

LA CRIOSFERA

Introduzione generale

Luca Carturan

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università di Padova

Elementi della criosfera

Criosfera:

“porzione della terra in cui l’acqua si trova allo stato solido”

Gli elementi della criosfera più rilevanti in ambito alpino sono:

- Neve stagionale
- Ghiacciai
- Terreno congelato e permafrost

Altre componenti:

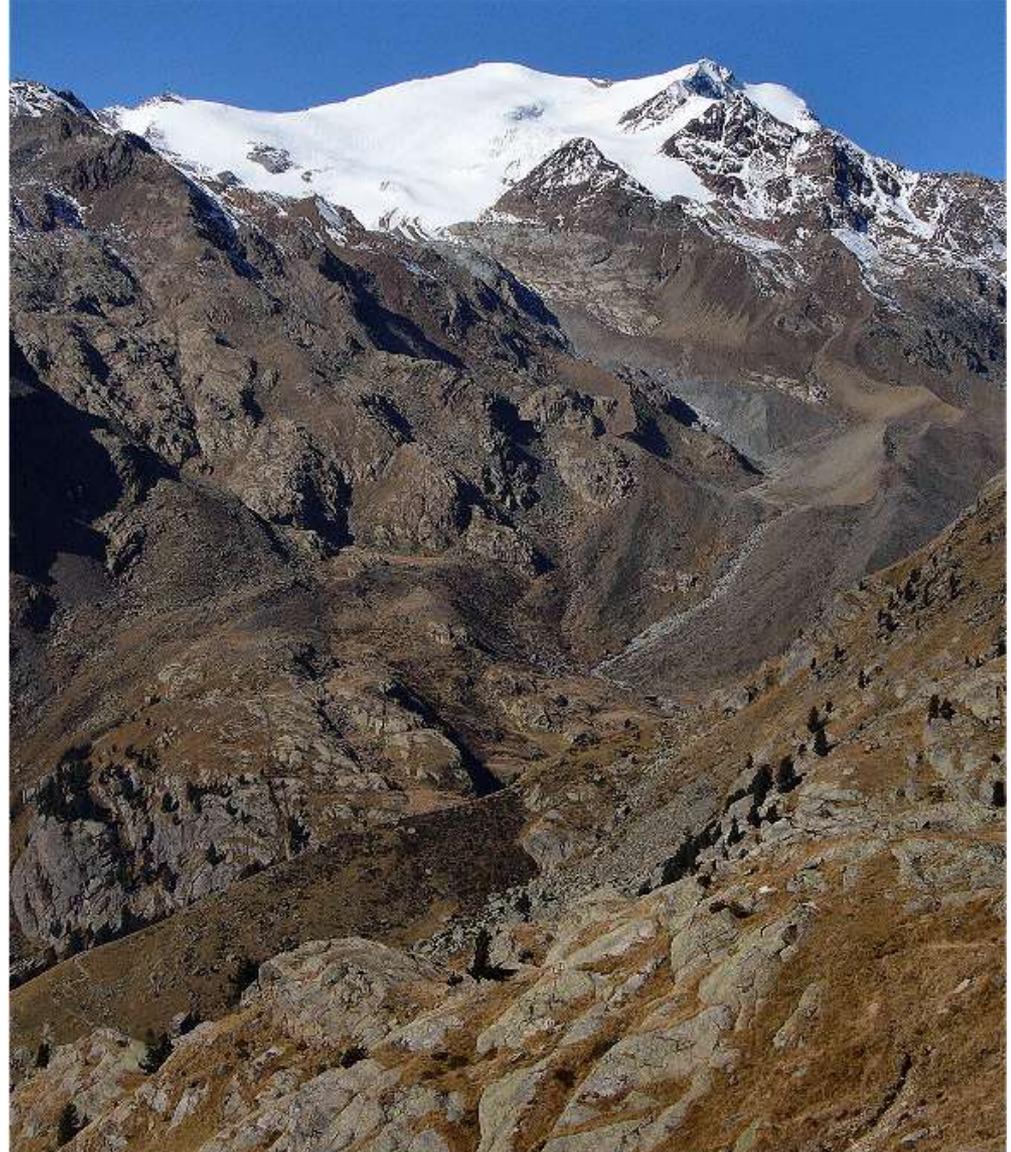
- Ghiaccio fluviale, lacustre, marino, ecc...



Argomenti della lezione

Per ogni elemento della criosfera:

- Processi
- Forme e pattern
- Risposta alle variazioni climatiche (esempi)



Importanza della criosfera

Elevata sensibilità climatica

Quindi:

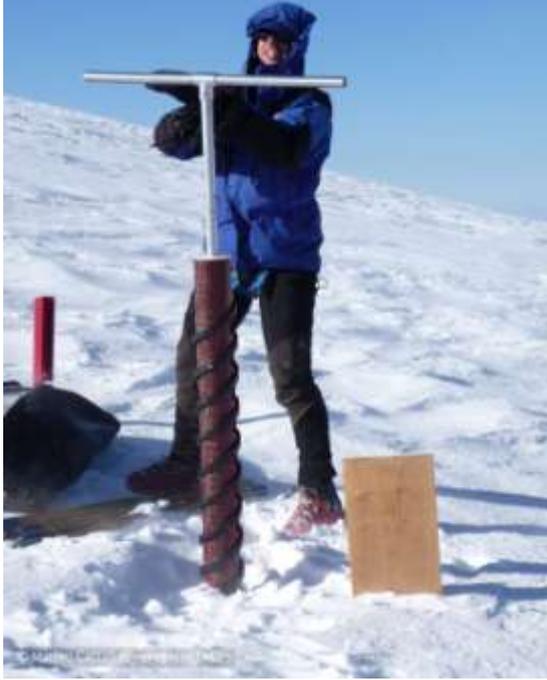
-Eccezionali indicatori
ambientali

-Necessità di approfondire la
conoscenza per fare ipotesi
sull'evoluzione futura

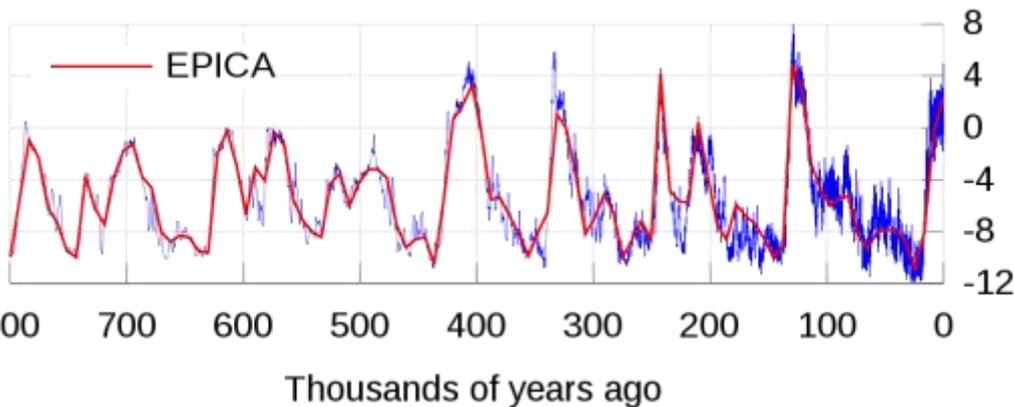


Criosfera come indicatore paleoclimatico (“termometri naturali”)

Ortles – 12-06-2009 (P. Gabrielli)



Mediante l'estrazione di **carote di ghiaccio** e la **ricostruzione dei ghiacciai nel passato** è possibile ricostruire la storia climatica di una regione



Importanza della criosfera

Fondamentali risorse idriche



Elettroblackout.altervista.org



www.parks.it

Lago del Careser – 30-09-2010

Importanza della criosfera

Agente morfogenetico



<http://de.academic.ru>





Importanza della criosfera

Paesaggio e

richiamo turistico

2008



Importanza della criosfera

Pericoli potenziali



Importanza della criosfera

Pericoli potenziali



La neve stagionale - processi

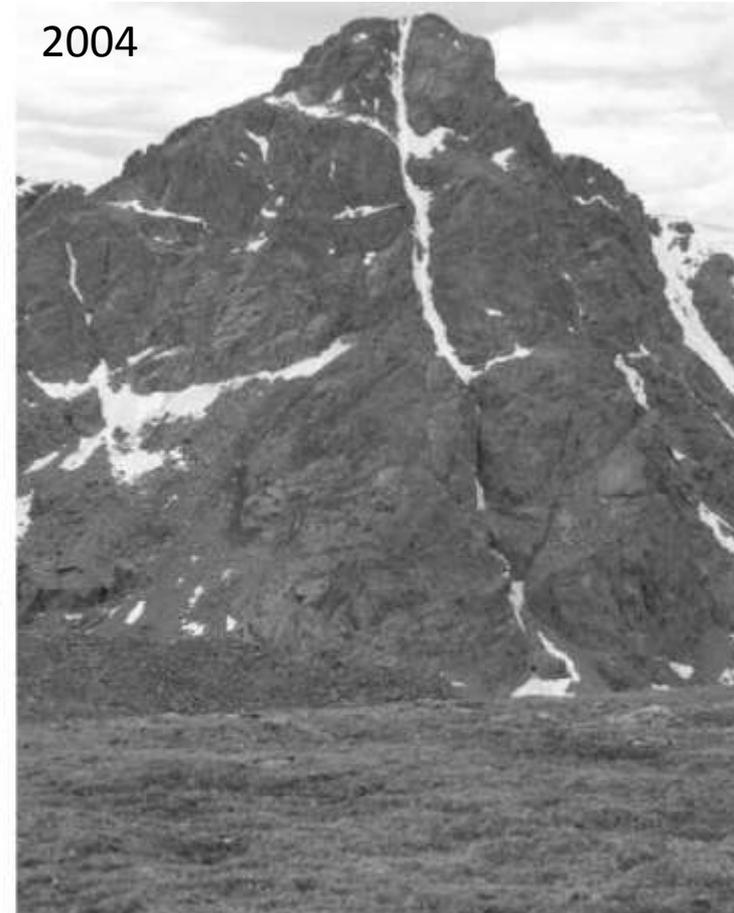
Tipico ciclo annuale: **stagione di accumulo** in cui l'equivalente in acqua (water equivalent, w.e.) del manto nevoso aumenta, seguito dalla **stagione di ablazione** in cui la neve fonde e il w.e. diminuisce, fino ad azzerarsi.



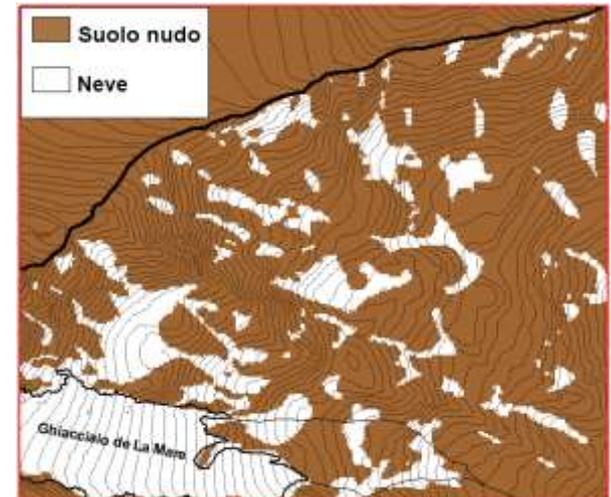
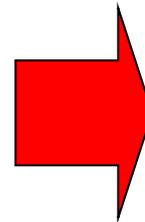
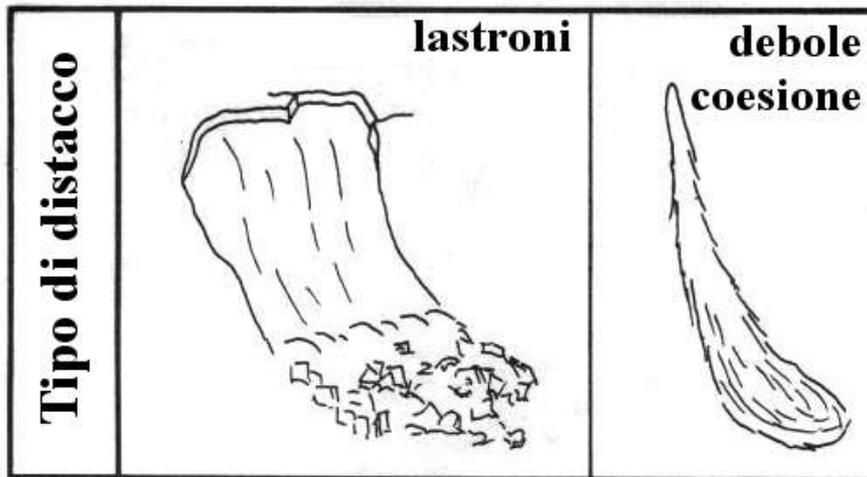
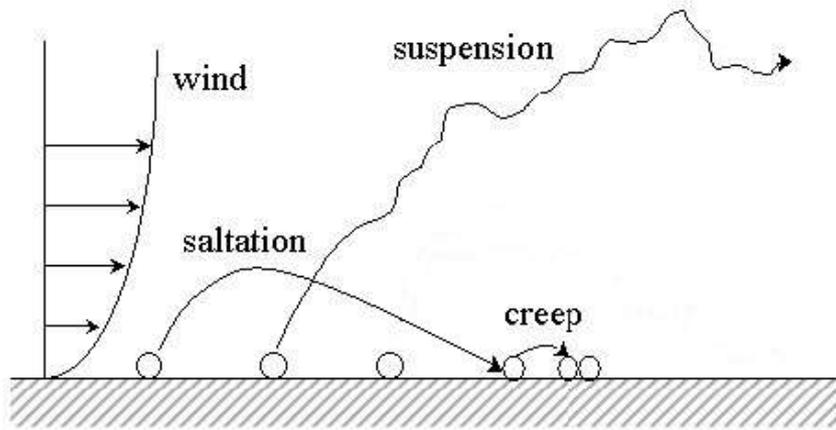
Alta val de La Mare - 24-04-2004 (a sinistra) e 23-08-2004 (a destra)

Processi di accumulo: portano ad un aumento del w.e. della neve

Processi di deposizione preferenziale e redistribuzione: danno origine ad un “pattern” (schema ricorrente) di distribuzione che si ripete di anno in anno (clima + topografia locale)



Nei bacini di alta quota, privi di copertura forestale, sono particolarmente attivi i processi di **redistribuzione eolica** e **gravitativa** del manto nevoso.



