



a cura di S. Furlani

LE FORME GLACIALI

ARGOMENTI DELLA LEZIONE

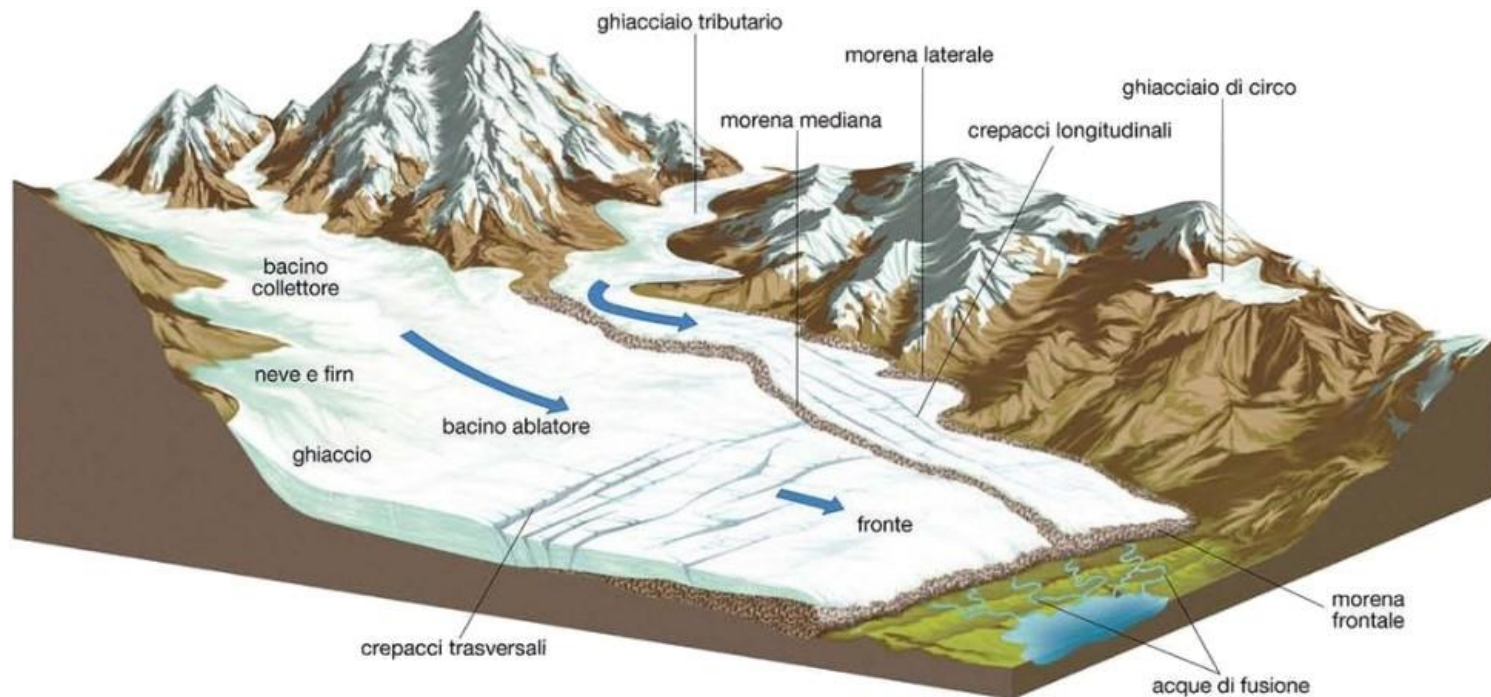
AMBIENTE GLACIALE E PERIGLACIALE

- × I ghiacciai e il paesaggio glaciale
- × Tipi di ghiaccio
- × Come si formano i ghiacciai
- × Le calotte glaciali continentali
- × I ghiacciai montani
- × Le glaciazioni ed i ghiacci attuali



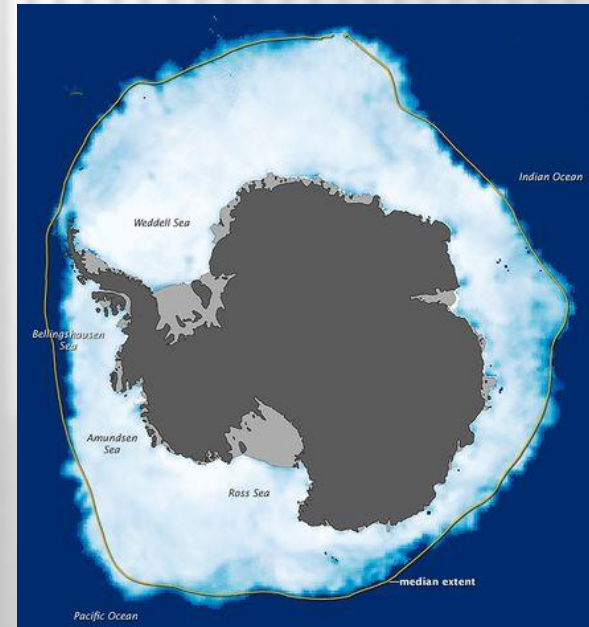
COS'È UN GHIACCIAIO?

- × Sono masse di ghiaccio formate da accumuli di neve ripetuti nel tempo;
- × La gravità causa lenti movimenti verso il basso dei ghiacciai legati alla gravità;



TIPI DI GHIACCIAI

- ✘ Ghiacciaio alpino: ghiacciai che si formano in alta montagna e si muovono verso il basso con la forza di gravità;
- ✘ Ghiacciaio continentale: masse di ghiaccio che coprono intere regioni e si muovono verso l'esterno.

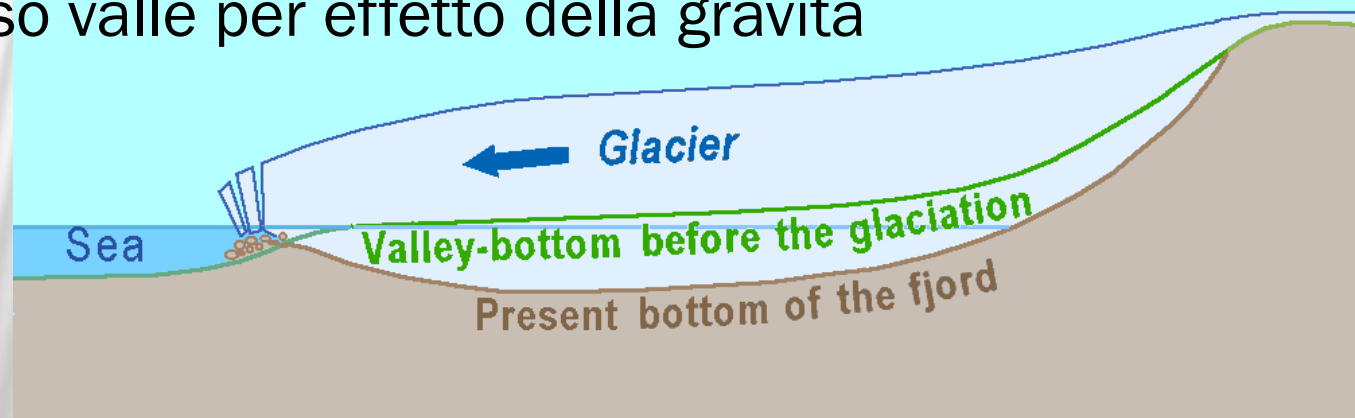


Processi e forme

COME SI FORMANO I GHIACCIAI

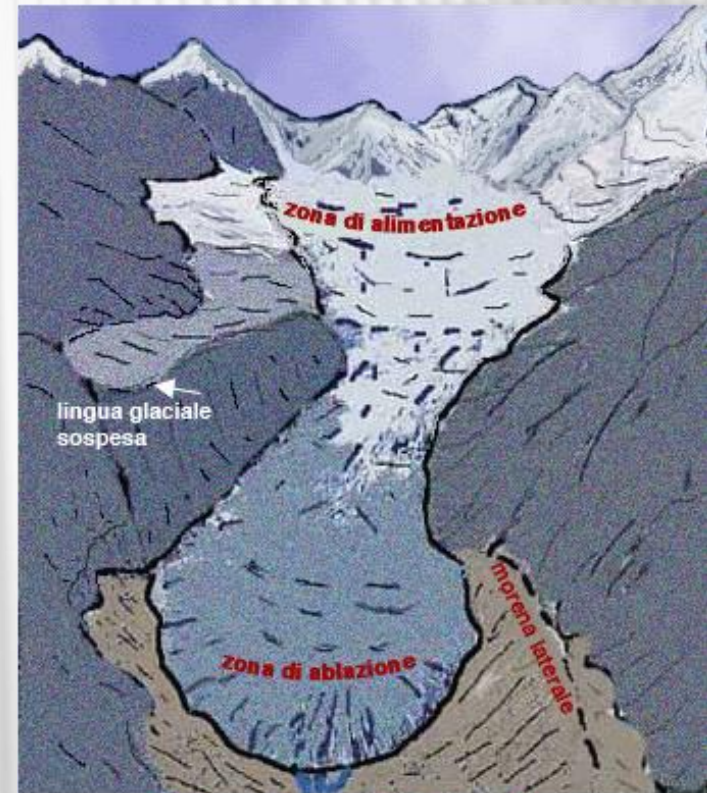
I GHIACCIAI ED IL PAESAGGIO

- ✘ Un ghiacciaio si forma per accumulo di neve, in particolare quando la quantità di neve che cade in inverno è maggiore di quanto si scioglie in estate
- ✘ La neve dell'inverno successivo comprime quella più vecchia, raccolta in un nevaio (*snow field*), trasformandola poi in ghiaccio
- ✘ Se questo processo si ripete, la massa di ghiaccio inizia a muoversi verso valle per effetto della gravità



FORMAZIONE DEI GHIACCIAI

- ✘ Le precipitazioni di neve o l'accumulo di ghiaccio non portano sempre alla formazione di un ghiacciaio
- ✘ La formazione di un ghiacciaio dipende da una serie di fattori che garantisce l'equilibrio tra **alimentazione** (aggiunta di ghiaccio) e **ablazione** (perdita di ghiaccio per fusione o sublimazione)
- ✘ Modesti riscaldamenti possono far scomparire anche intere calotte glaciali

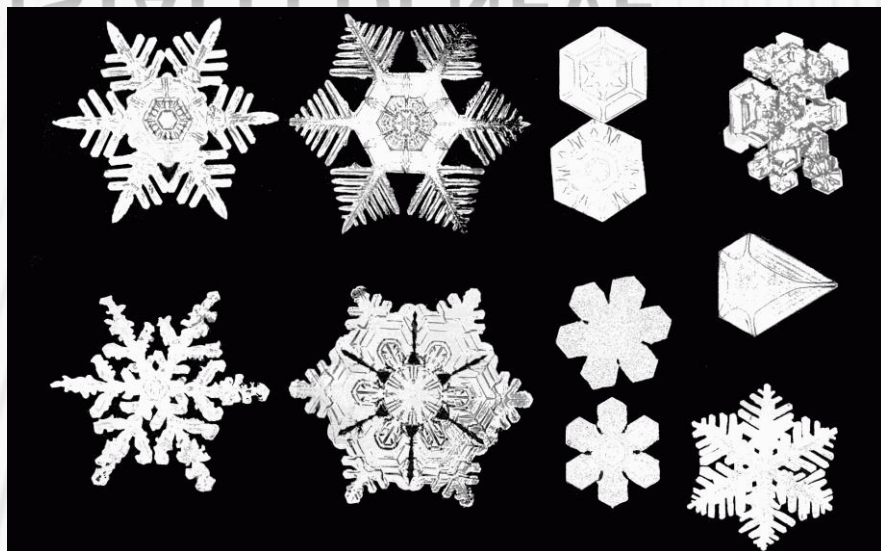


Schema di un ghiacciaio alpino.

TRASFORMAZIONE DELLA NEVE IN GHIACCIO

- × La neve è una sostanza che, cristallizzandosi dal vapore acqueo atmosferico, discende lentamente sotto forma di cristalli esagonali, con densità 10 volte minore dell'acqua
- × La neve cristallina viene poi compressa da quella soprastante, fino ad avere una densità doppia rispetto alla neve

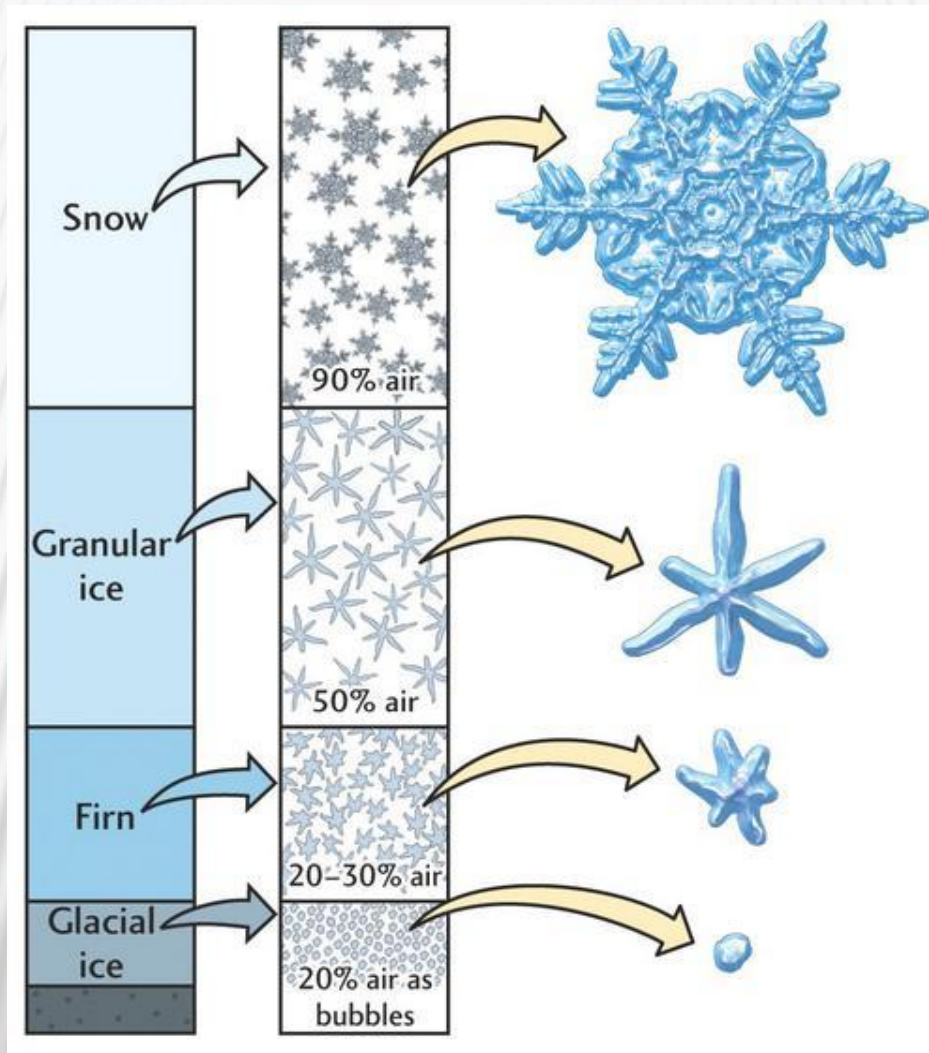
CRISTALLI DI NEVE



IL MANTO NEVOSO

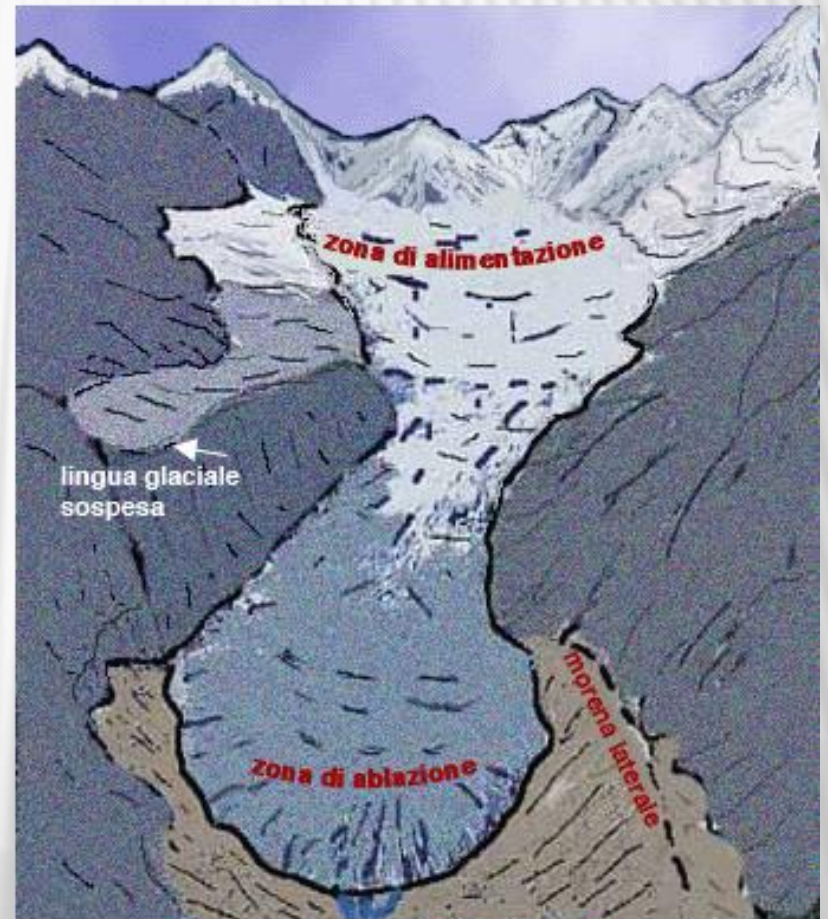
- × Successivamente i granelli vengono compattati ulteriormente, raggiungendo una densità pari alla metà dell'acqua, formando il manto nevoso (*firn*)
- × Questo processo continua fino a che la densità raggiunge il 90% dell'acqua ed il colore tende a diventare azzurro ghiaccio

