$  Gt. Excluding the Antarctic and Subantarctic, Greenland Periphery, and regions lacking data, we estimate a near-global RG to glacier water volume equivalent ratio of 1:456. Significant RG water stores occur in arid and semi-arid regions (e.g., South Asia East, 1:57). These results represent a first-order approximation. Uncertainty in the water storage estimates includes errors within the RGDB, inherent flaws in the meta-analysis methodology, and RG thickness estimation. Here, only errors associated with the assumption of RG ice content are quantified and overall uncertainty is likely larger than that quantified. We suggest that RG water stores will become increasingly important under future climate warming.

La porzione di superficie Terrestre al di sotto della quale il Permafrost potrebbe essere presente è stimata in circa  $22 \pm 3 \times 10^6 \text{ km}^2$ , approssimativamente il 17% delle aree continentali globali

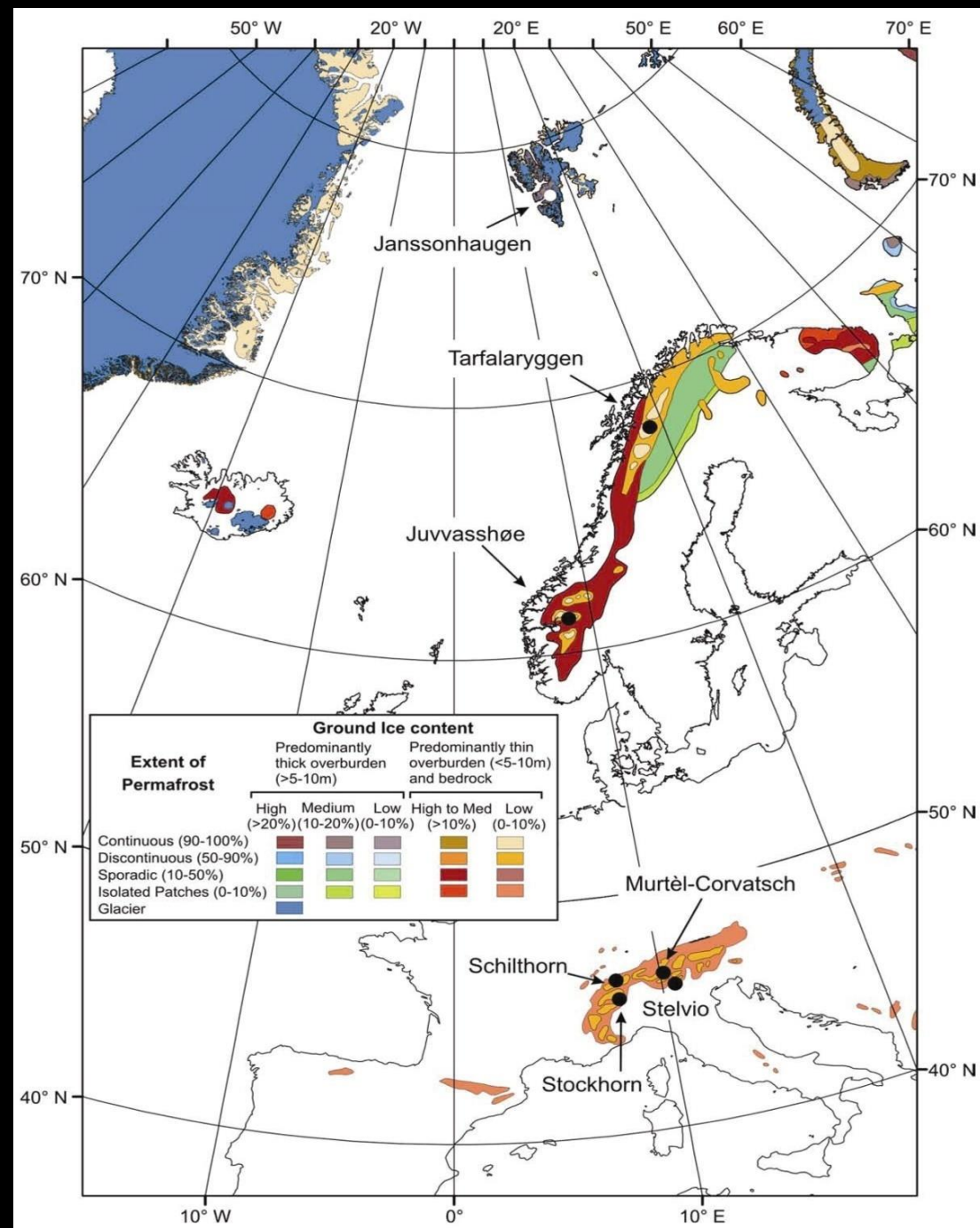
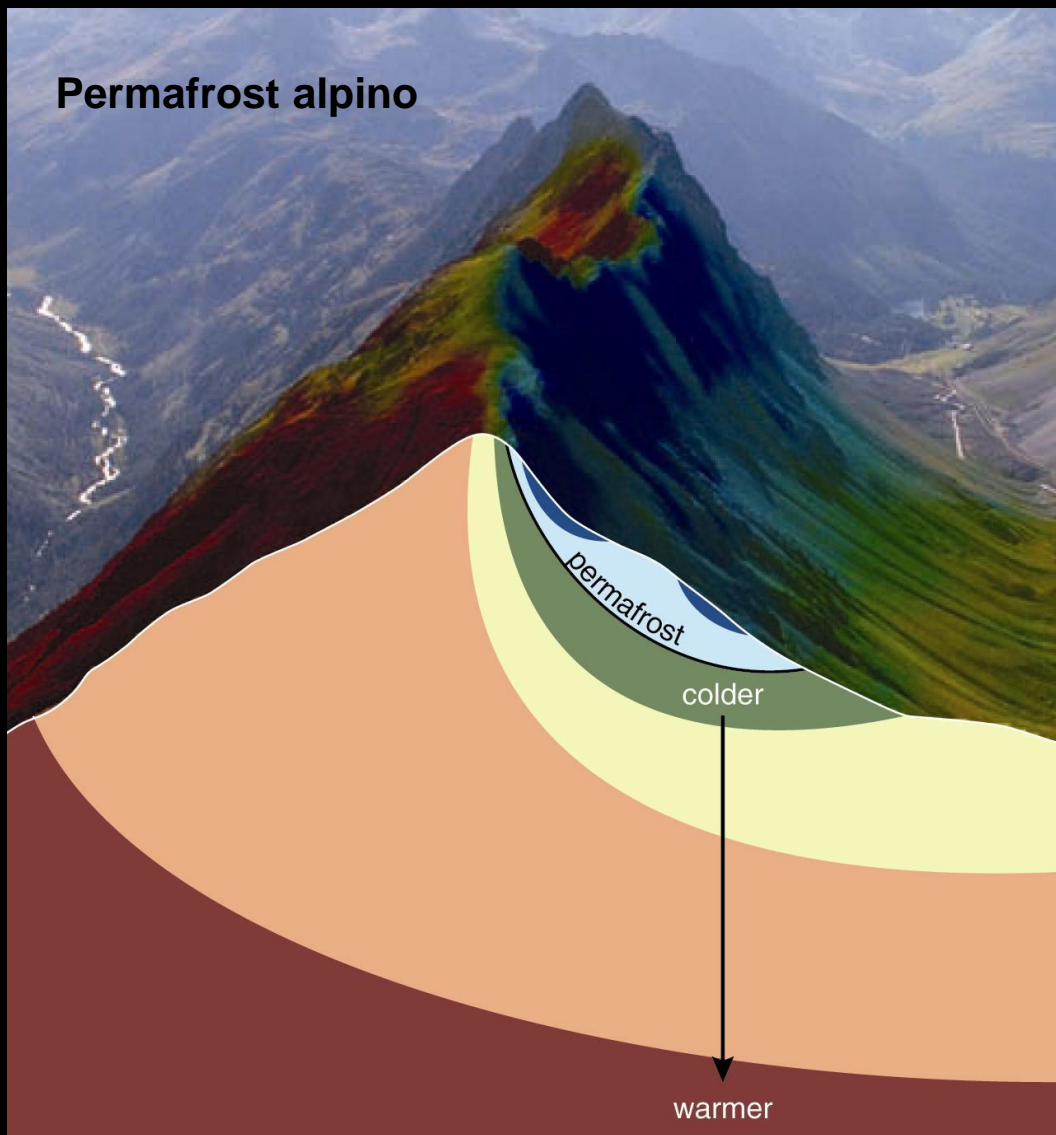