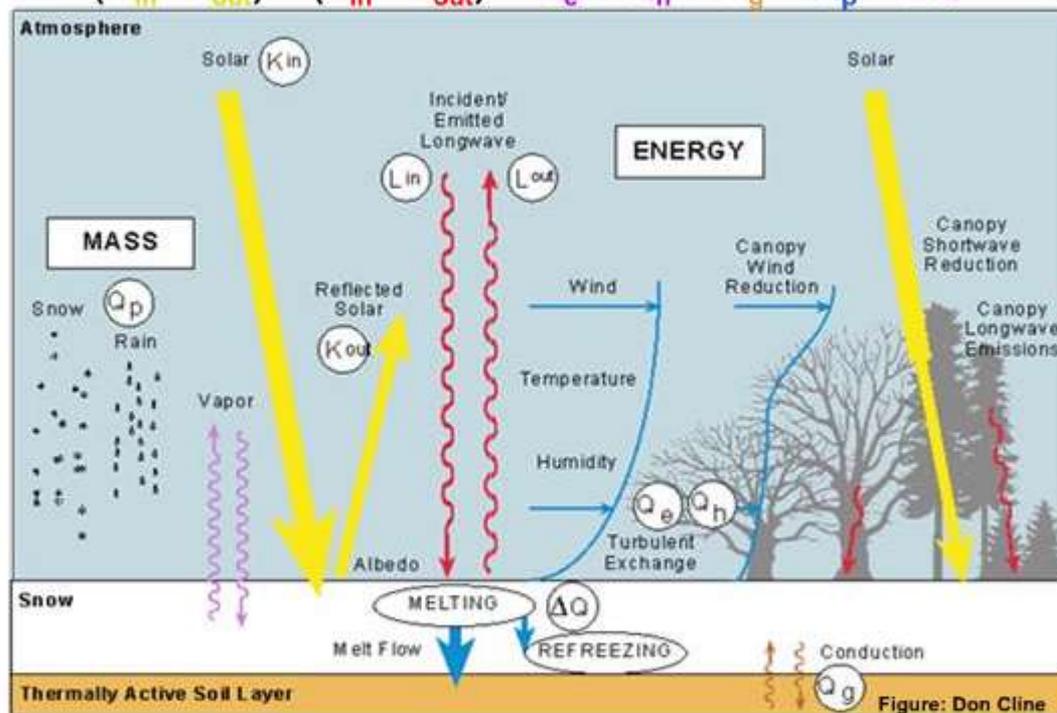


Processi di ablazione: portano ad una diminuzione del w.e. della neve

EQUAZIONE DEL BILANCIO ENERGETICO DEL MANTO NEVOSO:

Energy Exchange Diagram

$$(K_{in} - K_{out}) + (L_{in} - L_{out}) + Q_e + Q_h + Q_g + Q_p = \Delta Q$$



K = shortwave Q_e = latent heat flux Q_g = ground source
L = longwave Q_h = sensible heat flux Q_p = precip source

Processi di ablazione

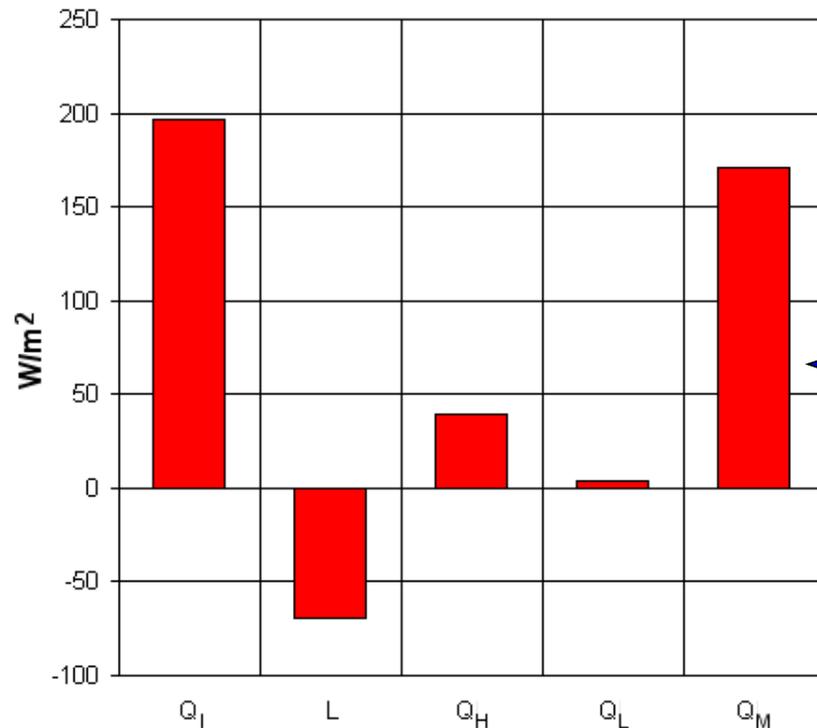
Il flusso netto di radiazione ad onda corta è dato dall'equazione:

$$Q_I = Q(1 - \alpha)$$

Dove:

Q = radiazione globale incidente

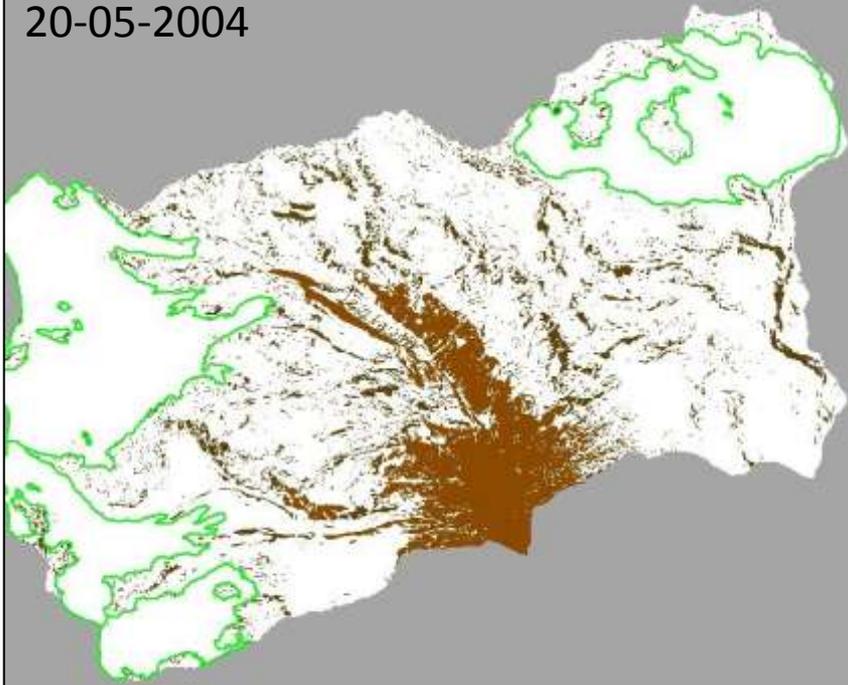
α = albedo, definito come rapporto tra radiazione riflessa e radiazione globale incidente.



Componenti del bilancio energetico mediate in condizione di fusione sul ghiacciaio de La Mare, tra il 5 giugno e il 24 settembre 2005, alla stazione automatica di quota 2980 m s.l.m.

Q_I dominante, quindi **albedo** determinante per la variabilità spatio-temporale dell'energia disponibile per la fusione

20-05-2004

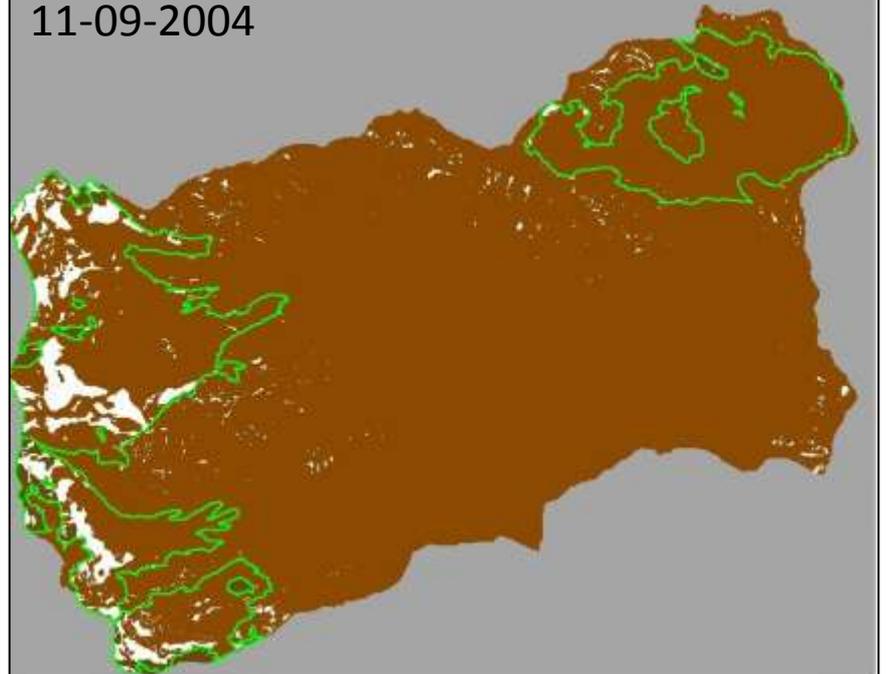


La neve stagionale – distribuzione e forme

23-07-2004



11-09-2004

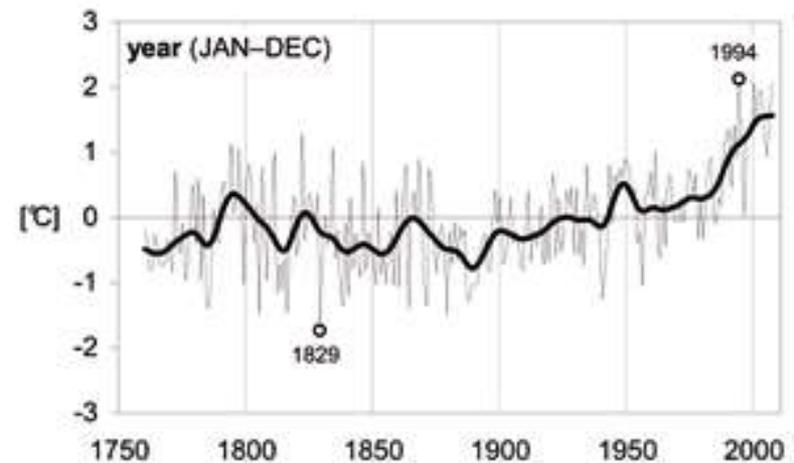
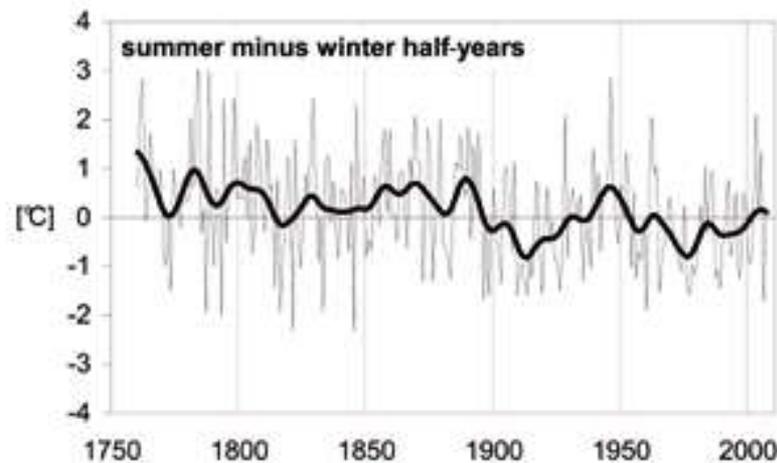
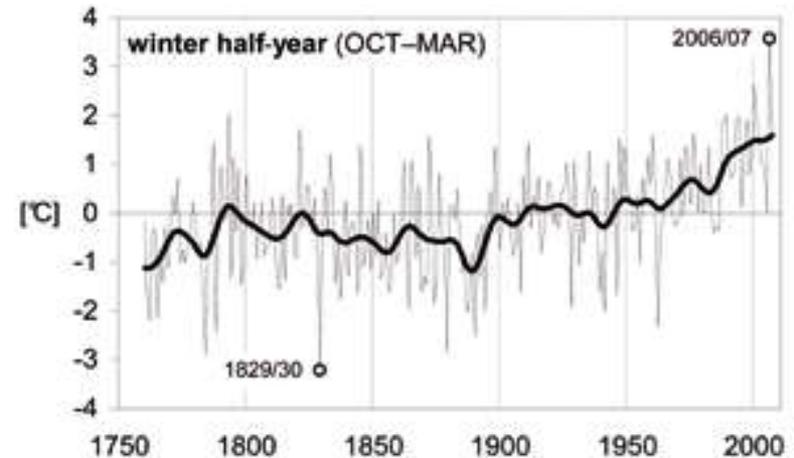
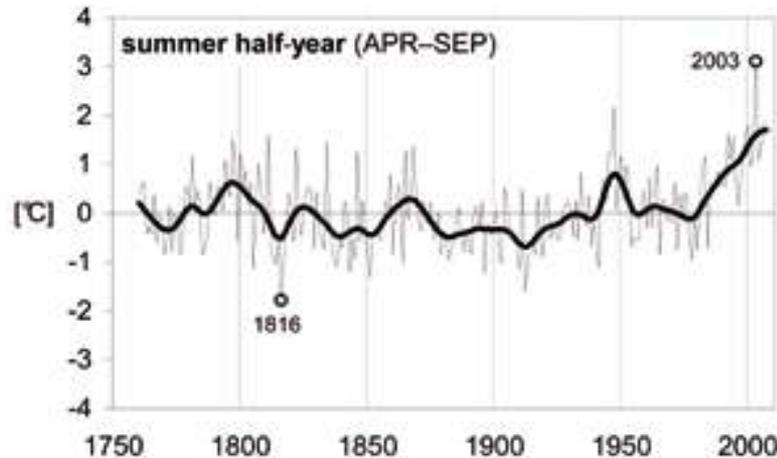


La neve stagionale – distribuzione e forme



La neve stagionale – risposta alle variazioni climatiche

Scala regionale: Greater Alpine Region (GAR) – Temperatura dell'aria

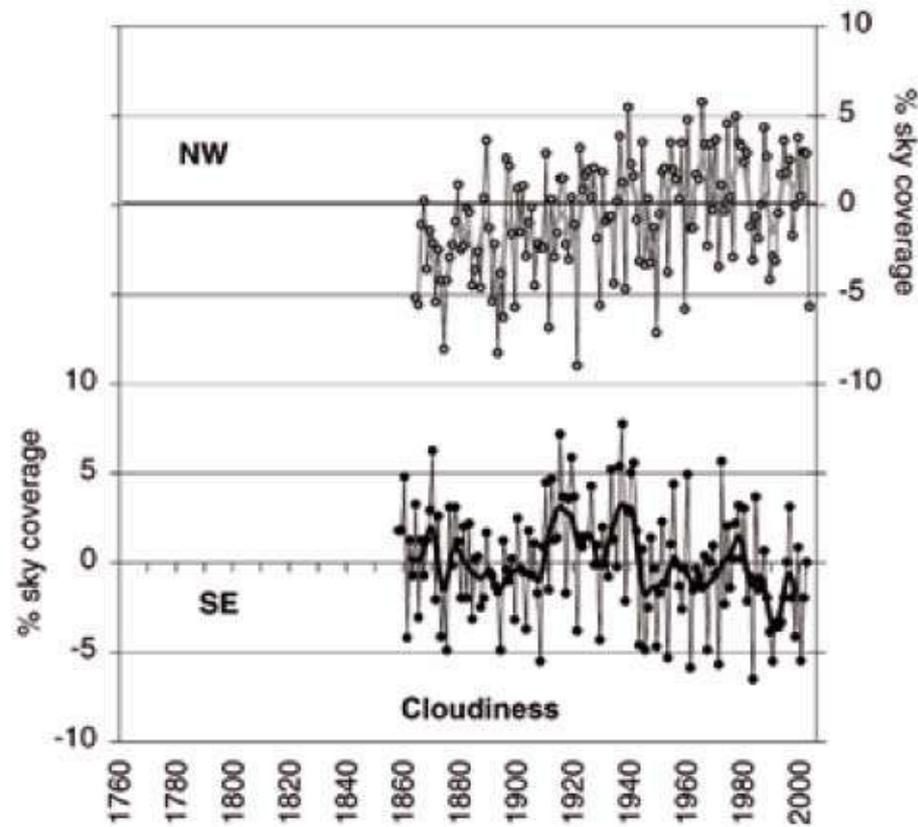
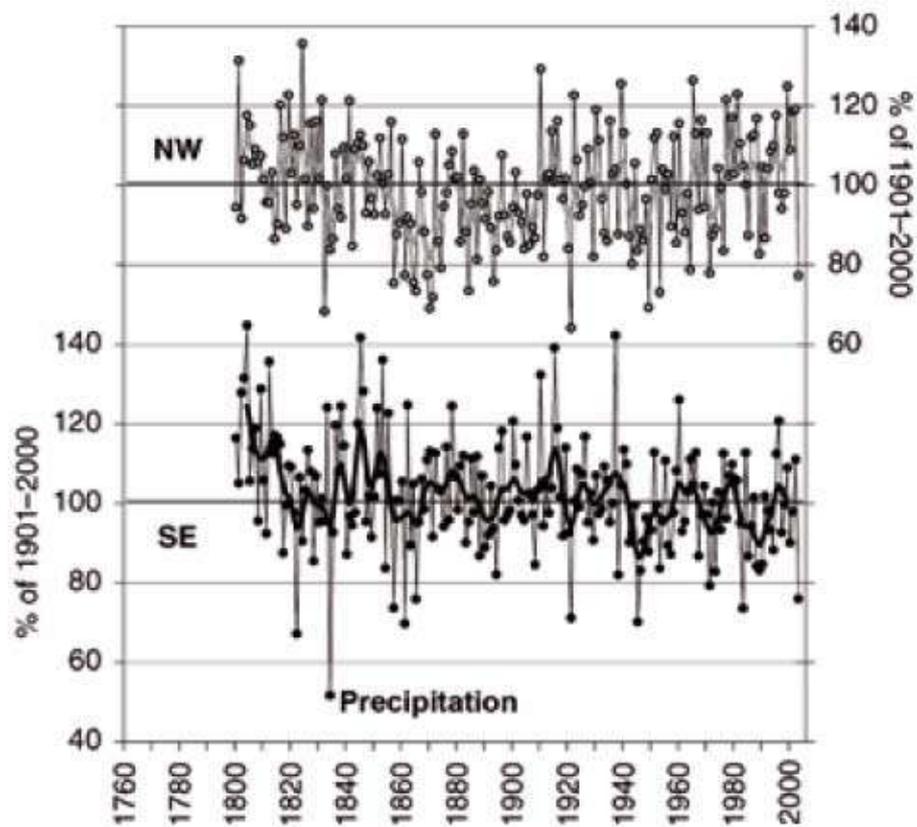


Note: Single years (thin lines) and 20-year smoothed mean (bold lines). All relative to 1851–2000 average, summer and winter half-years (first row), annual mean and annual range (second row).