DALLA NEVE AL GHIACCIO



ZONAZIONE DEI GHIACCIAI

- × I ghiacciai sono divisi in due zone:
 - + La parte superiore, detta zona di alimentazione, dove la quantità di ghiaccio aggiunto è maggiore di quello perso per fusione e sublimazione
 - + La parte inferiore, dove la quantità di ghiaccio aggiunto è minore di quello perduto
- × La zona di separazione è detta: *linea di equilibrio*, lungo la quale l'alimentazione bilancia esattamente l'ablazione



Schema di un ghiacciaio alpino.

MOVIMENTI DEI GHIACCIAI

- ✘ Il movimento di un ghiacciaio è molto diverso da quello dell'acqua di un fiume
- ✘ Il ghiaccio è normalmente fragile in superficie (crepacci, seracchi), ma può sopportar deformazioni in profondità se è sottoposto a forti pressioni
- ✘ La fusione parziale della base favorisce il movimento

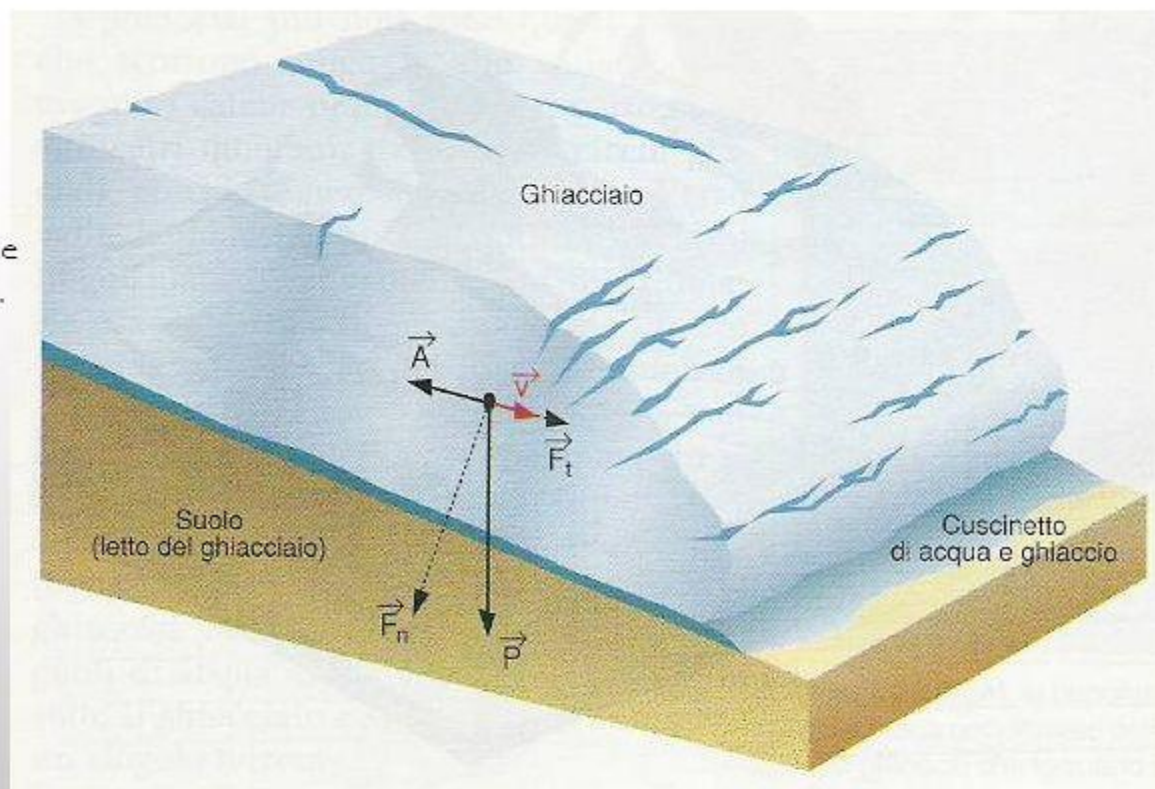


MOVIMENTI

- ✘ Quando lo spessore raggiunge qualche decina di metri, il ghiacciaio inizia a muoversi. In particolare si muove, spingendo verso i margini esterni e verso valle la fronte glaciale
- ✘ Si verificano anche movimenti interni che fanno muovere a velocità diverse le parti interne
- ✘ Inoltre si muove anche la base del ghiacciaio che scivola su una base lubrificata dall'acqua di fusione (ghiacciai temperati)

Il movimento del ghiacciaio

La forza di attrito si oppone al movimento del ghiacciaio. L'attrito è determinato dal contatto con le rocce del fondo e dei fianchi della valle (nel caso di ghiacciai vallivi)



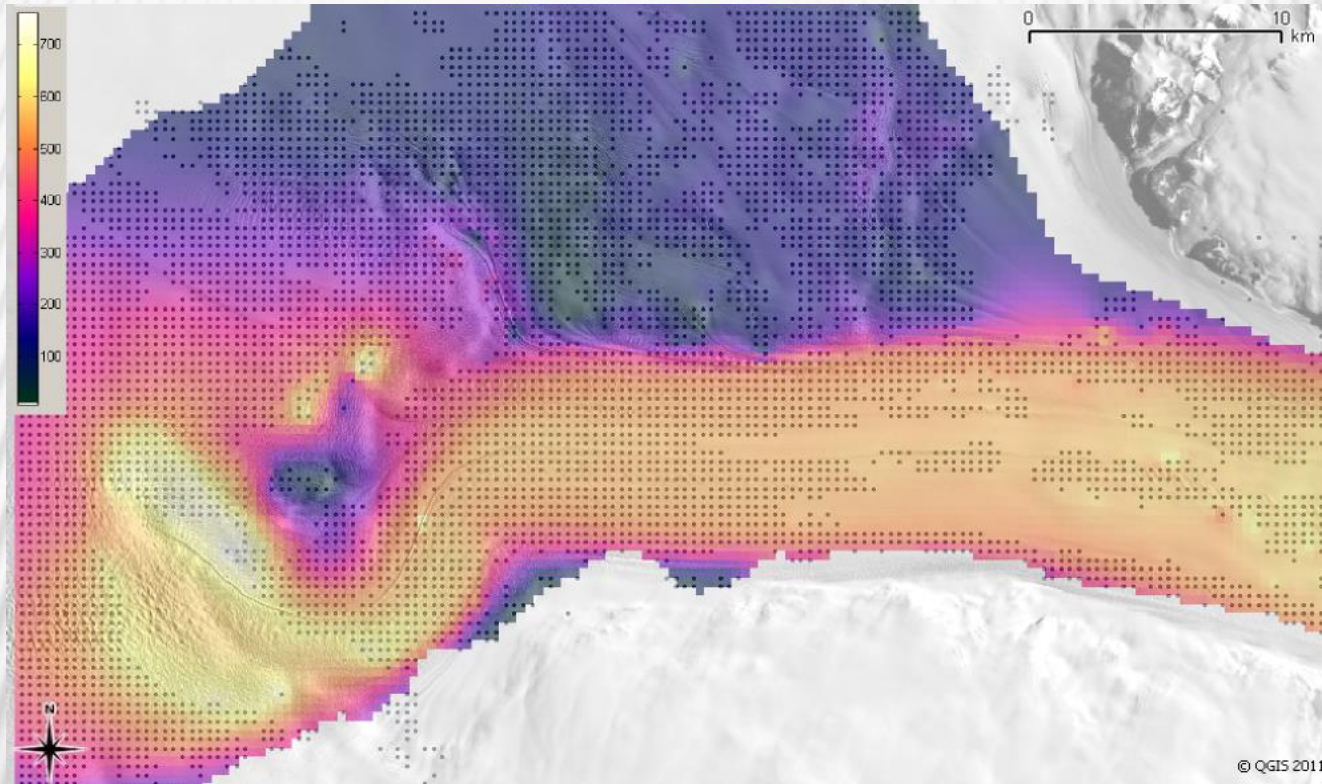
Fattori che influenzano la velocità di movimento del ghiacciaio

- Attrito del suolo
- Inclinazione del substrato roccioso
- Spessore del ghiacciaio
- Irregolarità e contropendenze nelle rocce di fondo

VELOCITÀ

- ✘ I ghiacciai si adattano alle forme del terreno sulle quali scorrono, ma allo stesso tempo modellano il substrato
- ✘ Le velocità sono di pochi cm/giorno, fino a 30 m/giorno
- ✘ Il movimento è intermittente
- ✘ La parte più veloce è quella più superficiale, quella centrale, come in un fiume

VELOCITÀ IN CARTA (DA ALBERTI, BISCARO)



Mappa delle velocità interpolate, sovrapposte a mosaico satellitare Landsat. Le velocità più elevate delineano l'andamento del ghiacciaio David, che scorre da Ovest verso Est (verso la destra in figura). Le velocità sono in metri per un periodo di 400 giorni (2001-2003). I cerchi rappresentano le misure originarie prodotte da IMCORR e con valori ritenuti validi. Figura creata con Mirone e Quantum GIS.

PROCESSI E MOVIMENTI

IL GHIACCIAIO

- × Un ghiacciaio è un «sistema» ambientale ben organizzato che presenta un bilancio di massa particolarmente critico
- × Le modalità del movimento e gli effetti del modellamento sul rilievo possono variare considerevolmente in rapporto alla quantità di ghiaccio e alle caratteristiche ambientali

TIPI DI MOVIMENTO

- × Scorrimento: Movimento vero e proprio di un ghiacciaio
- × Avanzamento/ritiro: Bilancio tra alimentazione ed ablazione (il ghiacciaio si può muovere in avanti persino in un ghiacciaio in ritiro, con la fronte che sta arretrando a causa di un tasso di ablazione maggiore dell'avanzamento)

GHIACCIAIO DEL RODANO

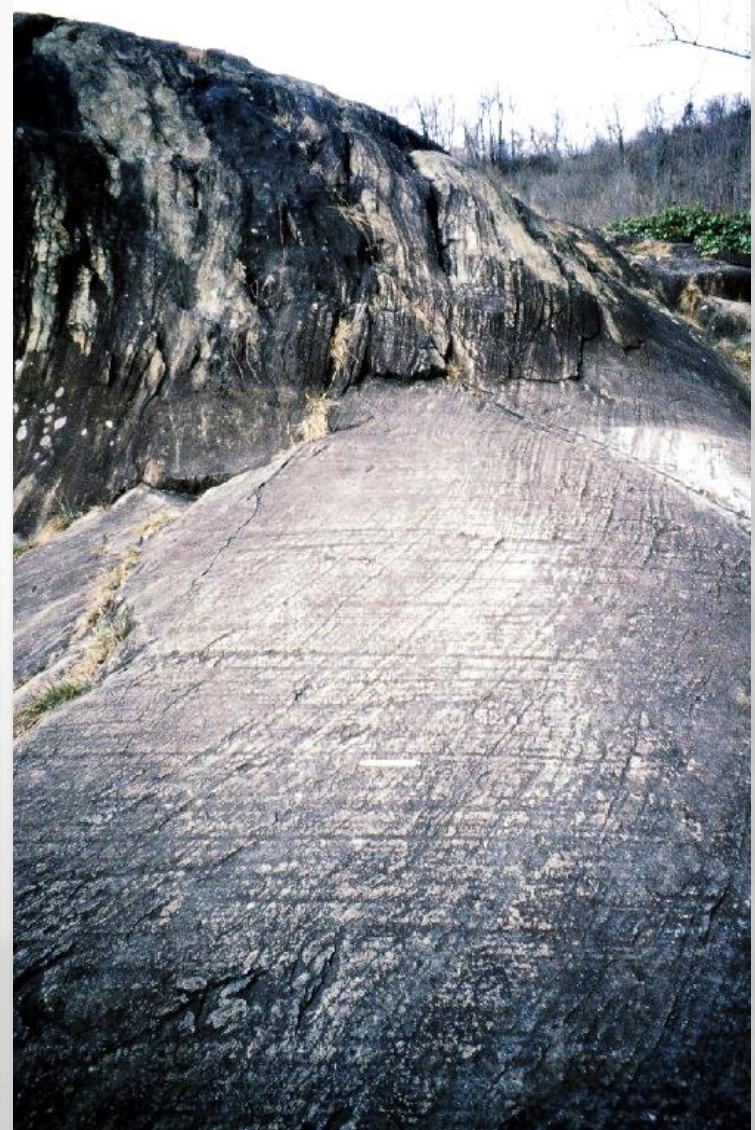


Ghiacciaio del Rodano (inizio '900 - 2004)

ESARAZIONE

- × L'efficacia dell'erosione glaciale (*esarazione*) è determinata dal volume e dalla velocità della massa glaciale
- × Il tasso di esarazione è circa proporzionale allo spessore del ghiaccio ed alla sua velocità di scorrimento