Il permafrost caratterizza la superficie di circa l'80% dell'Alaska, il 50% del Canada, il 50% dell'ex Unione Sovietica ed il 25% della Repubblica Popolare Cinese





Nel continente europeo il permafrost esiste sia alle alte che basse latitudini (alle alte quote sulle principali catene montuose)



# Permafrost e global change

Diverse associazioni scientifiche e progetti internazionali si occupano del studio del permafrost

**IPA**–International Permafrost Association

**IGU**–International Geographic Union, Commission  
“*Climatic change and periglacial environment*”

Global Terrestrial Network for Permafrost (**GTN-P**)

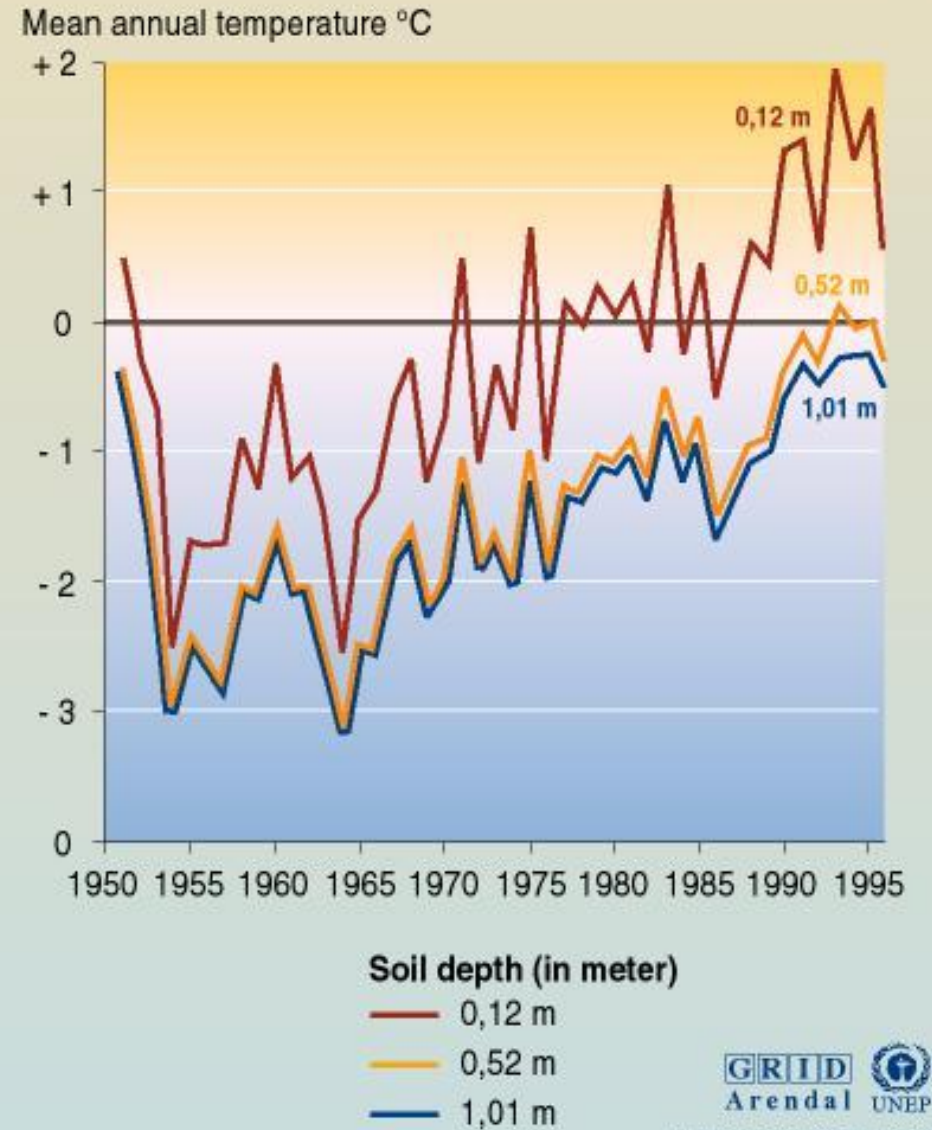
**PACE**–*Permafrost and Climate in Europe*

