

GHIACCIAI E CRIOSFERA

La criosfera è quella porzione del Pianeta che vede l'acqua in forma solida, e include il ghiaccio marino, il ghiaccio di lago e di fiume, la copertura nevosa, i ghiacciai, le calotte glaciali, le piattaforme glaciali, il permafrost. Ovviamente criosfera e idrosfera per molti aspetti si sovrappongono. **La criosfera è un elemento chiave del sistema climatico globale e attraverso relazioni e meccanismi a retroazione** (feedbacks) influenza il bilancio energetico superficiale, i flussi di vapore, la formazione di nubi, le precipitazioni, l'idrologia, la circolazione atmosferica e oceanica. Attraverso questi feedbacks la criosfera svolge un ruolo chiave per il clima globale e va tenuta in grande considerazione in ogni approccio modellistico climatico. **La criologia è lo studio della criosfera (anche detta scienze criosferiche).** L'acqua solida si trova sulla superficie terrestre sotto forma di copertura nevosa, ghiaccio di lago e di fiume, ghiaccio marino, ghiacciai non polari, calotte e piattaforme, permafrost; il tempo di residenza dell'acqua in ciascuno di questi sub sistemi criosferici varia. **La copertura nevosa e il ghiaccio di acqua dolce sono essenzialmente stagionali e la maggior parte del ghiaccio marino**, eccezion fatta per l'Artico Centrale, **resiste solo pochi anni anche se non è stagionale.** Una data **particella d'acqua in ghiacciai**, ghiacciai polari o permafrost **rimane congelata per 10-100,000 anni** o più e il ghiaccio profondo dell'Antartide ha un'età prossima al milione di anni. La maggior parte del volume di ghiaccio del Pianeta è localizzato in Antartide, in particolare nella calotta Orientale (East Antarctic Ice Sheet).

In termini di estensione areale, l'emisfero Nord durante l'inverno presenta la copertura glaciale e nivale maggiore pari in gennaio al **23% della superficie emisferica.** **La glaciologia è la scienza che studia i ghiacciai e i fenomeni che interessano il ghiaccio**, fa parte delle scienze della terra ed è una disciplina che abbraccia e integra la geofisica, la geologia, la geografia fisica, la geomorfologia, la climatologia, la meteorologia, l'idrologia, la biologia e l'ecologia. Gli impatti dei ghiacciai e delle loro variazioni sulla popolazione sono oggetto di studio da parte dei geografi umani e degli antropologi. La scoperta di ghiaccio su Marte e su altri corpi celesti ha inoltre avviato una nuova scienza: astroglaciology. La glaciologia si occupa di studiare la storia glaciale e di ricostruire le glaciazioni passate ed è una branca chiave delle Scienze Polari. Un ghiacciaio è un'estesa massa di ghiaccio derivante dalla trasformazione della neve. Il ghiaccio glaciale, infatti, deriva dalla trasformazione della neve precipitata e accumulata su lungo periodo di tempo (10 anni sulle Alpi e 100 anni in Antartide). Inoltre, il ghiacciaio è un corpo dinamico, il ghiaccio glaciale fluisce lentamente per gravità e deformazione. Alcuni si muovono anche a velocità più elevate di 200 m/anno, i ghiacciai sono in equilibrio con il clima e variano area, volume e lunghezza in funzione di questo.