FORME DI ESARAZIONE



ESARAZIONE GLACIALE



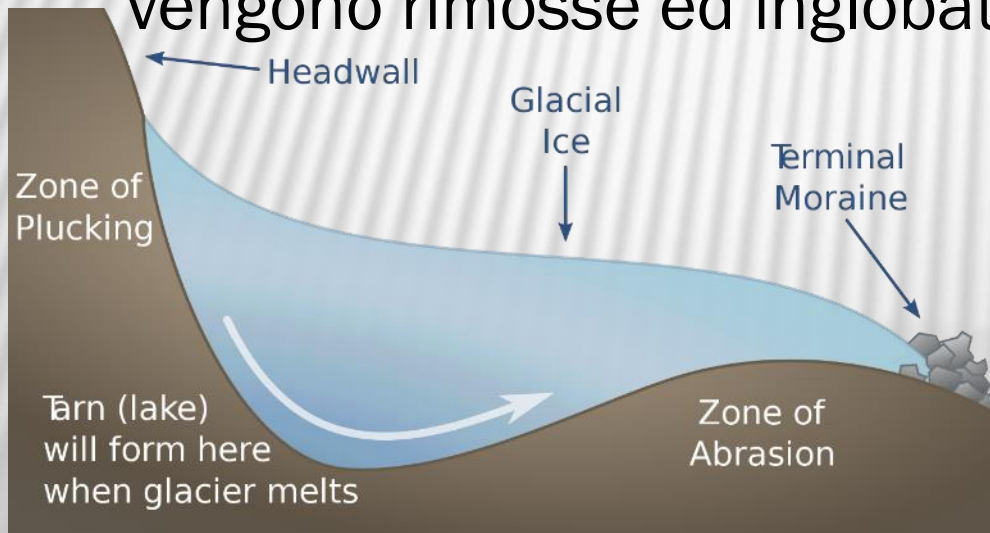
APPROFONDIMENTO DELLE VALLI

- × L'approfondimento è determinato dal tipo di substrato e dal rilievo
- × Nei rilievi gli effetti dell'erosione glaciale sono più evidenti, come cime aguzze, creste affilate, valli profonde e allungate, con versanti molto ripidi



AZIONI EROSIVE DEI GHIACCIAI

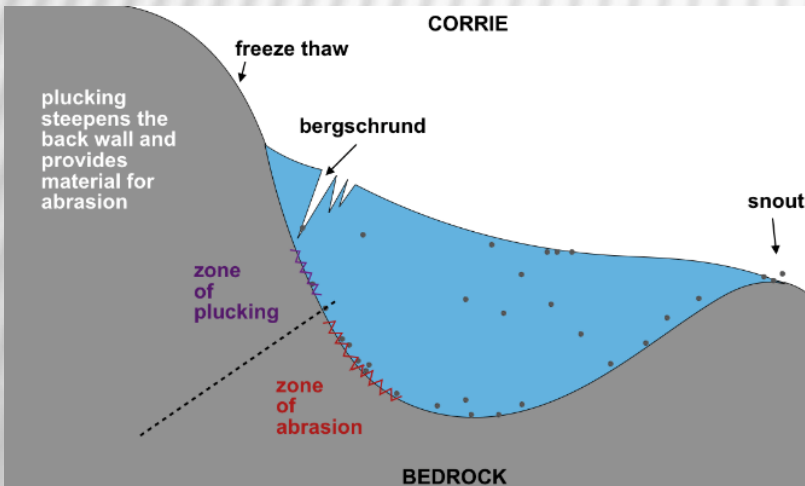
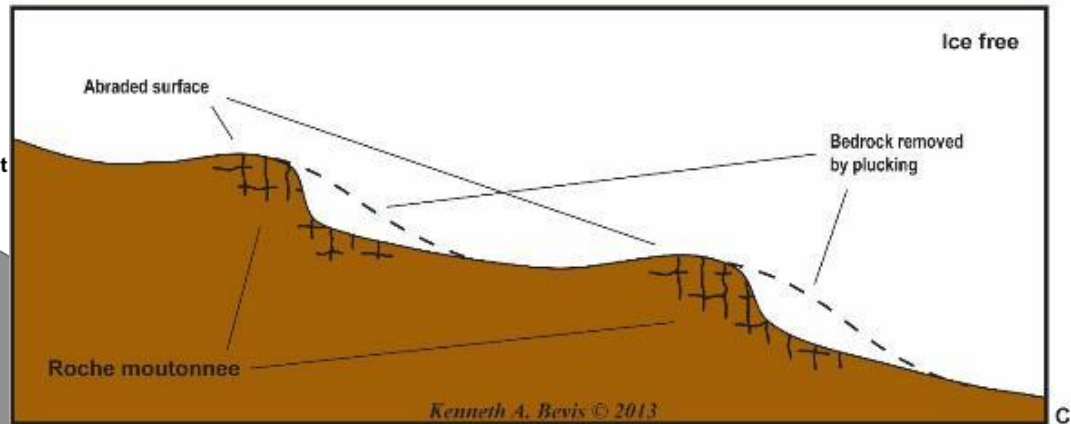
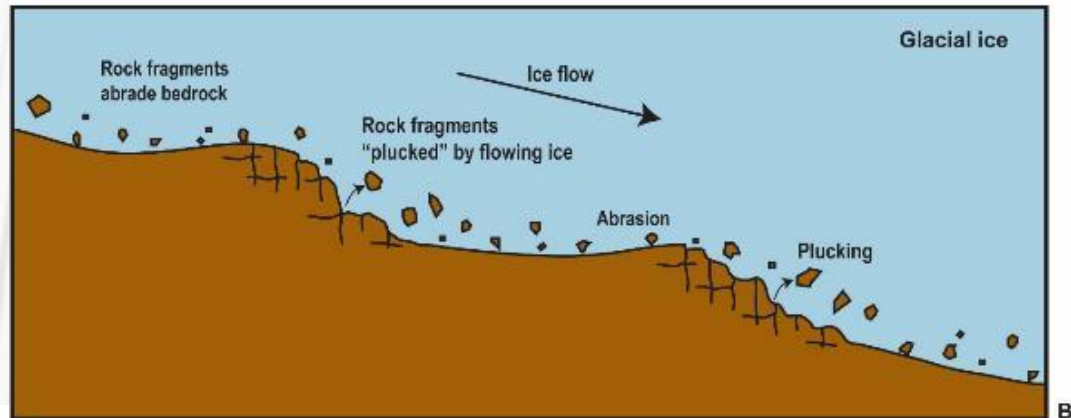
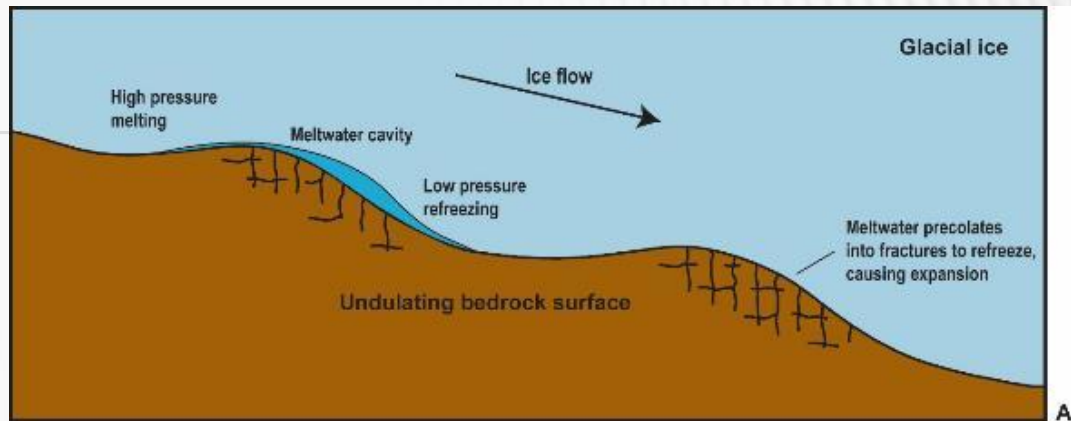
- ✖ Quando il ghiaccio striscia sul substrato, l'attrito provoca la fusione del ghiaccio e lo strato d'acqua riduce la pressione esercitata sulla roccia
- ✖ L'azione erosiva più importante svolta dai ghiacciai è l'estrazione (**plucking**), in cui le particelle rocciose, in seguito del congelamento dell'acqua nelle fratture, vengono rimosse ed inglobate nel ghiaccio



- ✖ Azione importante sulle superfici rivolte in direzione opposta al movimento del ghiaccio

IL CIRCO GLACIALE

- ✗ I ghiacciai possono anche svolgere un azione di *abrasione*, quando detriti trascinati dal movimento del ghiaccio vengono strisciati sul fondo o sulle pareti laterali
- ✗ L'abrasione produce microforme, come le strie, i solchi e la lisciatura (levigatura) delle superfici
- ✗ L'estrazione produce forme più irregolari





TRASPORTO GLACIALE

- ✘ I ghiacciai sono estremamente competenti, ma poco selettivi, accumulando materiali di dimensioni molto diverse
- ✘ Il materiale prevalente è composto da detriti e sedimenti di tutte le dimensioni (farina glaciale), anche blocchi enormi
- ✘ Questi detriti si trovano in una ristretta fascia alla base del ghiacciaio



DEPOSITO FLUVIOGLACIALE (VALSABBIA, BS)



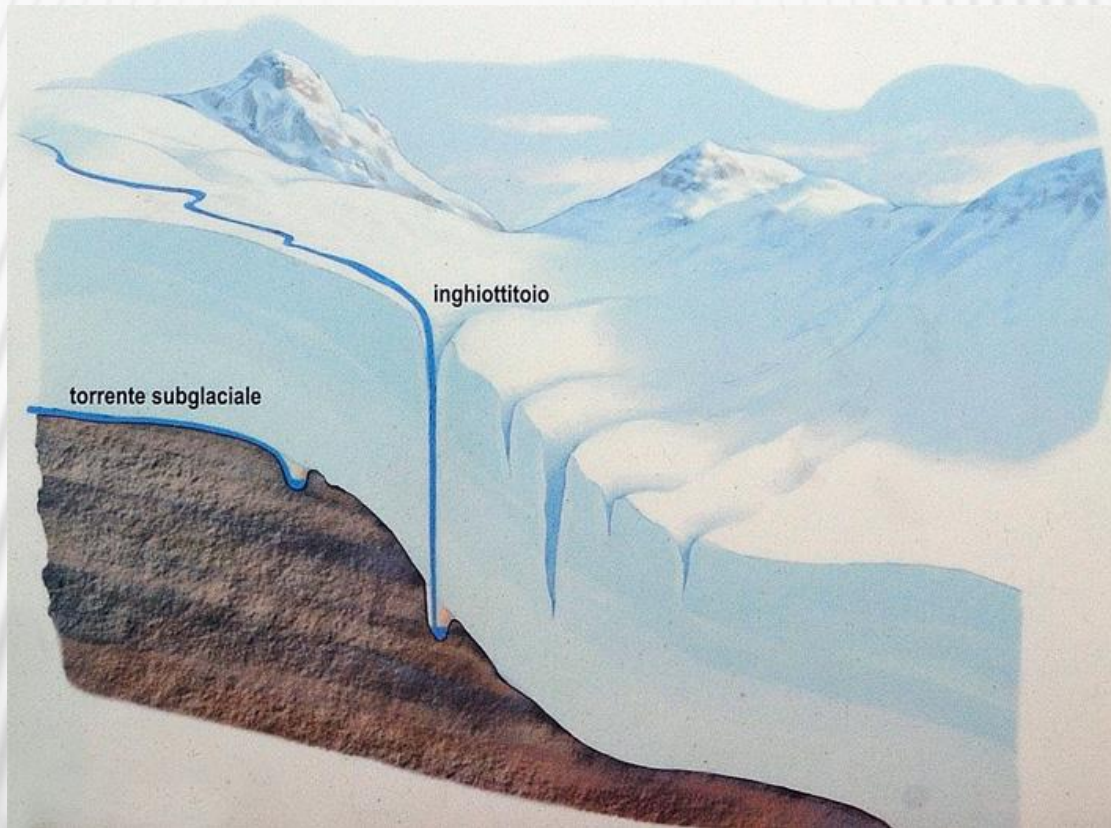
-
- ✘ Nei ghiacciai vallivi, il materiale viene trasportato anche in superficie e sulla fronte del ghiacciaio
 - ✘ La velocità non è costante, di solito aumenta in estate e rallenta in inverno



GHIACCIAIO NERO (MIAGE)



-
- ✘ L'acqua svolge un ruolo importante nel trasporto glaciale
 - ✘ Durante i mesi più caldi, l'acqua di fusione forma rivoli e canali (*bediere*) che scorrono sopra la massa glaciale fino ad eventuali crepacci
 - ✘ Essi portano con se materiale detritico, trasferendo anche sedimenti dall'esterno verso l'interno



LA SEDIMENTAZIONE GLACIALE

- × Il ruolo principale dei ghiacciai consiste nel rimuovere materiale roccioso dalla superficie e trasportarlo in altre aree
- × Alle volte sono stati trovati minerali preziosi in seguito alla rimozione del substrato da parte dei ghiacciai

-
- × Il materiale rimosso è detto *drift*
 - × I depositi glaciali in generale vengono detti anche più precisamente **till**
 - × La sedimentazione ad opera dei ghiacciai è in particolare il prodotto della fusione lungo i bordi della calotta o alla fronte, ma si verifica anche quando il detrito viene abbandonato nella zona di ablazione

TILLITE

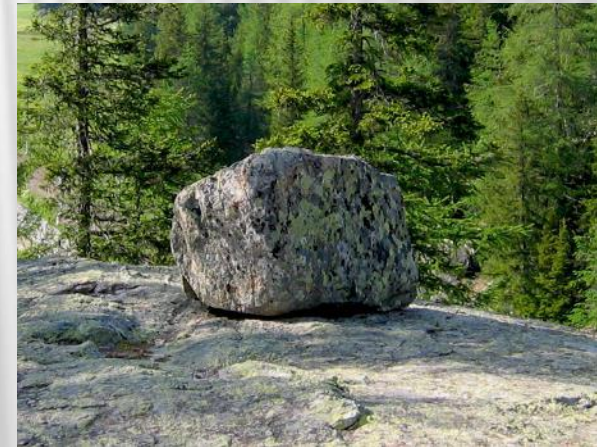
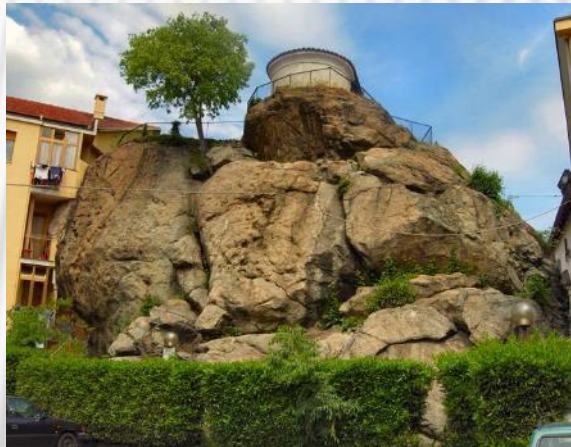


DEPOSITI GLACIALI

- ✘ Il risultato è comunque sempre un deposito eterometrico, non selezionato e non stratificato
- ✘ I frammenti sono generalmente spigolosi, in quanto, avendo mantenuto la loro posizione all'interno del ghiacciaio, non sono stati arrotondati dagli urti
- ✘ I massi di enormi dimensioni si chiamano **erratici** o **esotici**



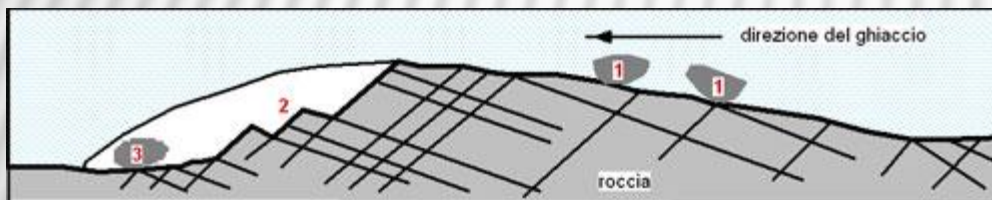
MASSI ERRATICI/ESOTICI



Questi massi, talvolta di notevoli dimensioni, dopo che il ghiacciaio si è ritirato, occupano un'insolita posizione in luoghi pianeggianti. La loro zona di origine è solitamente lontana dal punto in cui si depositano, in modo da riconoscere la litologia diversa da quella locale

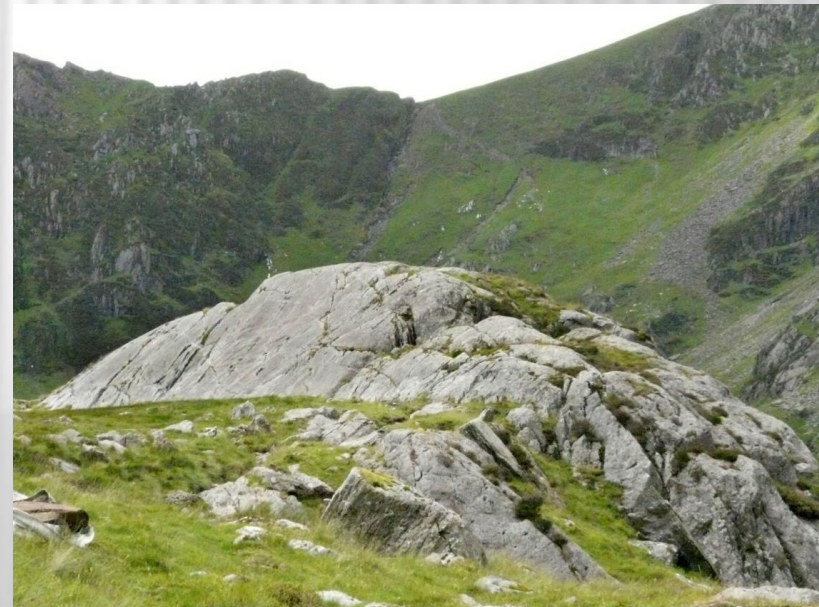
LE ROCCE MONTONATE

- ✘ I rilievi vengono generalmente spianati ed arrotondati dal ghiaccio, come le rocce montonate, che si formano quando un'irregolarità del substrato viene scavalcata dal ghiacciaio
- ✘ La parte della roccia rivolta verso la direzione di provenienza del flusso glaciale (*stoss side*) è interessata da processi abrasivi, l'altra è più ripida (*lee side*)



Modellamento di rocce montonate per effetto di processi di abrasione sul lato a monte

1. Blocchi sospinti dal ghiaccio contro la roccia, che ne provocano la raschiatura;
2. Cavità lasciata libera dal ghiaccio.
3. Ciottolo espulso dal ghiaccio.



