

Corso di Oceanografia Polare

6 CFU

48 Ore

SSD GEO/12

Docenti

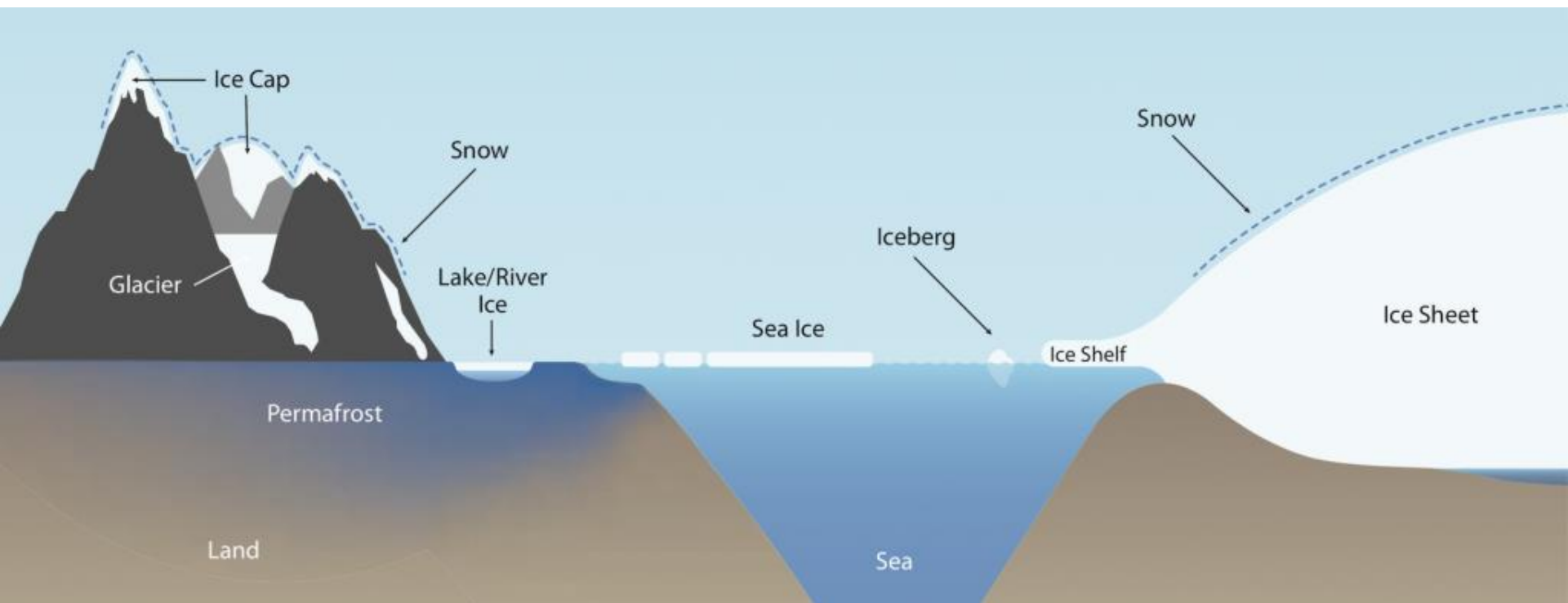
Prof. Yuri Cotroneo

Prof. Pasquale Castagno

LA CRIOSFERA ED IL GHIACCIO MARINO



La criosfera (dal greco kryos = ghiaccio, freddo) è la porzione variabile di superficie terrestre coperta o intrisa di acqua allo stato solido e che comprende: le coperture ghiacciate di mari, laghi e fiumi, le coperture nevose, i ghiacciai, le calotte polari ed il suolo ghiacciato in modo temporaneo o perenne (permafrost).

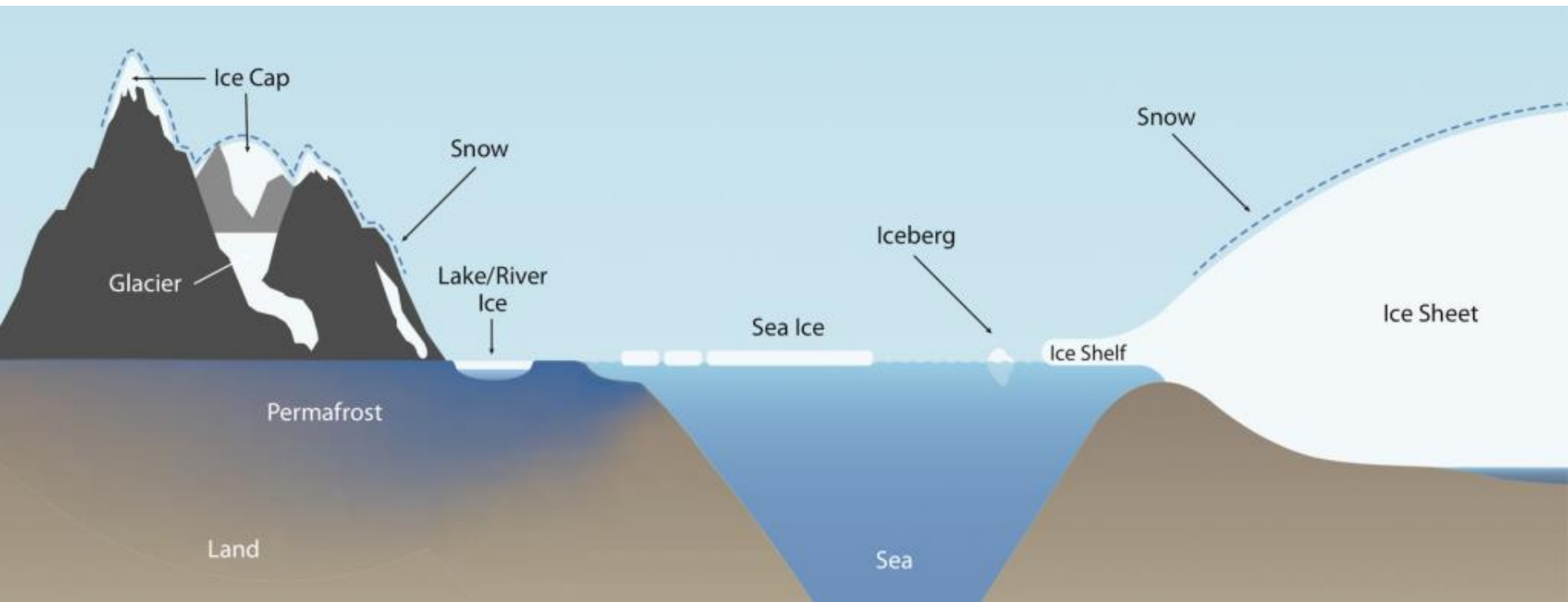


La criosfera si riferisce ai componenti congelati del sistema terrestre.

Circa il 10% dell'area terrestre è coperta da ghiacciai o calotte glaciali.

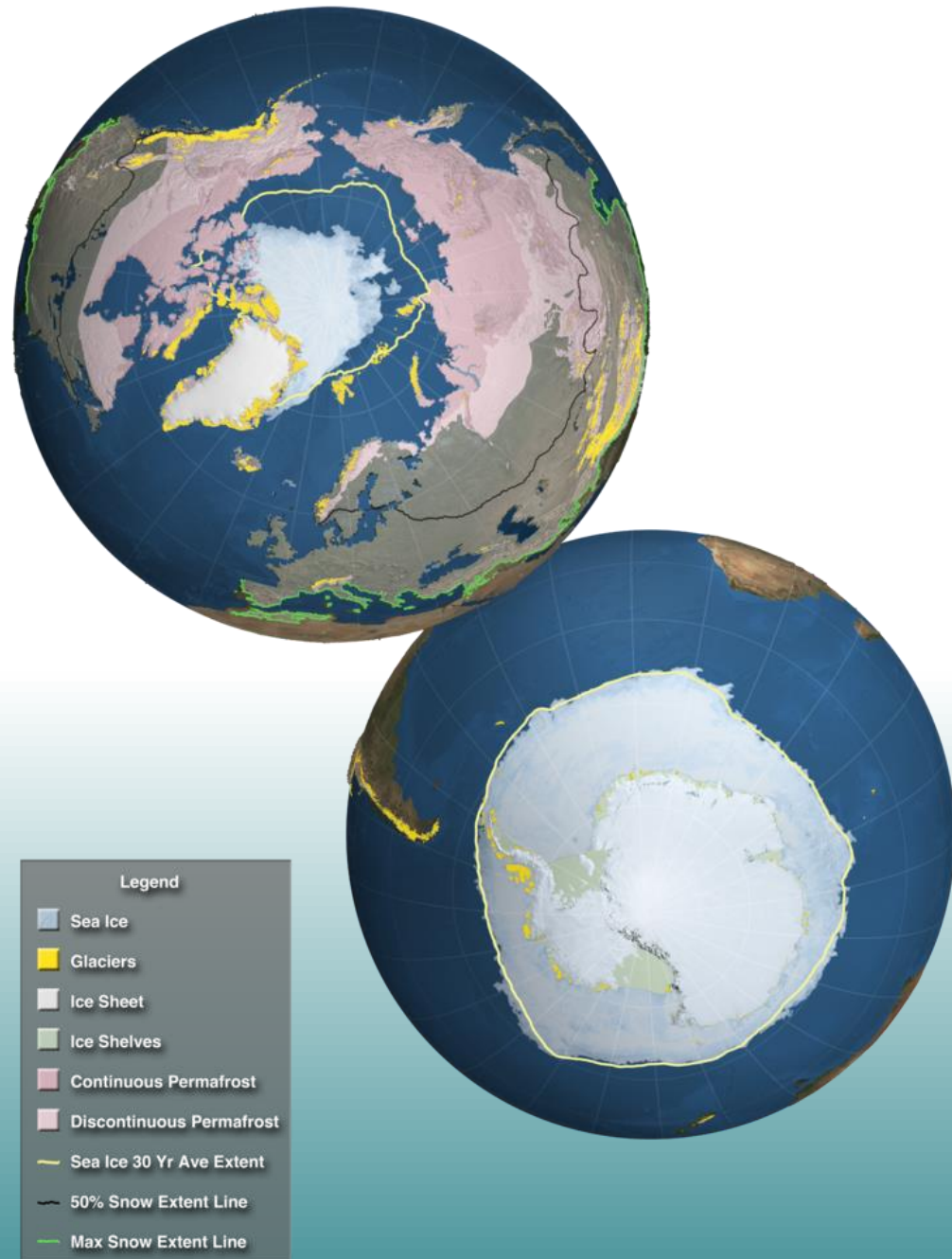
L'oceano globale copre il 71% della superficie terrestre e contiene circa il 97% dell'acqua della Terra.

La criosfera supporta habitat unici ed è interconnessa con altri componenti del sistema climatico attraverso lo scambio globale di acqua, energia e carbonio.



La criosfera è una parte integrante del sistema climatico globale con importanti connessioni e feedback generati attraverso la sua influenza sulla radiazione solare assorbita dalla superficie, sui flussi di umidità, sulle nuvole, sulle precipitazioni, sull'idrologia e sulla circolazione atmosferica ed oceanica.

Attraverso questi processi, gioca un ruolo significativo anche nella risposta al mutamento climatico globale ed una sua accurata modellizzazione è parte fondamentale di ogni modello climatico.



Struttura

L'acqua ghiacciata si forma sulla superficie della Terra principalmente come coltre di neve, ghiaccio di acqua dolce nei laghi e fiumi, banchise, ghiacciai, calotte polari, suolo temporaneamente ghiacciato e permafrost (terreno permanentemente ghiacciato). Il tempo di permanenza dell'acqua in ognuno di questi sottosistemi criosferici varia in modo considerevole.

La coltre di neve e il ghiaccio d'acqua dolce sono essenzialmente stagionali e la maggior parte del ghiaccio nel mare, eccetto il ghiaccio nell'Artide centrale, dura solo pochi anni, se non è stagionale.

Una data particella d'acqua nel ghiacciaio, calotte polari, o ghiaccio terrestre, invece, può rimanere ghiacciato moltissimi anni, e il ghiaccio che si trova in profondità in zone dell'Antartide orientale può avere un'età di circa un milione di anni.



La maggior parte del volume di ghiaccio nel mondo si trova nella regione antartica, principalmente nella calotta polare antartica orientale. In termini di estensione, tuttavia, la neve invernale e l'estensione del ghiaccio nell'emisfero boreale coprono l'area più grande, che a gennaio corrisponde mediamente al 23% dell'area della superficie emisferica. La grande estensione dell'area e l'importante ruolo climatico di neve e ghiaccio, relativi alle loro uniche proprietà fisiche, indicano che la capacità di osservare e modellare la neve e le estensioni di coltri di ghiaccio, spessore, e proprietà fisiche (proprietà radiative e termiche) è di particolare significato per la ricerca climatica.



Ci sono diverse proprietà fisiche fondamentali riguardo alla neve e al ghiaccio che modulano scambi di energia fra la superficie e l'atmosfera. Le proprietà più importanti sono:

- l'indice di riflessione della superficie (albedo),**
- la capacità di trasferire calore (diffusività termica)**
- e di mutare stato (calore latente).**

Queste proprietà fisiche, insieme all'irregolarità della superficie, l'emissività, e le caratteristiche dielettriche, hanno importanti implicazioni anche nell'osservazione della neve e del ghiaccio dallo spazio.