**CALM**–*Circumarctic Active layer Monitoring*

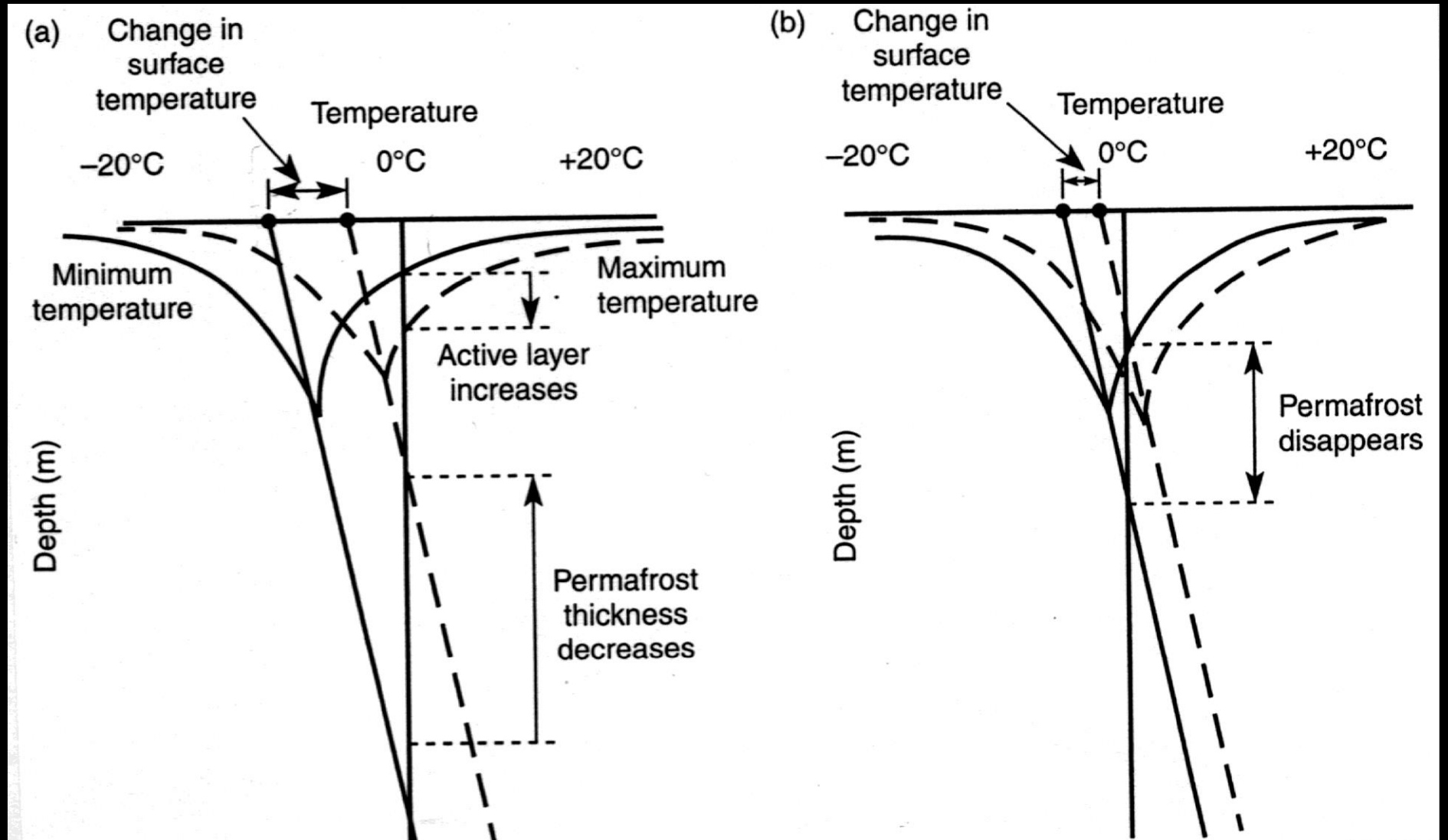
**PRIN 2005**-*Disintegration of Alpine glaciers and dynamics of deglaciated areas in the Maritime and Central Alps*

**PERMANET 2009**- Network of permafrost monitoring in the Alps (Interreg)

## Change in permafrost temperatures at various depths in Fairbanks (Alaska)



Uno dei cambiamenti più importanti avverrà nella distribuzione geografica e negli spessori del permafrost, causando delle ricadute applicative e ambientali



# Permafrost – conseguenze applicative della sua degradazione



Pipeline Prudhoe Bay-Valdez (Alaska)



Cedimenti con creazione di cavità (b)



Cedimenti di fondazione di edifici

(a)



Deformazione di sottoservizi



Erosione costiera per perdita di coesione dovuta alla fusione del permafrost

## Degradazione del Permafrost e destabilizzazione dei versanti

La perdita di resistenza al taglio lungo fratture cementate da ghiaccio durante periodi di riscaldamento e scongelamento è legata alla:

- cambiamenti nell'interlocking ghiaccio/roccia
- modifiche adesione ghiaccio/roccia
- aumento pressione d'acqua nei pori
- diminuzione della resistenza al taglio del ghiaccio ad  $T$  prossime al punto di fusione