PAESAGGIO POST-GLACIALE

- × E' rappresentato da rilievi poco accentuati, non pianeggianti, depressioni incavate, detriti
- × La configurazione del drenaggio superficiale è irregolare, perché sconvolta dall'esarazione



GRAN SASSO (CAMPO IMPERATORE)



DEPOSIZIONE DELLE CALOTTE GLACIALI

- ✘ Il till viene depositato in modo eterogeneo su vaste aree, senza presentare caratteri topografici rilevanti
- ✘ A volte lo strato è sottile e non modifica la topografia sottostante, in altri casi la occulta completamente
- ✘ Si formano comunque superfici variamente ondulate, chiamate *piane di till*



<https://www.geoparkvestjylland.com/geopark/geosites/odby-till-plain>

LE MORENE

- × Spesso i sedimenti glaciali formano strutture più caratteristiche
- × Alle forme deposizionali glaciali, in generale, viene dato il nome di **morene**
- × Hanno una topografia ondulata e irregolare, un po' rilevata rispetto ai terreni circostanti



- × Le morene sono generalmente più lunghe che larghe, con ampiezze da pochi metri a qualche decina di chilometri
- × L'aspetto può essere sia definito che irregolare
- × Quando i blocchi più grossi intrappolati nel till si staccano, creano depressioni caratteristiche dette **kettle**

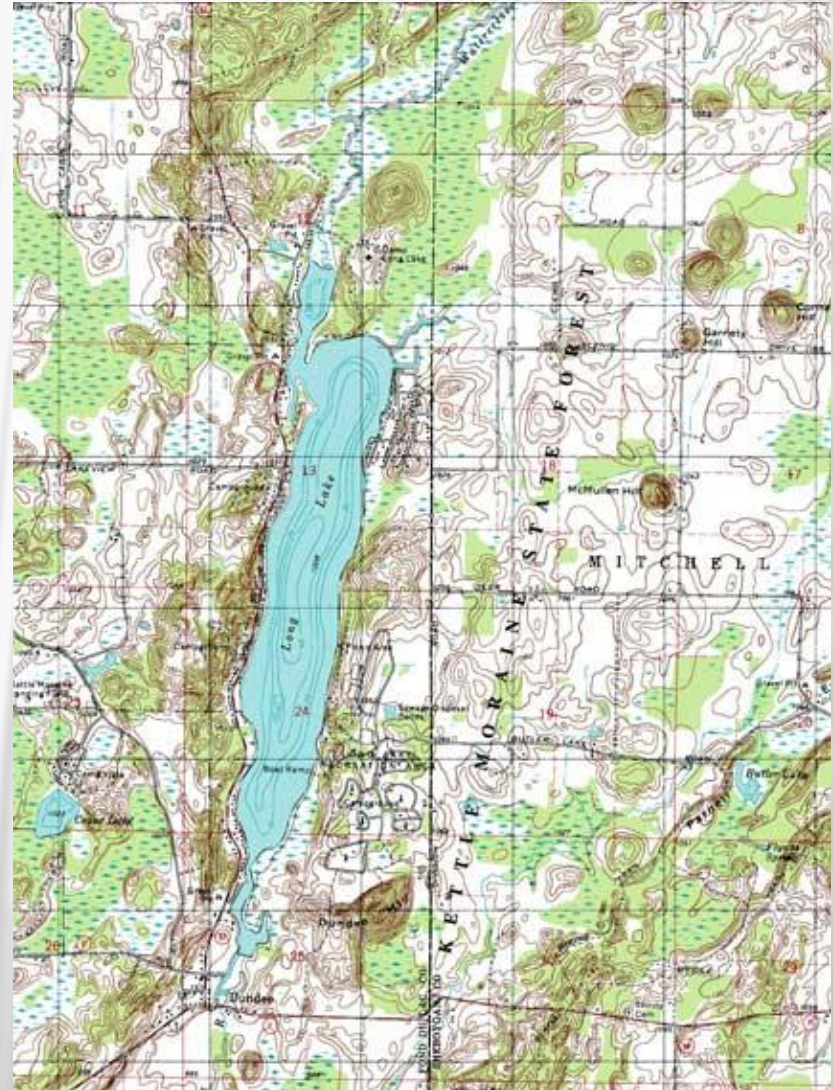
MORENE LATERALI E MEDIANE

- × Quando due ghiacciai si congiungono, le morene laterali si uniscono alla confluenza e proseguono insieme verso la valle principale, formando allineamenti di detriti rocciosi detti morene mediane
- × Spesso le morene mediane sono disposte a fasce, conferendo l'aspetto di bande scure e chiare al ghiacciaio



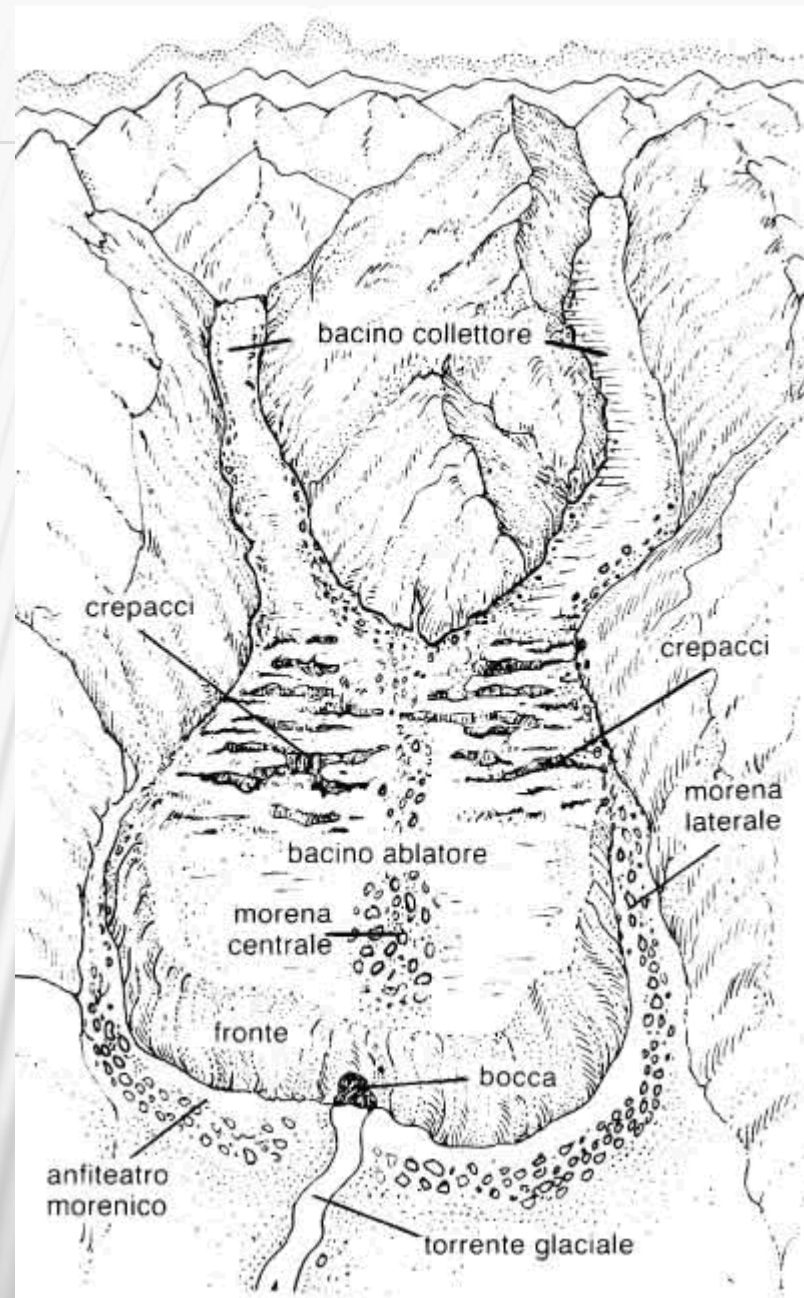


KETTLE (...IN CARTOGRAFIA)



TIPI DI MORENE

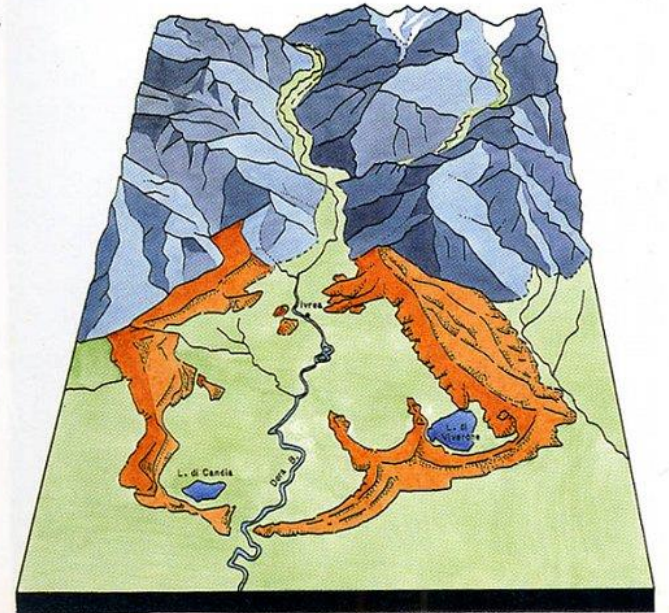
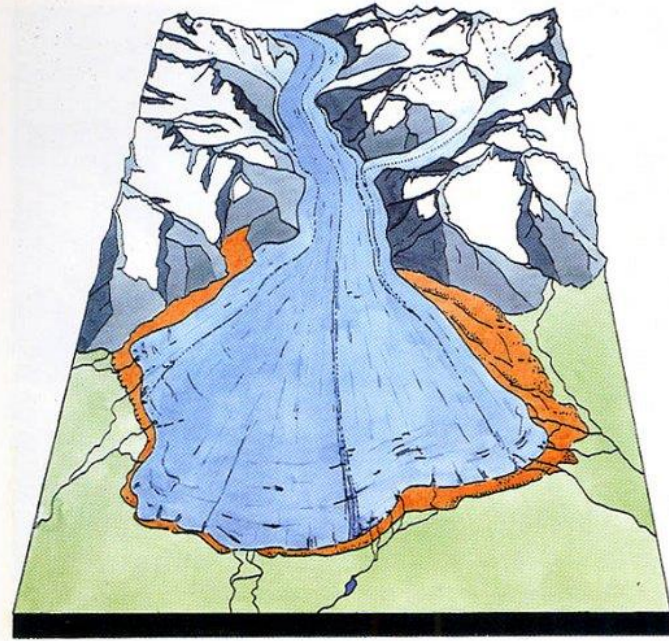
- × Morene terminali (frontali)
- × Morene regressive (di ritiro)
- × Morena di fondo: Indica i depositi depositi direttamente dal corpo del ghiacciaio, piuttosto che dal bordo

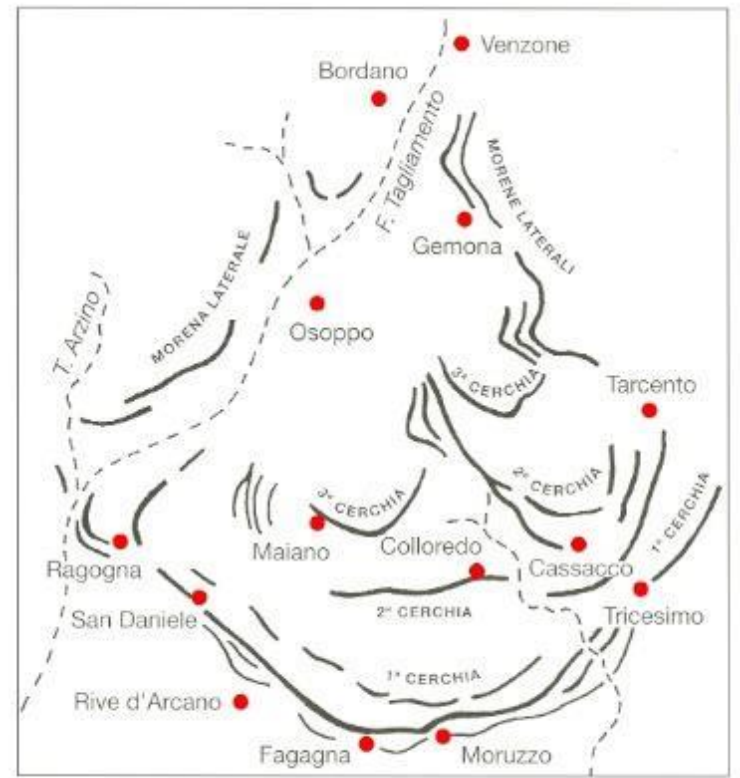


MORENE TERMINALI (FRONTALI)

- × Le morene terminali sono basse dorsali di till che segnano il limite esterno dell'avanzata glaciale
- × Le dimensioni variano da pochi metri a qualche decina di metri (cordoni detritici)
- × Si forma con il ghiacciaio in equilibrio, ed è il materiale abbandonato dal ghiacciaio sulla fronte







MORENA REGRESSIVA (DI RITIRO)