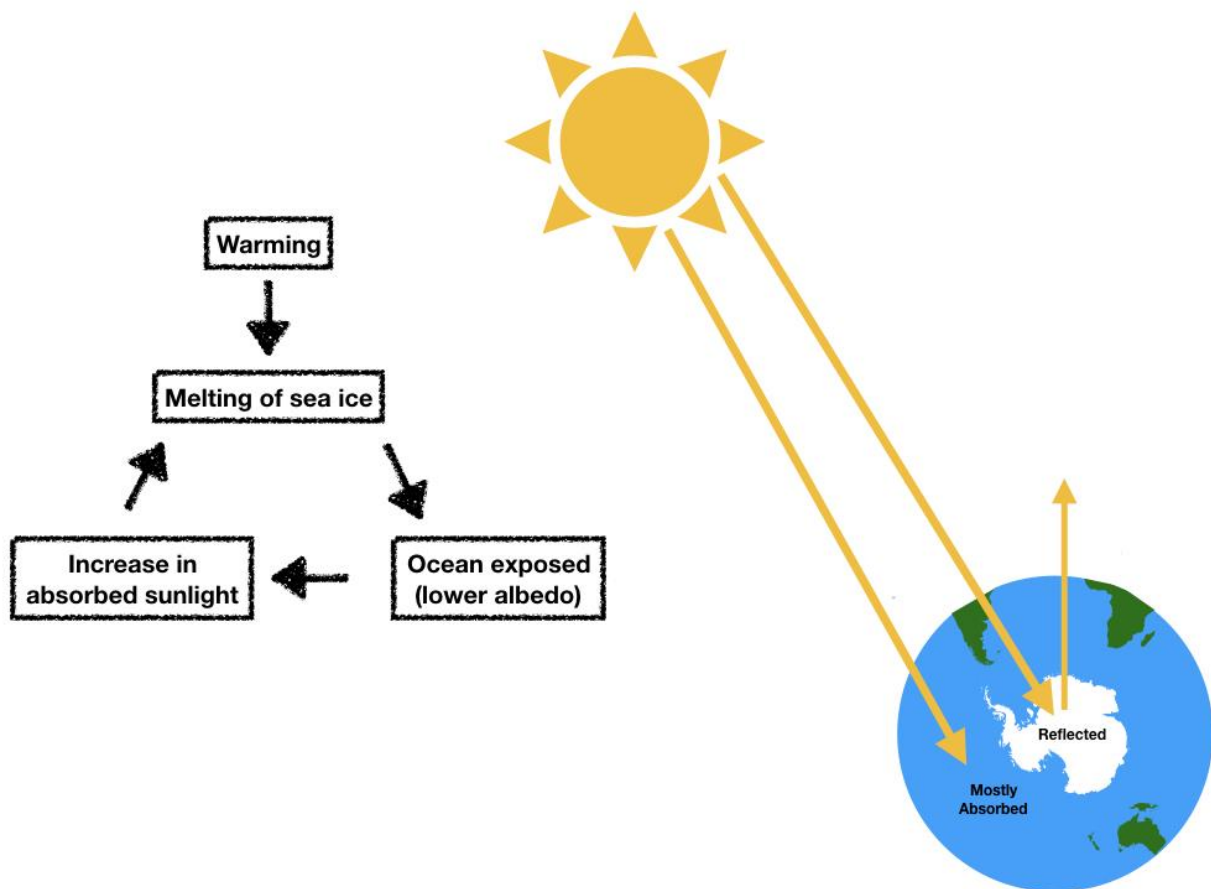
Per esempio, l'irregolarità della superficie è spesso il fattore dominante che determina la forza della radiazione di ritorno dei radar.

Le proprietà fisiche come la struttura del cristallo, densità, estensione, e contenuto di acqua liquida sono fattori importanti che riguardano i processi di trasferimento di calore ed acqua e la dispersione dell'energia nelle microonde, la banda più frequentemente utilizzata dai radar per la rilevazione dei dati di ghiaccio.

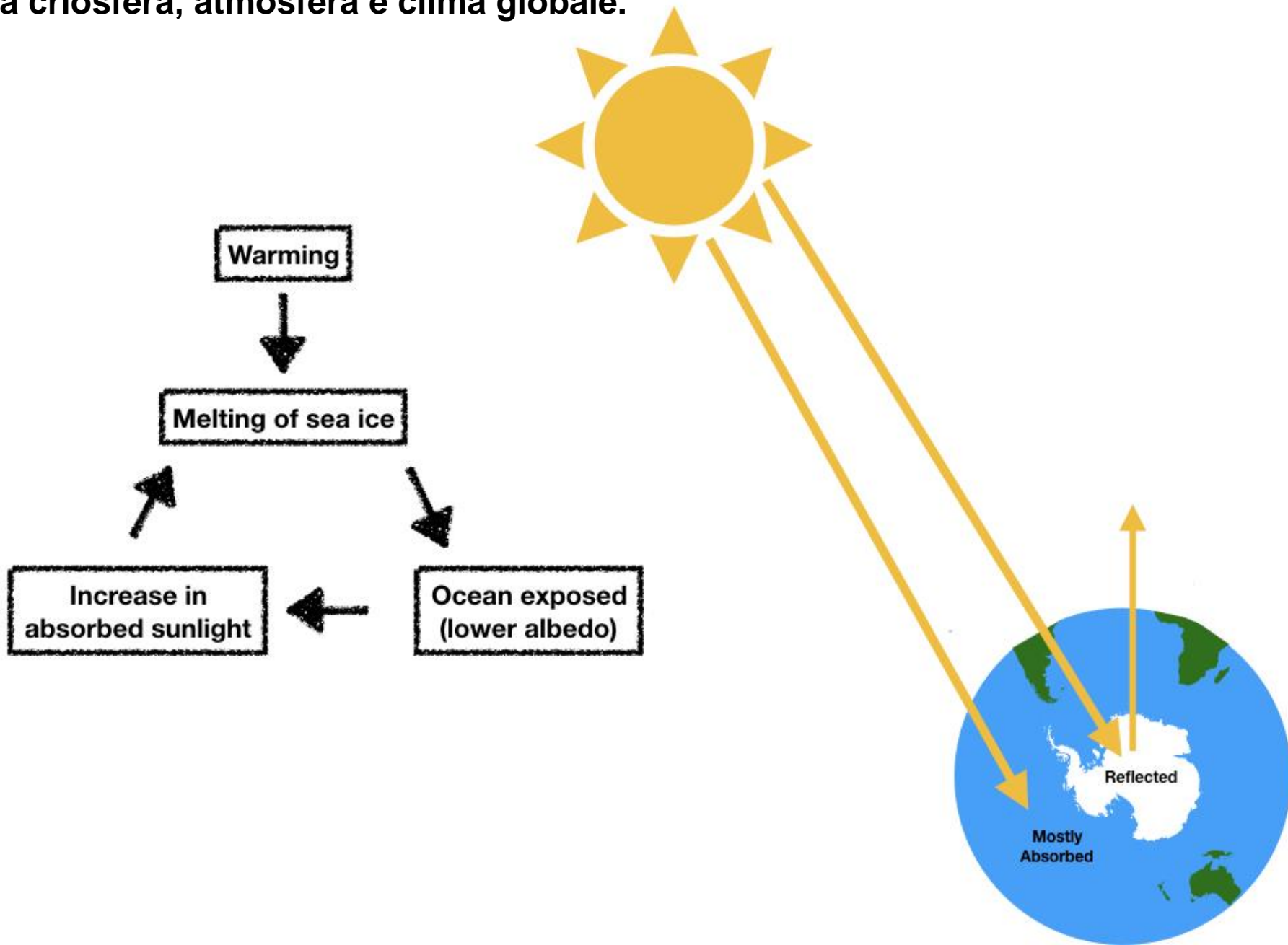
La riflettanza della superficie della radiazione solare in arrivo è importante per l'equilibrio dell'energia in superficie (SEB, surface energy balance).

È quantificata come il rapporto di riflessione tra la radiazione solare incidente e quella riflessa, comunemente riferito come albedo.

I climatologi particolarmente interessati a quantificare l'albedo del ghiaccio sulla porzione dell'onda corta dello spettro elettromagnetico che coincide con il principale input dell'energia solare.



La variabilità dell'albedo dei ghiacci costituisce un primo importante feedback tra criosfera, atmosfera e clima globale.

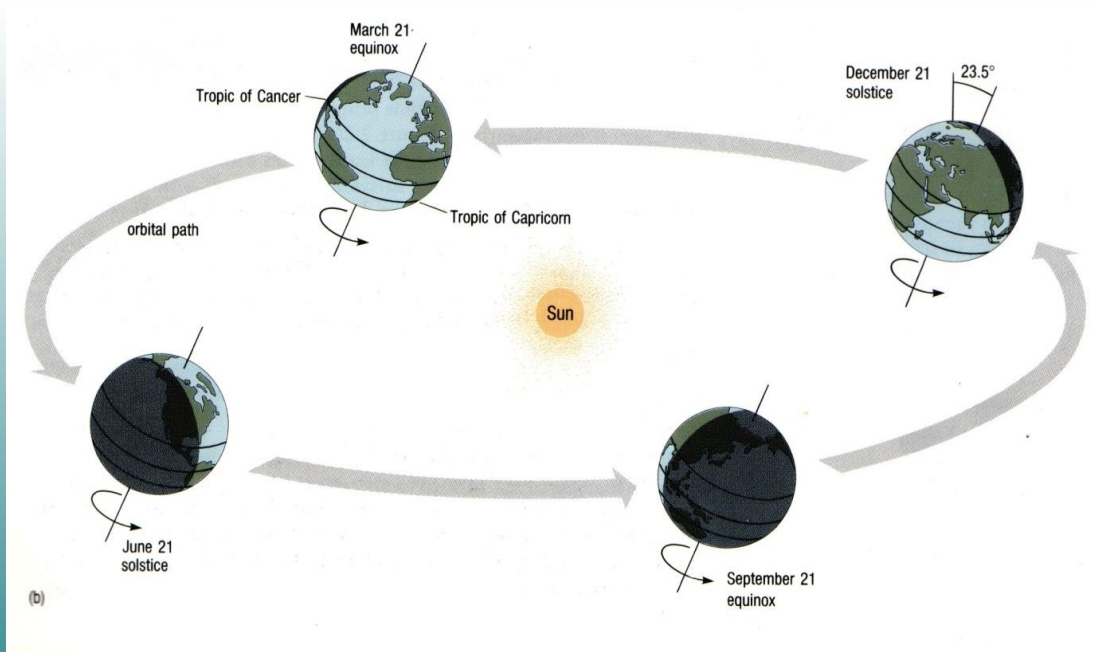


In genere, i valore di albedo per superfici coperte di neve non in fusione sono alti (~80-90%) tranne nel caso di foreste.

A scala emisferica, i più alti valori di albedo di neve e ghiaccio sono associati agli elevati valori di riflettanza della superficie che si registrano in autunno e primavera ad alte latitudini.

Infatti durante i mesi invernali, quelli caratterizzati dalla maggiore estensione della copertura di ghiacci e neve, le aree delle alte latitudini ricevono un irraggiamento pari a zero e quindi il potere riflettente delle superfici ghiacciate è nullo.

Ne consegue che l'importanza dell'albedo della criosfera è tanto più grande quanto ci avviciniamo alle medie latitudini, dove la radiazione solare incide su queste superfici durante tutto l'anno.



Le proprietà termiche degli elementi criosferici hanno anche importanti conseguenze climatiche.

Neve e ghiaccio hanno una diffusività termica molto più bassa dell'aria e funzionano quindi da isolanti.

La diffusività termica è una misura della velocità con la quale il calore può penetrare una sostanza. Neve e ghiaccio sono di almeno un ordine di grandezza meno efficienti nel diffondere il calore rispetto all'aria.



