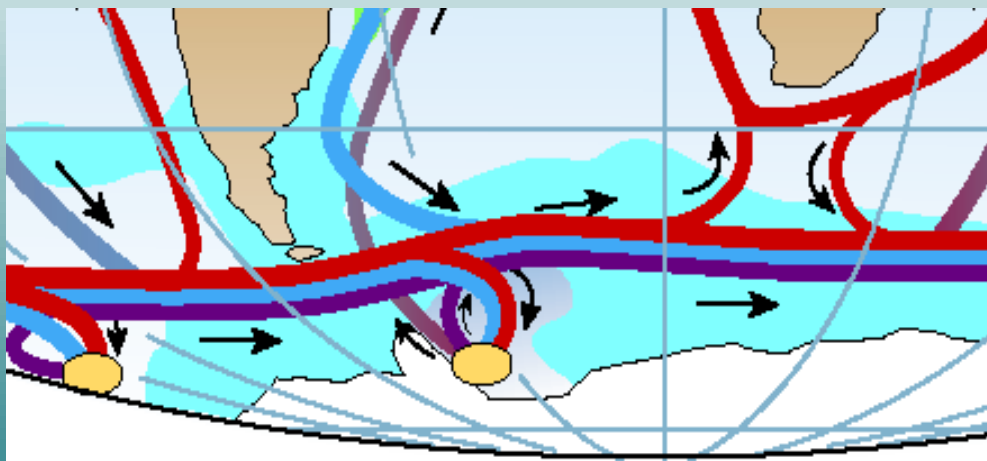
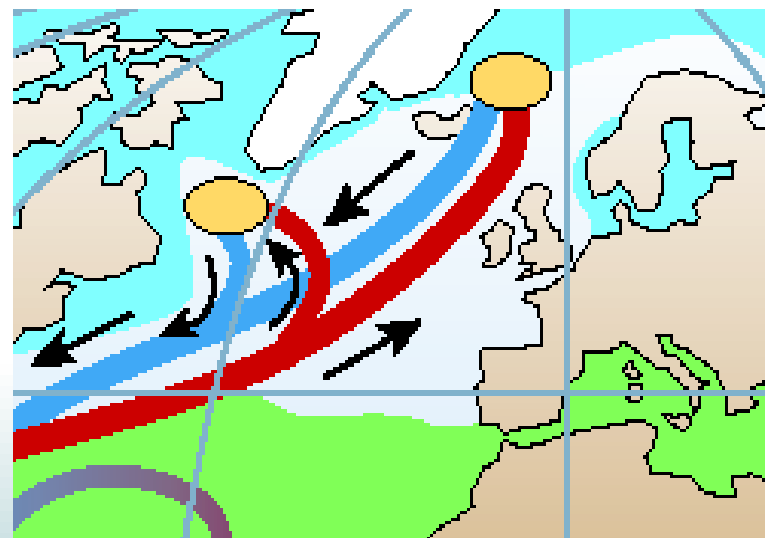


**Ad alte latitudini l'aria fredda che soffia sull'oceano provoca la formazione di acque più dense sulla superficie del mare. Se il vento è freddo a sufficienza si forma il ghiaccio e questo fa accrescere la salinità dell'acqua, in quanto nel ghiaccio è disciolta una minore quantità di sali. Perciò accade che l'acqua affondi a volte fino a 2000 m di profondità e oltre.**

**Le masse di acqua abissale si formano nell'Atlantico tra Norvegia e Groenlandia, nel Mare del Labrador**

**Nel mare di Weddell e nel Mare di Ross vicino all'Antartide**



A map of the Southern Ocean, centered on the Antarctic continent. The continent is shown in a light gray color, surrounded by a white ring representing the ice shelf. The surrounding waters are dark blue. A thin orange line outlines the continental shelf. The text "Oceanografia delle polynye" is overlaid in the center in a bold, red, sans-serif font.