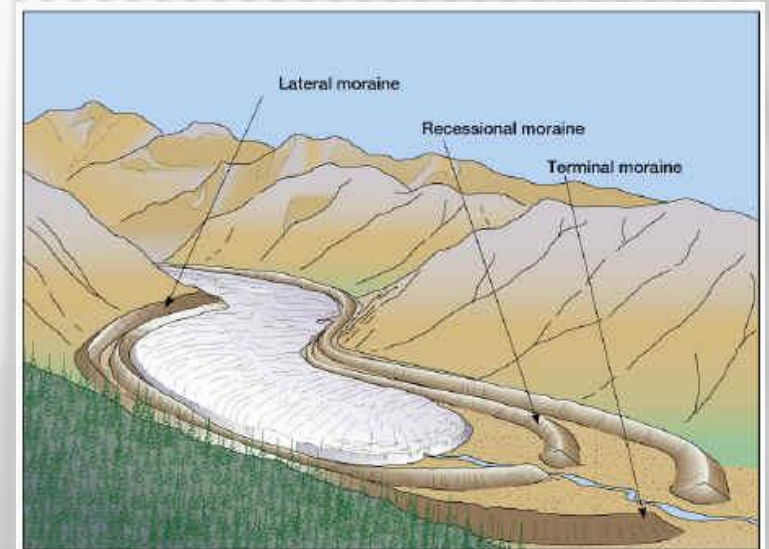
- × Si trova a monte della morena terminale
- × Sono depositi che marcano la posizione in cui il margine glaciale in fase di ritiro si era temporaneamente stabilizzato
- × Le m. regressive e terminali hanno forma arcuata, con convessità rivolta verso l'esterno (indica avanzamenti successivi episodici)

Processi e forme

L'IMPATTO DEI GHIACCIAI SUL PAESAGGIO

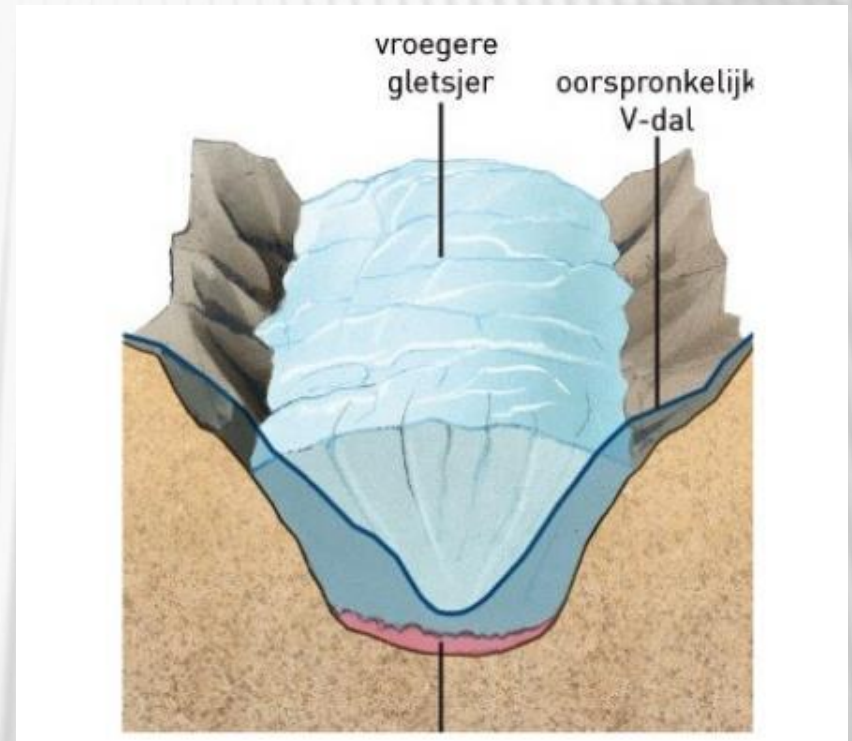
MODELLAMENTO GLIACIALE

- ✘ I ghiacciai hanno un forte effetto di modellamento legato al movimento verso valle
- ✘ Il substrato viene levigato, raschiato, scavato, strappato e abraso, con effetto rimodellante anche sulla topografia
- ✘ Quando il ghiacciaio cessa di avanzare, i detriti trasportati possono venire depositati anche lontano dalle aree di origine



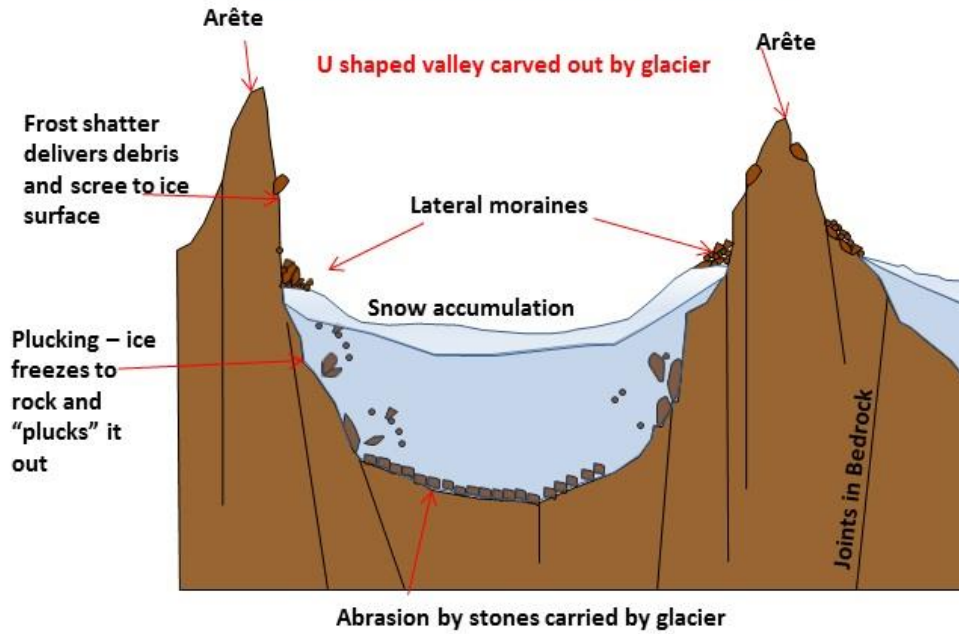
EROSIONE GLACIALE

- ✘ 7% dell'erosione attuale è legata ai ghiacciai
- ✘ La glaciazione modifica le aree pianeggianti, risultando in un differenziamento del drenaggio sui pendii rispetto alle condizioni pre-glaciali;
- ✘ Nelle aree montane la trasformazione topografica porta all'esaltazione dei versanti, che diventano molto più ripidi



U VALLEY

The formation of U-shaped Valleys

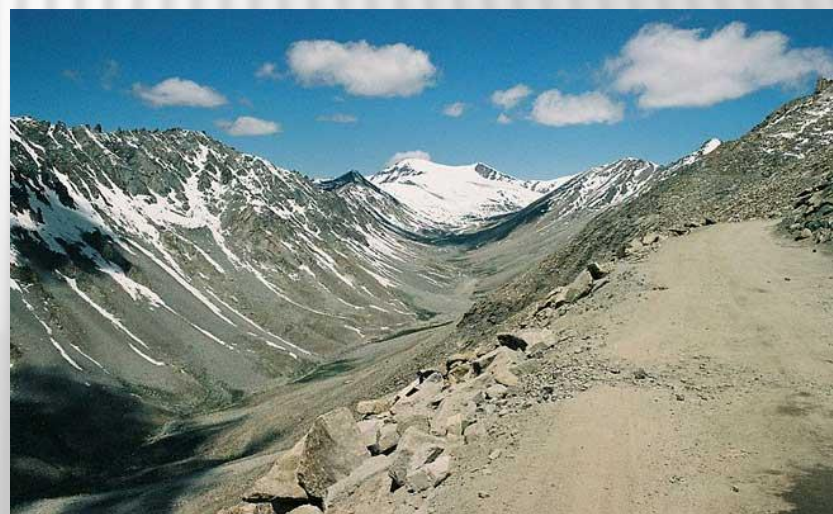
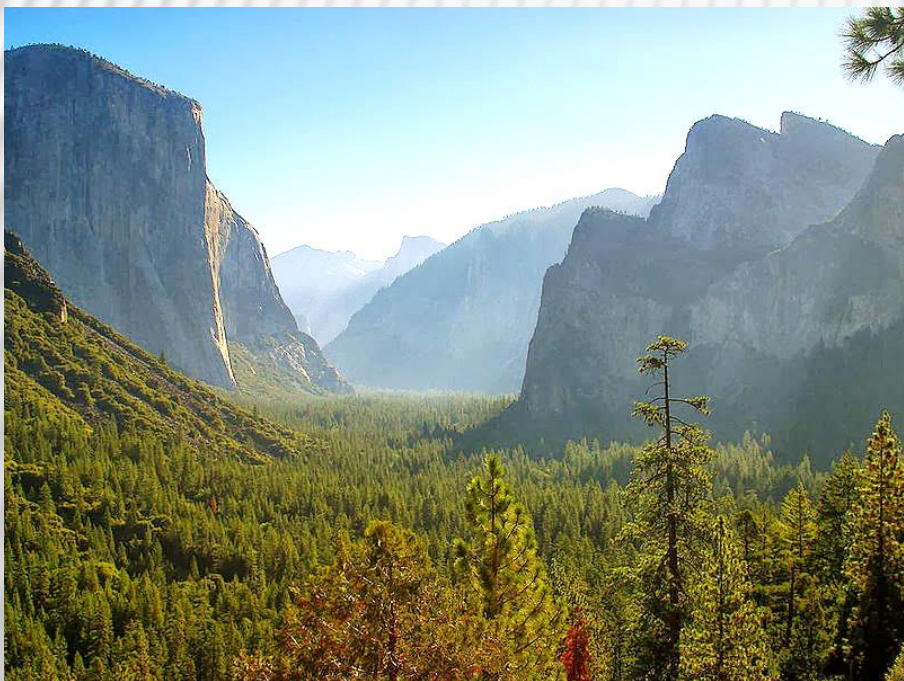


By Rob Gamesby

<http://www.coolgeography.co.uk>



VALLE GLACIALE





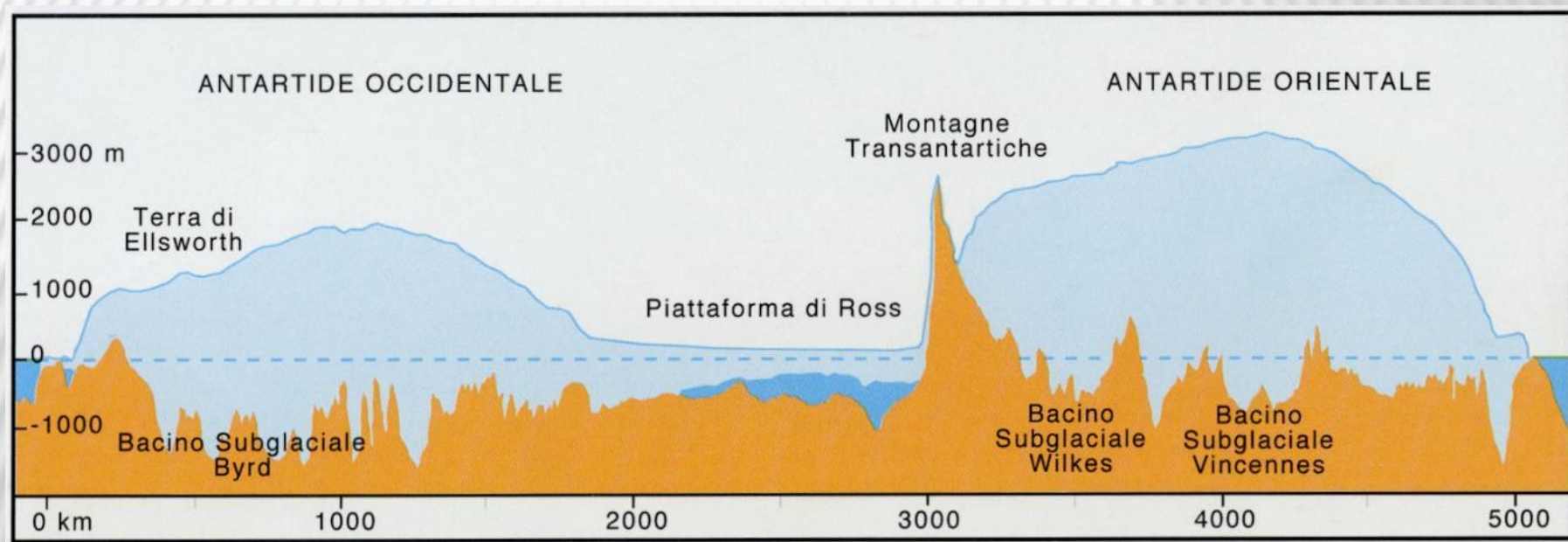
Processi e forme

LE CALOTTE GLACIALI

LE CALOTTE GLACIALI CONTINENTALI

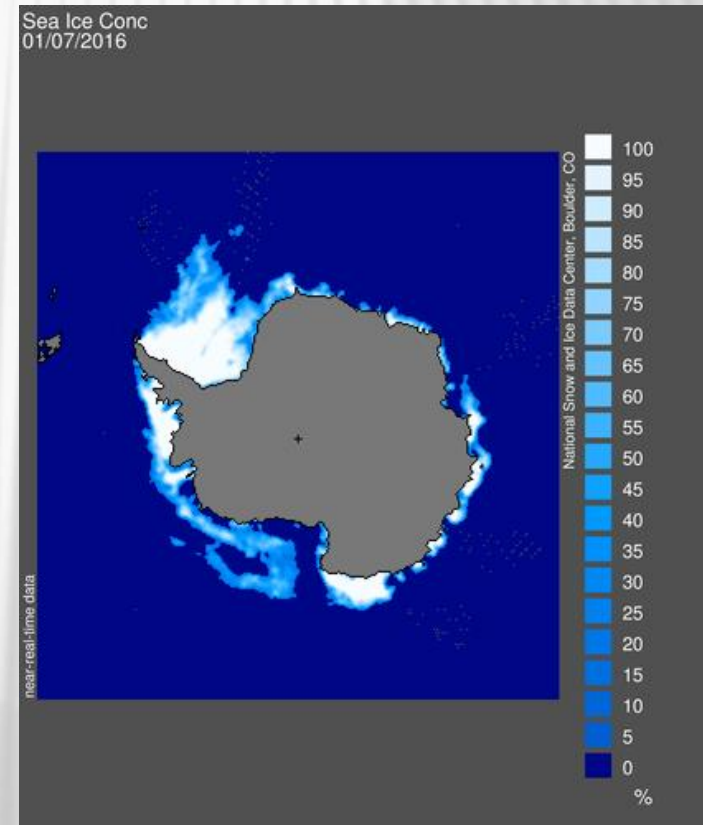
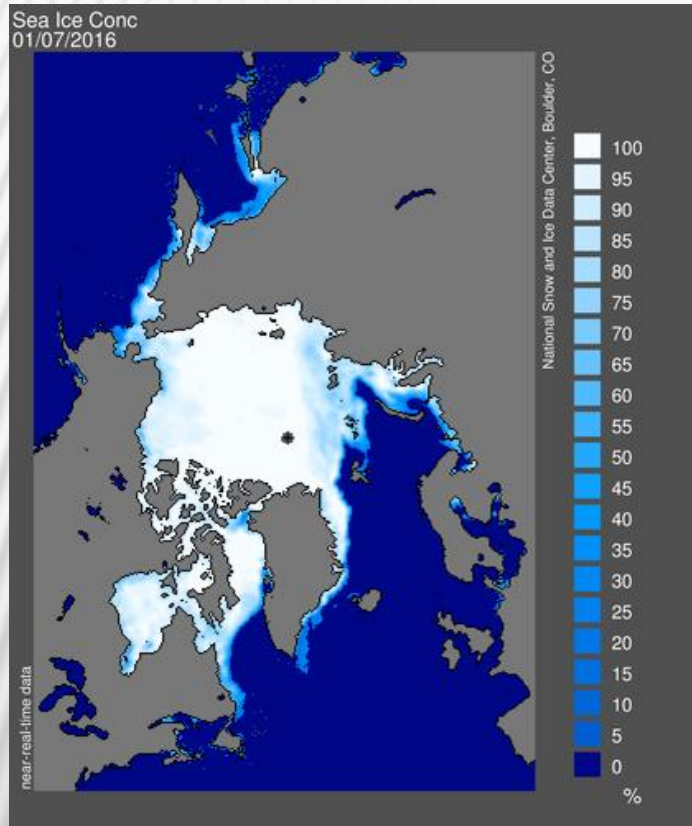
- ✦ Le calotte glaciali continentali sono i ghiacciai che si formano nelle aree montuose dei continenti (*ice-sheets, inlandsis*)
- ✦ Sono estese coltri di ghiaccio che ricoprono il terreno, con spessori da centinaia a migliaia di metri
- ✦ Gli spessori sono maggiori al centro rispetto all'esterno