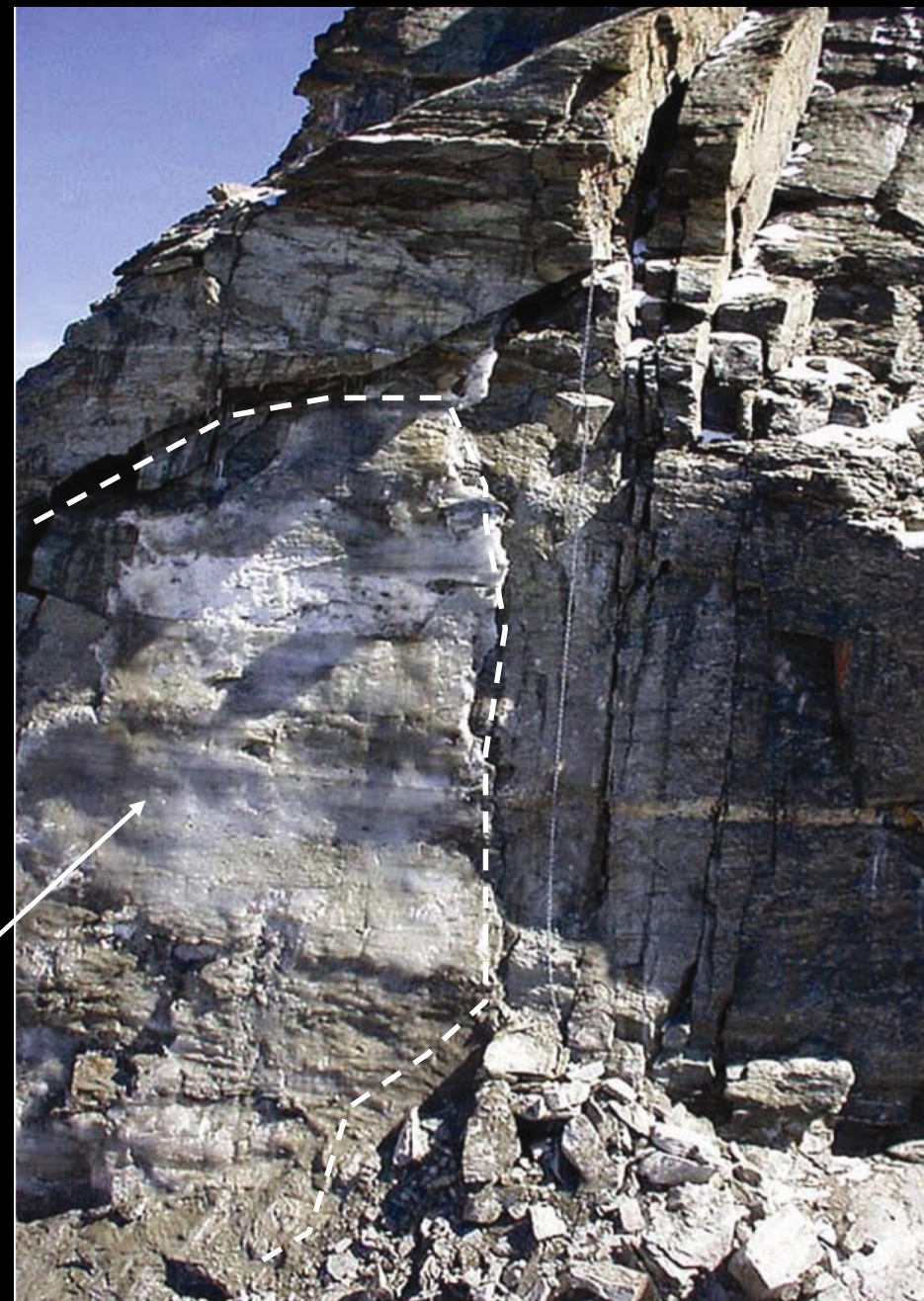


Frana Val Pola (Luglio 1987)

Rock fall Cima Thurwieser (2004)



Superficie di scivolamento coperta di ghiaccio di segregazione esposta da un crollo avvenuto nel 2003 (Matterhorn)