La coltre di neve isola la superficie terrestre, e la banchisa isola il sottostante oceano, disaccoppiando l'interfaccia superficie-atmosfera rispetto al calore e ai flussi di umidità. Il flusso di umidità da una superficie d'acqua viene eliminata anche da un sottile strato di ghiaccio, laddove il flusso di calore attraverso il sottile ghiaccio continua ad essere consistente fino a che esso non raggiunga uno spessore in eccesso di 30–40 cm

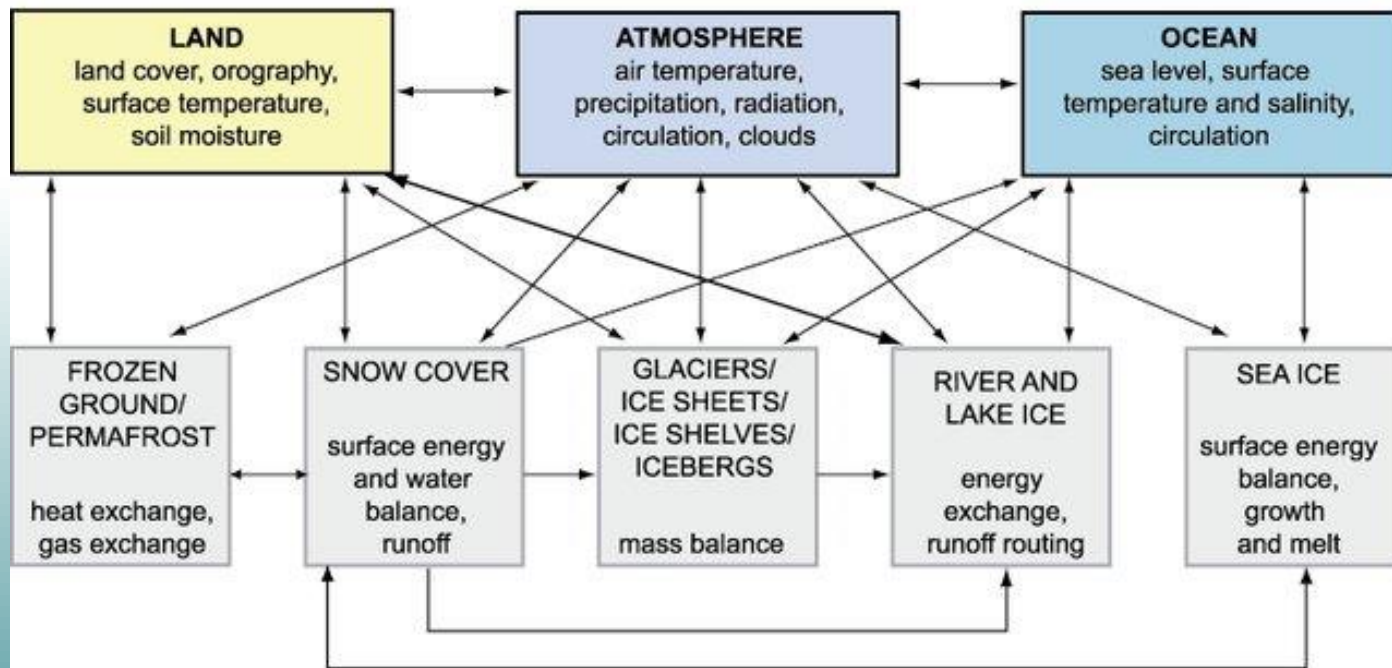


L'effetto isolante della neve ha anche implicazioni maggiori per il ciclo idrologico. Nelle regioni non-permafrost, quindi dove il terreno viene solo periodicamente – stagionalmente – coperto dai ghiacci, l'effetto isolante della neve è tale che ghiaccia solo il suolo vicino alla superficie e il drenaggio delle acque profonde è ininterrotto e preservato.

Al contrario, neve e ghiaccio agiscono per rallentare il riascaldamento nella primavera ed estate a causa della grande quantità di energia richiesta per fondere il ghiaccio (il calore latente di fusione, $3,34 \times 10^5$ J/kg a 0°C).

In questa figura sono riportate alcune delle possibili interazioni tra criosfera e clima nel sistema globale. Queste agiscono su una ampia gamma di scale spaziali e temporali, dal raffreddamento locale stagionale delle temperature dell'aria alle variazioni su scala emisferica nelle calotte polari, nell'arco di tempo di migliaia di anni. I meccanismi di feedback coinvolti sono spesso complessi e non compresi ancora completamente.

Cryosphere-Climate Interactions



Lists in upper boxes indicate important state variables.

Lists in lower boxes indicate important processes involved in interactions.

Arrows indicate **direct** interactions.

Componenti della criosfera:

- **Neve**
- **Congelamento di fiumi e laghi**
- **Suolo ghiacciato e permafrost**
- **Ghiacciai e calotte polari**
- **Banchisa**

Ghiacciai e calotte polari

Le calotte polari sono le più grandi sorgenti potenziali di acqua dolce, contenenti approssimativamente il 77% delle risorse dell'intero pianeta. Equivalenti a circa 80 m del livello mare.

Le riserve di acqua dolce – ghiacciata – in Antartide ammontano al 90% del totale, mentre la Groenlandia incide maggiormente nel rimanente 10%, con altre masse di ghiaccio e ghiacciai che ammontano a meno dello 0,5%.

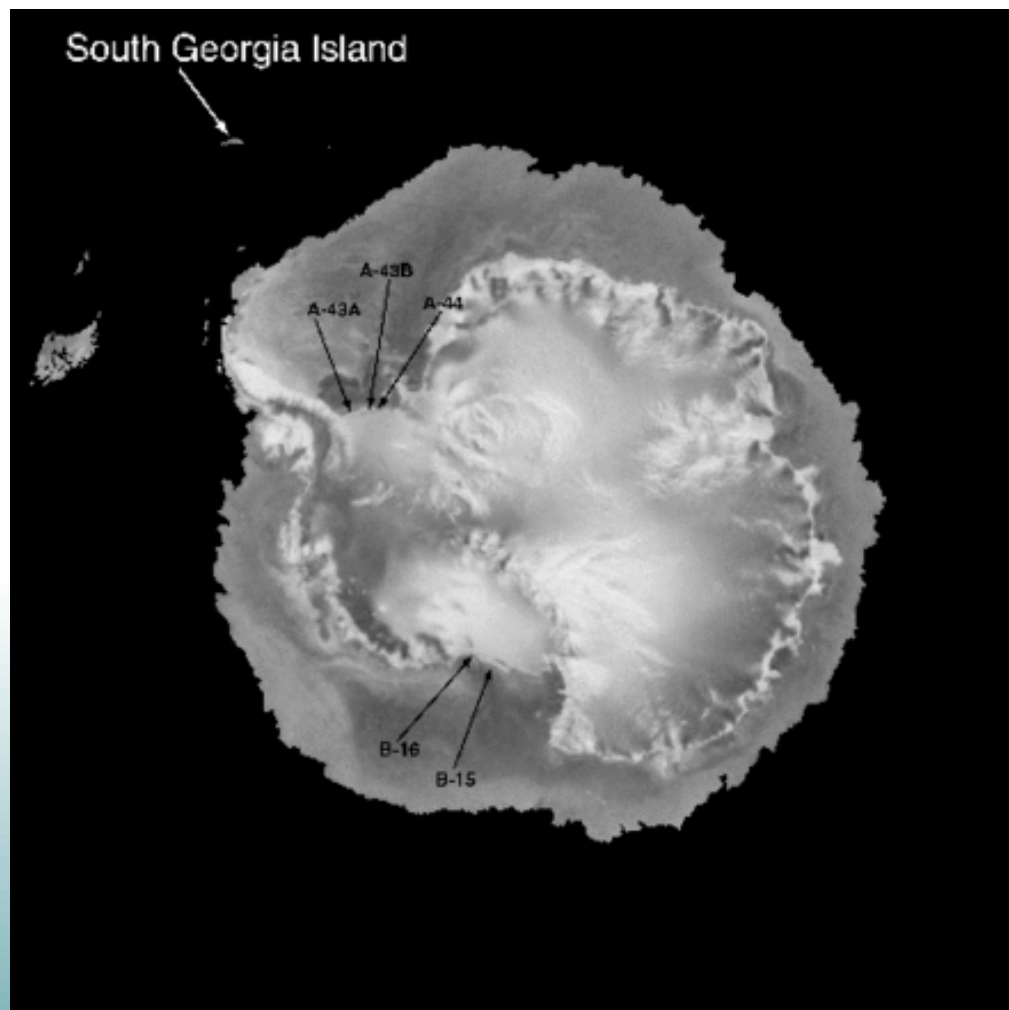


Immagine satellitare dell'Antartide ottenuta nel maggio del 2000 con il satellite QuikSCAT della NASA.

A causa della loro dimensione, anche considerando le variazioni annuali di accumulo o fusione di neve, il tempo di permanenza dell'acqua in masse di ghiaccio può estendersi a 100000 o 1 milione di anni.

Di conseguenza, ogni perturbazione climatica produce risposte lente, che si rispecchiano ad esempio nell'alternarsi di periodi glaciali ed interglaciali nelle ere geologiche.

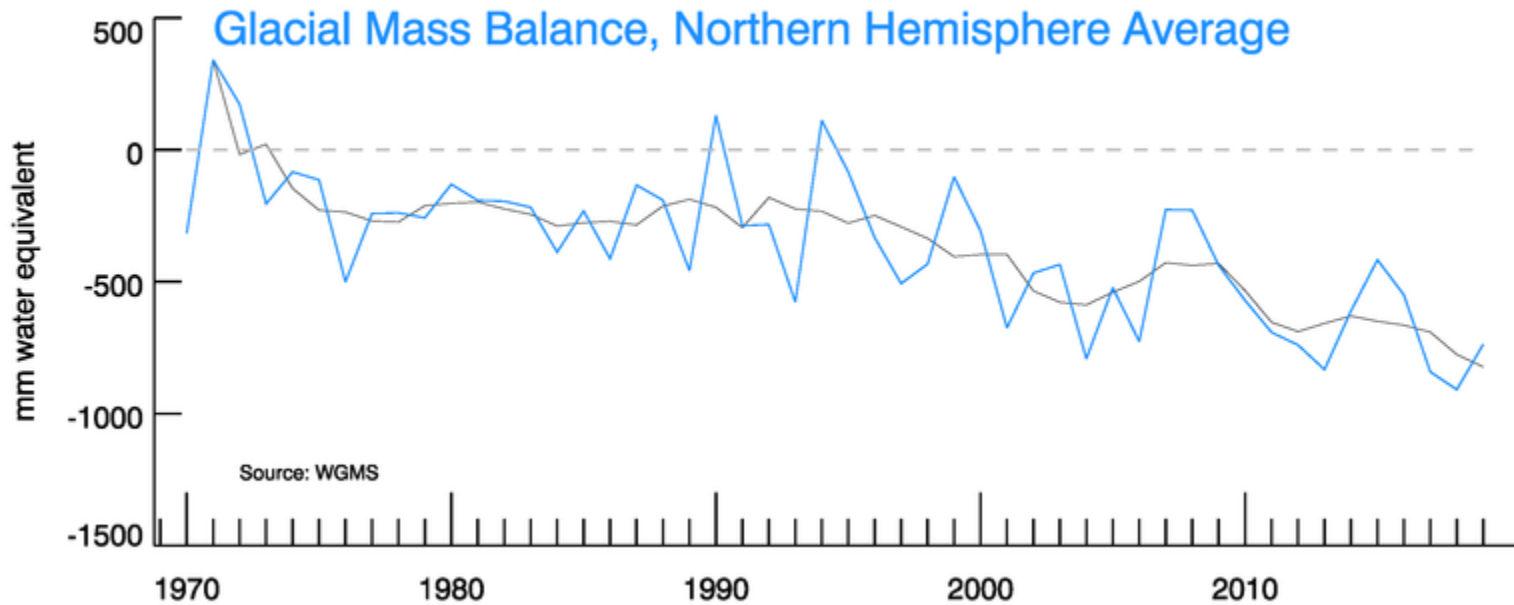
Alcuni ghiacciai – tipicamente quelli montano - possono rispondere più rapidamente alle fluttuazioni climatiche con tipici tempi di risposta di 10-50 anni.

Tuttavia, la risposta di singoli ghiacciai può essere perfino asincrona rispetto alla stessa condizione climatica a causa delle differenze nella lunghezza del ghiacciaio, altezza, inclinazione, e velocità di spostamento.

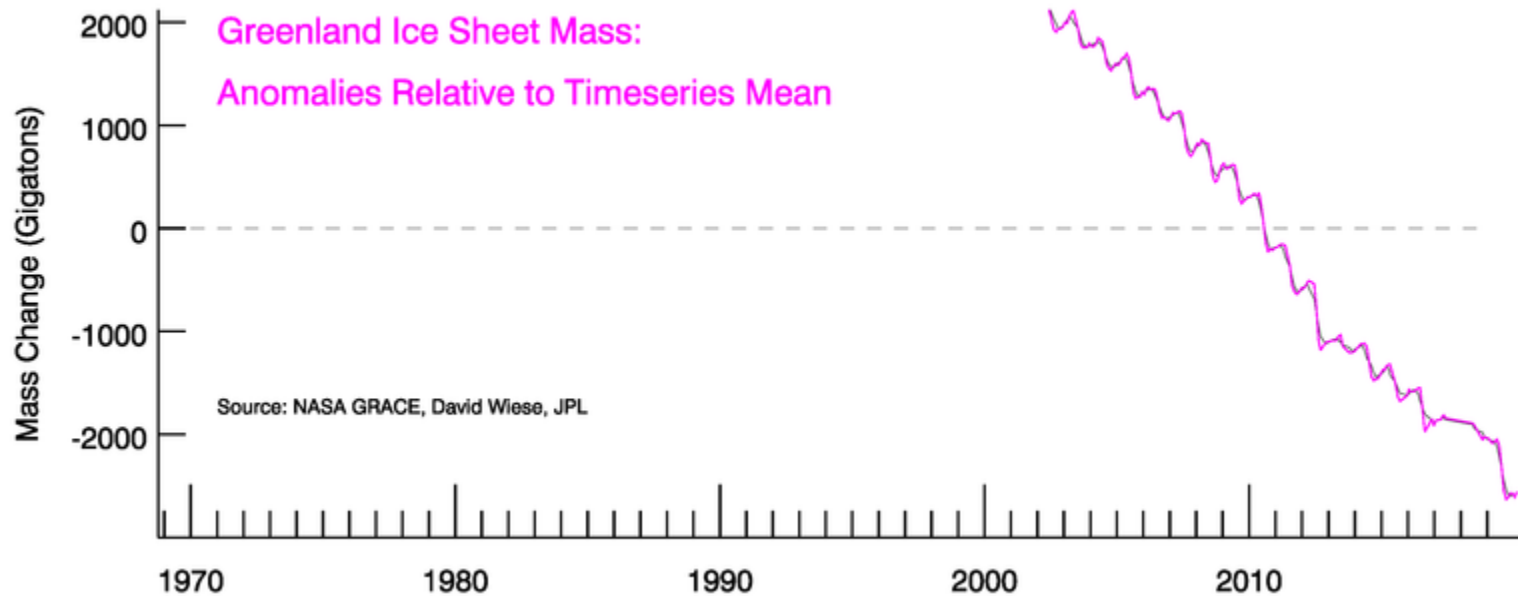
Le relazioni fra clima globale e mutamenti nell'estensione dei ghiacciai sono complesse. L'equilibrio della massa dei ghiacciai terrestri e delle calotte polari è determinato dall'accumulo di neve, soprattutto in inverno, e dall'ablazione ottenuta nella stagione calda.