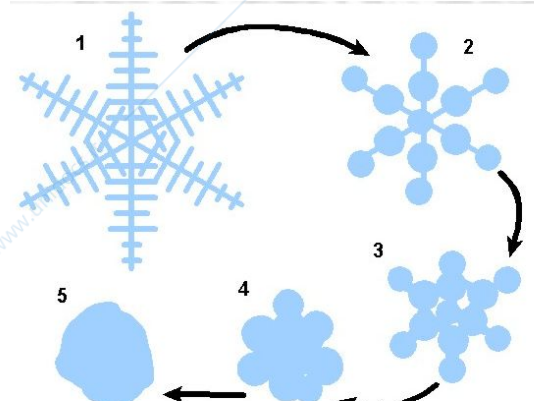
TRASFORMAZIONE DELLA NEVE IN GHIACCIO

I ghiacciai si formano dove la fusione estiva di neve e ghiaccio rimuove meno massa di quanto accumula durante l'inverno. Gli accumuli di neve residua si ispessiscono e nel tempo (anni) si trasformano in ghiaccio blu, il punto di fusione del ghiaccio alla pressione atmosferica della superficie è 0°C e anche lievi variazioni di pressione abbassano questo valore di temperatura. Questo spiega come mai quando la neve è compressa in una densa palla di neve se la lanciati è dura e può ferire! *La pressione che esercitiamo durante la compattazione della neve promuove la fusione di parte di essa e appena rilasciamo la minor pressione fa avvenire il ricongelamento della stessa causando in sintesi l'indurimento della palla!*

Analogamente la pressione esercitata dagli strati di neve superiori su quelli inferiori promuove una fusione parziale seguita da un ricongelamento che nel tempo trasforma la neve in neve più dura e poi in ghiaccio.

La fusione avviene ai punti di contatto – nello specifico le braccia allungate dei cristalli esagonali di ghiaccio (#1 nel diagramma). **L'acqua prodotta si allontana dalle zone in fusione e ricongela (#2 nel diagramma).** Il processo continua (#3), portando l'acqua a **raggrupparsi nel centro dell'originale fiocco di neve.** A un certo punto (#4) **il ghiaccio perde la sua originale forma a fiocco e diviene un granulo arrotondato.** Uno strato di questo tipo di materiale è chiamato **FIRN (NEVATO).**

Man mano che lo spessore del materiale accumulato **augmenta cresce** anche la pressione e i granuli di **FIRN fondono** insieme e **danno luogo**



a una massa di **GHIACCIO GLACIALE CRISTALLINO (#5)**. I fiocchi di neve e il ghiaccio di ghiacciaio sono elementi naturali inorganici, solidi e cristallini e quindi sono da considerarsi MINERALI nel senso stretto del termine. I cristalli di neve si formano a seguito della precipitazione di una sostanza (l'acqua) presente in stato dissolto (evaporato) in atmosfera, la neve può anche venire considerata una roccia chimica sedimentaria. Infine, poiché *il ghiaccio di ghiaccio* è conseguente alla *trasformazione della neve in nevato e poi in ghiaccio* a seguito di *variazioni di pressione e temperatura* un ghiacciaio può anche venire considerato una roccia metamorfica.

DEFINIZIONI PRINCIPALI

Un ghiacciaio è un corpo persistente di denso ghiaccio che si muove in continuazione a seguito del suo stesso peso; esso si forma dove l'accumulo della neve supera la sua ablazione (ovvero perdita per fusione e sublimazione) nel corso di decenni o secoli. I ghiacciai si deformano e fluiscono molto lentamente a causa di sforzi causati dal peso dello stesso ghiaccio e dando luogo a deformazioni fragili (crepacci e seraccate) e duttili (ogive) che testimoniano la dinamica di questi apparati. Sono in grado di erodere la roccia portando alla formazione di detrito che trasportato e deposto dà luogo a forme caratteristiche (es: edifici morenici) del paesaggio di alta quota. Si formano solo sui continenti e il loro ghiaccio è diverso sa quello marino o di lago che si forma per congelamento dell'acqua superficiale marina o dolce. Sulla terra, **il 99% del ghiaccio di ghiaccio è rappresentato da Antartide e Groenlandia**; i ghiacciai si trovano sulle catene montuose del Pianeta, **unica eccezione è l'Australia, e su diverse isole poste alle alte latitudini**. Tra i 35°N e i 35°S, *i ghiacciai sono presenti solo in Himalaya, sulle Ande, sulle Montagne Rocciose, e alle alte quote anche in Africa orientale, Messico, Nuova Guinea e sul Zard Kuh in Iran*.