Source: ZAMG-HISTALP database (version 2008, including the recent EI correction (EI = early instrumental period) described in Böhm *et al.*, 2008).

La neve stagionale – risposta alle variazioni climatiche

Scala regionale: Greater Alpine Region (GAR) – Precipitazione e nuvolosità

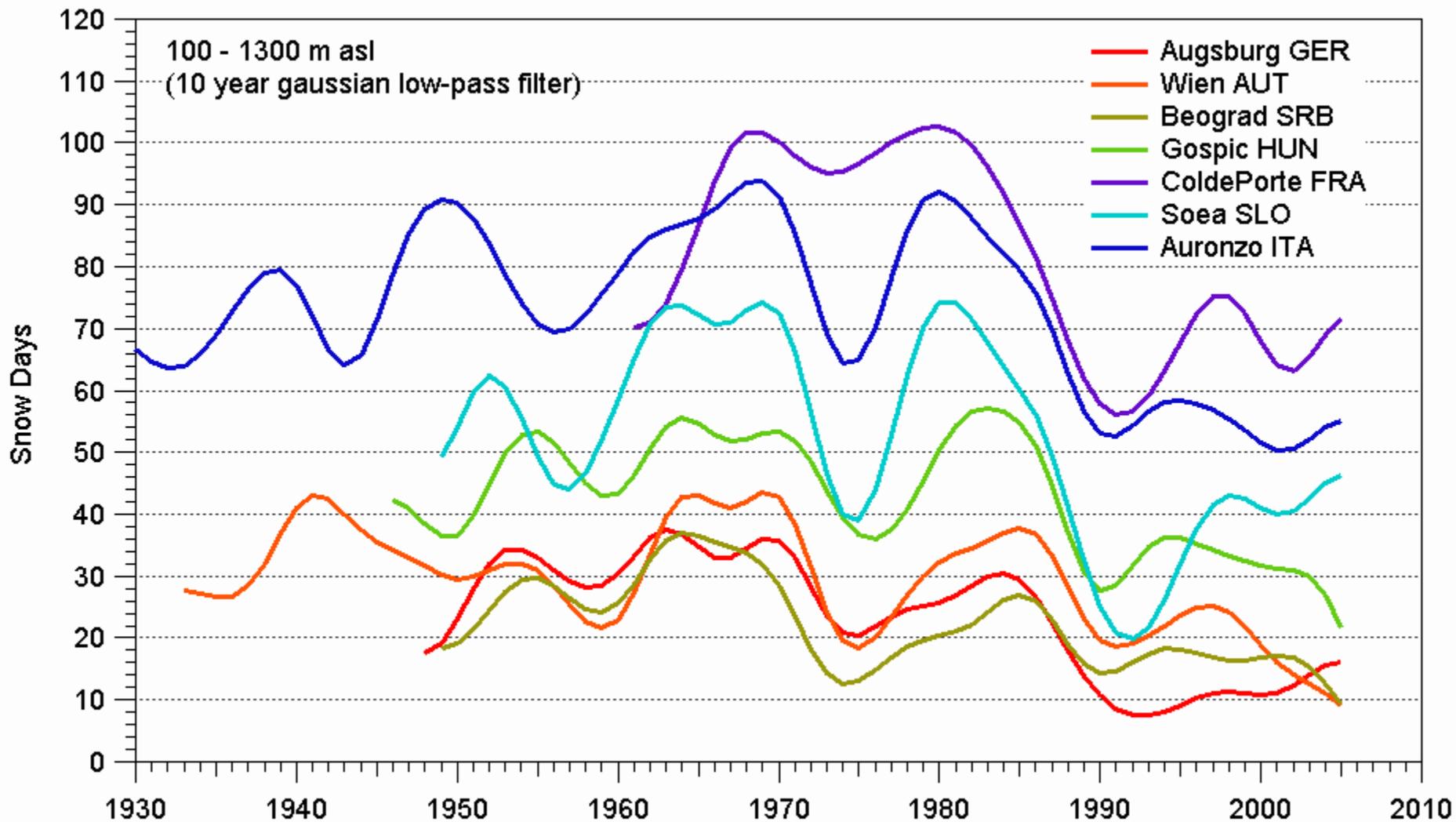


Note: NW (top, grey) vs SE (bottom, black). All values relative to the 1901–2000 averages. Single years (thin lines) and 10-years smoothed (bold lines).

Source: ZAMG-HISTALP database (Auer *et al.*, 2007).

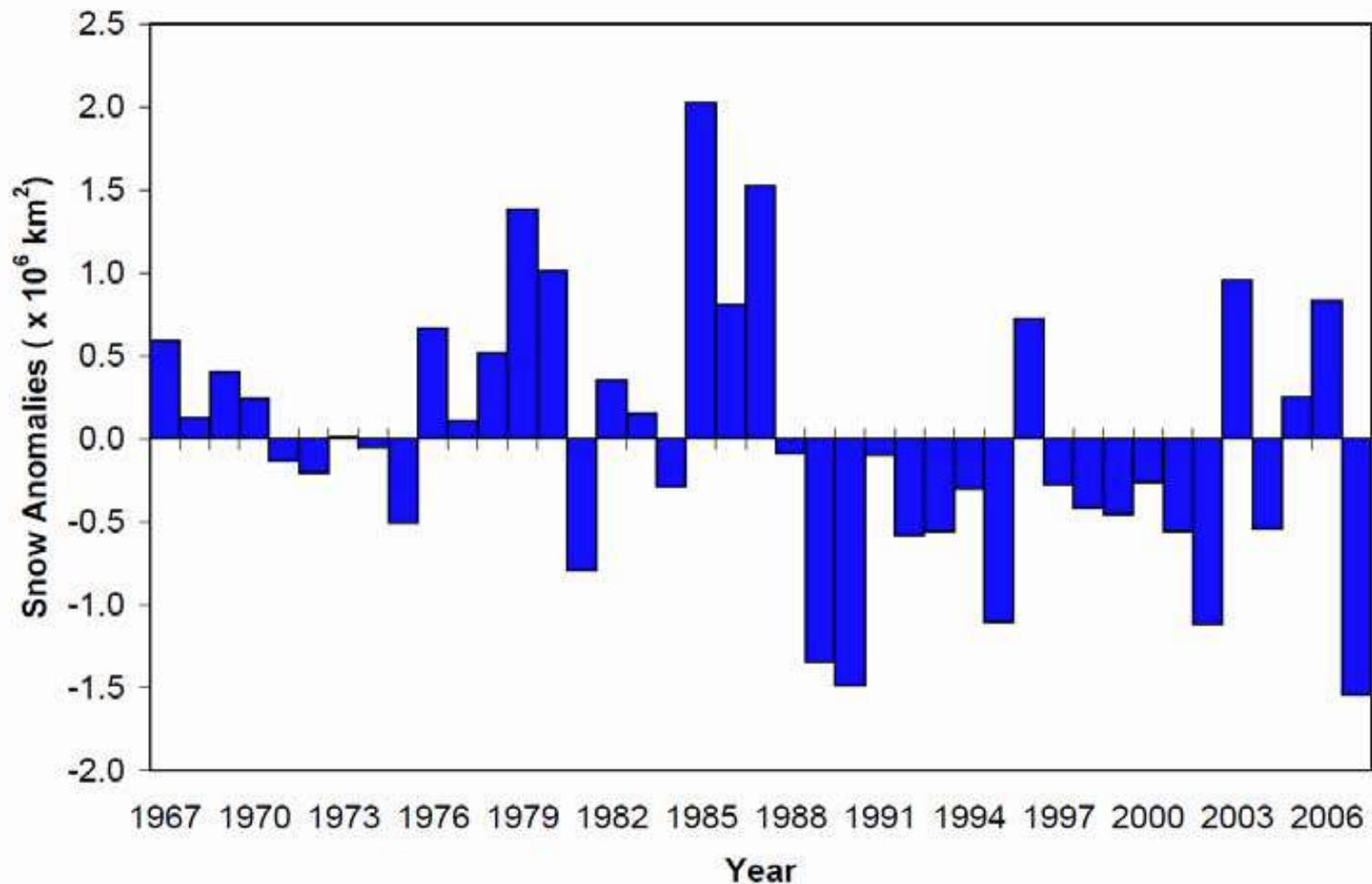
La neve stagionale – risposta alle variazioni climatiche

Scala regionale: Greater Alpine Region (GAR) – Giorni con neve al suolo (min. 5 cm) tra dicembre e marzo



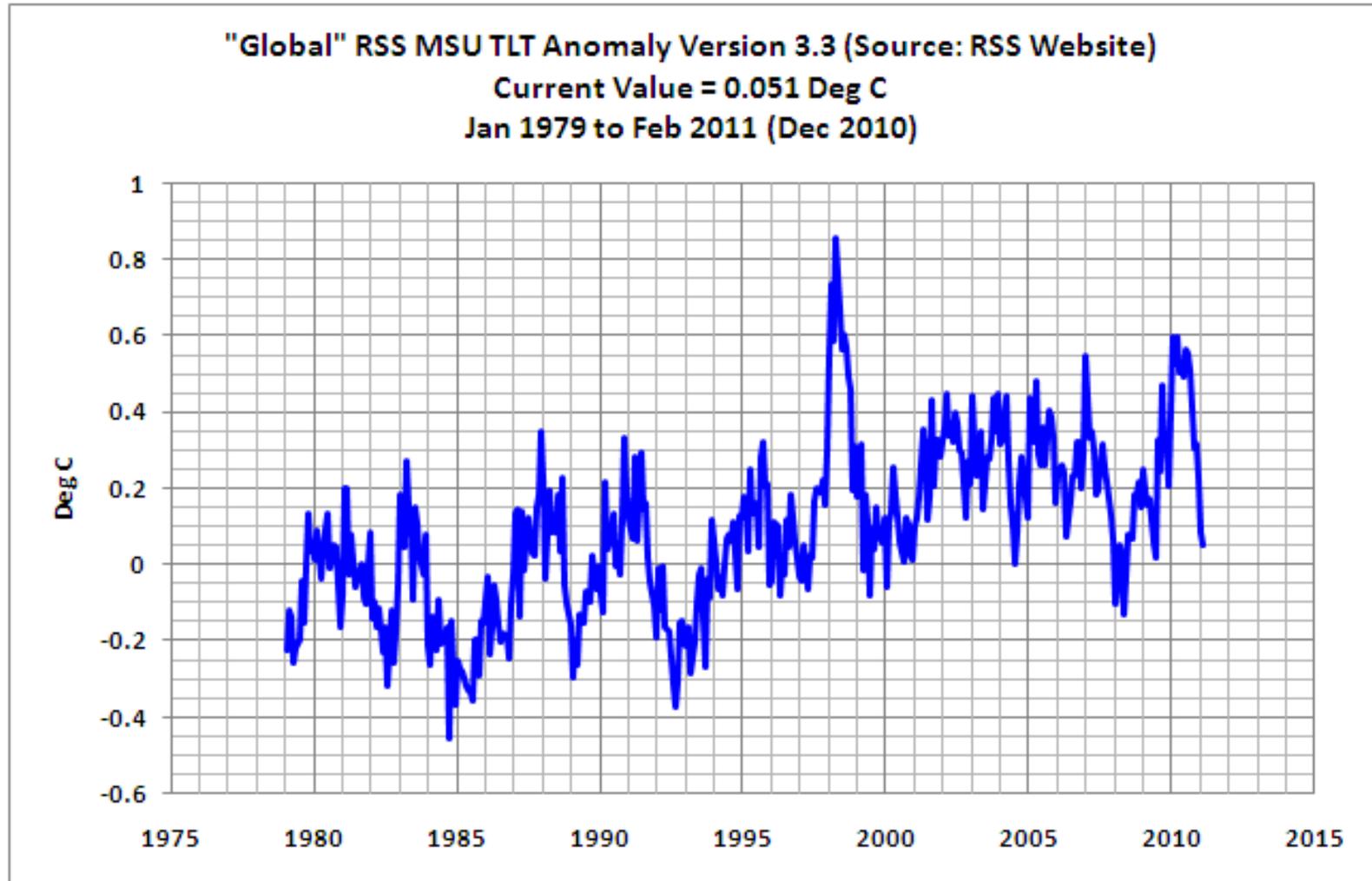
La neve stagionale – risposta alle variazioni climatiche

Scala continentale: Europa – Estensione della copertura nevosa in inverno



La neve stagionale – risposta alle variazioni climatiche

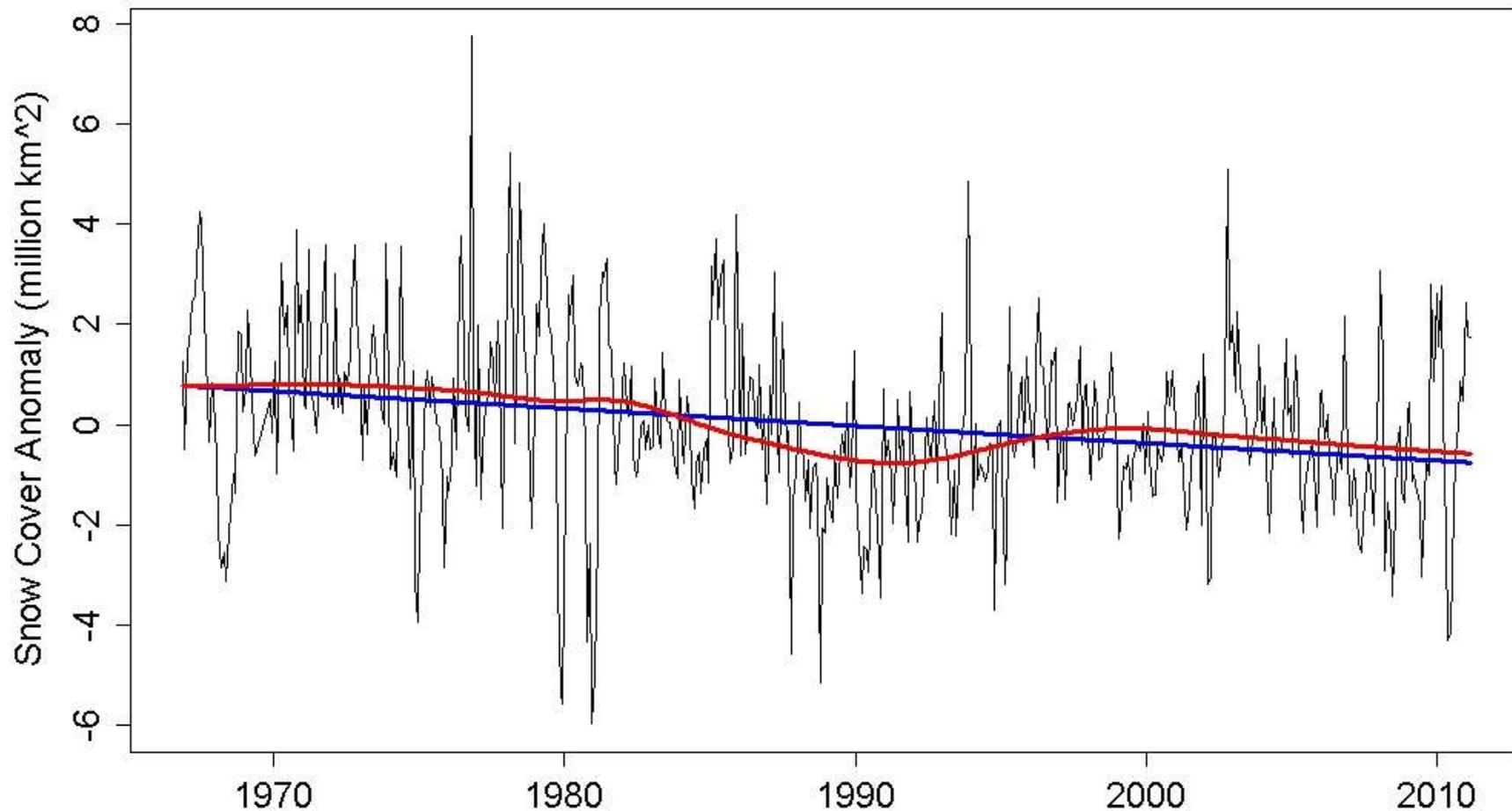
Scala globale: Anomalia termica mensile



La neve stagionale – risposta alle variazioni climatiche

Scala globale: Emisfero nord – Estensione della copertura nevosa media annua

N. Hemisphere



I ghiacciai – Processi

Ghiacciai: persistenti accumuli di ghiaccio, che deriva dalla trasformazione della neve, dotati di movimento