La perdita di massa è invece dovuta principalmente alla radiazione netta e ai flussi di calore turbolenti che fondono ghiaccio e neve oltre che all'avvezione di aria calda.

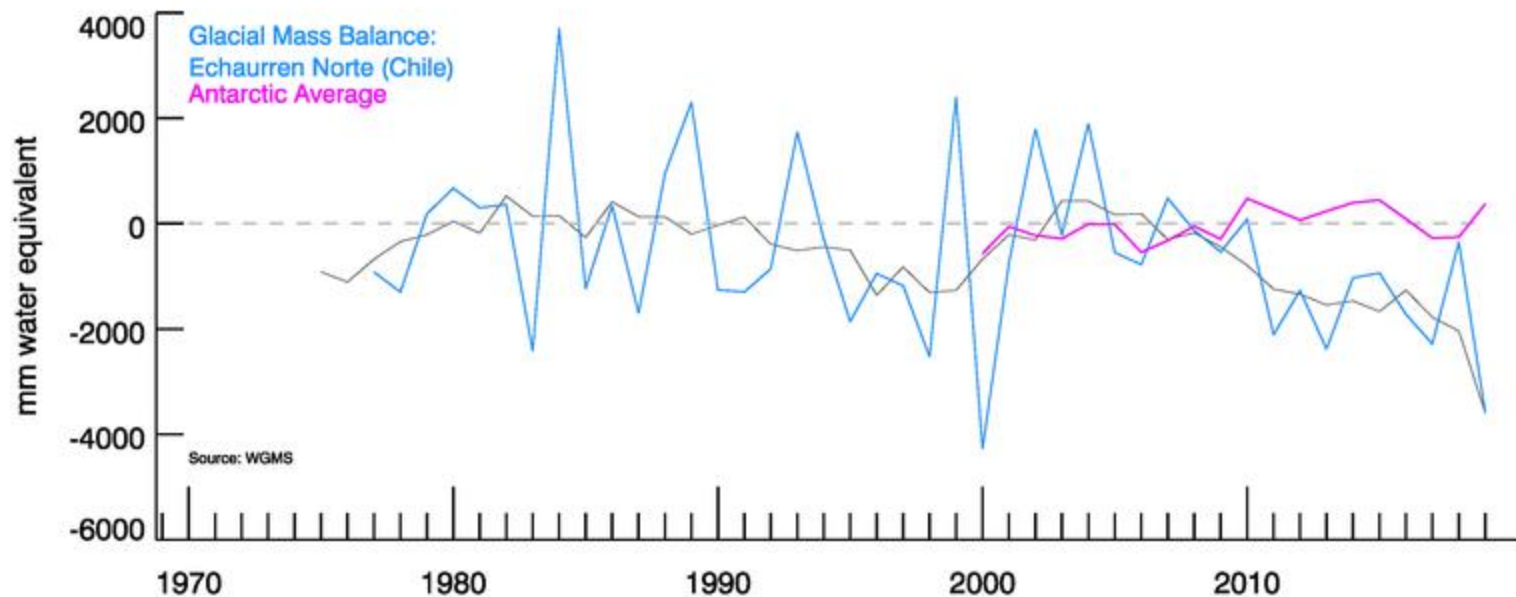
L'osservazione continua da satellite permette oggi un monitoraggio continuo delle due calotte glaciali e lo studio della loro variabilità su un arco temporale di circa 40 anni.



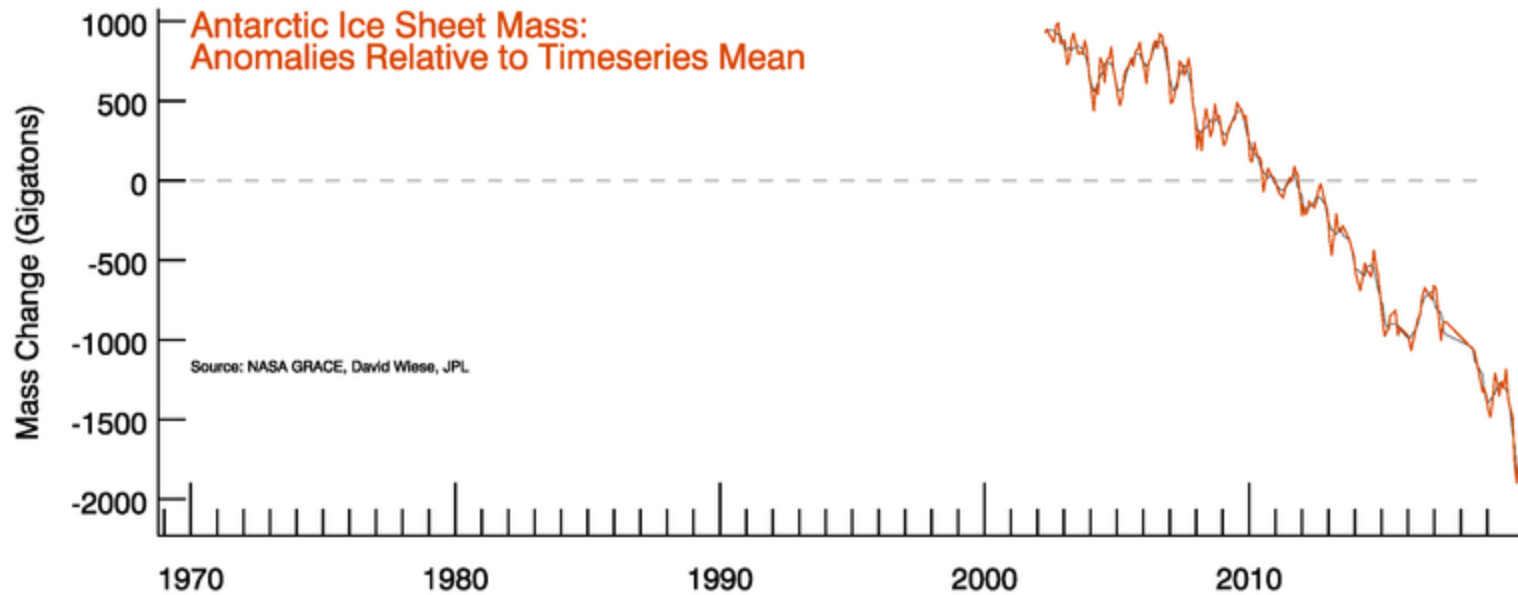
Glacial Mass Balance - Changes in Earth's glaciers have been catalogued systematically since 1957 by the World Glacier Monitoring Service (WGMS). Over the last 45 years, glacial records show that the bodies of ice have been decreasing in size and number. Mass lost from a glacier as meltwater is measured in vertical thickness lost from the height of the glacier. In 2018, glaciers worldwide lost mass, on average, equal to 891 mm of water, and this trend of increasing mass loss continued into 2019, when the average loss was 1,131 mm of water. The average mass balance of reference glaciers worldwide has been negative in 39 of the last 40 years.



Greenland Ice Sheet Mass - Over the last 18 years, the losses in mass at the edges of the Greenland Ice Sheet have outpaced the accumulation of ice at its center, resulting in immense losses in its total mass. Since 2002, NASA's Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) satellites have been able to measure the local gravity changes near the Greenland Ice Sheet, determining an approximate amount of ice lost each year in GT (gigatons; 1 GT = 10¹² kilograms). By May of 2020, the Greenland Ice Sheet has lost 4,708 GT since measurements began in 2002. This is 2,561 GT below the average mass of the 2002-2017 mean.



Glacial Mass Balance - The Southern Hemisphere does not have many well-studied glaciers. Echaurren Norte in the Chilean Andes is one of the few southern glaciers with a long mass balance record. In Antarctica, the average mass balance of the Bahia Del Diablo, Johnsons, and Hurd glaciers were used here. From 2000 to 2019, the Antarctic glaciers have shown a slight trend of increasing mass balance. In 2019, the mass balance of Echaurren Norte was -2246 mm w.e. (millimeters water equivalent), its tenth consecutive year of decreasing mass and fourth year out of the last five in which it has lost over 1500 mm of water equivalent. Note: Bahia Del Diablo has not yet reported its 2019 mass balance total. The plotted 2019 value an average of the Hurd and Johnsons glaciers.



Antarctic Ice Sheet Mass - The Antarctic Ice Sheet is the largest single mass of ice on Earth. West Antarctica and the Antarctic Peninsula have generally lost mass over the last 18 years, and increasing mass balance in East Antarctica has not been enough to keep the ice sheet from losing mass as a whole (Martin-Español, 2016). Since 2002, NASA's Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) satellites have been able to measure the local gravity changes near the Antarctic Ice Sheet, determining an approximate amount of ice lost each year in GT (gigatons; 1 GT = 10¹² kilograms). As of May 2020, the Antarctic Ice Sheet had lost 2646 GT since measurements began in 2002. This is 1718 GT below the average mass of the 2002-2017 mean.

Mentre è in via di valutazione l'effetto delle variazioni dei ghiacciai sul clima globale, la loro recessione è sicuramente associata all'aumento del livello del mare osservato nel XX secolo.



La Groenlandia meridionale ripresa dallo Space Shuttle nel marzo del 1992.

Le conoscenze attuali sui ghiacciai e sulla calotta glaciale antartica ci indicano che le principali «strade» percorse dal ghiaccio continentale verso il mare sono 5, la zona del Mare di Ross, il flusso glaciale Rutford, che alimenta la piattaforma glaciale Ronne-Filchner, il Mare di Weddell, e i ghiacciai Thwaites e Pine Island, che entrano nel mare di Amundsen.



Ad oggi le zone dove il ghiaccio continentale raggiunge l'oceano e si verifica il distacco di iceberg sono i maggiori contributori alla perdita di massa totale. In queste aree, il margine del ghiaccio continentale può estendersi dentro l'acqua profonda come una piattaforma galleggiante, come avviene ad esempio nel Mare di Ross.

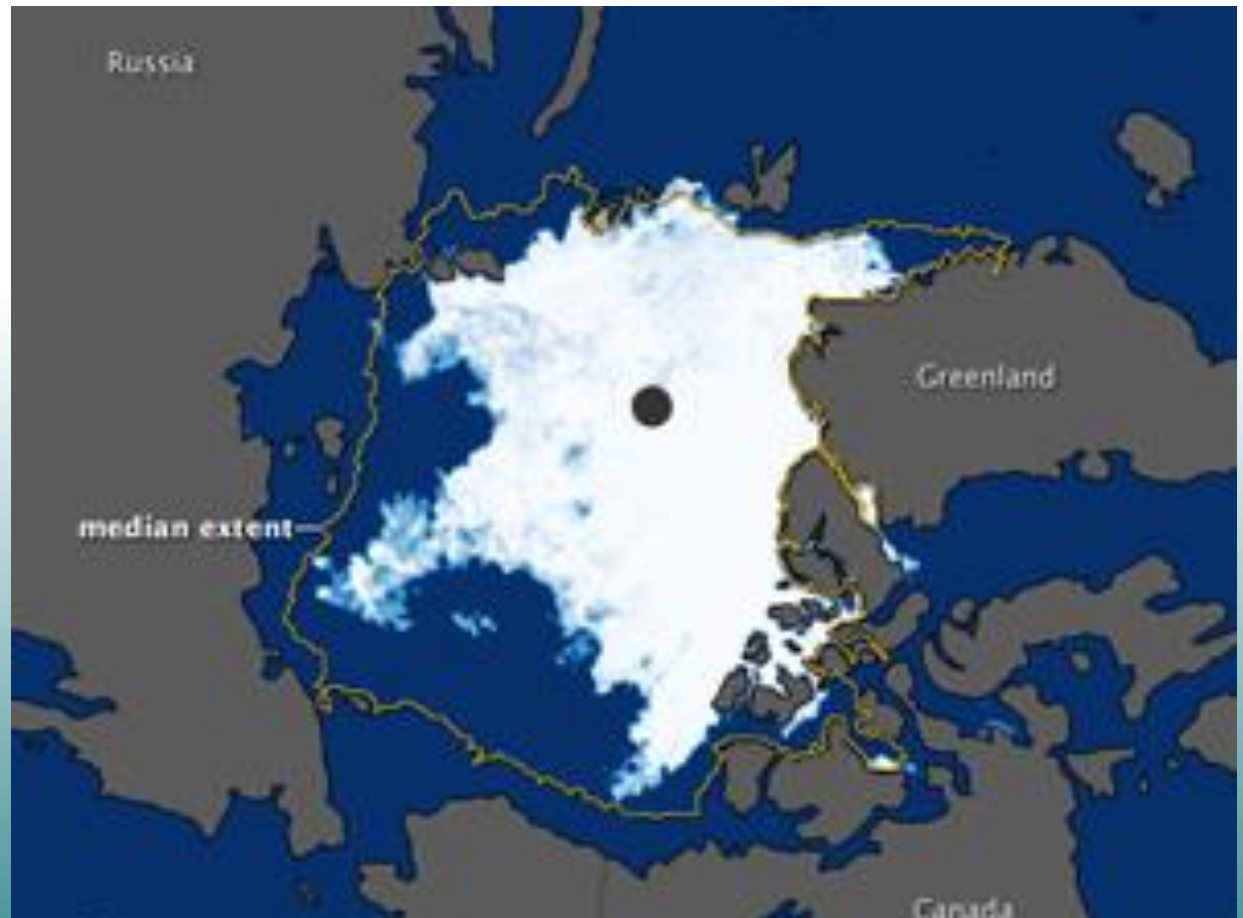
Oggi, l'evidenza del cambiamento climatico rende evidente la perdita di copertura glaciale verificatasi nell'emisfero Nord e ne deriva una forte preoccupazione per i ghiacciai antartici.