Distribuzione dei ghiacciai

I ghiacciai ricoprono circa il 10 % dei continenti terrestri. I ghiacciai continentali coprono ca. 13,000,000 km² o meglio il 98 % dell'Antartide (13,200,000 km²), con uno spessore medio di 2,100 m. Seguono le estensioni glaciali di Groenlandia e Patagonia



Il Ghiacciaio Baltoro nel Karakoram, Baltistan, Nord Pakistan. È uno dei più lunghi ghiacciai non polari del Pianeta (62 km di lunghezza)



Il Perito Moreno Glacier nella Patagonia occidentale, Argentina. Da questa fronte le maggiori perdite sono per distacco di iceberg (calving).

Il Ghiacciaio Aletsch, il più grande delle Alpi, in Svizzera



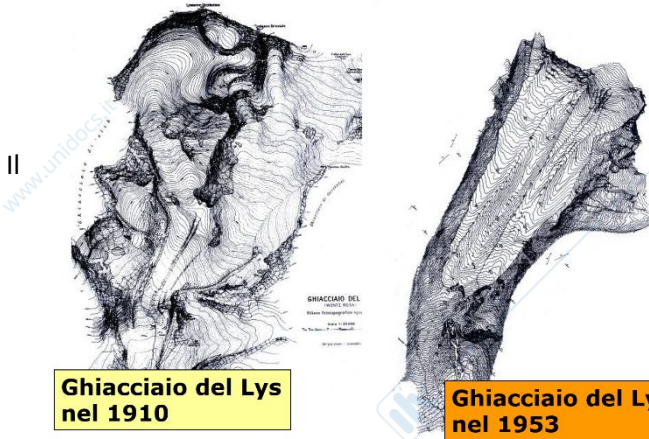
Il ghiaccio glaciale è la più grande riserva di acqua dolce del Pianeta

La maggior parte dei ghiacciai sia temperati che polari immagazzina acqua nel periodo invernale e la rilascia in estate con la fusione di neve e ghiaccio permettendo così di mitigare magre e periodi siccitosi e alimentando anche gli impianti per la produzione di energia idroelettrica. Nelle **aree polari** più estreme **la fusione è limitata che il rilascio di acqua è minimo**. I ghiacciai risentono delle fluttuazioni climatiche di lungo periodo (precipitazioni, temperature e copertura nuvolosa) che ne determinano variazioni prima di

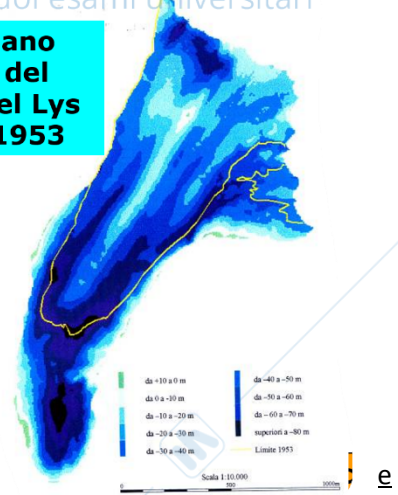
massa e poi di geometria e pertanto possono venire considerati indicatori climatici sensibili e attendibili. Essi sono inoltre i fattori maggiormente influenti sull'innalzamento del livello del mare.

LE VARIAZIONI GLACIALI

I ghiacciai potrebbero sembrare stabili ad occhi non attenti, invece sono molto dinamici e variano massa, estensione e geometria nel tempo, esistono diversi metodi per valutare le variazioni glaciali.



Variazioni piano altimetriche del Ghiacciaio del Lys dal 1910 al 1953



più semplice è valutarne le variazioni di estensione lunghezza. Per alcuni apparati questo viene fatto sin dalla fine del 1800.