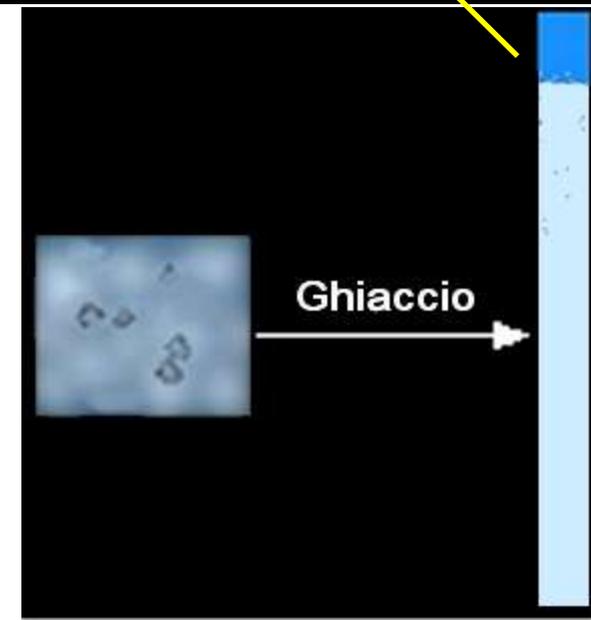


AMBIENTI DI FORMAZIONE: ambienti in cui la neve depositatasi durante la stagione invernale persiste anche alla fine dell'estate, accumulandosi di anno in anno

I ghiacciai – Processi



Il ghiaccio che si forma sulla parte alta del ghiacciaio (zona di accumulo) scorre verso il basso per effetto della gravità e arriva alla zona di ablazione, dove subisce fusione



I ghiacciai – Processi

L'AREA DI ACCUMULO

Neve fresca

Firn 2007

Firn 2006

Firn 2005

www.swisseduc.ch

E' la zona del ghiacciaio dove, alla fine dell'estate, rimane neve residua invernale



Glärnischgletscher,
Switzerland.
J. Alean, 1982.

I ghiacciai – Processi

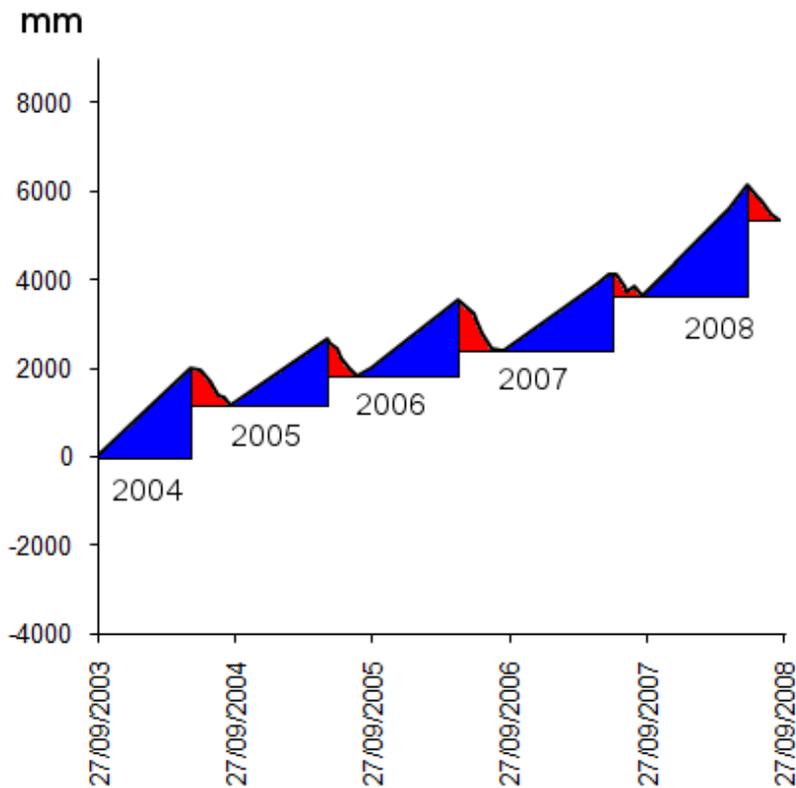
L'AREA DI ABLAZIONE



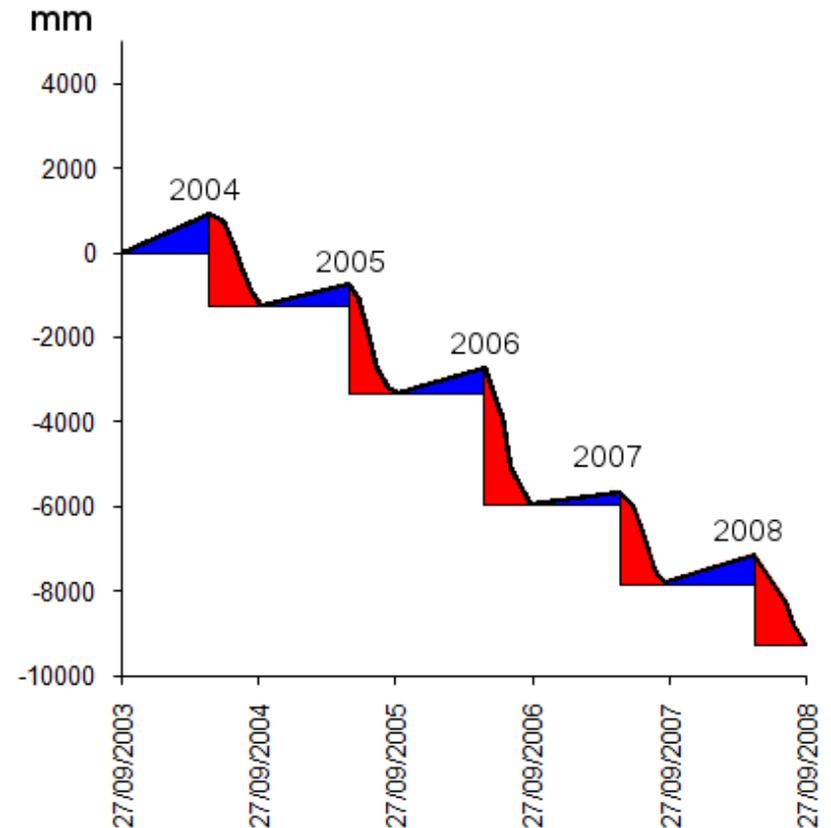
I ghiacciai – Processi

ANDAMENTO TEMPORALE

In zona di accumulo



In zona di ablazione



I ghiacciai – Processi

LA FRONTE



www.swisseduc.ch

Fronte in avanzata (Bergsetbreen, Norvegia. J. Alean, 2001)



Fronte in ritiro (Vedretta de La Mare. L. Carturan, 2010)

I ghiacciai – Processi

Processi di accumulo: tutti i processi che aggiungono massa al ghiacciaio

- Precipitazioni nevose
- Neve trasportata dal vento
- Neve depositata dalle valanghe

I ghiacciai – Processi

La trasformazione da neve a ghiaccio di ghiacciaio

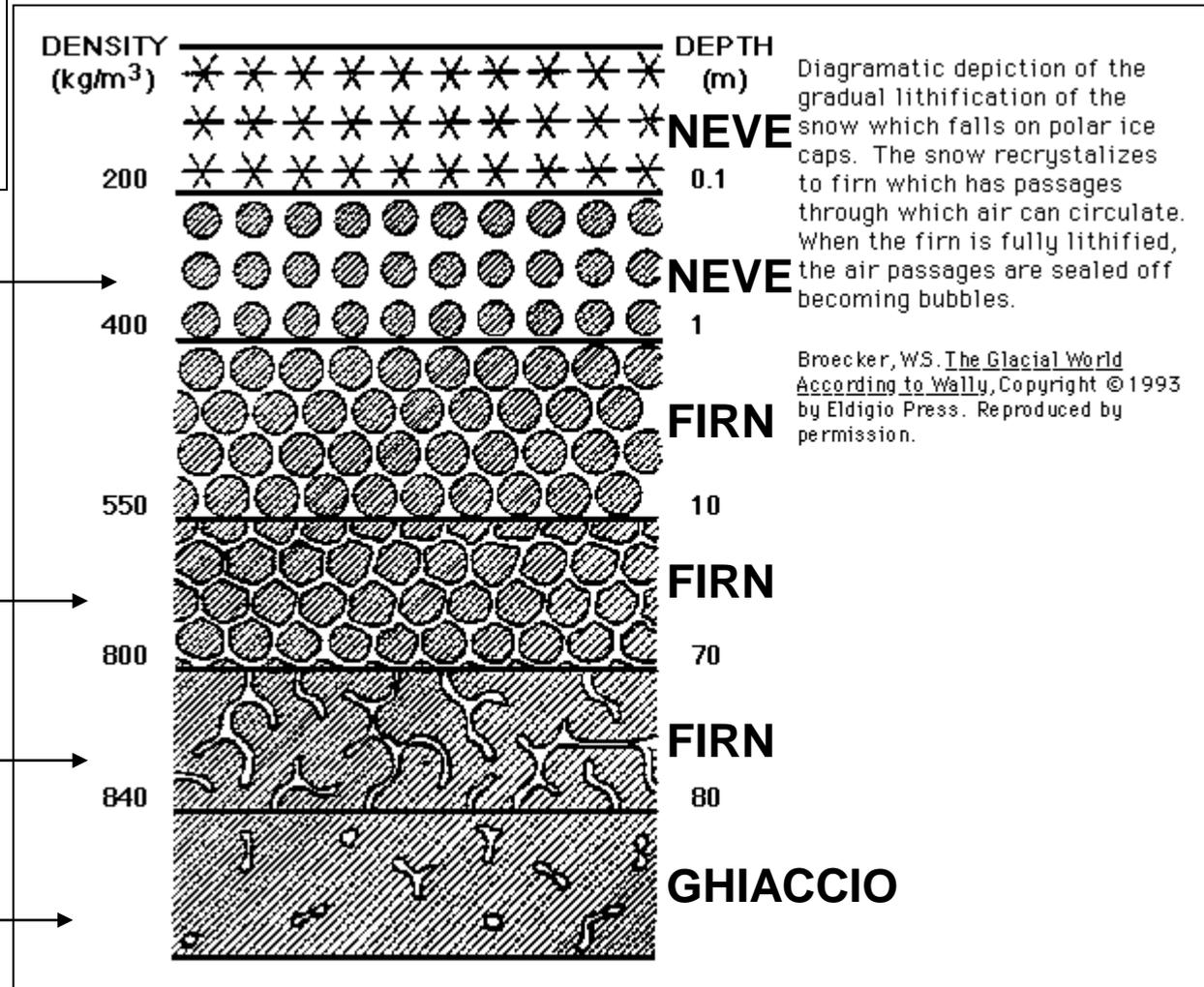
Processi: - fusione
- sublimazione
- ricongelamento
- compattamento

Arrotondamento

Crescita dei
cristalli e loro
compattamento

Coalescenza dei
cristalli

Isolamento di
bolle d'aria



Stratificazione di neve, firn e ghiaccio



Processi di ablazione: tutti i processi che tolgono massa dal ghiacciaio

- Fusione

- Calving



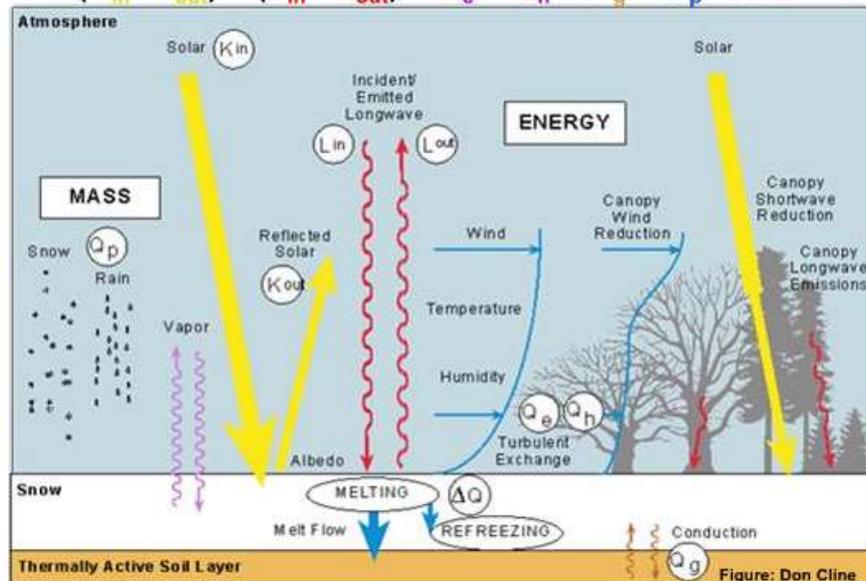
<http://www.swisseduc.ch>



I ghiacciai – Processi

Energy Exchange Diagram

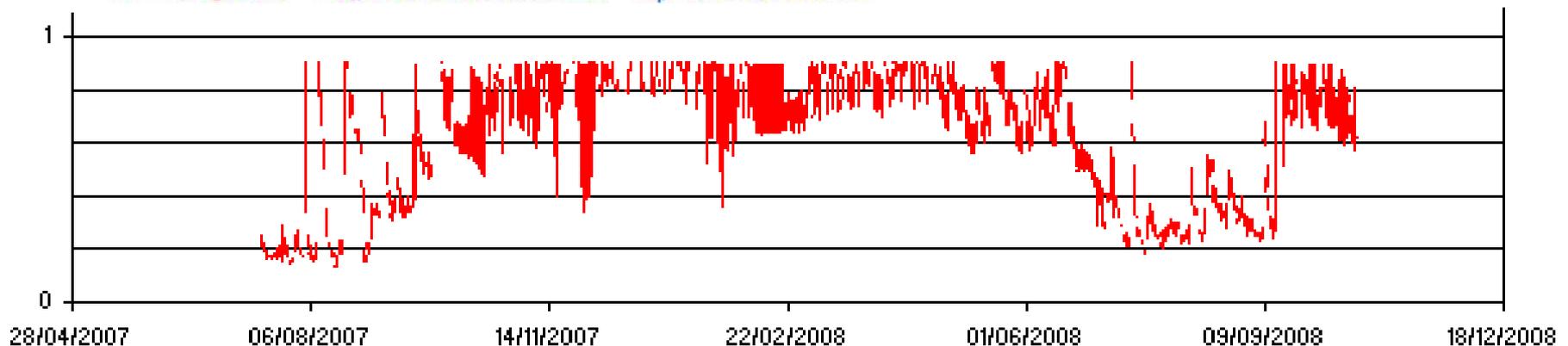
$$(K_{in} - K_{out}) + (L_{in} - L_{out}) + Q_e + Q_h + Q_g + Q_p = \Delta Q$$