Infatti, qualora il ghiaccio continentale dell'Antartide occidentale raggiungesse gli oceani, fornirebbe un contributo notevole all'aumento del sea level stimato in di 6–7 m nel giro di poche centinaia di anni.

L'impatto di questo cambiamento è infatti strettamente legato al fatto che lo scioglimento o la formazione di ghiaccio marino o delle piattaforme di ghiaccio immerse in acqua, non costituisce un ulteriore contributo al livello del mare (come un cubetto di ghiaccio in un bicchiere), mentre l'arrivo di nuove masse di ghiaccio, prima poggiate sul continente, provoca un decisivo aumento del livello medio del mare.

La banchisa

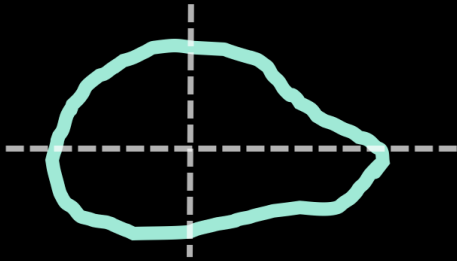
La banchisa copre buona parte degli oceani polari e si forma dal congelamento dell'acqua marina. I dati forniti dal satellite fin dagli inizi degli anni '70 rivelano una considerevole variabilità stagionale, regionale e interannuale nella banchisa che copre entrambi gli emisferi.



Sea Ice Extent



Area of seawater covered by any amount of ice (>15%)

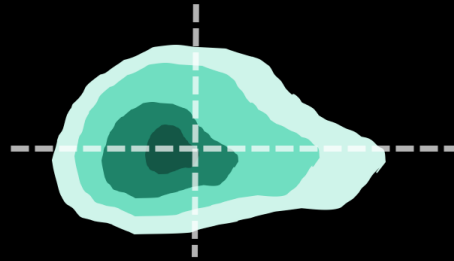


[SIE]

Sea Ice Concentration



Fraction (%) of seawater covered by ice

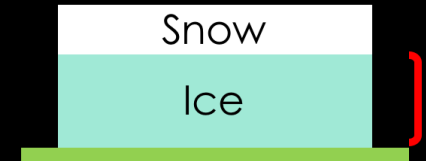


[SIC]

Sea Ice Thickness



Depth between sea surface and ice/snow layer



[SIT]

- L'estensione (ice extent) è definita come l'area coperta da ghiaccio marino in cui la concentrazione è uguale o superiore al 15%.
- La concentrazione (ice concentration) è una misura della frazione media percentuale di ghiaccio marino presente in una data area di mare.

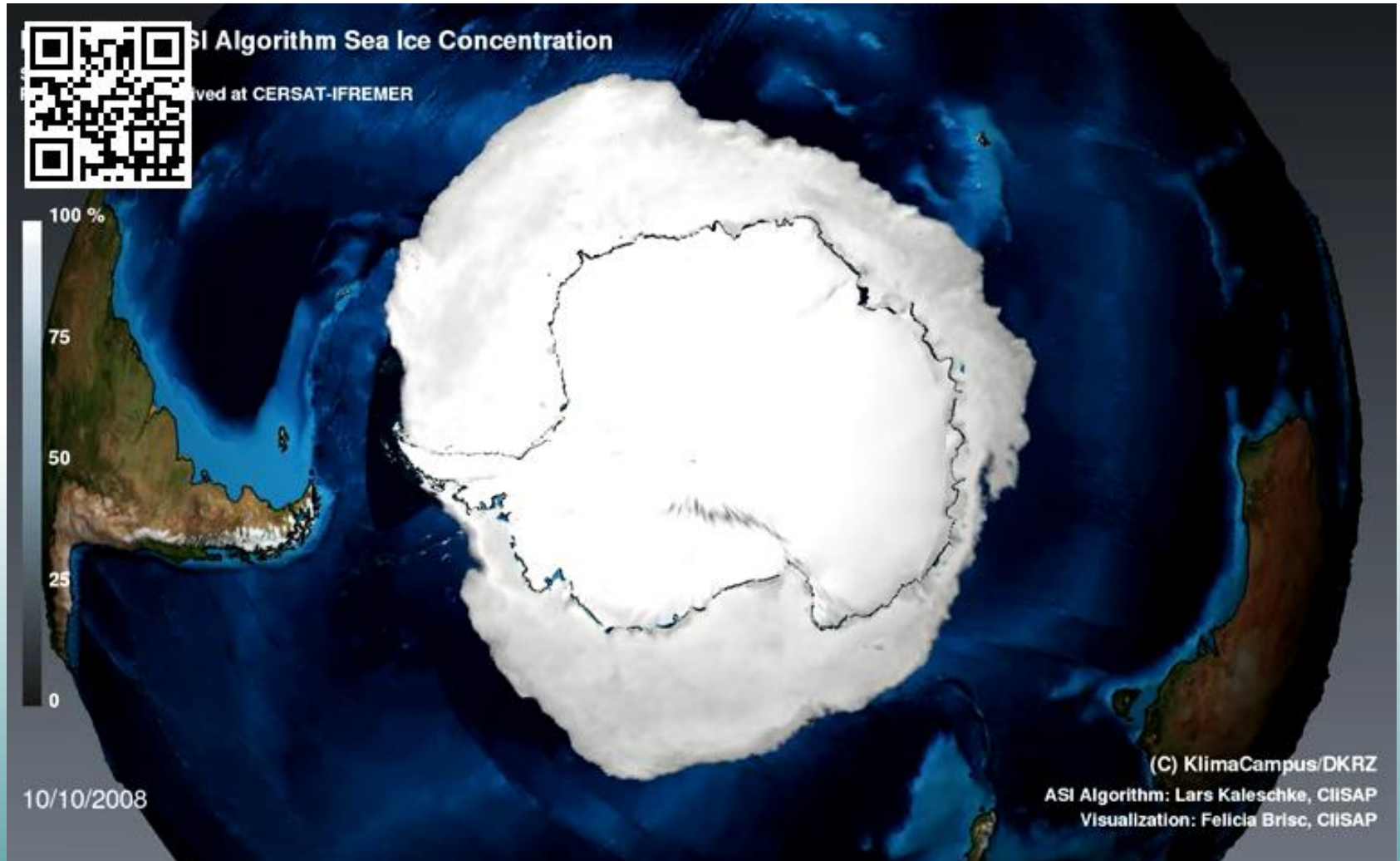
La banchisa polare

Il ghiaccio marino che forma la banchisa si accresce e contrae seguendo un ciclo annuale continuo negli anni.

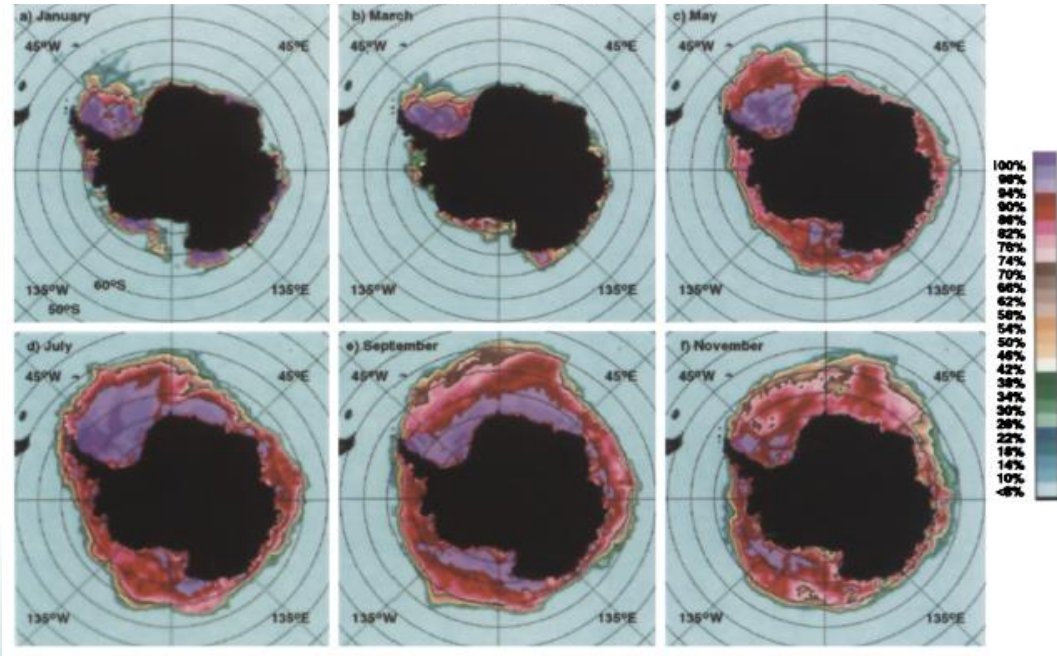
In Antartide valori massimi di estensione vengono raggiunti solitamente durante il mese di settembre, mentre i valori minimi si riscontrano in quello di febbraio.

In media, nella regione antartica si valuta che durante le fasi di accrescimento la banchisa avanzi di circa 4 km al giorno

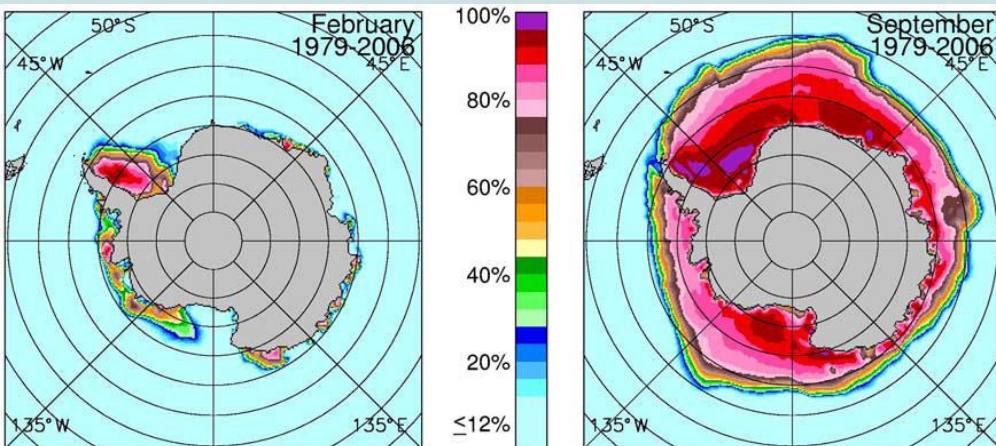
VARIABILITA' STAGIONALE



Seasonal variations in sea ice concentration (Antarctic)