# Forme della superficie indicative dell'esistenza di permafrost

- Fratture e poligoni da contrazione termica
- Rock glacier
- Frost mounds

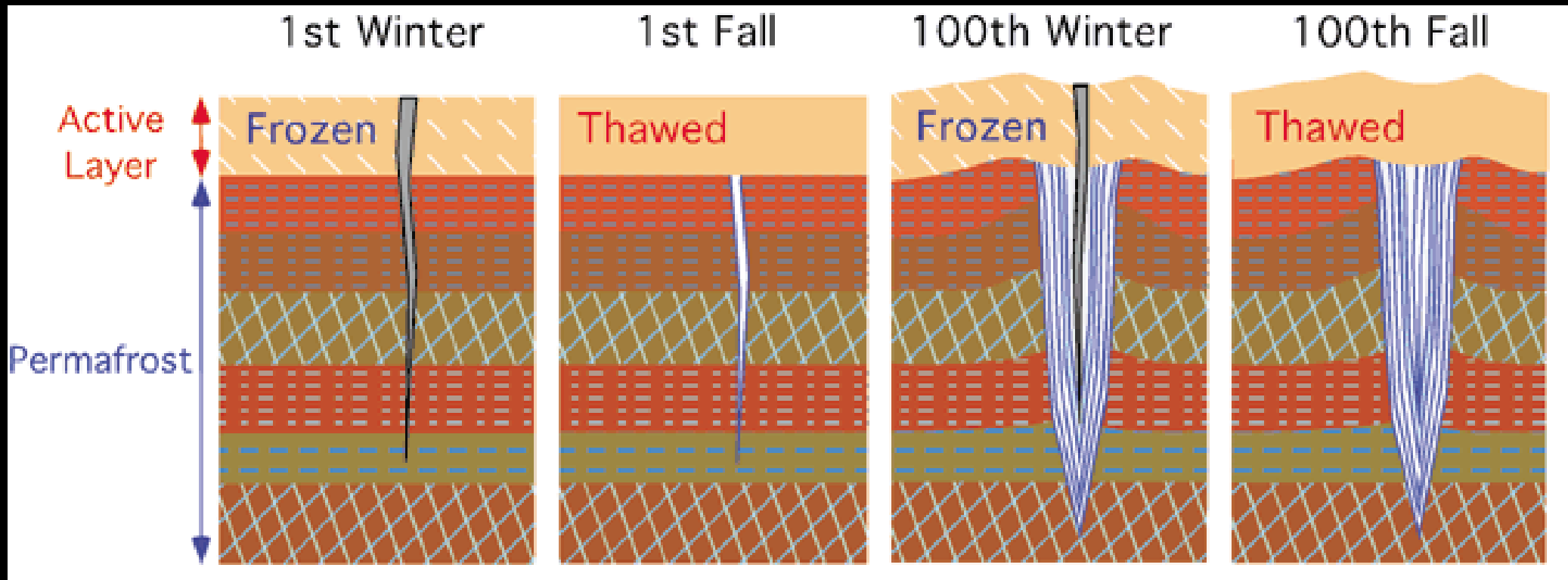




- fratture di contrazione termica
- cunei di ghiaccio



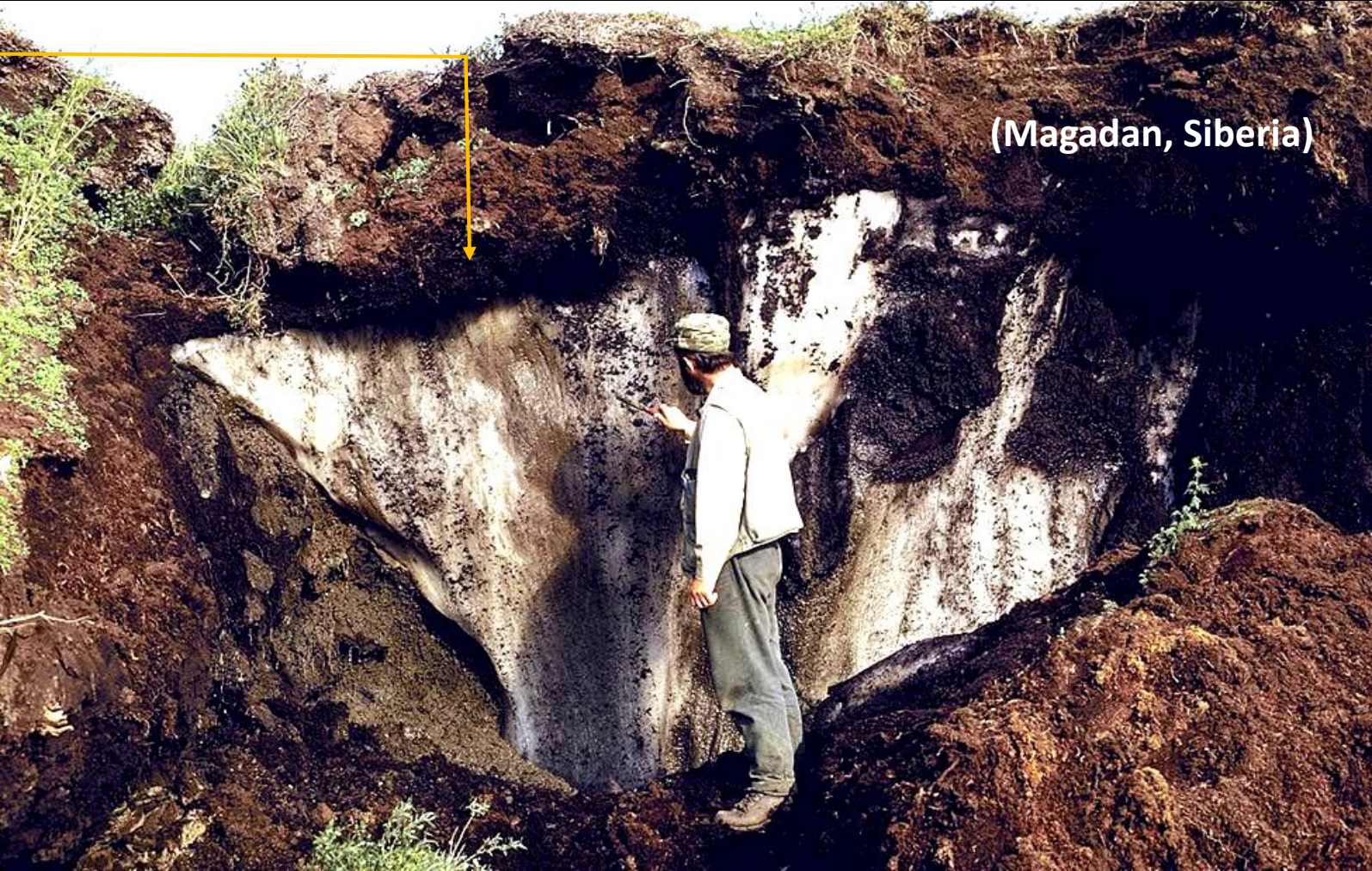
# Cuneo di ghiaccio (ice wedge)



cuneo di ghiaccio (ice wedge)

soil wedge - relitto e/o pseudomorfo  
di cunei di ghiaccio a seguito della  
fusione del permafrost