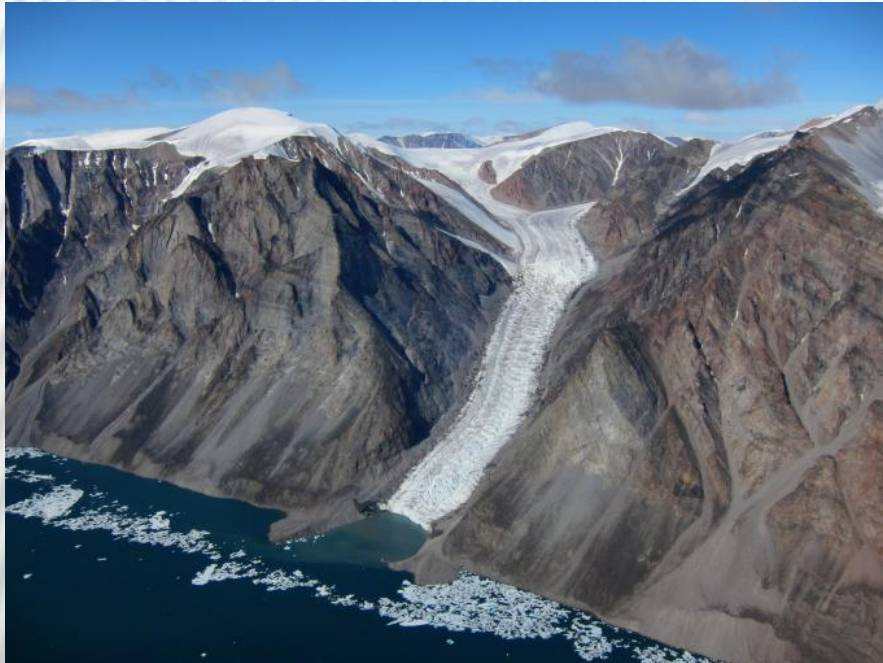
LA CALOTTA ANTARTICA



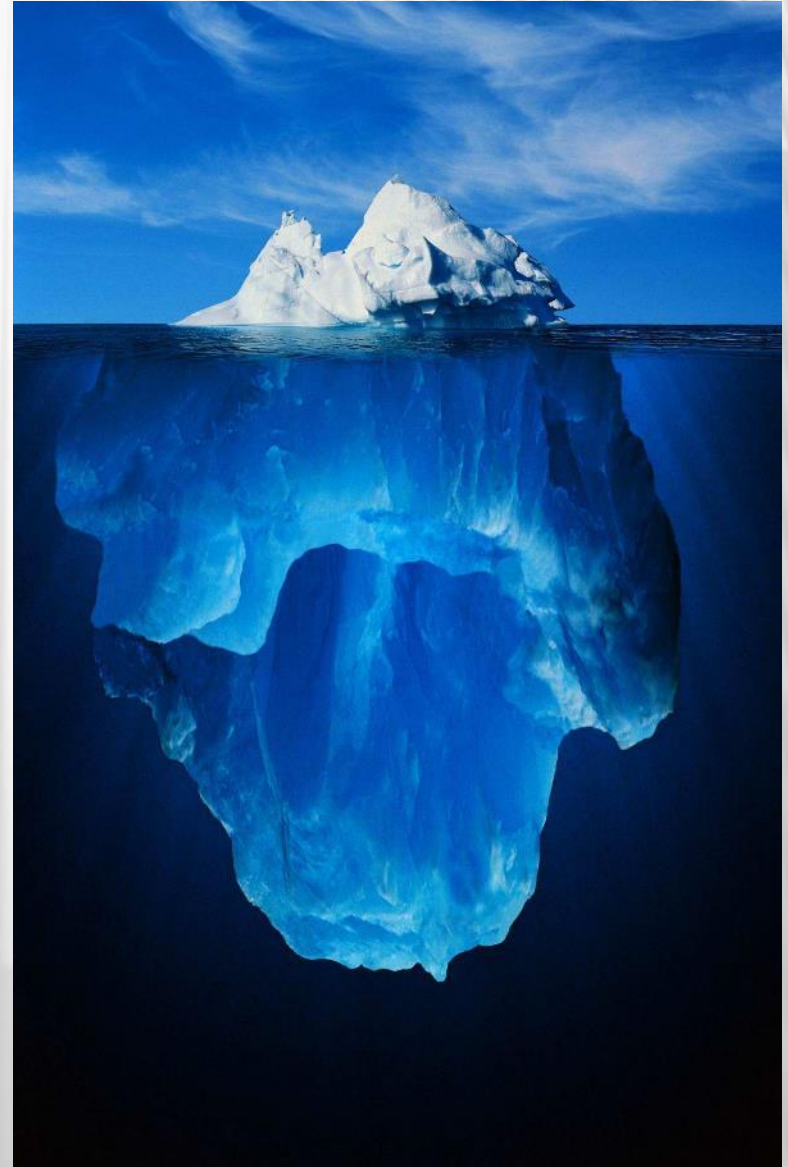
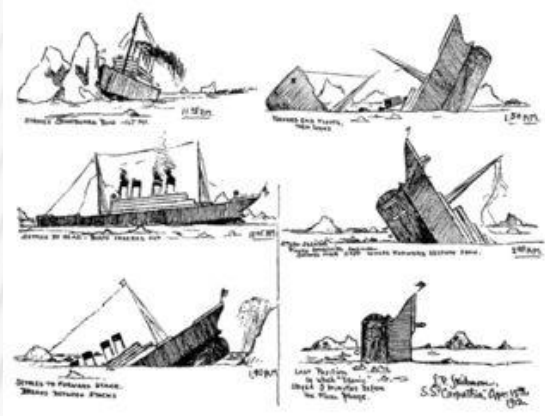
-
- ✘ Si definiscono ghiacciai di sbocco (*outlet glaciers*) le lingue di ghiaccio che si estendono verso mare
 - ✘ Imponenti fronti di ghiaccio possono raggiungere l'oceano formando piattaforme di ghiaccio galleggiante (*ice shelf*).
 - ✘ Quando porzioni di questo ghiaccio si staccano, si formano gli *iceberg*, che galleggiano spingendosi al largo

ESTENSIONI GHIACCIAI ATTUALI IN MARE





ICEBERG



LANDSAT IMAGE (ICEBERG B15 DETACHMENT)





I GHIACCIAI ALPINI

- ✘ Si sviluppano in alta montagna, in lingue isolate poste alla testata delle valli.
- ✘ I ghiacciai più piccoli che si trovano nei circhi (bacini collettori) sono chiamati ghiacciai di circo (*vedrette*)
- ✘ Di norma i ghiacciai fuoriescono dai circhi e scorrono verso valle formando lingue lunghe e strette. Talora possono diventare g. pedemontani

GHIACCIAI ALPINI (ALETSCHE, SVIZZERA)



Processi e forme

I GHIACCIAI MONTANI

I GHIACCIAI MONTANI

- × Questi ghiacciai sono meno efficaci delle calotte nel rimodellamento, in parte per il fatto che sono costretti nelle valli
- × L'effetto quindi è più che altro di approfondimento della valli fluviali preglaciali
- × L'azione quindi è di approfondimento, mentre le calotte tendono ad appiattare

EVOLUZIONE E FLUSSO

- ✘ I ghiacciai montani si estendono sugli altopiani e si dipartono dalla massa glaciale lungo vie di drenaggio (glaciale) verso le valli
- ✘ I ghiacciai vallivi si formano da depressioni (*circhi glaciali*) poste alla testata delle valli e scendono a valle spinti dalla gravità lungo preesistenti valli fluviali
- ✘ Si forma quindi un sistema con vari ordini che converge nella valle principale



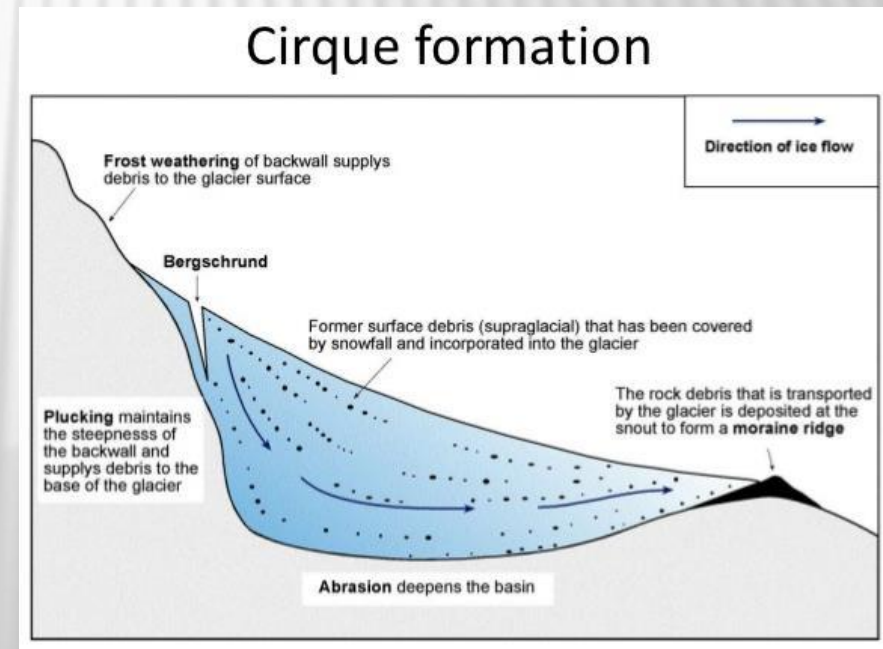
L'EROSIONE DEI GHIACCIAI MONTANI

× L'erosione dei ghiacciai montani e vallivi modifica in modo appariscente la topografia, sia in alta montagna che nella valli, producendo:

- + Circhi glaciali
- + Arete
- + Horn
- + Laghi di circo
- + Valli a U

EROSIONE IN ALTA MONTAGNA

- × Le forme più caratteristiche sono i circhi, ampi anfiteatri scavati alla testata delle valli, con pareti ripide ed a picco e la base pianeggiante
- × Il circo delimita l'area di formazione di un ghiacciaio alpino
- × Il meccanismo di formazione del circo non è stato ancora spiegato esaurientemente (forse legato allo spostamento della linea di equilibrio tra estate ed inverno)



- ✘ Le pareti dei circhi sono ripide ed arretrano per esarazione glaciale
- ✘ Quando due circhi sono molto vicini, ciò che rimane è una sottile cresta detta *arete* (fr. Lisca, lat. scheletro)
- ✘ La parte sommitale assottigliata tra due circhi si chiama col



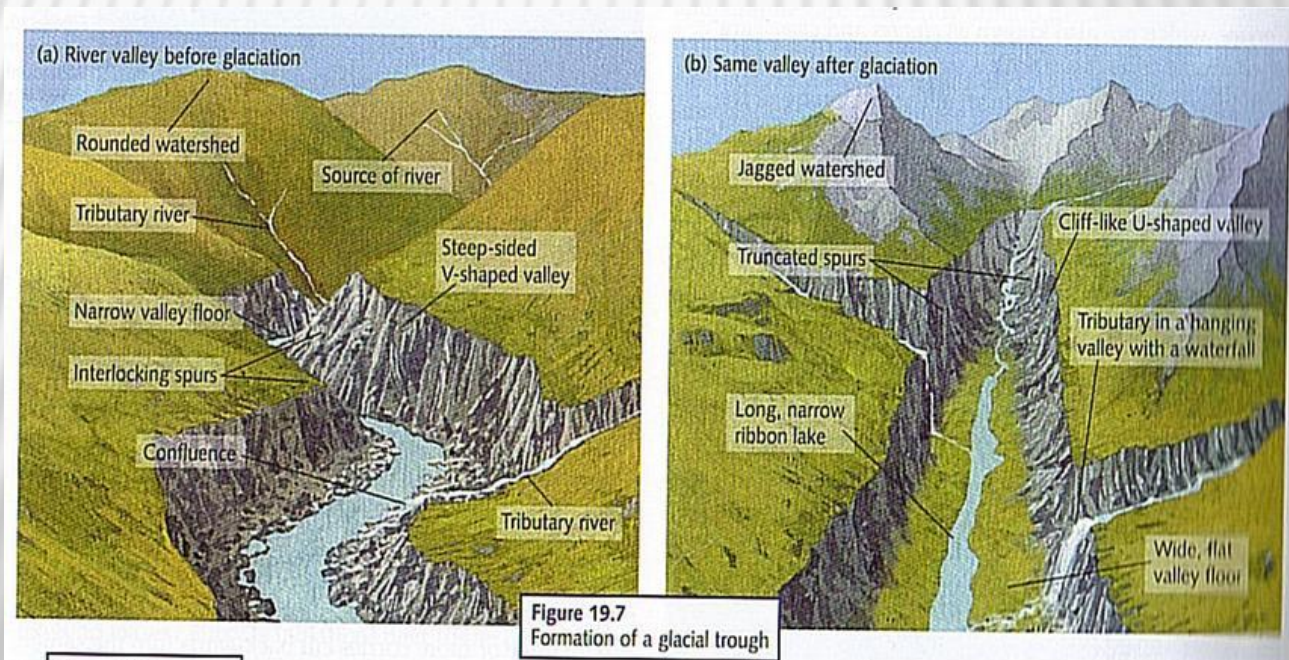
HORN E LAGHI DI CIRCO

- ✘ Guglia appuntita, piramidale con pareti ripide, con intersezione di tre o più circhi glaciali
- ✘ L'esempio più famoso è il Matterhorn (Svizzera) e il Cervino (Italia)
- ✘ Quando il ghiaccio di circo fonde, la depressione può ospitare un lago di circo, o *tarn*



EROSIONE NELLA VALLI

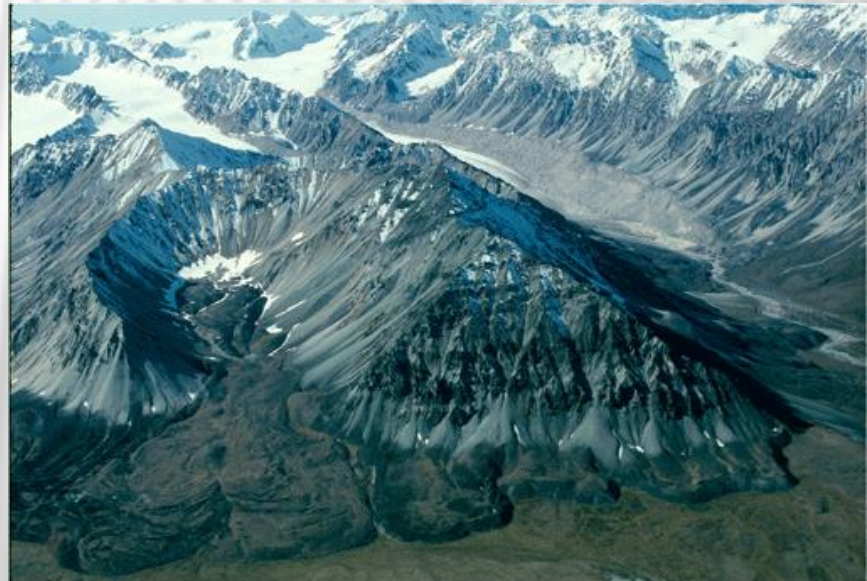
- ✗ Non tutti i ghiacciai vallivi abbandonano il circo, ma gli altri con il loro movimento a valle, modificano la valle stessa
- ✗ L'efficacia erosiva di un ghiacciaio in una valle montana è intenso grazie al volume, densità ed al trasporto di materiale abrasivo
- ✗ L'azione erosiva di un ghiacciaio vallivo produce la valle ad U