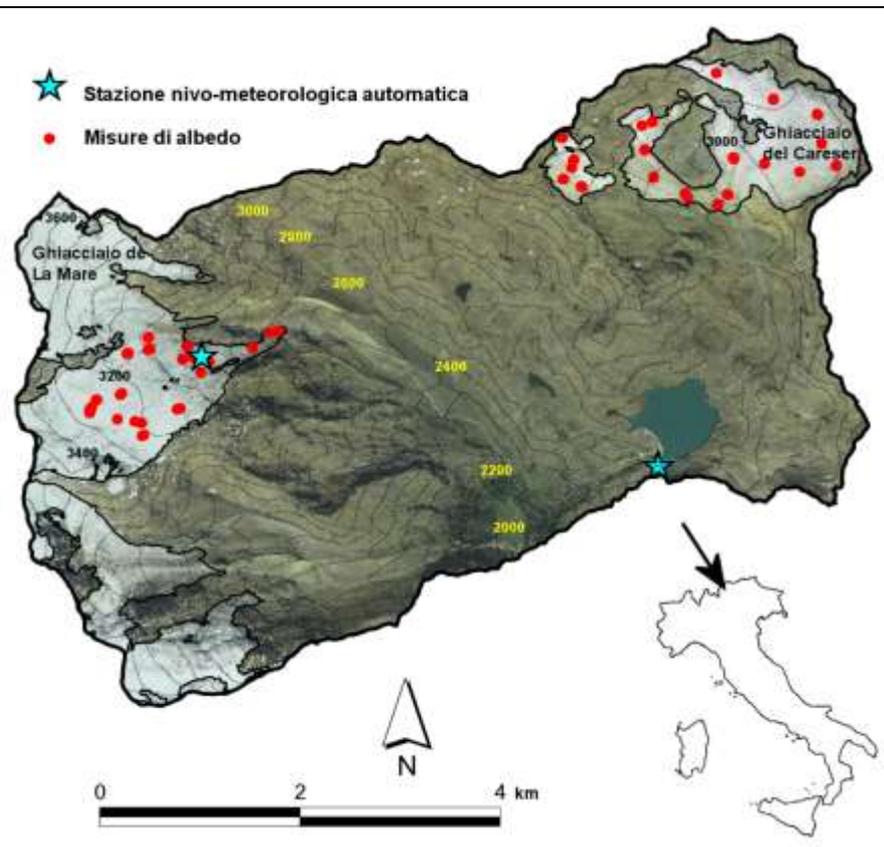
K = shortwave **Q_e = latent heat flux** **Q_g = ground source**
L = longwave **Q_h = sensible heat flux** **Q_p = precip source**

Bilancio energetico

Forti analogie con manto nevoso ma in ghiacciaio ci sono substrati diversi (neve, firn, ghiaccio) caratterizzati da valori di albedo molto diversi



Misure distribuite di albedo



Misure distribuite di albedo



SUBSTRATO	RANGE ALBEDO DA LETTERATURA	RANGE MISURATO (numerosità)	VALORE MEDIO MISURATO
Neve residua	0.20 – 0.72	0.31 – 0.42 (4)	0.36
Firn	0.30 – 0.53	0.14 – 0.30 (7)	0.19
Ghiaccio	< 0.10 – 0.65	0.07 – 0.48 (69)	0.24

I ghiacciai – Processi

Tipico andamento annuale dell'innnevamento sul ghiacciaio de La Mare (Ortles-Cevedale)



I ghiacciai – Forme

Glacionevati: costituiti da neve, ghiaccio, firn, ma non dotati di movimento



Conca Prevala (gruppo del Canin) – 04/08/2010

I ghiacciai – Forme

Ghiacciai di circo: occupano depressioni sub-circolari a forma di anfiteatro, generalmente circondati da pareti ripide



Ghiacciaio d'Agola (Dolomiti di Brenta) – luglio 2005

I ghiacciai – Forme

Ghiacciai vallivi: hanno un bacino di accumulo ben definito e scorrono su vallate preesistenti



Ghiacciaio dell'Aletsch (Oberland Bernese, Svizzera) – J. Alean 1980

I ghiacciai – Forme

Ice caps: masse glaciali a forma di calotta, con flusso radiale (superficie inferiore a 50000 km²)

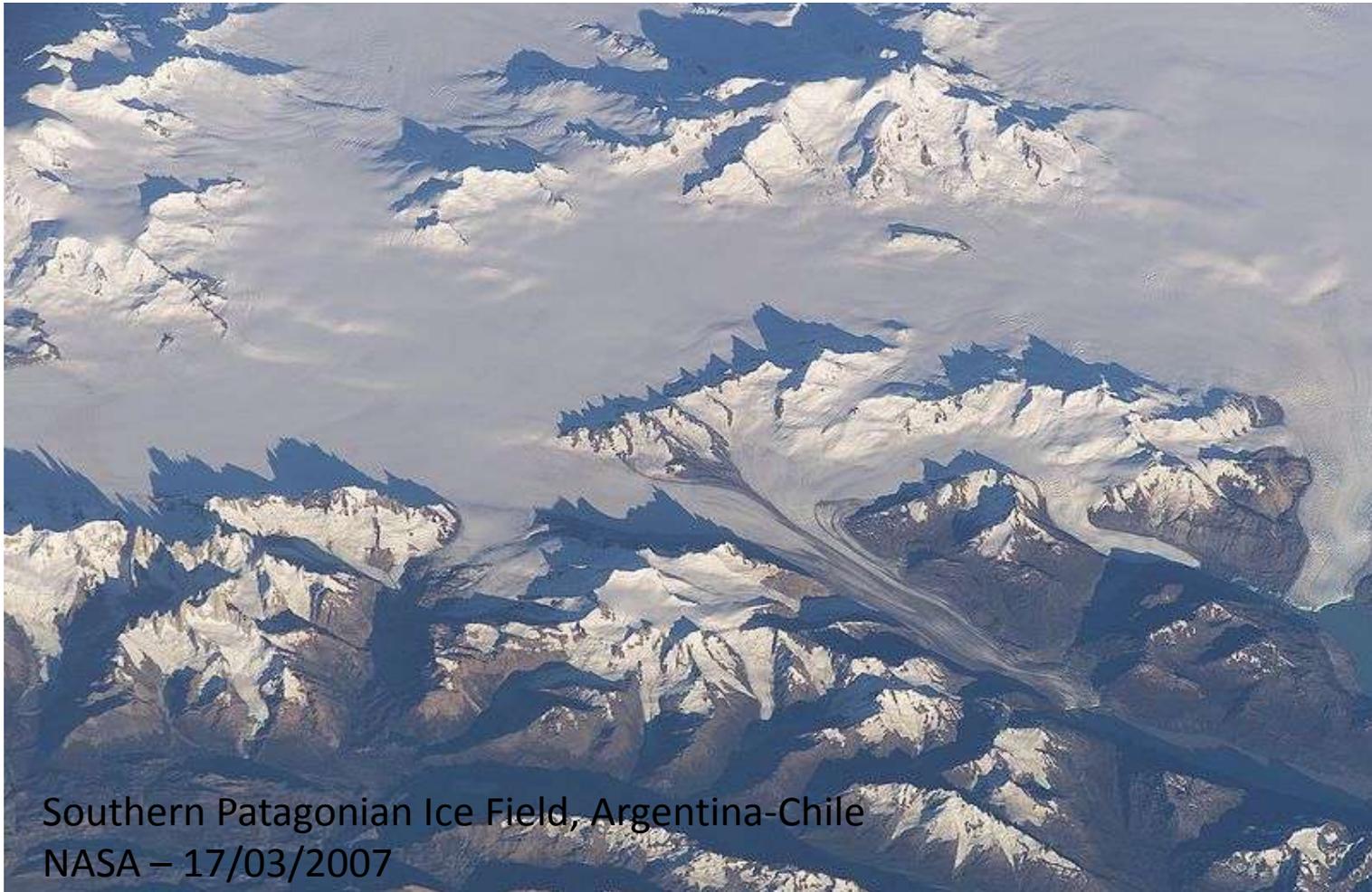


James Ross Island, northern Antarctic Peninsula.

Photo M. J. Hambrey, 2002

I ghiacciai – Forme

Ice fields: masse glaciali sub-orizzontali, non nascondono la topografia circostante (superficie inferiore a 50000 km²)

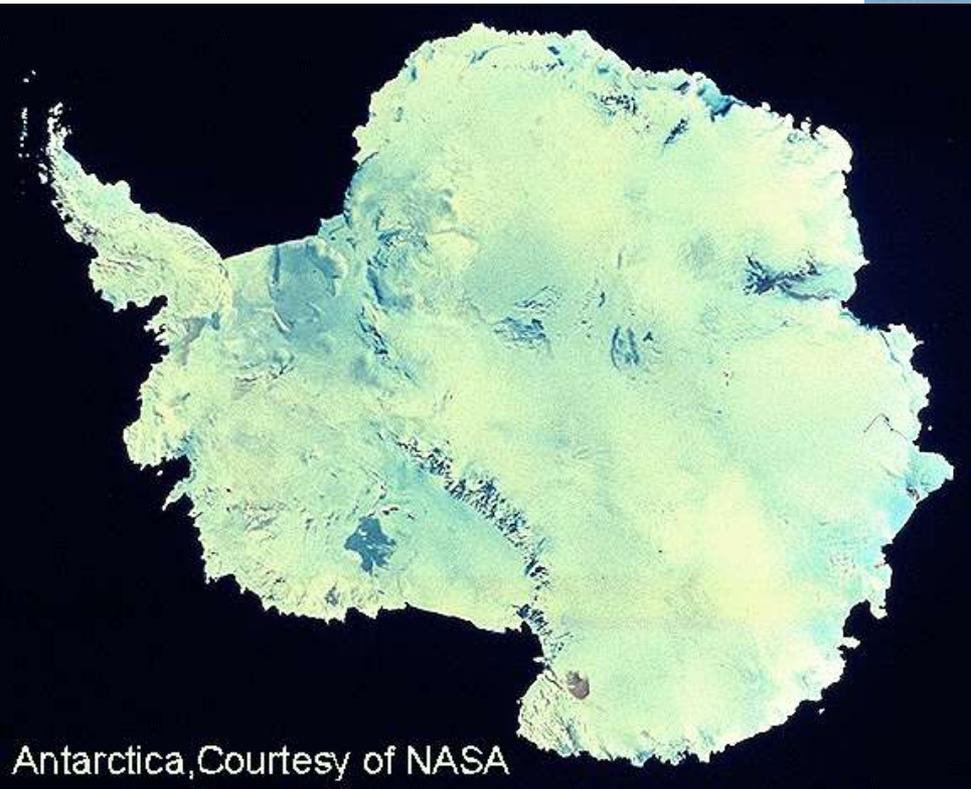


Southern Patagonian Ice Field, Argentina-Chile
NASA – 17/03/2007

I ghiacciai – Forme

Ice sheets: masse glaciali estese su scala continentale (Antartide, Groenlandia).

NASA. Photo #: STS045-152-105



Antarctica, Courtesy of NASA

Ice sheets

The edge of the East Antarctic Ice Sheet in Princess Elizabeth Land, marked by an ice cliff abutting sea ice at left and bedrock lower. Photo M. J. Hambrey, 1994.



I ghiacciai – Forme

I ghiacciai sono tra gli agenti morfogenetici più efficaci nel modellare il territorio.

Forme di erosione

Valli glaciali



<http://www.swisseduc.ch>

Rocce montonate



Lauterbrunnen, Switzerland

I ghiacciai – Forme

Forme di erosione



Striature



Trim-lines

I ghiacciai – Forme

Forme di accumulo

Morene mediane



Morene laterali e frontali

I ghiacciai – Effetto delle variazioni climatiche

Le variazioni climatiche influiscono sul “**bilancio di massa**” dei ghiacciai, che è dato dalla differenza tra l'accumulo invernale e l'ablazione estiva.