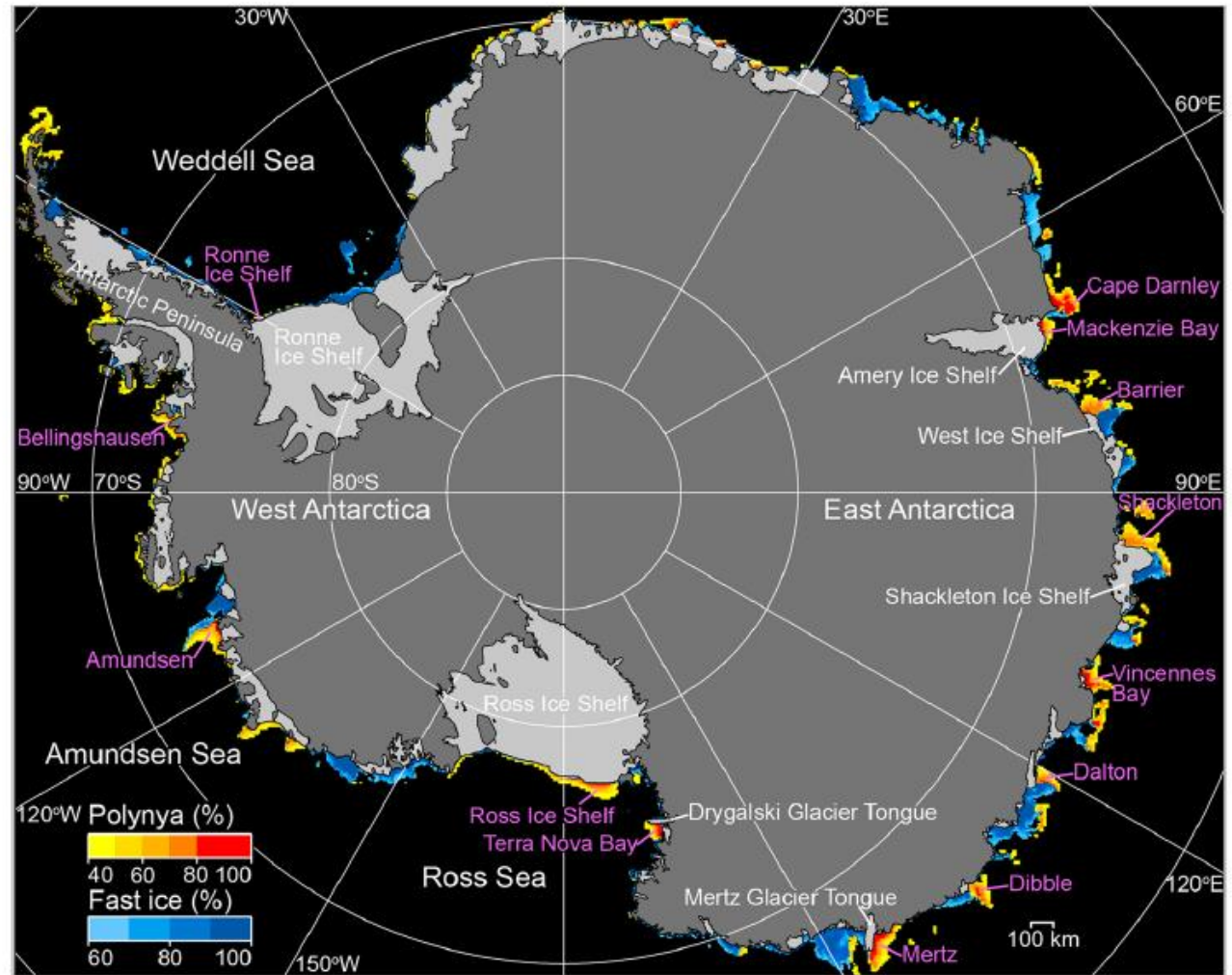
# Oceanografia delle polynye

Dicembre 2013

# Polynye

- Le polynye sono fenomeni complessi e molte se non tutte, sono formate e sostenute da un insieme di processi fisici e meccanismi di feedback.
- Aree oceaniche, caratteristiche delle regioni polari, parzialmente o completamente libere dal ghiaccio, che si formano all'interno del pack quando la temperatura dell'aria è ben al di sotto del punto di congelamento dell'acqua di mare (Van Woert, 1999).