LA VALLE GLACIALE

- ✘ Il ghiacciaio non forma meandri, ma tronca gli speroni che separano le valli adiacenti, sostituendo il percorso sinuoso del torrente con quello rettilineo della valle glaciale (*truogolo glaciale*)
- ✘ Il profilo longitudinale di una valle glaciale è irregolare, con tratti pianeggianti o debolmente inclinati alternati ad altri più ripidi

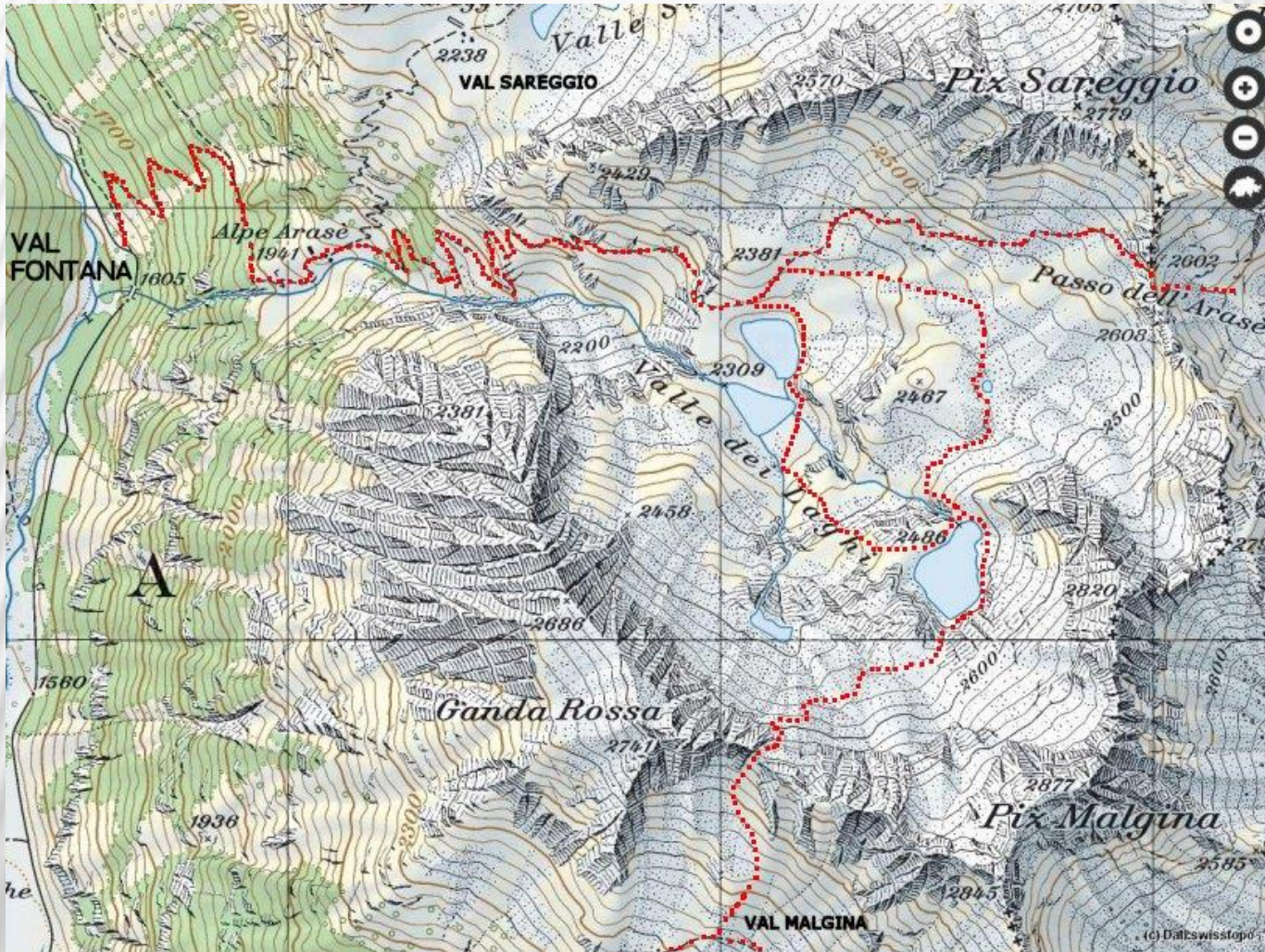
Lungo la costa queste valli danno luogo ai fiordi



TORRENTI POST-GLACIALI E FORME

- ✘ La valle glaciale, dopo il ritiro dei ghiacci, mostra dei gradini di roccia, con scarpate ripide e piccole depressioni lacustri
- ✘ Il torrente post-glaciale segue un percorso relativamente rettilineo ma caratterizzato da un gradiente alquanto variabile
- ✘ I laghi nella valli glaciali sono anche detti *laghi paternoster*, o a rosario, per la loro somiglianza con la collana di un rosario





VALLI SOSPESE



- ✘ Sono valli di origine glaciale che sboccano in una valle principale
- ✘ I torrenti che vi scorrono formano spesso cascate

Processi e forme

LE GLACIAZIONI ED I GHIACCIAI ATTUALI

EROSIONE NELLE AREE MONTANE

- ✘ L'estensione dei ghiacciai non è rimasta sempre uguale, soprattutto negli ultimi 2 milioni di anni (**Quaternario**)
- ✘ Il movimento e la fusione dei ghiacci ha lasciato una molte tracce sul terreno, dando informazioni sulle passate glaciazioni
- ✘ Le testimonianze sono però alquanto incomplete ed approssimative
- ✘ Gli eventi più recenti sono meglio documentati di quelli più antichi, anche a causa del fatto che gli eventi più recenti hanno cancellato le forme ed i depositi del passato

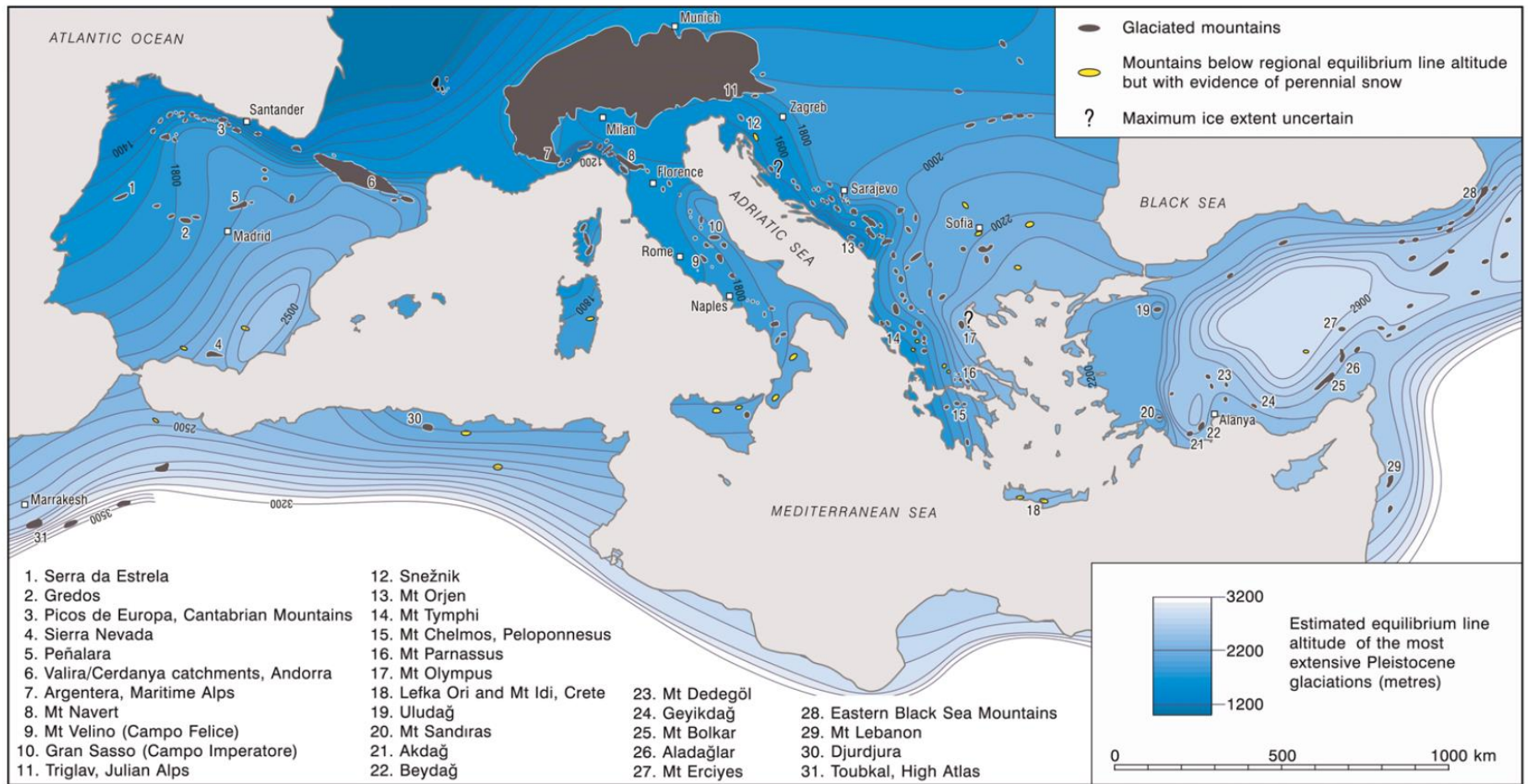
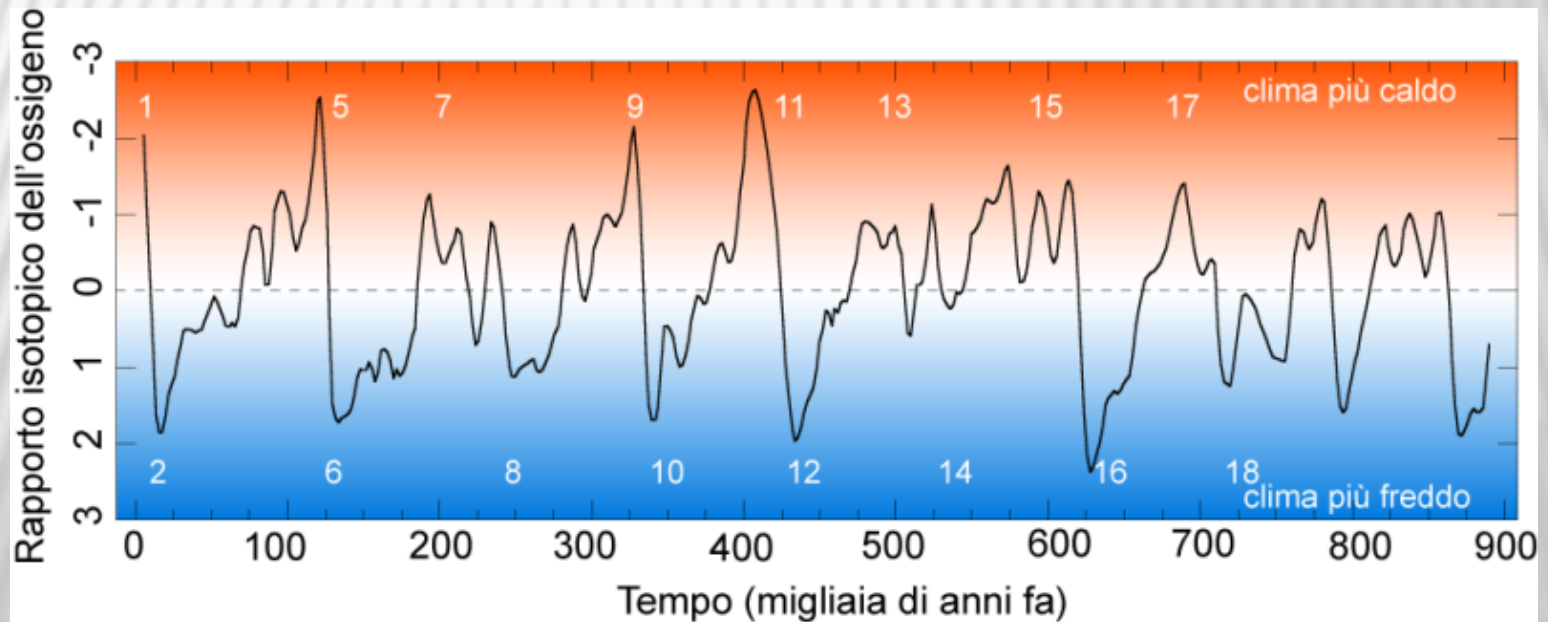


Fig. 2. The distribution of Pleistocene glaciation in the Mediterranean mountains and the associated equilibrium line altitudes (ELAs) at the maximum recorded phase of glaciation. This was inspired by a similar figure published by Messerli (1967, Karte 1) although it is updated and revised based on the most recent data available. It is known that the timing of glaciations varied across the Mediterranean mountains with some glaciers reaching their maximum extent in the Middle Pleistocene (Italy, Croatia, Montenegro, Greece), whilst other areas contain evidence of only Late Pleistocene glaciers (e.g. Turkey). The ELA isopleth map for the entire region is therefore diachronous but provides an indication of Pleistocene glacier distributions. Even for the last glacial cycle glaciers reached their maximum extents at different times (Hughes & Woodward 2008; Hughes *et al.* 2013) and a synchronous ELA isopleth map for the entire region is likely to be unrealistic. A synchronous ELA isopleth map is only possible for well-dated moraines in narrow time intervals such as the global LGM (Hughes & Gibbard 2015) or the Younger Dryas (Renssen *et al.* 2015), when glaciers expanded in many areas. The legend lists key locations featured in this volume.