Bilancio positivo → aumento di volume e superficie

Bilancio negativo → perdita di volume e superficie

I ghiacciai – Effetto delle variazioni climatiche

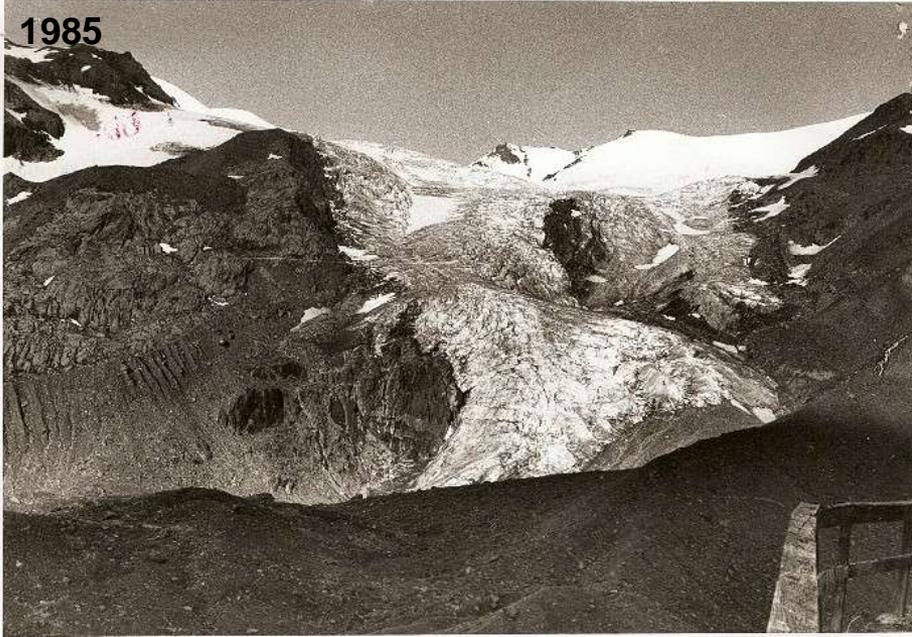
1882



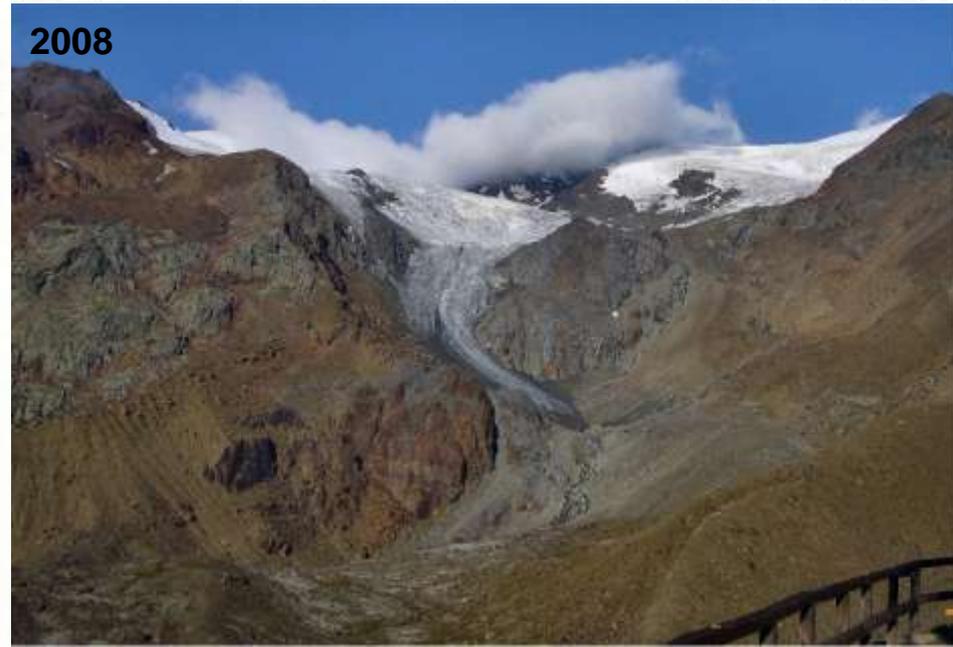
1971



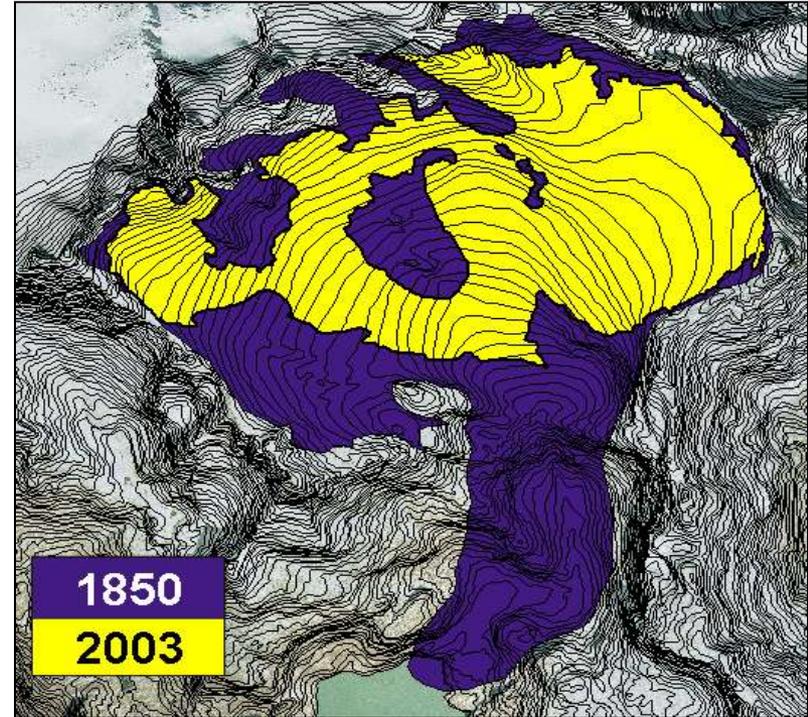
1985



2008

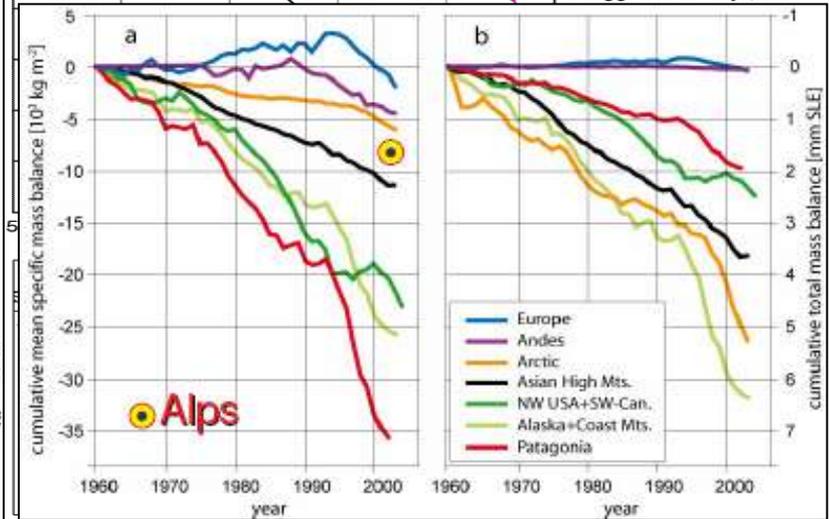
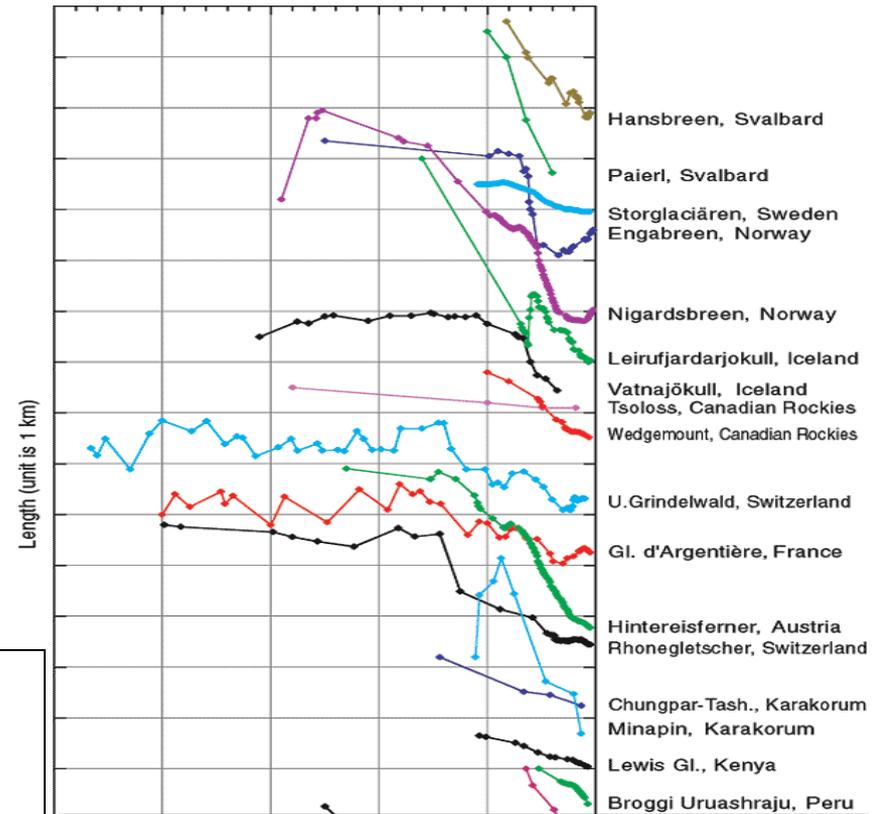
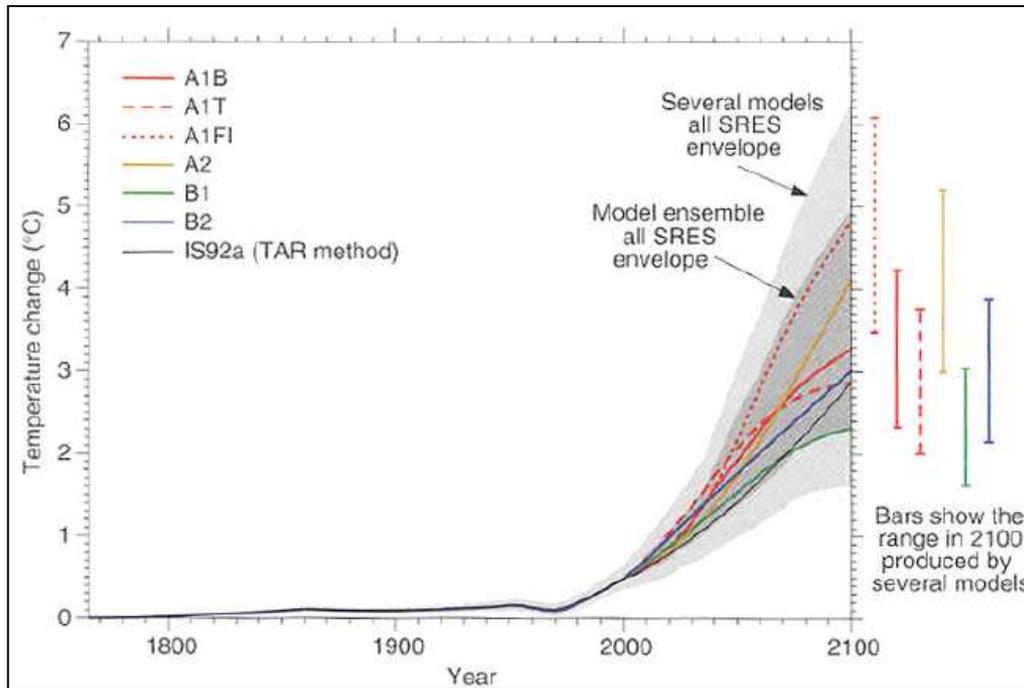
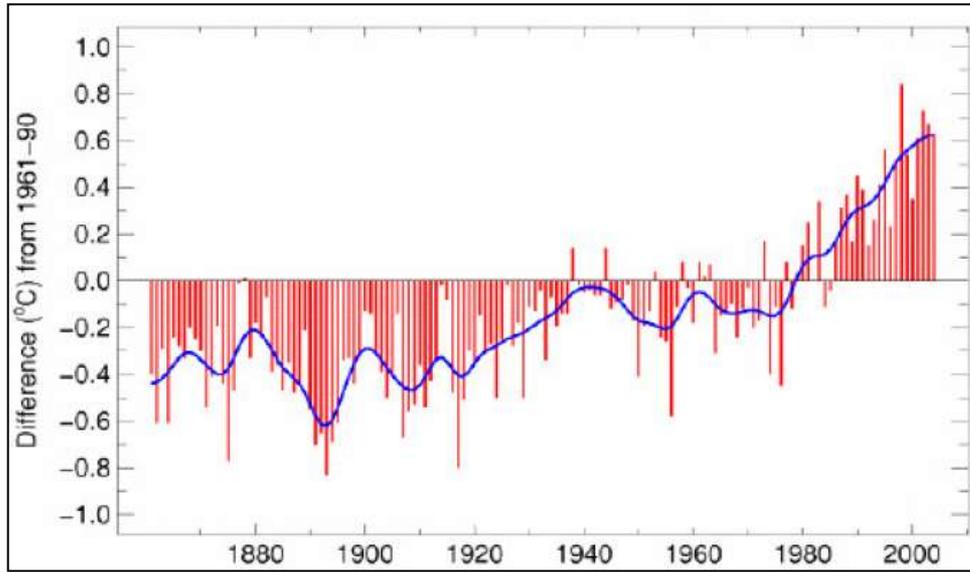


I ghiacciai – Effetto delle variazioni climatiche



Dalla fine della Piccola Età Glaciale (1850 ca.) i ghiacciai delle Alpi hanno perso circa **metà della superficie** e **due terzi del volume**

VARIAZIONI A SCALA GLOBALE



Il permafrost – Definizioni e processi

PERMAFROST: qualsiasi terreno che rimane ad una temperatura inferiore a 0 °C per almeno due anni consecutivi

- Esprime una **condizione termica del suolo**, indipendentemente dal suo stato fisico (può non essere congelato: presenza di sali; suoli ricchi di argilla)
- La formazione e la conservazione del permafrost dipendono dalle condizioni climatiche, in particolare dalla **temperatura media annua dell'aria** (scala regionale)
- Può interessare **terreni di qualsiasi natura** (roccia in posto, terreni sciolti)
- Generalmente **contiene ghiaccio** in varie forme e aggregazioni (**ground ice**)

Il permafrost – Distribuzione geografica

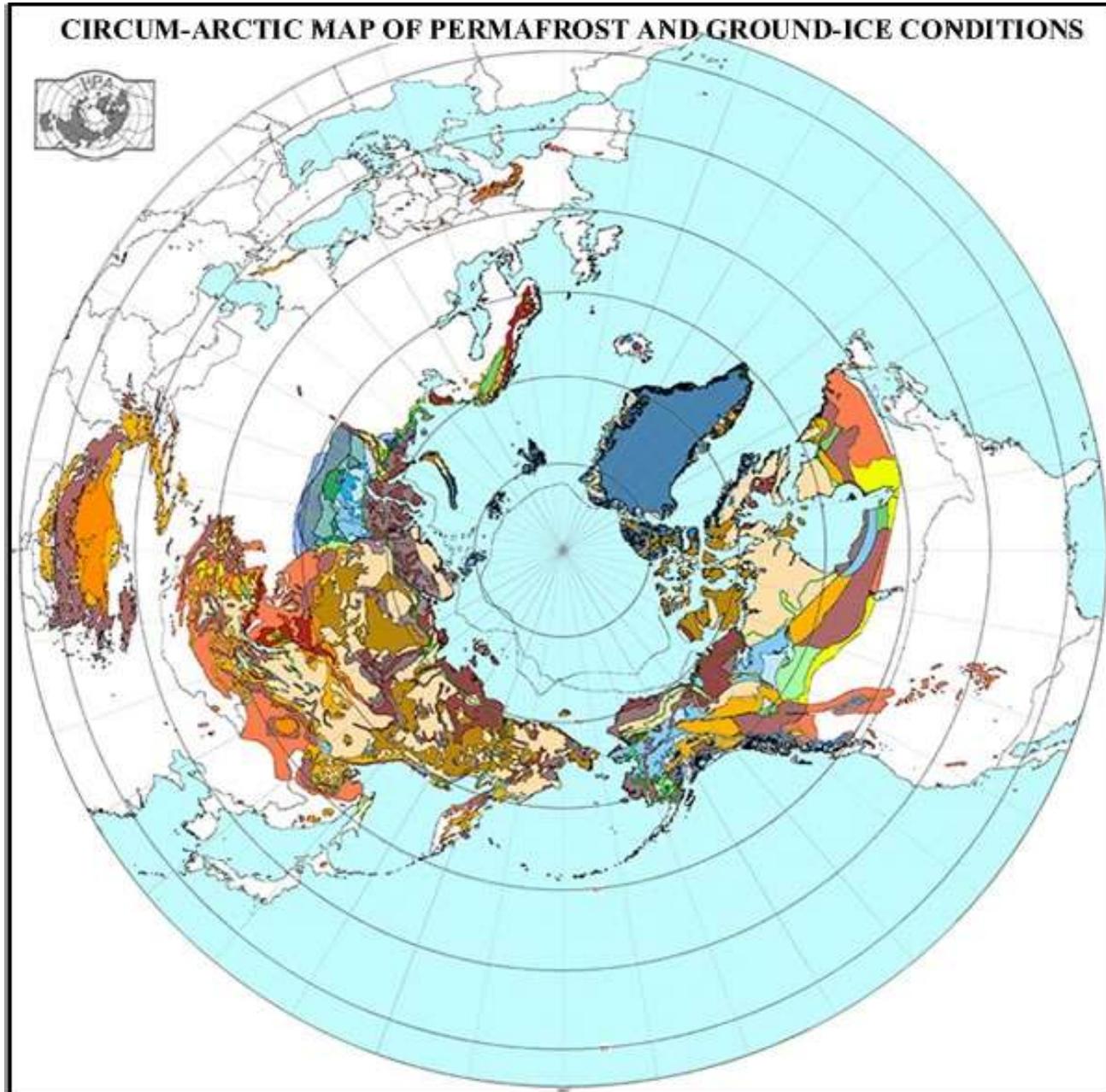
CONTINUO (90-100%) → presente ovunque → zone ARTICHE (MAAT < - 6/-8°C)