Metodi e tecniche per valutare le variazioni glaciali

- Analisi quali e quantitative di foto, immagini e cartografia storica
- Analisi geomorfologiche
- Analisi di sequenze di dati di variazioni frontali
- Analisi di serie di dati di bilancio di massa
- Rilievi geofisici

Analisi cartografiche in ambiente GIS e remote sensing

	Antarctica (grounded ice)	Greenland	Glaciers & small ice caps
Area (10 ⁶ km ²)	11.97	1.68	0.55
Volume (10 ⁶ km ³ ice)	29.33	2.95	0.11
Mean thickness (m)	2488	1575	200
Mean elevation (m)	2000	2080	-
Equivalent sea level (m)	65	7	0.35
Accumulation (10 ¹² kg year ⁻¹)	2200	535	-
Ablation (10 ¹² kg year ⁻¹)	<10	280	-
Calving (10 ¹² kg year ⁻¹)	2200	255	-
Mean equilibrium-line altitude (m)	-	950	0-6300
Mass turnover time (year)	~15 000	~5000	50-1000

Logistica spesso complessa e costi elevati rendono difficoltose le acquisizioni dirette di dati sui ghiacciai. Per questo motivo spesso si preferiscono gli approcci indiretti come il telerilevamento (analisi di foto aeree o immagini

satellitari) o le elaborazioni in ambiente GIS.

Analisi del materiale iconografico



Immagine del Ghiacciaio dei Forni tratta da "Il Bel Paese" di A. Stoppani, 1876

Ghiacciaio dei Forni durante l'estate 1999



Il Ghiacciaio dello Sforzellina nell'estate 2000

Il Ghiacciaio dello Sforzellina ripreso agli inizi del 20° secolo

ghiacciai modificano il paesaggio

Quando il ghiaccio glaciale non c'è più noi possiamo utilizzare le forme del paesaggio liberato dai ghiacci per ricostruire forma e dimensioni passate del ghiacciaio. Per esempio, quando un ghiacciaio occupa una valle fluviale agisce approfondendo ed allargando la valle che assume infine la classica forma a U. In altri casi il ghiacciaio

Continents	Area, km ²	Volume, km ³
Antarctica	13,979,000	23,296,630
North America and Greenland	2,076,550	2,431,773
Europe	92,140	21,082
Asia	136,760	16,260
South America	32,300	12,690
Oceania	825	550
Africa	20	<1
Total	16,317,595	25,778,986

esso

arretrando abbandona detriti e sedimenti dando luogo a depositi caratteristici (frontali e/o laterali)

Morena di neoformazione presso la fronte del Ghiacciaio Sforzellina. La foto è stata ripresa nel 1987 quando la morena era contatto con il ghiacciaio (appena edificata). Ora dista oltre 100 m dalla fronte attuale.



chiamati morene. **L'età delle morene può venire calcolata analizzando la vegetazione (alberi) che vi cresce sopra (dendro cronologia), datando licheni epilitici o datando al C14 resti organici all'interno dell'edificio morenico.** (2)

Variazioni frontali: metodo più semplice per rilevare le variazioni di estensione di un ghiacciaio

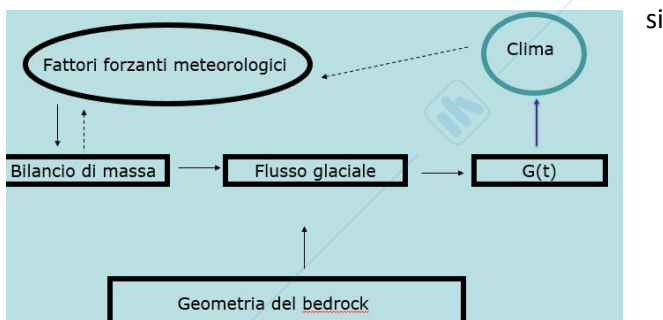
Si deve misurare la distanza tra un caposaldo di misura esterno al ghiacciaio (es roccia affiorante) e il ghiaccio glaciale scegliendo una direzione per effettuare la misura (azimut). La misura va ripetuta anno dopo anno mantenendo lo stesso caposaldo di riferimento e l'azimut.

Oggi giorno spesso queste misure si prendono anche con

distanziometri laser e GPS. Un altro metodo possibile è mappare il perimetro del ghiacciaio su immagini satellitari e ortofoto di diversi anni e poi confrontare i vari perimetri ottenuti

Bilancio di massa glaciale è la **misura della quantità di massa persa o guadagnata da un ghiacciaio durante un anno**. Rappresenta la **relazione diretta tra elementi del clima** (condizioni meteorologiche dominanti l'anno di bilancio) **e ghiacciaio**.