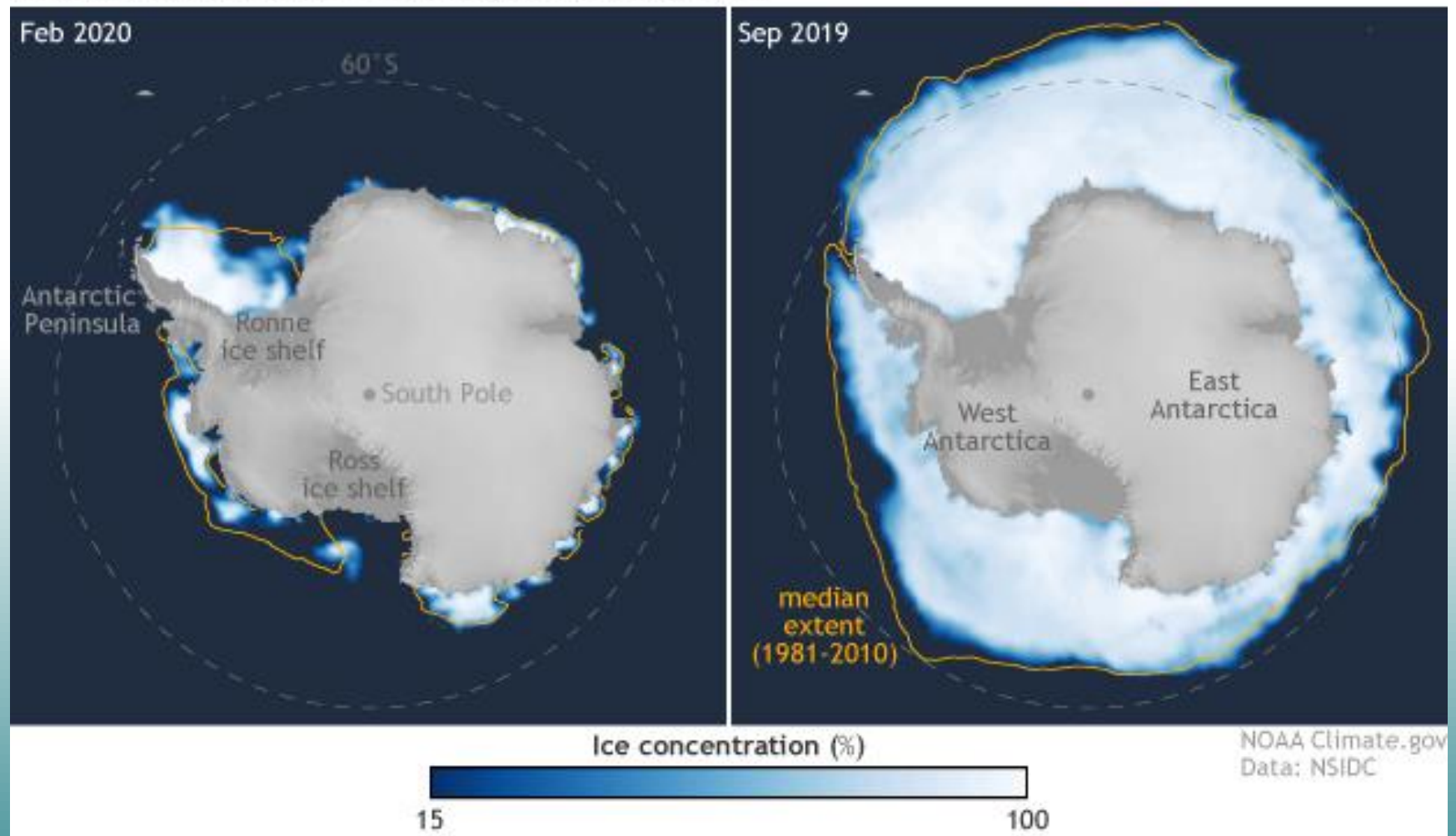
(Comiso et al., 1997)



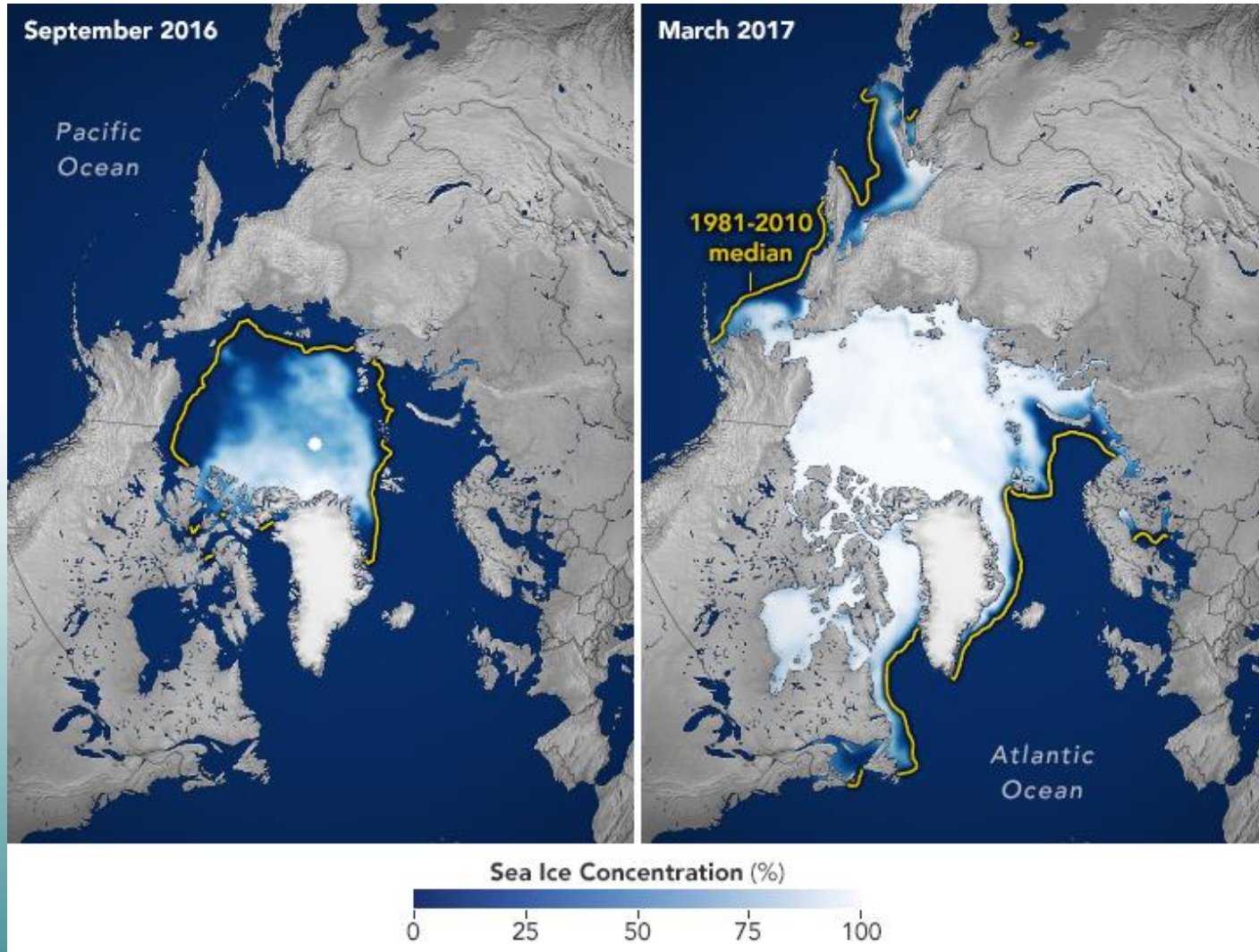
(Cavalieri and Parkinson, 2008)

Stagionalmente, l'estensione della banchisa nell'emisfero australe varia di un fattore di 5, da un minimo di 3-4 milioni di km² a febbraio ad un massimo di 17-20 milioni di km² a settembre.

2020 Antarctic sea ice minimum and 2019 maximum

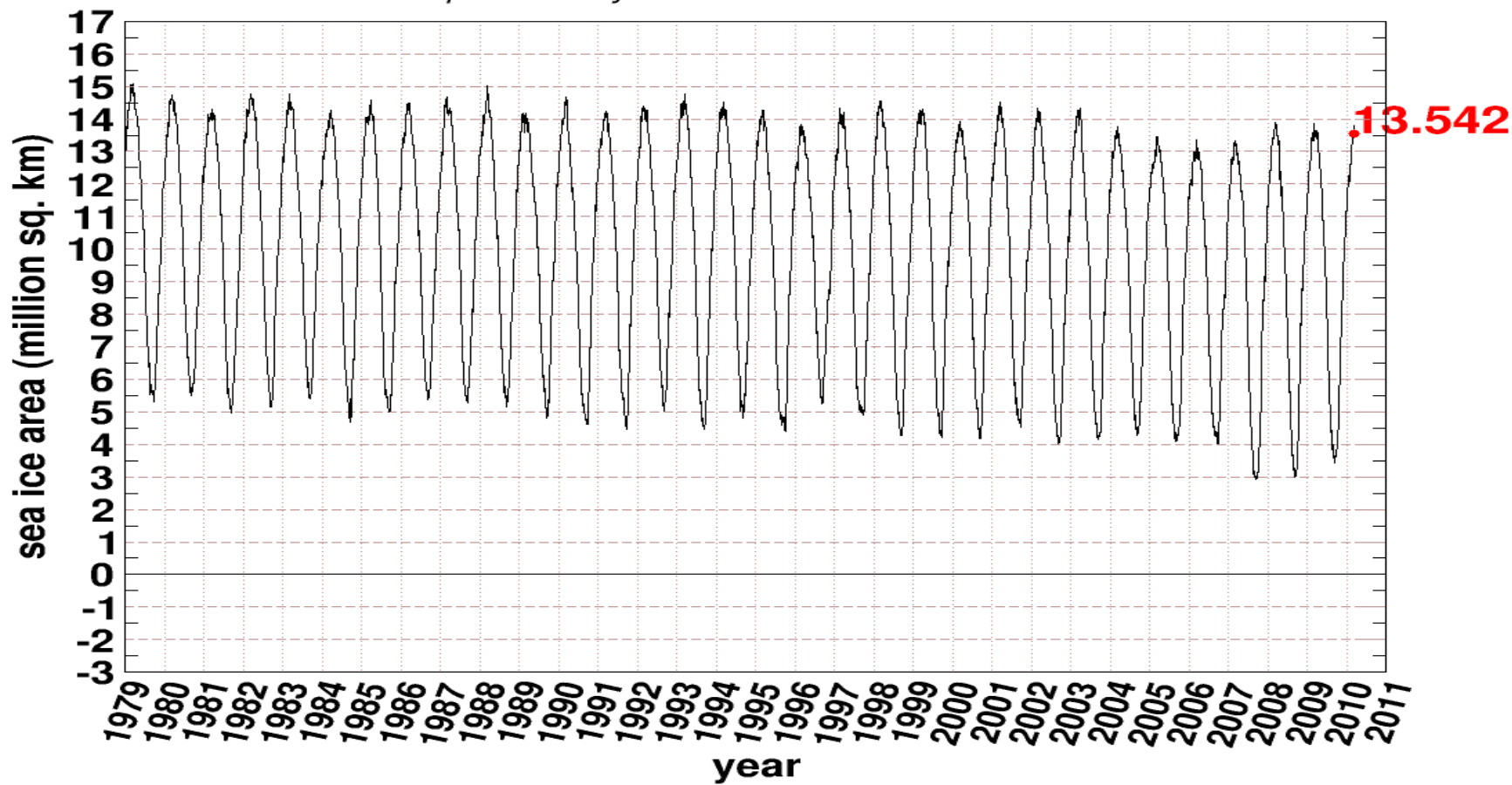


La variazione stagionale è molto minore nell'emisfero boreale dove l'effetto della presenza dei continenti e la maggiore latitudine media dell'Oceano Artico danno come risultato una minore variabilità stagionale dell'estensione del ghiaccio nell'emisfero boreale da un minimo di 7-9 milioni di km² a settembre ad un massimo di 14-16 milioni di km² a marzo.