DISCONTINUO (50-90%) → zone con permafrost separate da zone senza permafrost

SPORADICO e **ISOLATO** (0-50%) → le zone con permafrost sono isolate

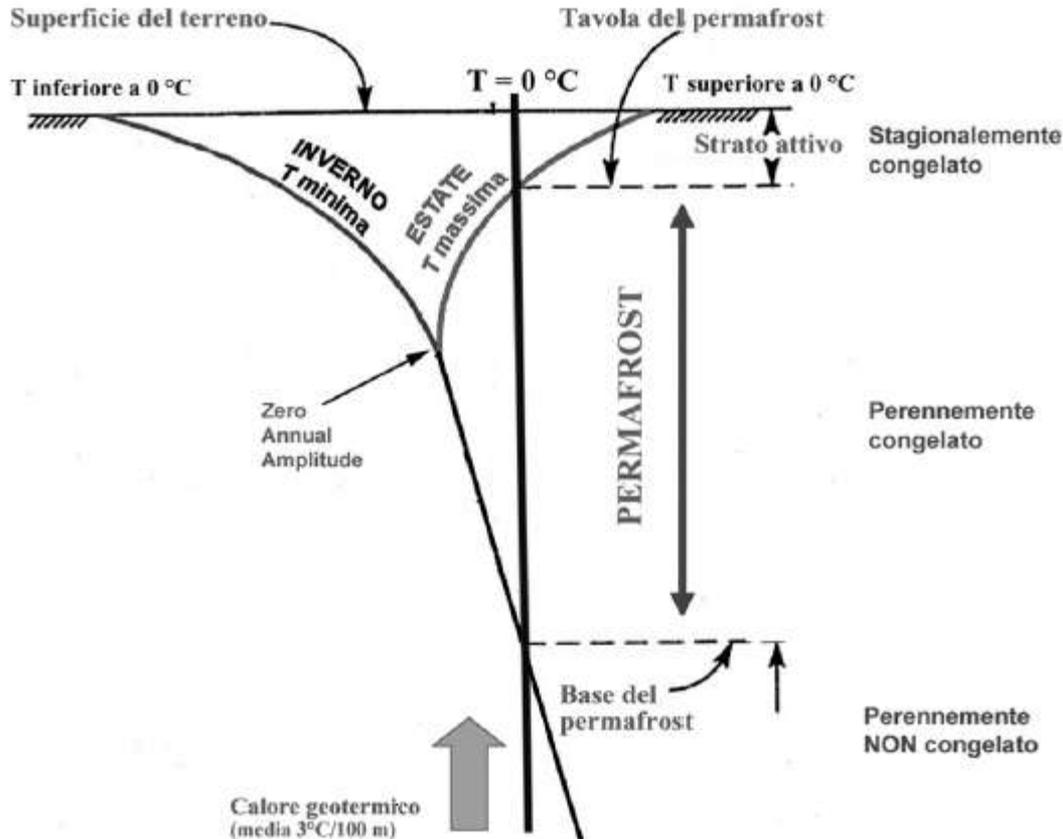


Il permafrost – Distribuzione geografica



Il permafrost – Distribuzione geografica

Sull'arco alpino il permafrost è tipicamente "discontinuo", collocato a quote superiori a 2600-2700 m (MAAT $\leq -1^{\circ}\text{C}$). La sua distribuzione risente soprattutto di **temperatura, insolazione, spessore e durata del manto nevoso, granulometria e conducibilità termica del suolo**



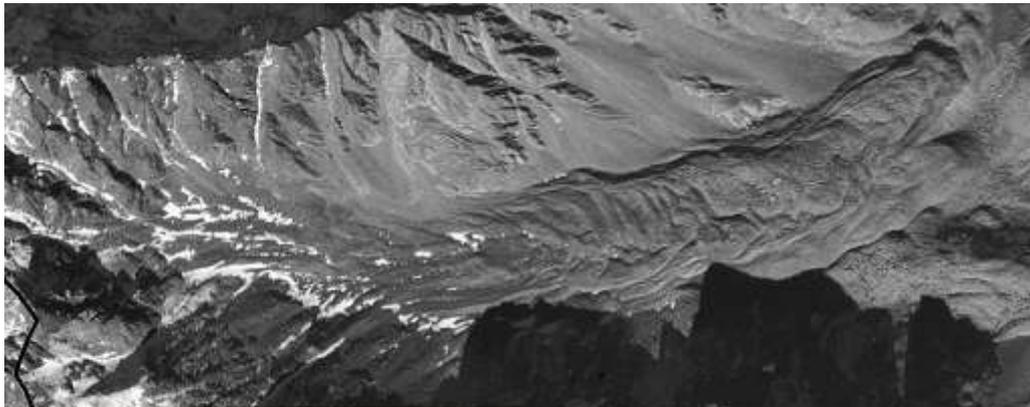
Il permafrost – Forme

I **rock glaciers** sono le forme più caratteristiche associate alla presenza di permafrost. Sono definiti come “corpi geologici costituiti da materiale sciolto di varia granulometria, frammisto a ghiaccio”. Dal punto di vista morfodinamico si distinguono tre tipi di rock-glaciers:

attivi: depositi in cui è presente il permafrost e dotati di movimento

inattivi: depositi in cui è presente permafrost ma privi di movimento

relitti: depositi completamente privi di permafrost al loro interno e senza movimento



Il permafrost – Forme

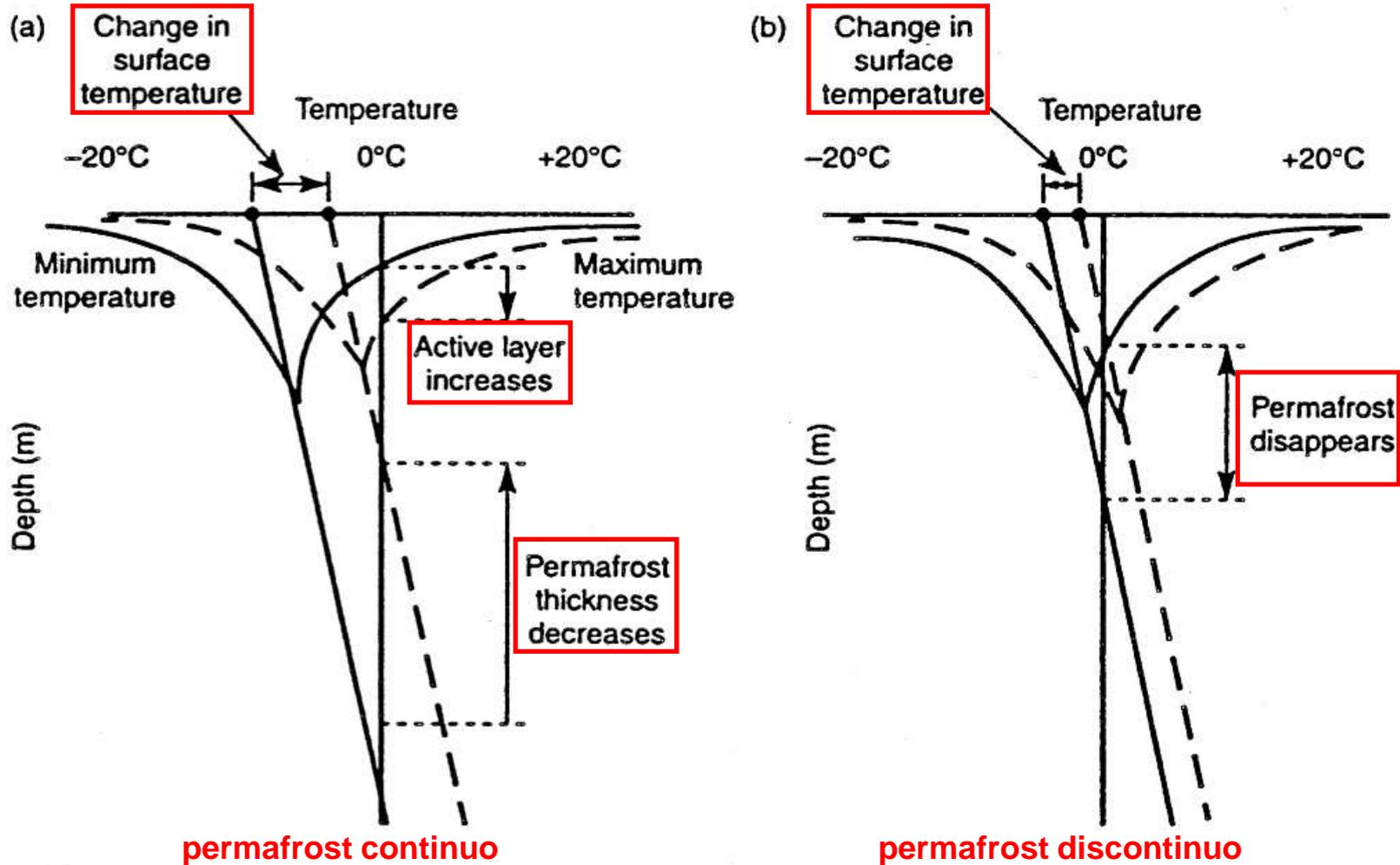


Il permafrost – Forme



La presenza di rock glacier
relitti consente di fare
ricostruzioni paleoclimatiche

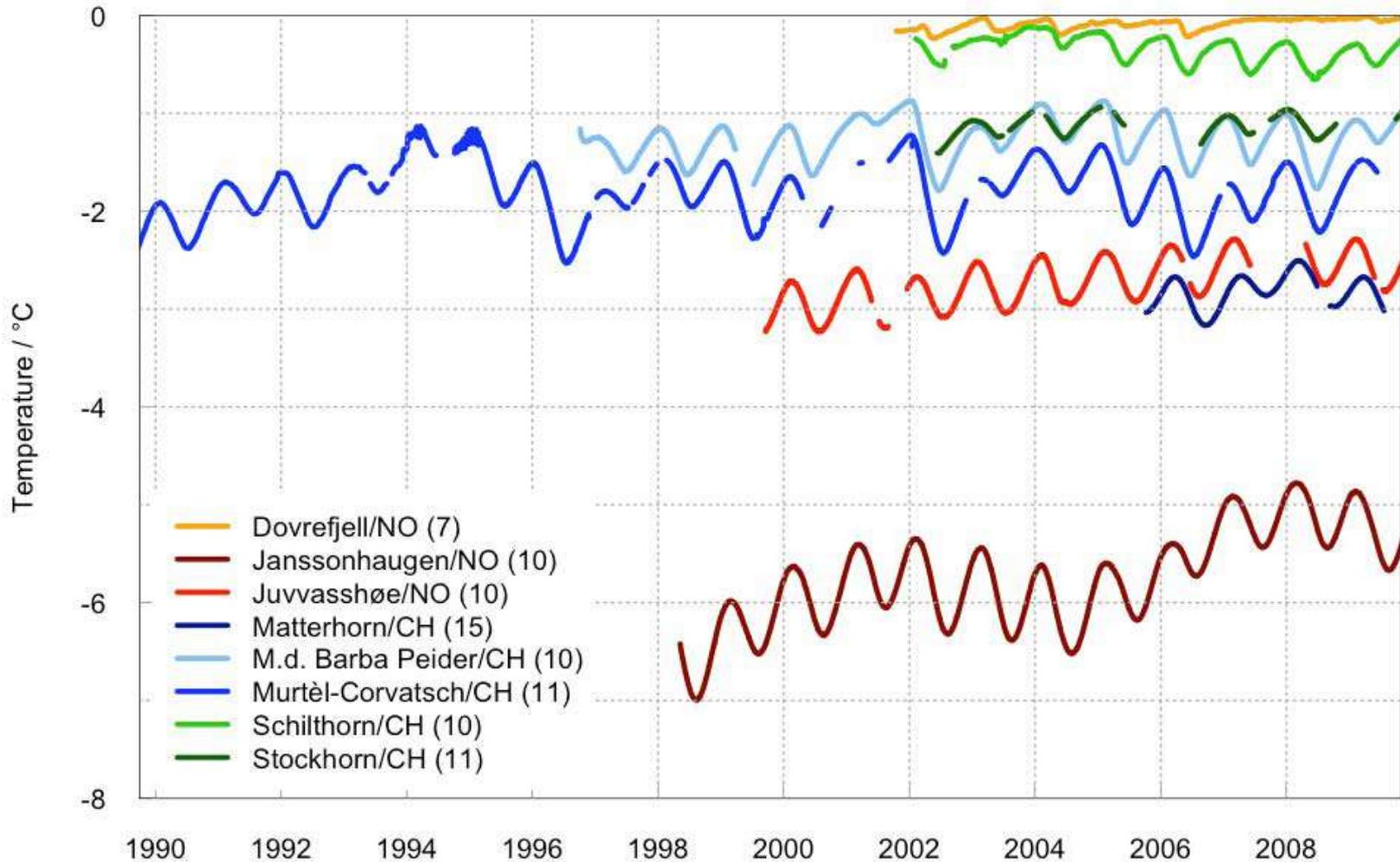
Il permafrost – Effetto delle variazioni climatiche



Equilibrium ground temperature profiles showing the long-term effect of a climatic warming of 4°C in (a) continuous permafrost zone; (b) discontinuous permafrost zone.

Da: French, 1996

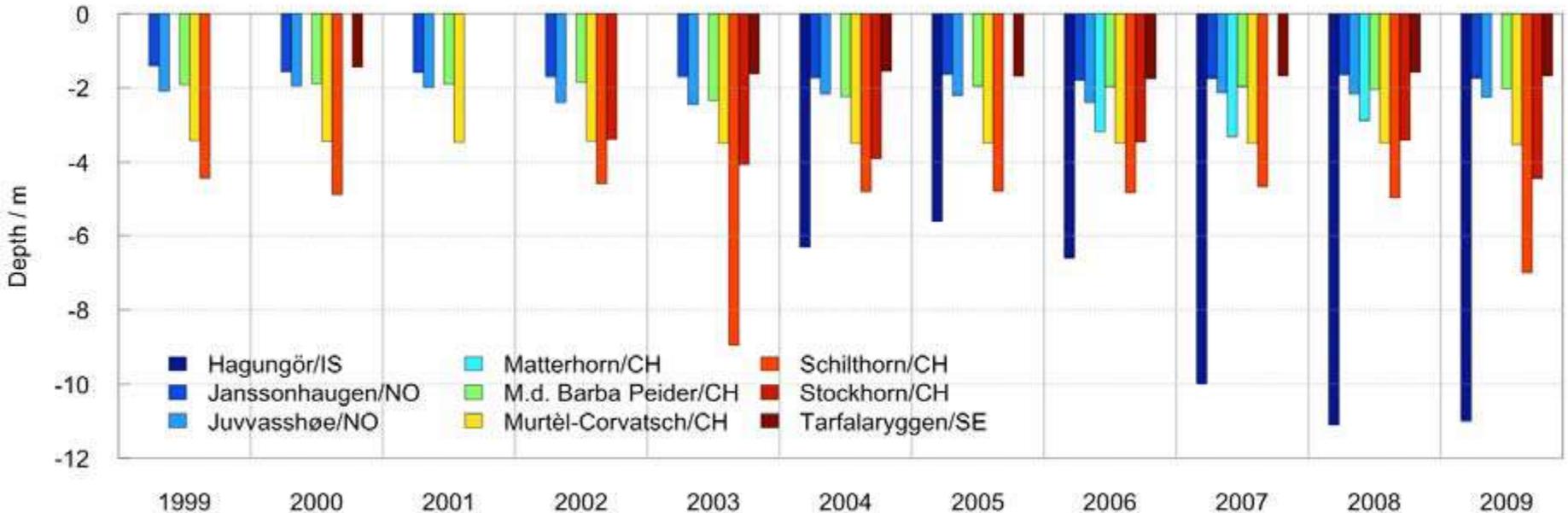
Il permafrost – Effetto delle variazioni climatiche



Permafrost borehole temperatures at around 10m depth from the Alps (Switzerland), Norway and Svalbard (Janssonhaugen).

Source : Haeberli et al., 2010; in press; data: PERMOS and met.no.

Il permafrost – Effetto delle variazioni climatiche



Variatione dello spessore dello strato attivo in alcuni siti di monitoraggio europei.
Source : J. Nötzli, 2010; data: PERMOS, met.no and B. Etzelmüller.