Il volume di un ghiacciaio in un anno può non variare ma questo non significa che la massa sia rimasta costante, dipende da quanto ghiaccio e quanta neve

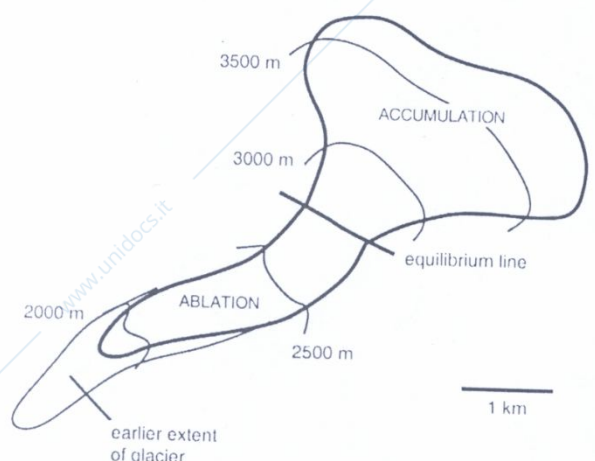
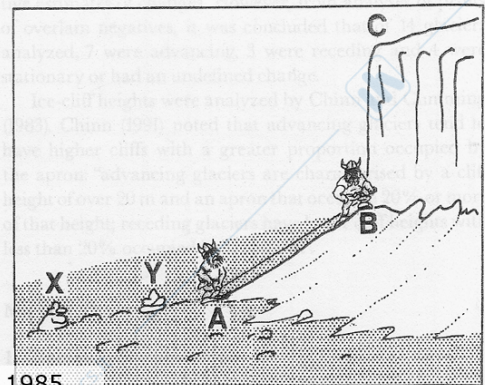


sono fusi o accumulati e dalle loro diverse densità. Inoltre, su base annuale effettuare calcoli di bilancio di massa permette di conoscere la quantità di acqua di fusione rilasciata mentre le sole variazioni volumetriche non permettono questa valutazione.

La porzione di ghiacciaio dove prevalgono le perdite (ABLAZIONE) è chiamata ZONA DI ABLAZIONE e qui in estate è esposto ghiaccio vivo. A quote maggiori avviene l'opposto: le temperature sono sufficientemente basse da premettere a parte della neve precipitata in inverno e primavera di superare l'estate e quindi a fine anno qui vi è un netto guadagno di massa, la **ZONA DI ACCUMULO**.

Se la quantità di massa guadagnata in un anno (o più) è maggiore di quella persa per ablazione, il ghiacciaio vede un accumulo netto (**bilancio positivo**) e se si ripete per più anni può influenzare il flusso e provocare un'avanzata glaciale. Se invece la quantità di massa persa è maggiore di quella guadagnata allora il bilancio è una perdita (**bilancio negativo**). A seguito di continua riduzione di massa il flusso glaciale si riduce e nel tempo si concretizza in un **ritiro**. Da notare che **il ghiacciaio si ritira** non perché si muova verso monte ma **a seguito del fatto che un flusso limitato non è in grado di sostituire la massa naturalmente persa a valle dal ghiacciaio e nel tempo questo si concretizza in una riduzione di lunghezza dell'apparato (chiamata appunto ritiro!).**

da Chinn, 1985



La linea di equilibrio segna la **divisione tra area di accumulo e area di ablazione e rappresenta il luogo dei punti con bilancio di massa pari a zero**. Ogni anno **la sua quota varia in funzione del bilancio** e quindi delle formanti metrologiche dell'anno stesso. La quota della linea di equilibrio (**ELA**) è quindi un parametro chiave che dipende dal bilancio dell'anno e che non può venire osservata sul campo ma desunta da dati di ablazione ed accumulo, si ottiene matematicamente e non si rileva direttamente. È ben diversa dal limite delle nevi (**SLA**).