- Le polynye tendono a formarsi in maniera ricorrente nelle stesse aree e negli stessi periodi dell'anno.
- L'area di mare aperto può raggiungere fino a  $10^5 \text{ km}^2$
- La successione temporale degli eventi, la durata e le dimensioni può essere caratterizzata da una ampia variabilità interannuale legata alla variabilità delle interazioni mare-ghiaccio e delle condizioni atmosferiche e dell'oceano.

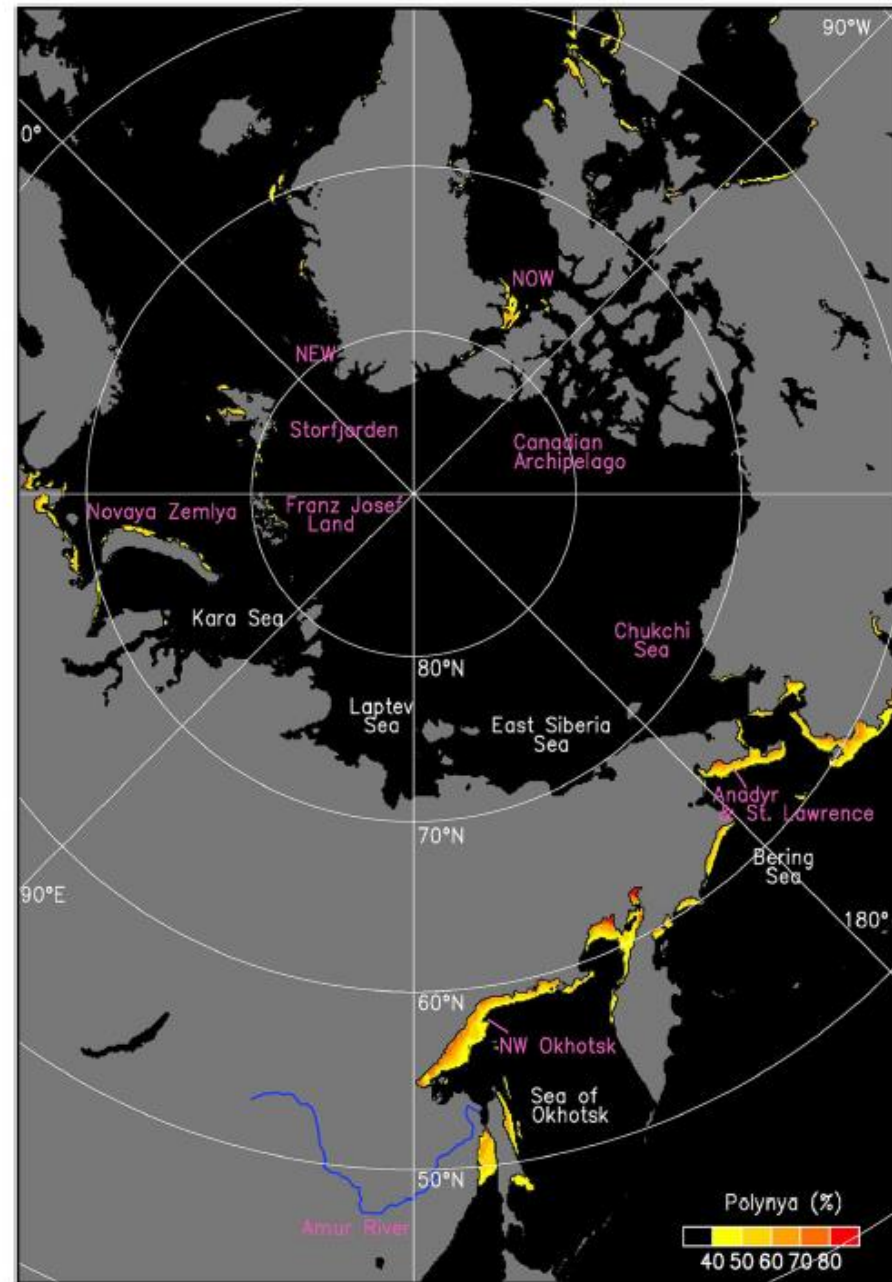
# Are di formazione di polynya in Antartide