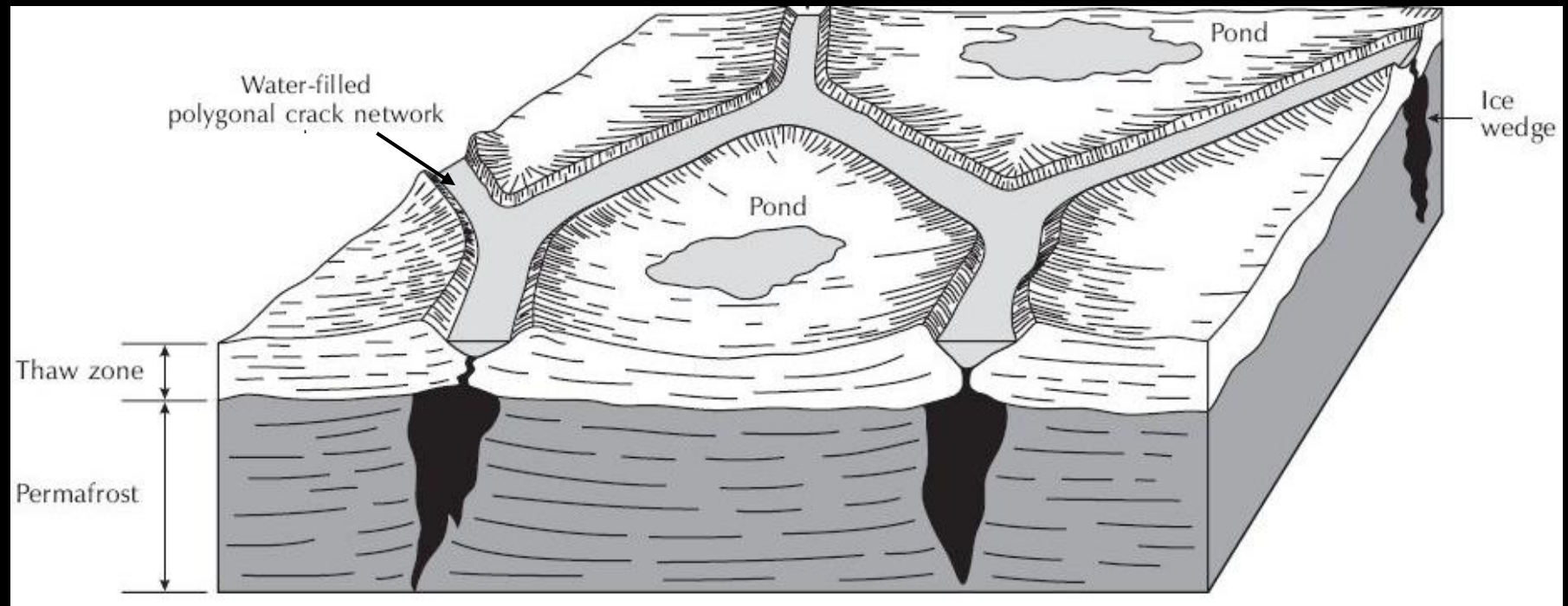
(Magadan, Siberia)



L'intersezione delle fratture termiche, successivamente riempite di ghiaccio, tende a formare poligoni di forma pseudo-esagonale, di dimensione da pluridecamentrica a decimentrica.