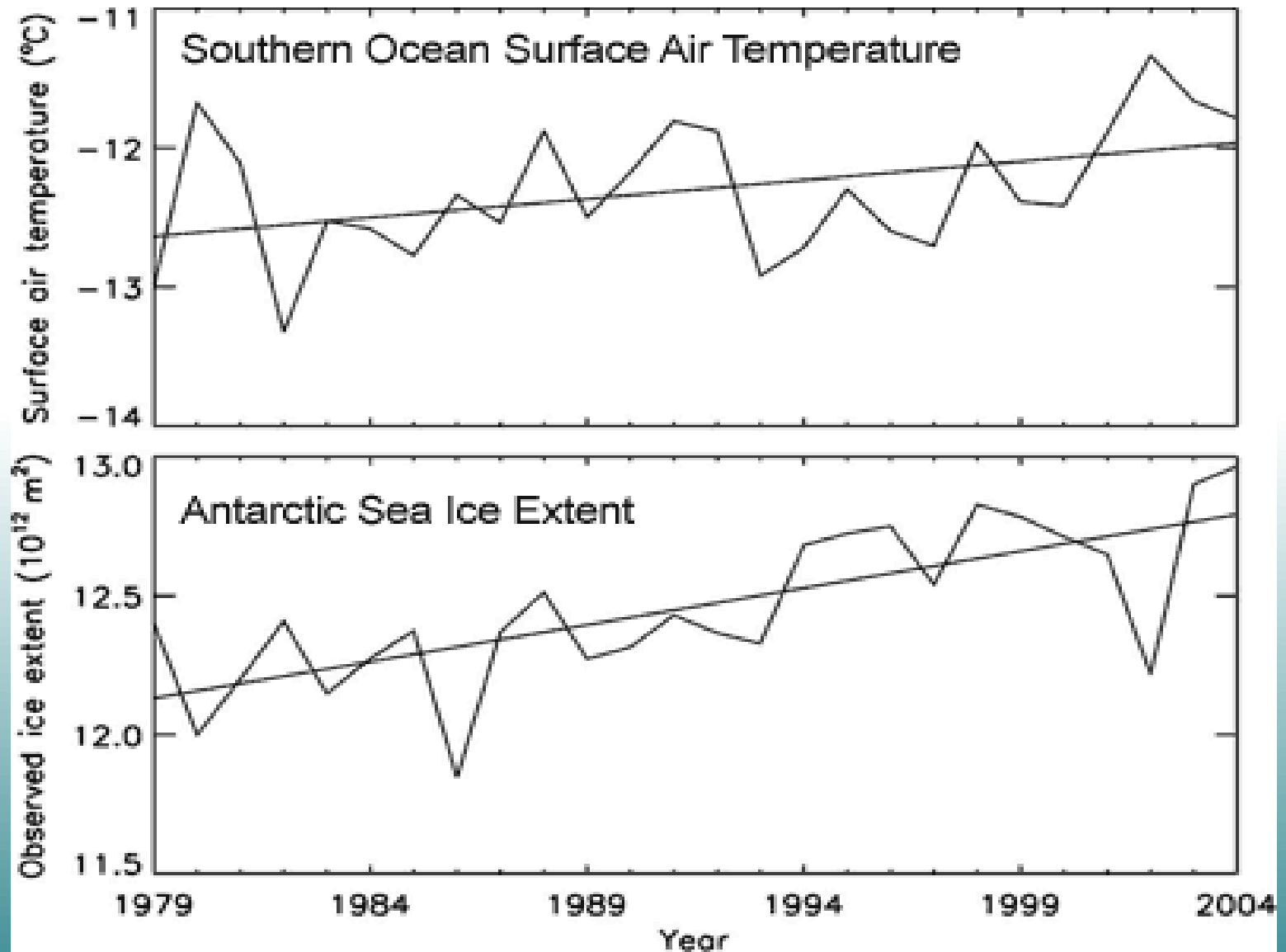


Northern Hemisphere Sea Ice Area

Data provided by NSIDC: NASA SMMR and SSMI



Southern hemisphere sea ice area



Al contrario di quanto accade nell'Artico, la copertura totale di ghiaccio nelle regioni antartiche ha mostrato un leggero incremento negli ultimi tre decenni (Cavalieri et al., 2003).



In generale, l'aumento di estensione della copertura glaciale osservato intorno all'Antartide, in netta contrapposizione alla radicale riduzione in atto nell'Artico, sembra essere qualitativamente coerente con le predizioni dei modelli climatici globali che accoppiano oceano ed atmosfera, in virtù dell'effetto stabilizzante dell'aumento delle precipitazioni nevose nell'Oceano Meridionale dovuto al climate warming.



... eppure l'Oceano Meridionale si è riscaldato negli ultimi decenni di circa 0.17°C per decennio (Boning et al., 2008), con un ritmo anche maggiore di quello medio globale (0.10°C per decennio). Le acque divenute relativamente più calde dovrebbero risalire così in superficie sciogliendo maggiormente il ghiaccio marino...

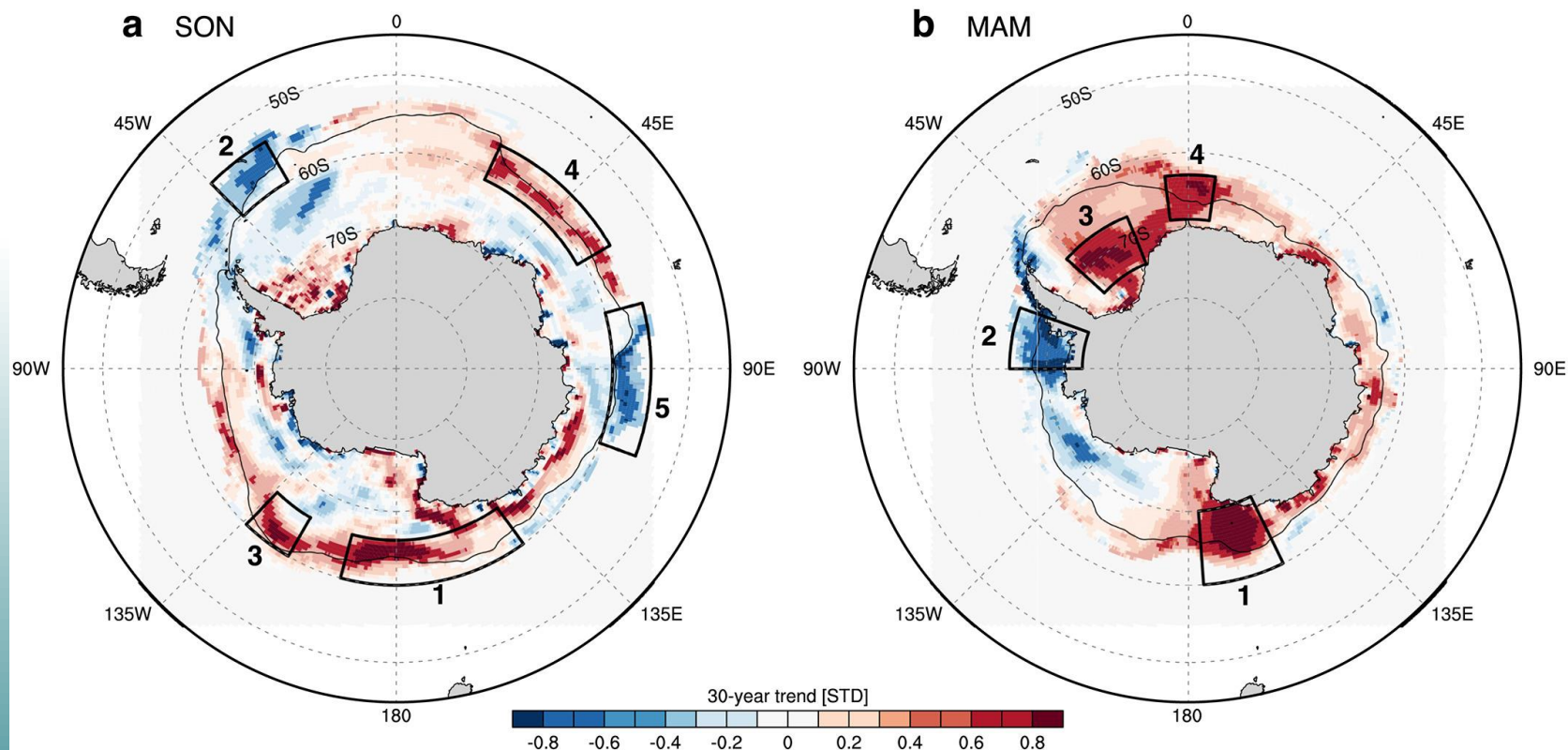
... eppure l'Oceano Meridionale si è riscaldato negli ultimi decenni di circa 0.17°C per decennio (Boning et al., 2008), con un ritmo anche maggiore di quello medio globale (0.10°C per decennio). Le acque divenute relativamente più calde dovrebbero risalire così in superficie sciogliendo maggiormente il ghiaccio marino...

- contemporaneo aumento della temperatura media dell'aria (Zhang et al., 2007)

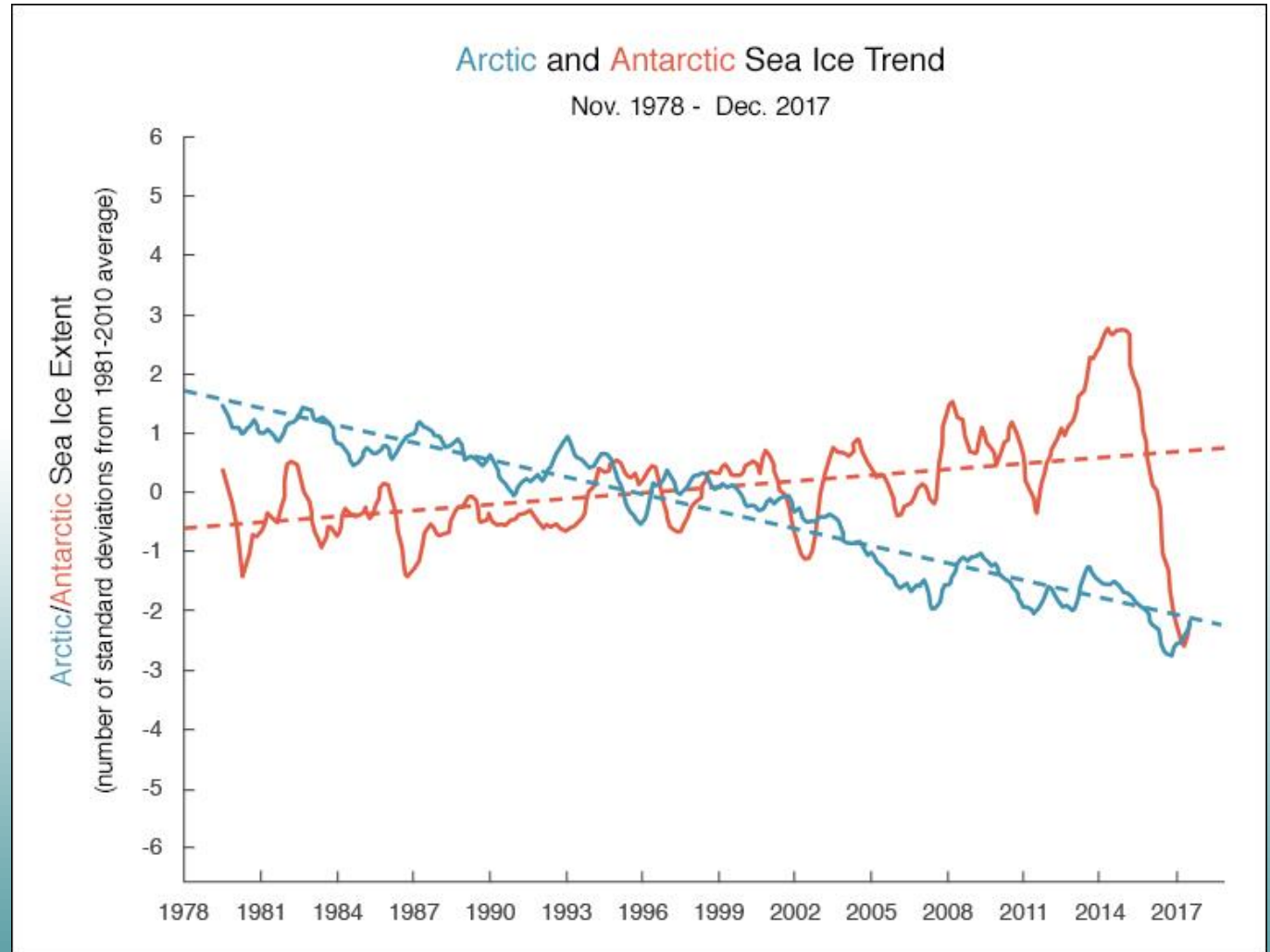
- buco dell'ozono in corrispondenza della regione antartica (Gillett and Thompson, 2003)

Necessità di stime dello spessore del ghiaccio!!

Inoltre la coltre di ghiaccio mostra una variabilità interannuale su scala regionale molto più grande di quanto faccia a livello emisferico. Le fluttuazioni regionali in entrambi gli emisferi sono tali che per ogni periodo, di diversi anni di registrazione satellitare, alcune regioni mostrano un copertura di ghiaccio in diminuzione, mentre altre registrano una coltre di ghiaccio in aumento.



L'andamento complessivo mostra inoltre un andamento opposto per i due emisferi con un netto calo della copertura artica ed un aumento del sea ice extent per la zona antartica, senza però fornire sufficienti informazioni sullo spessore del ghiaccio.



ANTARTIDE

**Motore della circolazione
termoalina oceanica e quindi
del clima planetario globale**

**Scigno ineguagliabile di informazioni
circa gli eventi climatici del passato, i
meccanismi di adattamento
all'ambiente e lo stato di salute del
nostro pianeta**

**Lo studio della efficienza dell' interscambio energetico
oceano-ghiaccio-atmosfera**

**è determinante per la comprensione dei fenomeni che presiedono al
trasporto ed agli scambi di energia**

IL GHIACCIO MARINO


A livello planetario, il ghiaccio marino copre oltre il 7% della superficie degli oceani e svolge un ruolo fondamentale nella circolazione atmosferica ed oceanica, riducendo la quantità di energia solare assorbita dalla Terra e condizionando i trasferimenti di calore tra oceano ed atmosfera.

(Rind et al., 1995; Holland et al., 2001; Weeks, 2001; Brandt et al., 2005)

Ogni anno, nella regione antartica, si verifica il congelamento ed il successivo scioglimento dei ghiacci marini che coprono gran parte dell'Oceano Meridionale. Questo evento si ripete ad ogni cambio di stagione ed è tra i più consistenti del pianeta in termini di estensione areale e di energia coinvolta.

... Nelle regioni polari, queste interazioni dinamiche e termodinamiche tra oceano ed atmosfera sono fortemente influenzate dalla presenza-assenza di ghiaccio marino e dalla profondità del suo spessore ...