Il permafrost – Effetto delle variazioni climatiche

La degradazione del permafrost sta aumentando i processi di dissesto idrogeologico e sta creando situazioni di rischio ambientale in alta quota (frane, crolli, debris-flow)



Tof di Malè (Val di Peio)



Val d'Amola

Il permafrost – Effetto delle variazioni climatiche

Frane in roccia ad alta quota

Nelle aree alpine, il permafrost funziona come un **collante** e contribuisce a mantenere la stabilità dei versanti (sia di depositi sciolti che di roccia in posto)

Frana di Cima Thurwieser
versante Sud (2004).
È stato interessato il sentiero per
il Rifugio V Alpini



Il permafrost – Effetto delle variazioni climatiche

Rischio per percorsi turistici in quota

- Val di Solda (BZ)
- recente chiusura di un sentiero escursionistico molto frequentato;
 - continui crolli di massi dalla fronte di un rock glacier



Il permafrost – Effetto delle variazioni climatiche

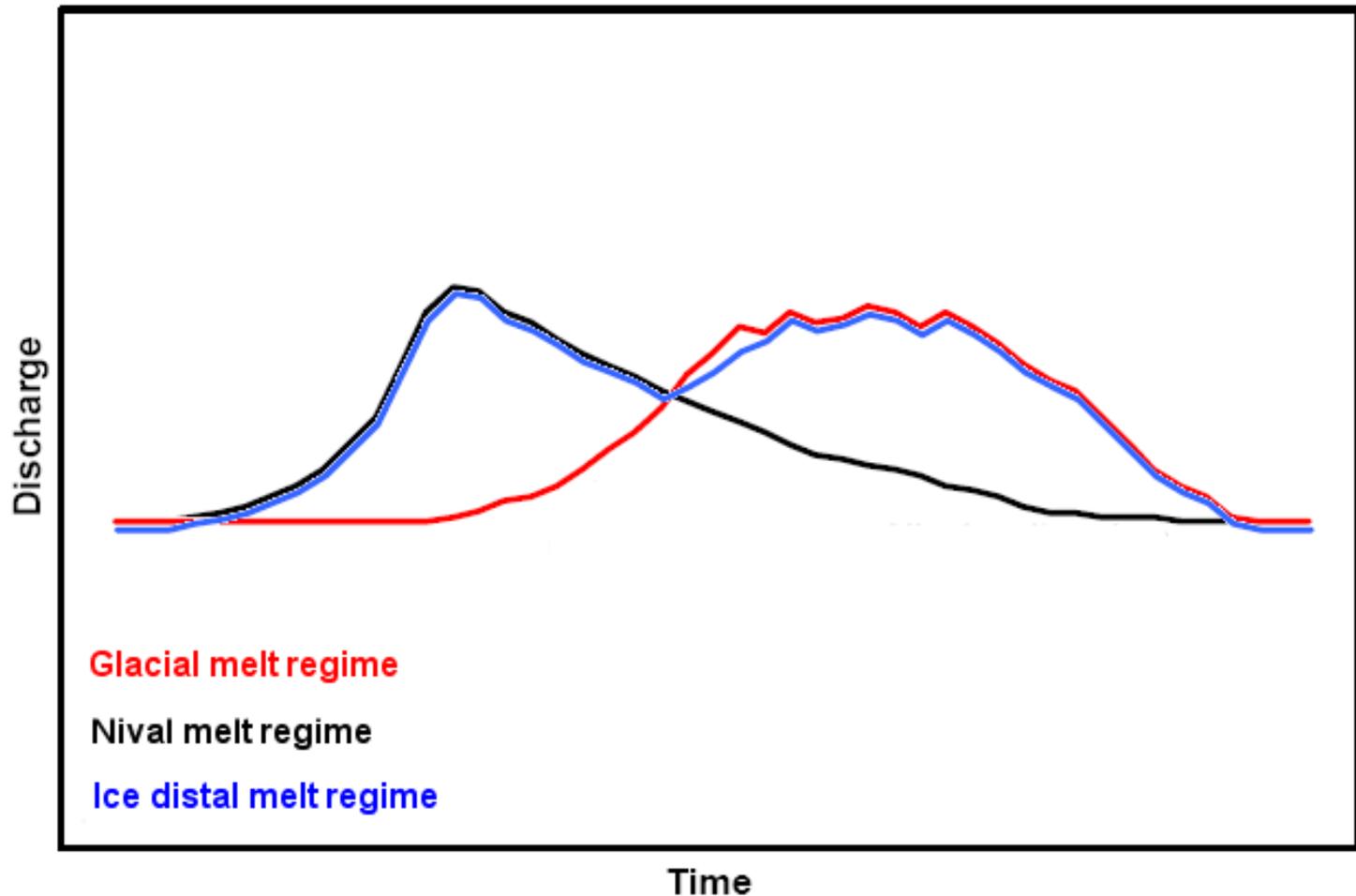
**Problemi di instabilità
per le infrastrutture in alta quota**



Criosfera ed idrologia dei bacini di alta quota

Principale elemento caratterizzante: lag temporale tra precipitazioni nevose e deflussi da fusione (giorni, mesi, anni).

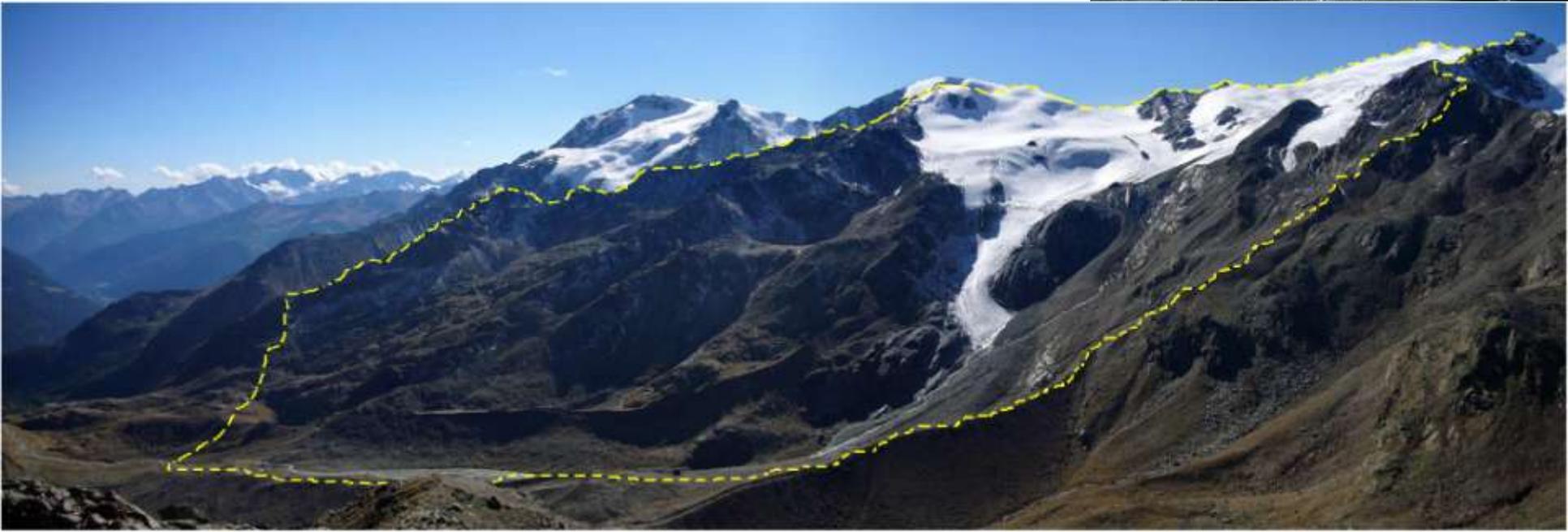
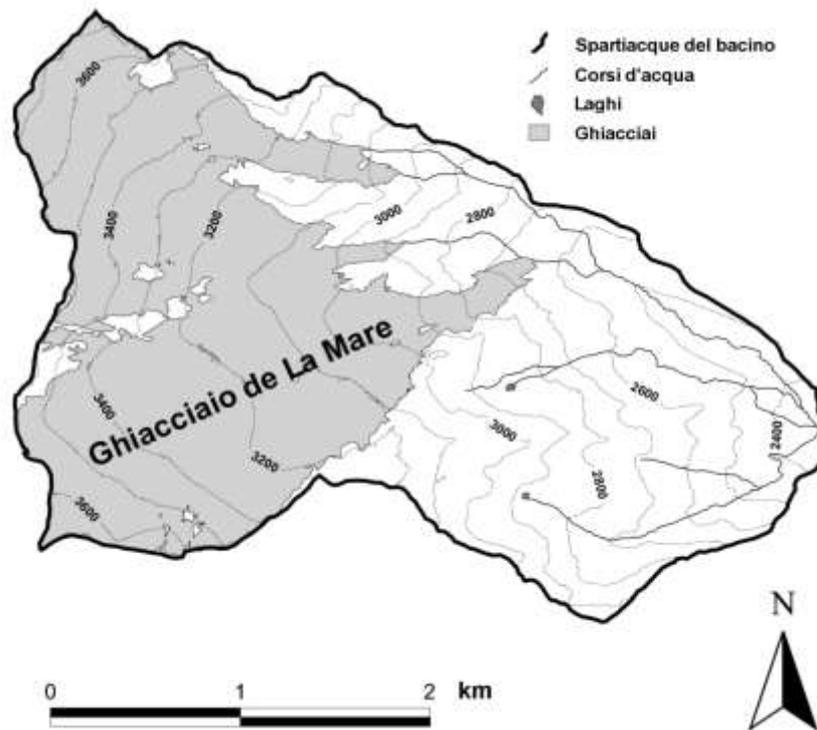
Tre tipi di regime idrologico: nivale, glaciale e periglaciale



Misure idrometriche

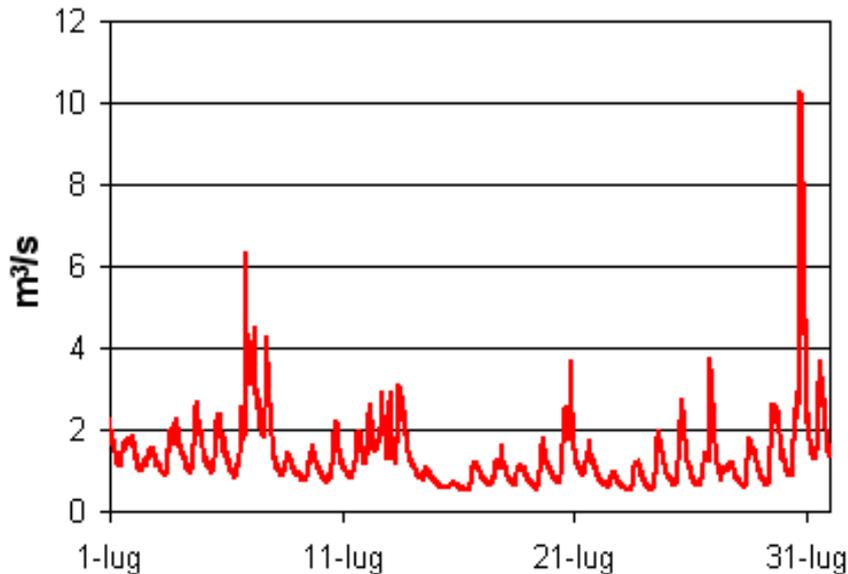
Sottobacino chiuso al "Pian Venezia":

Area: 842 ha
Quota min: 2298 m
Quota max: 3769 m
Quota media: 3043 m
Superficie glacializzata:
378 ha (45%)
Superficie interessata da permafrost: 303 ha (36%)



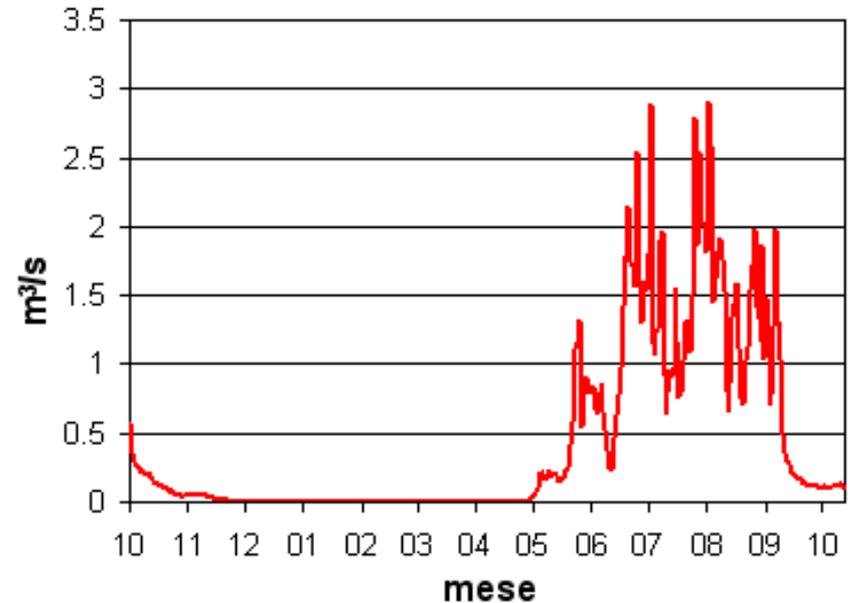
Criosfera ed idrologia dei bacini di alta quota

Portata media 15'



Si nota una **marcata ciclicità giornaliera** (fusione diurna e ricongelamento notturno)

Portata media 24h



Si nota un **andamento annuale** molto particolare (deflussi quasi assenti in inverno e sostenuti in estate)

Terreno congelato e permafrost: effetti idrologici

Effetti idrologici della presenza di permafrost rispetto a terreno non congelato (più evidenti in condizioni di scarso spessore dello strato attivo, come ad inizio estate):

-Diminuzione dell'infiltrabilità

-Diminuzione della ritenzione idrica

-Diminuzione del deflusso
sotterraneo e **aumento del deflusso
superficiale**

-Diminuzione del deflusso di base

-Aumento dell'evaporazione

-Diminuzione dei tempi di
corrivazione

-Accentuazione dei picchi di piena

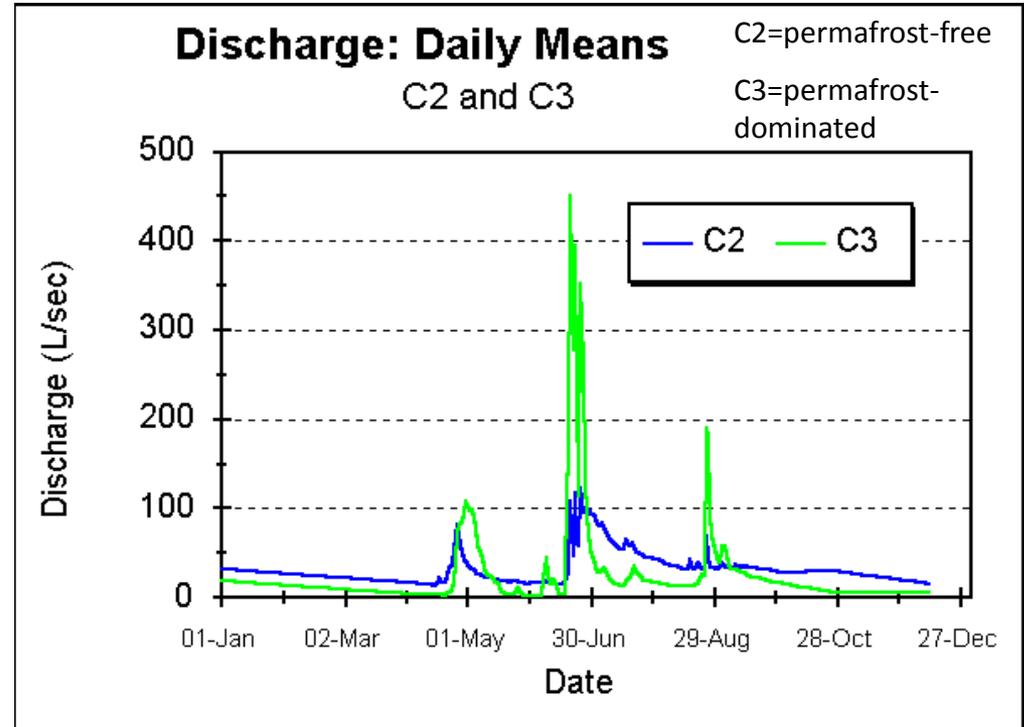


Figure 1. 1994 discharge patterns (daily mean discharge) for a first-order basin with 3.5% of the catchment underlain by permafrost ("permafrost-free"), and a first-order basin with 53.2% of the catchment underlain by permafrost ("permafrost-dominated").