**Fig. 2** Map of coastal polynyas and landfast sea ice in the Southern Hemisphere. The calculation is based on thin-ice thickness and fast ice detection algorithms of AMSR-E (Nihashi and Ohshima 2015). Frequency of occurrence during the freezing period (March–October) for the period of 2003–11 (March–September only for 2011) is shown by *color shadings*. The Antarctic continent and islands are indicated by *gray*, and ice shelves and glacier tongues are indicated by *light gray*

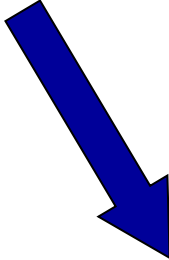
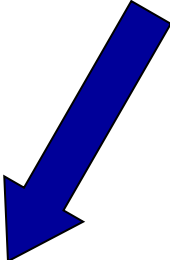


# Are di formazione di polynya in Artico



**Fig. 4** Map of coastal polynyas in the Northern Hemisphere. The calculation is based on thin-ice thickness algorithm of AMSR-E (Iwamoto et al. 2013, 2014). Frequency of occurrence during the freezing period (September–May) of 2002/2003–2010/2011 is shown by color shadings, with the same color scale as that of Fig. 2 (Southern Hemisphere)

# Polynye



**a calore sensibile**

**a calore latente**

- La suddivisione non è così netta ....

Nelle polynye a calore latente, c'è un flusso a calore sensibile dall'oceano "caldo" verso la fredda atmosfera, flusso determinato dal rilascio di calore latente di congelamento quando si forma il frazil ice ..

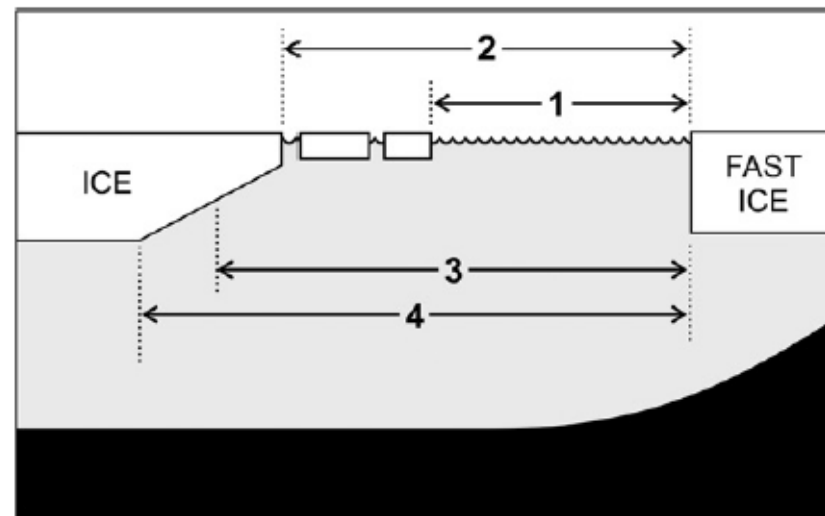


Figure 1: Cross-section of a polynya defining 4 different widths: (1) the region of open water, (2) the region of open and partially open water, (3) the practical width of the polynya, which encompasses all ice over which is too thin for safe travel, and (4) the full width of the polynya, which encompasses all ice that is thinner than the surrounding pack.