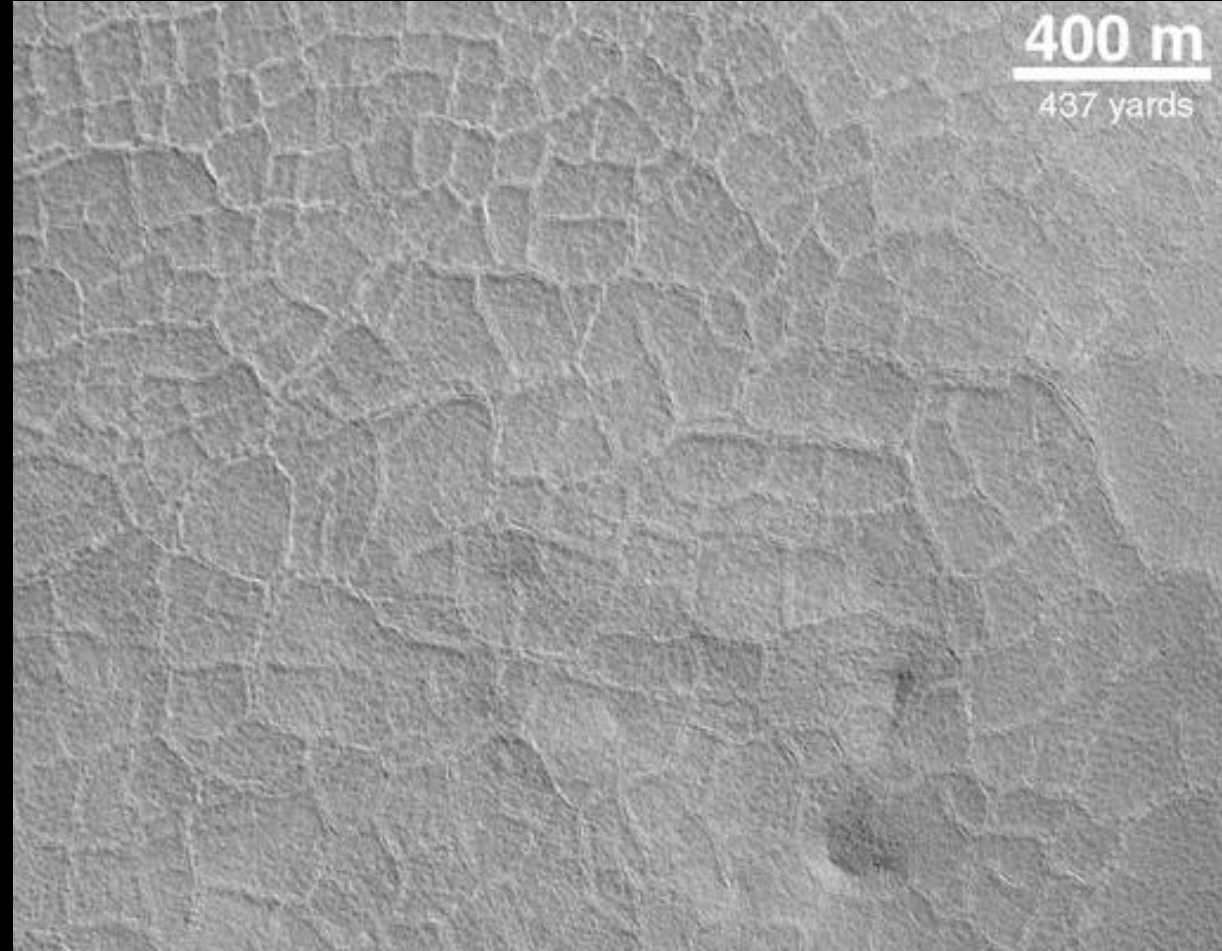
La parte superiore del poligono durante i mesi caldi e riempita di acqua (fusione stagionale dello strato attivo del permafrost).

La scomparsa del permafrost determina la formazione di poligoni fossili





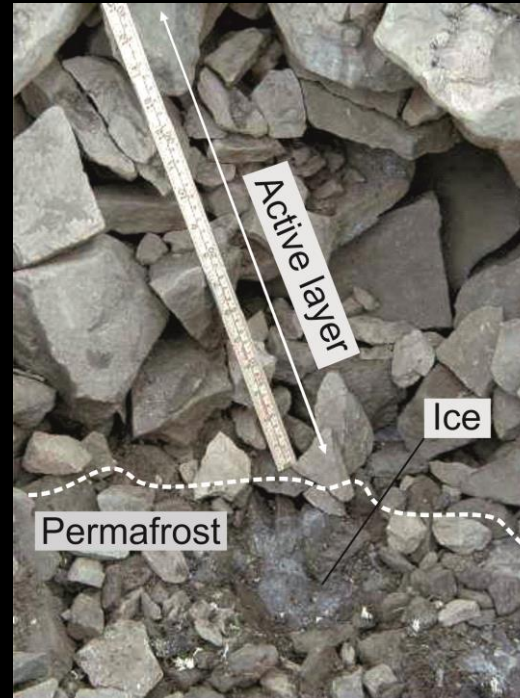
**Pattern poligonale (Terra)**



**Pattern poligonale (Marte)**

Rock glacier: miscella di detrito e ghiaccio in proporzioni variabili in lento movimento lungo i versanti

Sono le più evidenti, abbondanti e studiate forme legate al permafrost nelle regioni montuose



Red lines: Ground-Penetrating Radar profiles  
Yellow line: Electrical Resistivity Tomography profile  
Yellow line is 260 m long

Parte frontale Rock glacier Marinnet  
(Ubaye, Francia)



King Throne Rock glacier (St Elias Range, Alaska)



# Conclusioni

- Il Permafrost è una sentinella del cambiamento climatico: la sua fusione è indice di una variazione soprattutto della Temperatura della aria media annua, oltre che del regime delle precipitazioni
- La fusione del permafrost causa conseguenze sul clima (liberando nell'atmosfera gas serra soprattutto nelle regioni di tundra artica) ed induce l'insorgere di rischi naturali (es. frane, alluvioni, incremento dell'erosione, destabilizzazione di terreni di fondazione)
- Il valore idrologico del Permafrost all'interno degli accumuli detritici delle aree di montagna (es. rock glacier) è diventato un argomento cruciale in quanto rappresenta una riserva di acqua allo stato solido
- Il Permafrost interagisce con gli ecosistemi, il suo studio comprende diverse discipline (biologia, zoologia, botanica, chimica....)