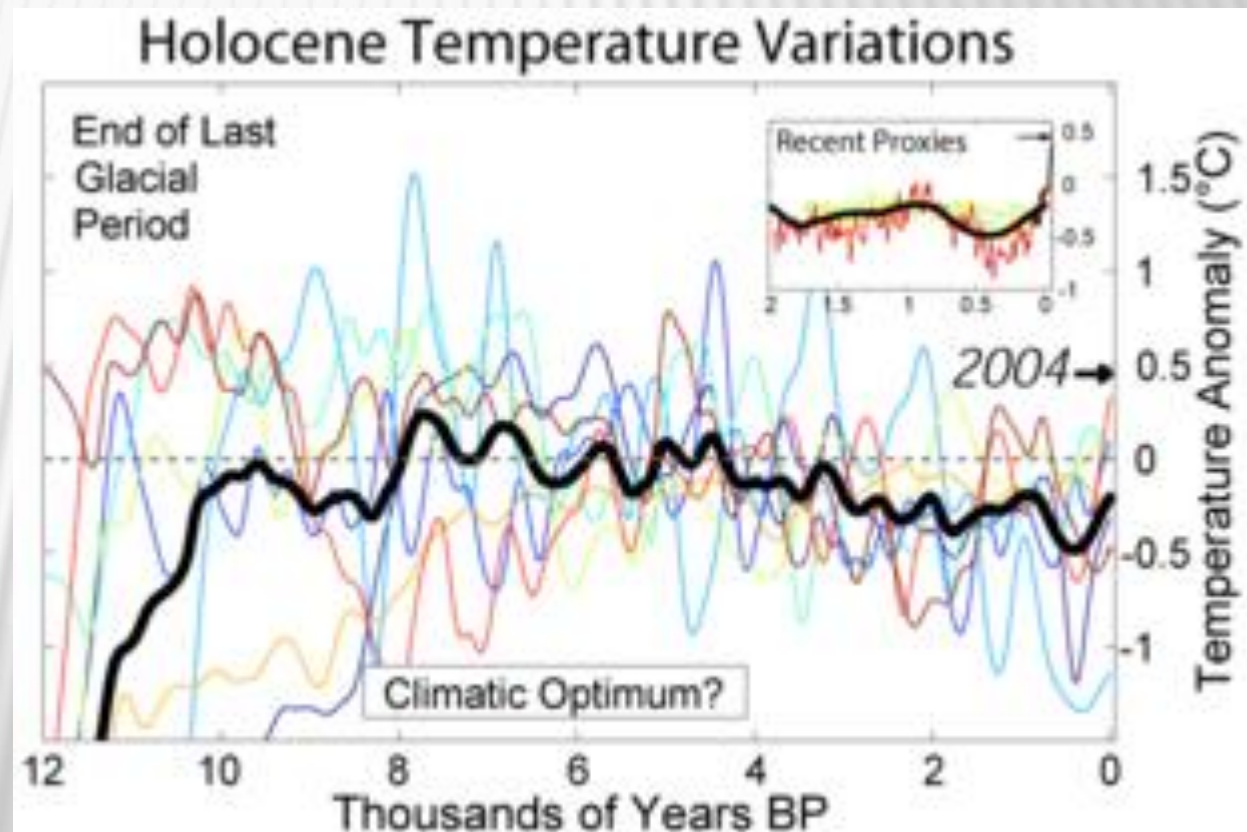
LE GLACIAZIONI PLEISTOCENICHE

- ✘ Il Pleistocene è un'epoca geologica. E' iniziata 2.58 Ma (IGC) fino all'ultima glaciazione;
- ✘ La caratteristica ambientale più importante del Pleistocene è la variazione del clima con periodi di raffreddamento alle alte latitudini e quote.
- ✘ Alternanze di periodi glaciali (avanzata dei ghiacci) e periodi interglaciali (ritiro dei ghiacci)



LE GLACIAZIONI

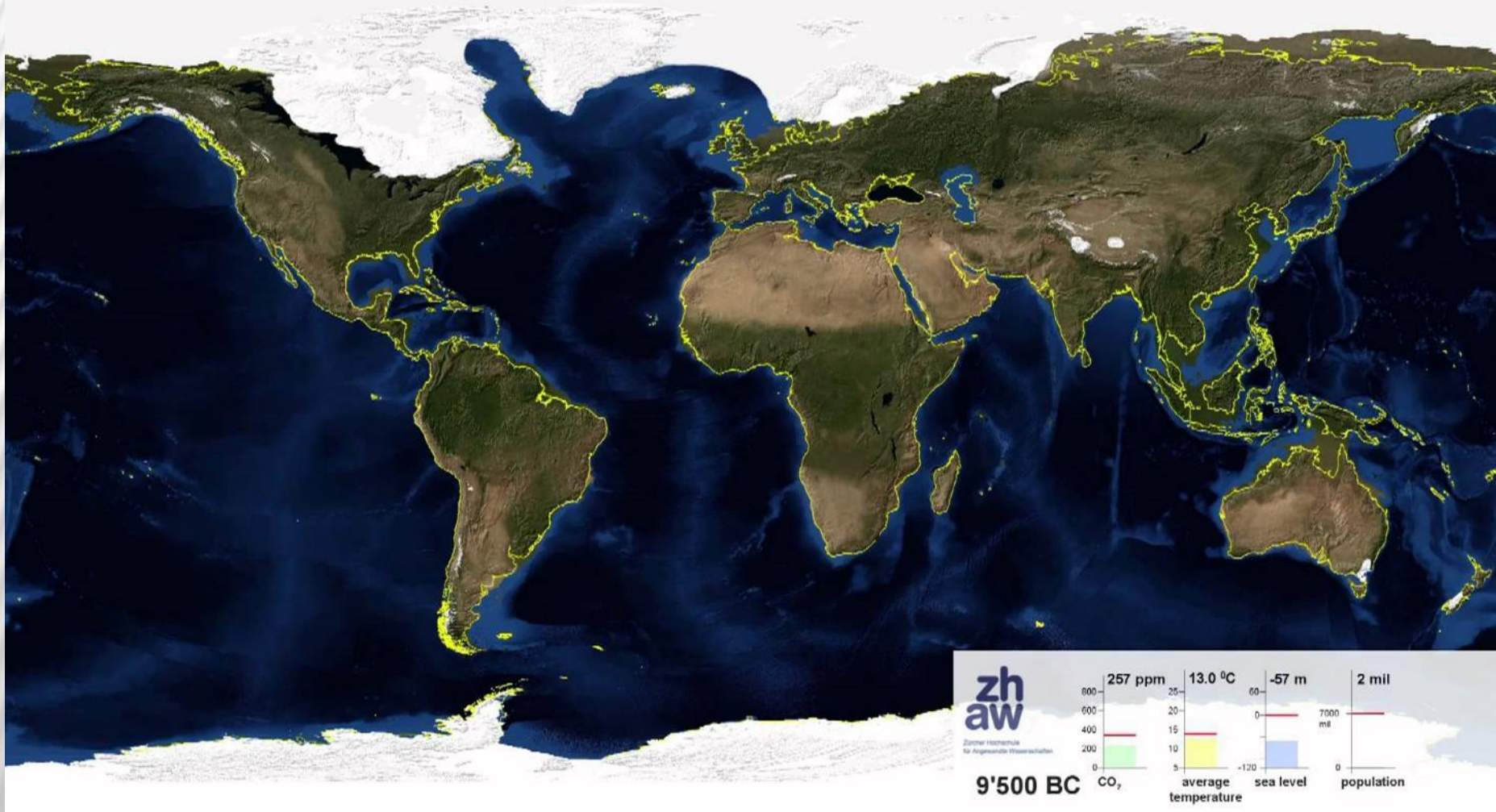
- ✘ A seconda della area, vengono riportate da 5 a 11 glaciazioni
- ✘ La fine del Pleistocene coincide con la conclusione dell'ultima glaciazione (LGM – Last Glacial Maximum, *Würm*).
- ✘ Il periodo successivo è chiamato *Olocene* e può considerato sia un'epoca post-glaciale che l'ultimo di una serie di intervalli interglaciali



ESTENSIONE DELLE GLACIAZIONI

- ✘ La massima estensione delle calotte sembra sia stata di circa 47.000.000 km², circa un terzo della superficie totale delle terre emerse
- ✘ Lo spessore totale poteva raggiungere qualche migliaio di metri
- ✘ Più di metà dell'Europa sembra sia stata coperta da ghiacciai, l'Asia meno, buona parte della Nuova Zelanda

LAST GLACIAL MAXIMUM (LGM)



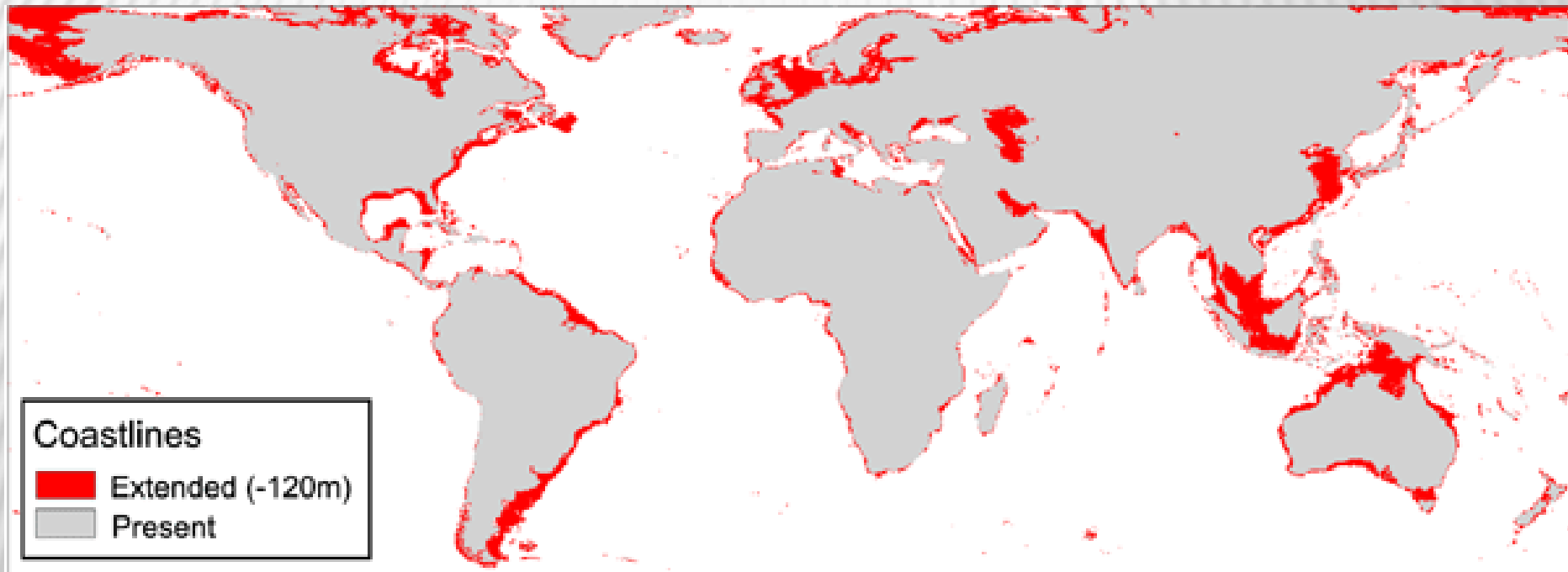
PRINCIPALI EFFETTI DELLE GLACIAZIONI

- ✘ Processi periglaciali fino alle latitudini più basse di quelle attuali;
- ✘ Variazioni del livello del mare, con valori fino a circa 140 m sotto il livello attuale;
- ✘ Isostasia, con vaste aree che subiscono riaggiustamenti post-deglaciazione;
- ✘ Aumento delle precipitazioni

VARIAZIONE DEL LIVELLO DEL MARE - EUSTATISMO

- × L'accrescimento dei ghiacciai sui continenti ha determinato una diminuzione della quantità d'acqua dai continenti agli oceani, con una conseguente diminuzione del livello del mare su tutto il pianeta (eustatismo)
- × Queste variazioni hanno indotto importanti cambiamenti nell'evoluzione morfologica dei sistemi idrografici, delle coste e delle pianure costiere

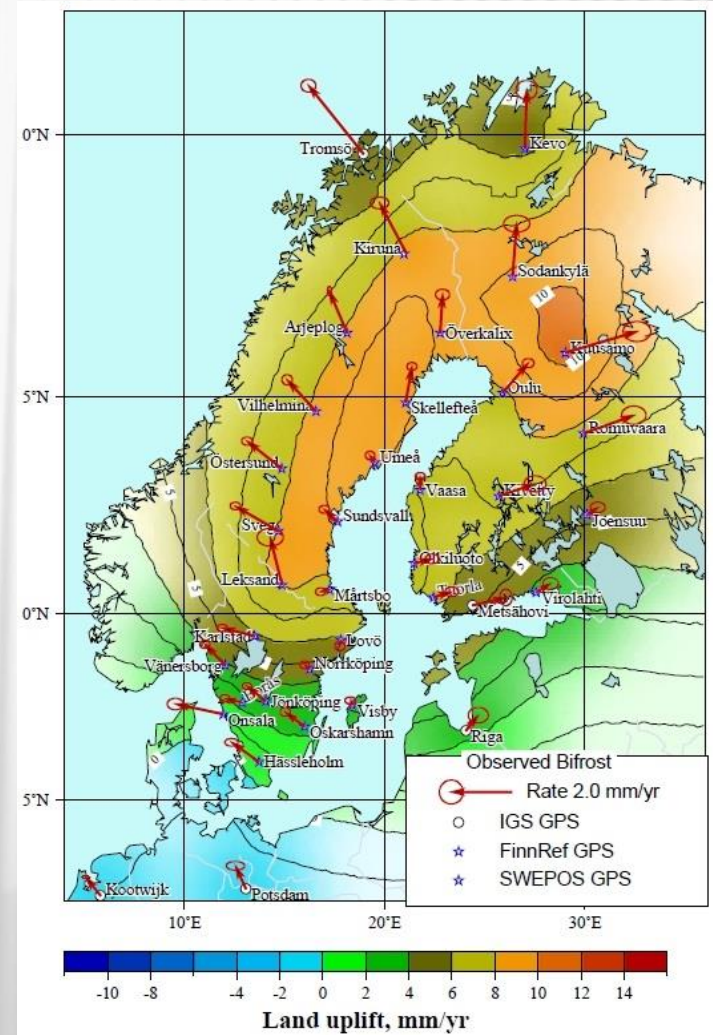
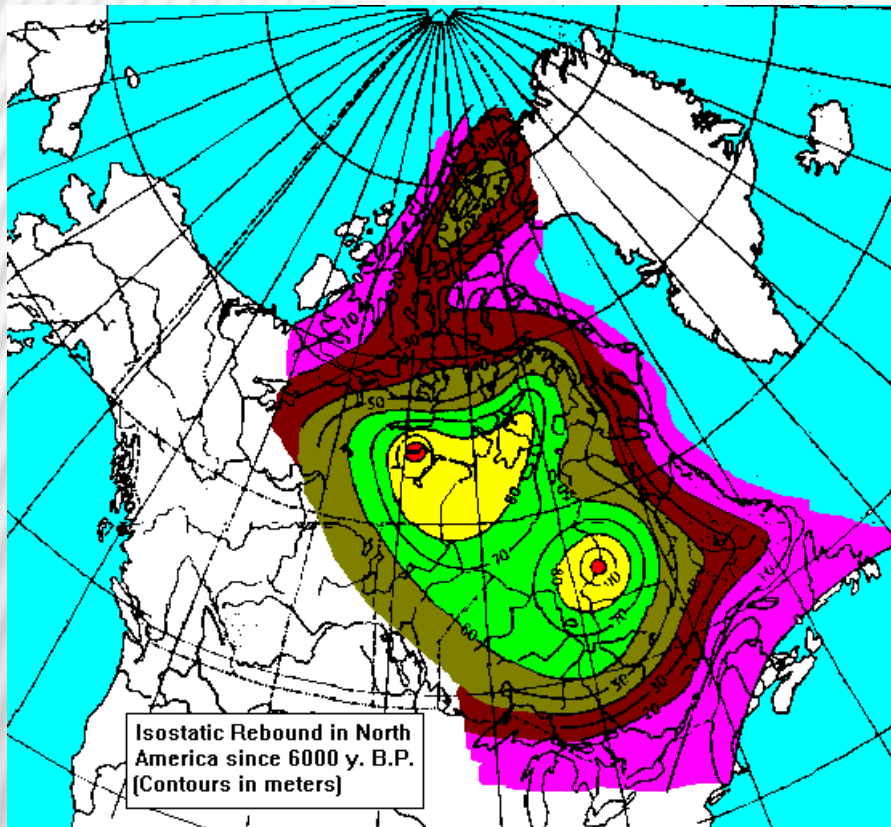
LINEA DI COSTA DURANTE LGM



ISOSTASIA

- × Il peso dei ghiacciai sui continenti ha causato un abbassamento isostatico di ampie porzioni di crosta terrestre, sembra fino a 1200 m di profondità
- × Lo scioglimento dei ghiacci ha provocato quindi il lento sollevamento della crosta precedentemente sprofondata (aggiustamento isostatico)

ISOSTATIC REBOUND



I GHIACCIAI ATTUALI

- × L'estensione attuale dei ghiacciai risulta molto ridotta (10%), ma oltre il 96% si trova in Antartide e Groenlandia
- × L'Antartide copre circa l'85%, con spessori massimi di 4000 m, ma normalmente maggiori di 1500 m

Ghiacciaio. – Dimensioni dei ghiacciai terrestri

	Antartide	Groenlandia	Altri ghiacciai
Superficie (10 ⁶ km ²)	12,37 (83,8%)	1,71 (11,6%)	0,68 (4,6%)
Volume (10 ⁶ km ³)	25,71 (89,4%)	2,85 (9,9%)	0,18 (0,6%)
Volume (m l.m. equiv.)	63,9	7,2	0,5
Spessore massimo (m)	4776	3366	