RUOLO DEL GHIACCIO MARINO



Forma sull'oceano uno strato isolante che agisce da barriera all'evaporazione e previene la perdita di calore latente

Aumenta l'albedo della superficie, incrementando la percentuale di radiazione solare che viene riflessa

Trattiene con il proprio spessore parte del flusso di calore penetrante, che non riesce così a raggiungere l'oceano sottostante

CLASSIFICAZIONE DEL GHIACCIO MARINO

1- New ice

2- Young Ice

3- First-year ice

4- Old Ice

The screenshot displays the World Meteorological Organization (WMO) website. At the top, there is a navigation bar with links for Print, Bookmark, RSS, Zoom, Share, Recommend, and Google Map. The main header features the WMO logo and the text "World Meteorological Organization Working together in weather, climate and water". Below the header, there is a secondary navigation bar with links for HOME, CONTACT US, TOPICS, LINKS, UN SYSTEM, FAQ, and ACCESSIBILITY. The main content area is divided into several sections:

- About us:** Governance, Members, Media centre, Programmes, Meetings, Publications, Learning, Publishing tools, Partnership, Themes, Vacancies, Visitors' info, Youth corner, Gender.
- Weather forecasts and warnings:** World weather, Tropical cyclones and severe weather, User guide [pdf], meteoalarm (Europe), Safety at sea.
- World Meteorological Congress:** 16th Congress, Geneva, 16 May to 3 June 2011, Registration.
- National Meteorological Services:** Links to National Meteorological and Hydrometeorological Services.
- News:** Earthquake aftermath, Weather situation, News from Members, Questions and answers, More information.
- Recent products:** IPY findings, Extreme events, Climate for you, Fellowship fund appeal.
- Global Framework for Climate Services:** WCC-3, its outcomes and follow-up, High-level Taskforce towards the Global Framework for Climate Services.

On the right side, there is a "Themes" menu with links for Weather, Climate, Water, Oceans, Environment, Natural hazards, Socio-economic benefits, Observations, Research, Information management, Capacity-building, Least Developed Countries, Gender, and Quick links (Art gallery, UN system's work on climate change, METEOTERM, International Year of Volunteers, Fellowship Fund Appeal, World Meteorological Day 2011).

1- New ice

Frazil (or grease) ice

in condizioni 'di mare in quiete'

Ice rind acqua a bassa salinità,
ghiaccio quasi libero di sali,
spessore < 5 cm

Nilas acqua alta salinità,
si suddivide in base allo spessore in

Dark nilas (trasparente) &
spessore max 5 cm

Light nilas (opaco)
spessore max 10 cm

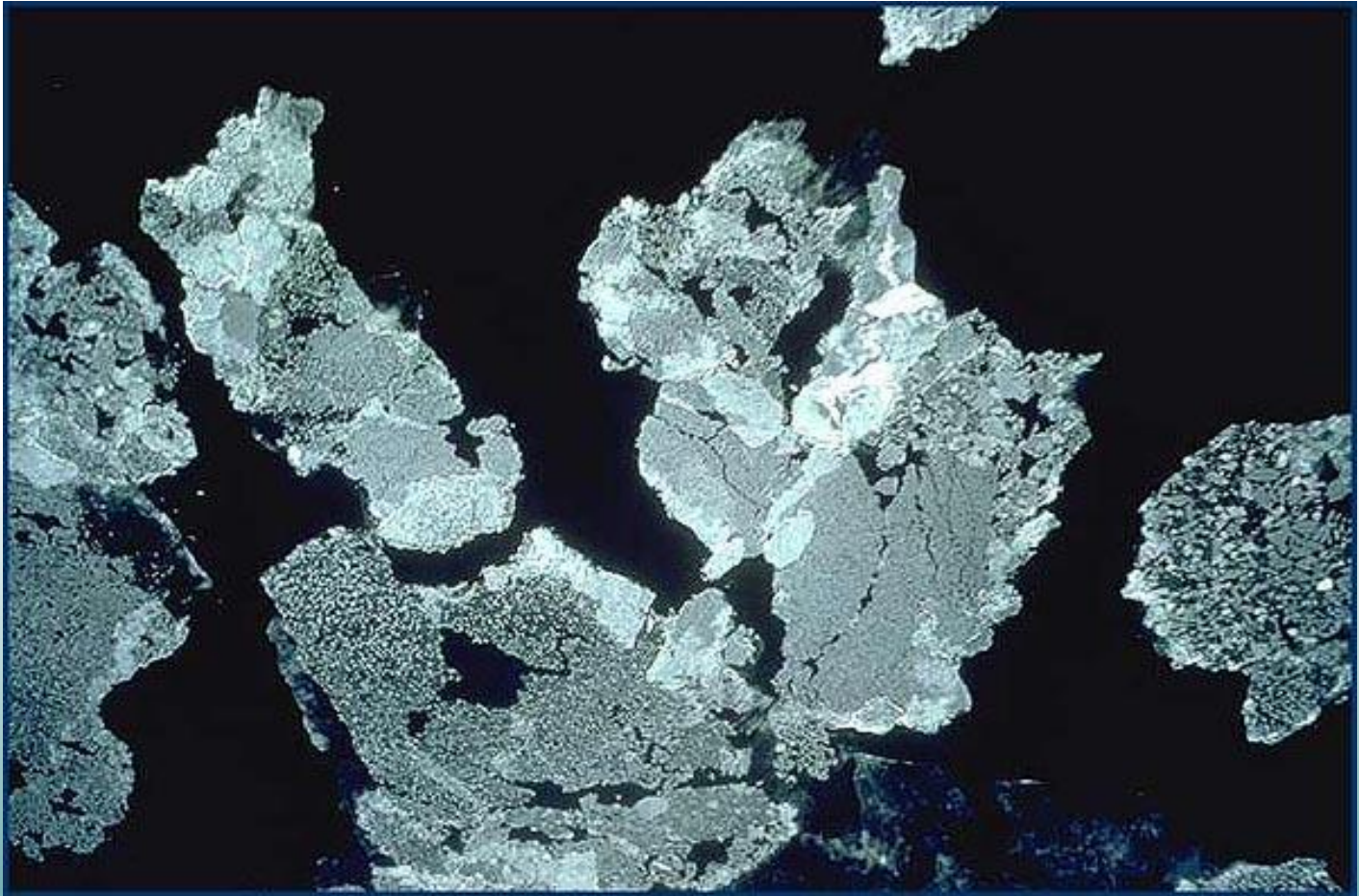
Pancake ice

in condizioni 'di mare agitato'

In presenza di due strati di acqua con differenti condizioni di salinità: - lo strato inferiore con una salinità più alta ha una temperatura sotto il punto di congelamento dello strato superiore a bassa salinità ;
- si formano due strati ghiacciati uno sull'altro di cui quello inferiore è più unito e compatto, quello superiore più 'a ciambella';
- prevale nelle zone di polynya battute dai venti.

Frazil (or grease) ice

Ice rind

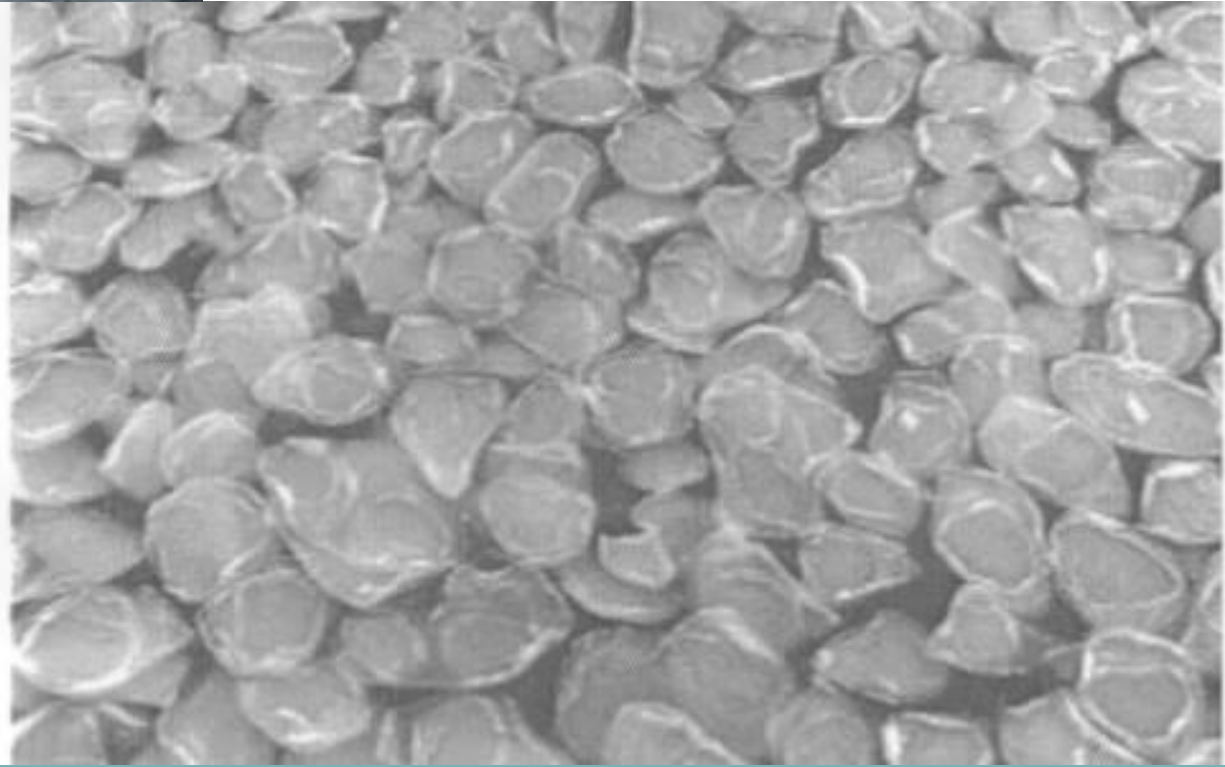


Frazil (or grease) ice

Nilas



Pancake ice



2- Young Ice

Con il trascorrere del tempo il new-ice aumenta di **dimensioni**:

- Frazil (fino a 15 cm)
- Pancake (fino a 30 cm)

E cambia di **colore**:

da trasparente, a grigio, fino a grigio-bianco

Pancake ice



Pancake ice



©Wadhams

Consolidated pancake ice in the Antarctic (continuous sheet)

Pancake ice



3- Lo stato successivo di sviluppo del ghiaccio è noto come

First-year ice

è suddiviso in 3 categorie

thin

30-70 cm

medium

70-120 cm

thick

~ 2 m

Ha caratteristiche diverse dal young ice perché con il passare del tempo i sali disciolti vengono rilasciati e precipitano progressivamente negli strati inferiori

4- Il ghiaccio thick first-year ice che ‘sopravvive’ ovvero non si scioglie durante la stagione estiva, viene classificato come

Old Ice

Second-year ice

Multi-year ice

- Spessore da 1.2 a 5 m
- Colore sempre più scuro

Il ghiaccio può essere suddiviso anche in funzione della sua mobilità:

Drift ice : il ghiaccio continuamente in movimento sotto l'azione del vento e delle correnti

Fast ice : il ghiaccio 'attaccato' alle coste alle isole, ovvero che non si muove

Classification of sea ice using albedo

The following table contains a classification of sea ice types using the albedo as a classifier.

The numbers behind the quoted albedo values indicate the proper reference, where the value was obtained.

Total albedo is dependent on the incoming radiation because the albedo is not constant over the range of incoming short wave radiation.

In general spectral albedo is highest in the short wave end of the spectrum.

		dirty ice			
	bare ice 0.05-0.72		melting ice 0.25-0.56 ²⁾ 0.60 ³⁾		
		clean ice 0.05-0.72		new ice 0.05-0.15 ⁵⁾	
				nilas 0.05-0.24	dark light 0.05-0.17 ¹⁾ 0.24 ¹⁾
ice 0.05-0.90				young ice 0.20-0.35	grey white 0.20 ¹⁾ grey- 0.35 ¹⁾
			growing bare ice 0.05-0.72		
				first year ice 0.24-0.64 ⁵⁾	
				second year ice 0.70 ⁵⁾	
		dry snow 0.80-0.90 ⁶⁾		multiyear ice 0.72 ²⁾	
	snow covered ice 0.70-0.90				
		wet snow 0.70-0.80 ⁶⁾			
quiet open water 0.05 ¹⁾					

		dirty ice			
	bare ice 0.05-0.72		melting ice 0.25-0.56 ²⁾ 0.60 ³⁾		
		clean ice 0.05-0.72		new ice 0.05-0.15 ⁵⁾	
				nilas 0.05-0.24	dark light 0.05-0.17 ¹⁾ 0.24 ¹⁾
ice 0.05-0.90				young ice 0.20-0.35	grey white 0.20 ¹⁾ 0.35 ¹⁾
			growing bare ice 0.05-0.72		
				first year ice 0.24-0.64 ⁵⁾	
				second year ice 0.70 ⁵⁾	
		dry snow 0.80-0.90 ⁶⁾		multiyear ice 0.72 ²⁾	
	snow covered ice 0.70-0.90				
		wet snow 0.70-0.80 ⁶⁾			
quiet open water 0.05 ¹⁾					