**PARAMETRIZZAZIONE  
ATMOSFERA-MARE**

$$Q_T = Q_I + Q_B + Q_S + Q_L$$

**PARAMETRIZZAZIONE  
ATMOSFERA-  
GHIACCIO-MARE**

$$Q_T = Q_I + Q_B + Q_S + Q_L + Q_C$$

**$Q_T =$  CALORE TOTALE**

**$Q_I =$  CALORE PROVENIENTE DALLA RADIAZIONE SOLARE**

**$Q_B =$  CALORE PROVENIENTE DALLA RADIAZIONE TERRESTRE**

**$Q_S =$  CALORE SENSIBILE TRASFERITO ATTRAVERSO IL  
“CONTATTO”**

**$Q_L =$  CALORE LATENTE LEGATO AI PROCESSI DI  
EVAPORAZIONE/CONDENSAZIONE**



**POLYNYA A  
CALORE SENSIBILE**  
Q<sub>s</sub> è il parametro  
principale

**POLYNYA A CALORE  
LATENTE**  
Q<sub>L</sub> è il motore trainante

$$Q_S = \rho_A C_p C_S |\vec{V}| (t_{Sfc} - t_A)$$

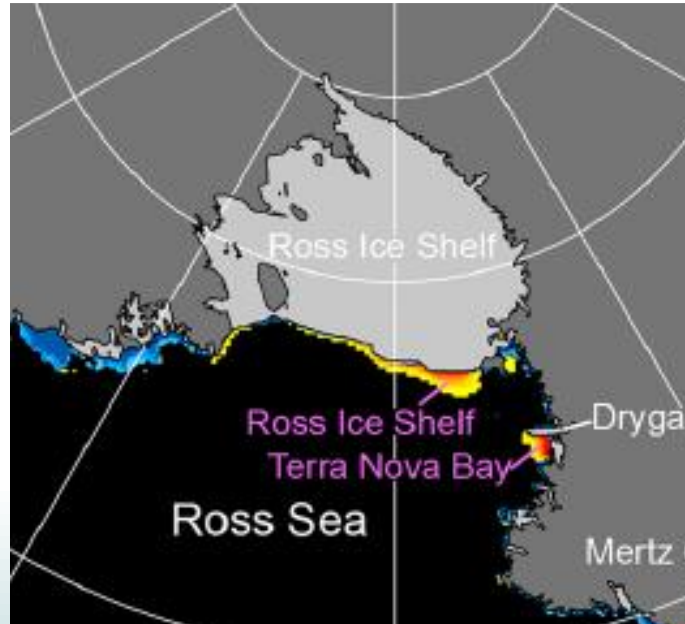
$$Q_L = \rho_A L_E C_L |\vec{V}| (q_S - q_A)$$

Table 5.1 Notation Describing Fluxes

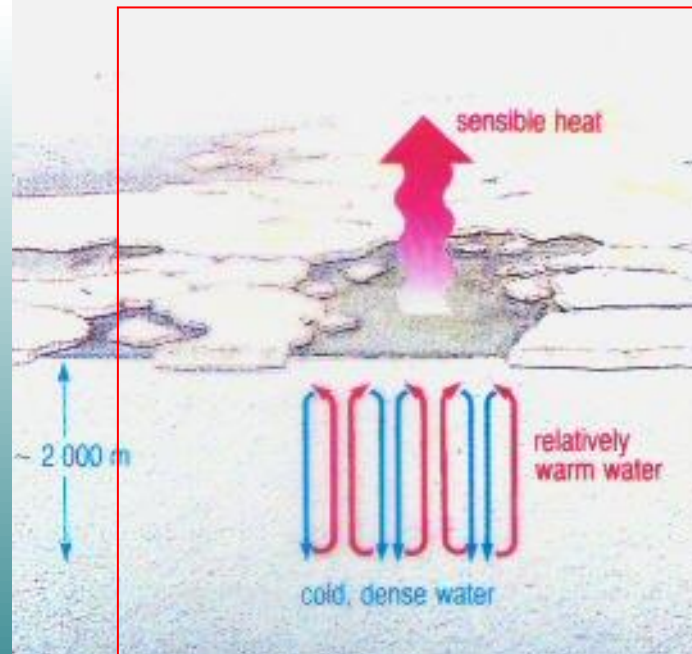
Symbol	Variable	Value and Units
$C_p$	Specific heat capacity of air	1030 J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
$C_D$	Drag coefficient (see 4.3)	$(0.50 + 0.071 U_{10}) \times 10^{-3}$
$C_L$	Latent heat transfer coefficient	$1.2 \times 10^{-3}$
$C_S$	Sensible heat transfer coefficient	$1.0 \times 10^{-3}$
$L_E$	Latent heat of evaporation	$2.5 \times 10^6$ J/kg
$q$	Specific humidity of air	kg (water vapor)/kg (air)
$q_a$	Specific humidity of air 10 m above the sea	kg (water vapor)/kg (air)
$q_s$	Specific humidity of air at the sea surface	kg (water vapor)/kg (air)
$Q_S$	Sensible heat flux	W/m <sup>2</sup>
$Q_L$	Latent heat flux	W/m <sup>2</sup>
$T$	Wind stress	Pascals
$t_a$	Temperature of the air 10 m above the sea	K or °C
$t_s$	Sea-surface temperature	K or °C
$t'$	Temperature fluctuation	°C
$u'$	Horizontal component of fluctuation of wind	m/s
$u_*$	Friction velocity	m/s
$U_{10}$	Wind speed at 10 m above the sea	m/s
$w'$	Vertical component of wind fluctuation	m/s
$\rho$	Density of air	1.3 kg/m <sup>3</sup>
$T$	Vector wind stress	Pa

$C_S$  and  $C_L$  from Smith (1988).

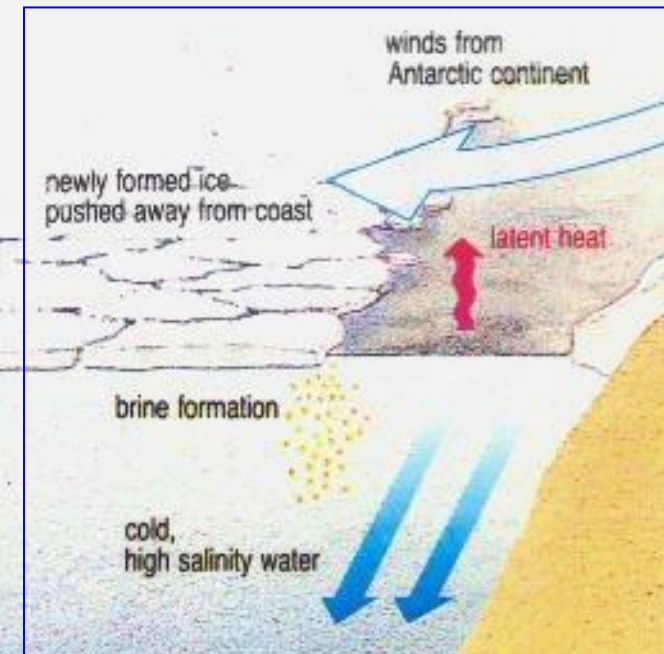
# Meccanismi di formazione



**Polynya a calore sensibile  
(OPEN OCEAN)**



**Polynya a calore latente  
(COSTIERA)**



## Polynya a calore sensibile (OCEANICA)



## Polynya a calore sensibile

Sono generate dall'azione del calore sensibile oceanico che, entrando nell'area di formazione della polynya, è tale da sciogliere il ghiaccio esistente e da prevenire la produzione di altro ghiaccio. Queste polynyas si formano in regioni di upwelling o di forti mixing verticali associati ad attività mareale, quindi nelle baie e nei canali, o associati ad interazioni tra le correnti e alcune caratteristiche topografiche della zona, come ad esempio rilievi marini.

## Polynya a calore sensibile (OCEANICA)



## Polynya a calore sensibile

Sono presenti anche in aree di oceano aperto dove acque fredde superficiali e relativamente poco salate, sono separate da acque sottostanti più calde e più salate da un pinnocchino medio.

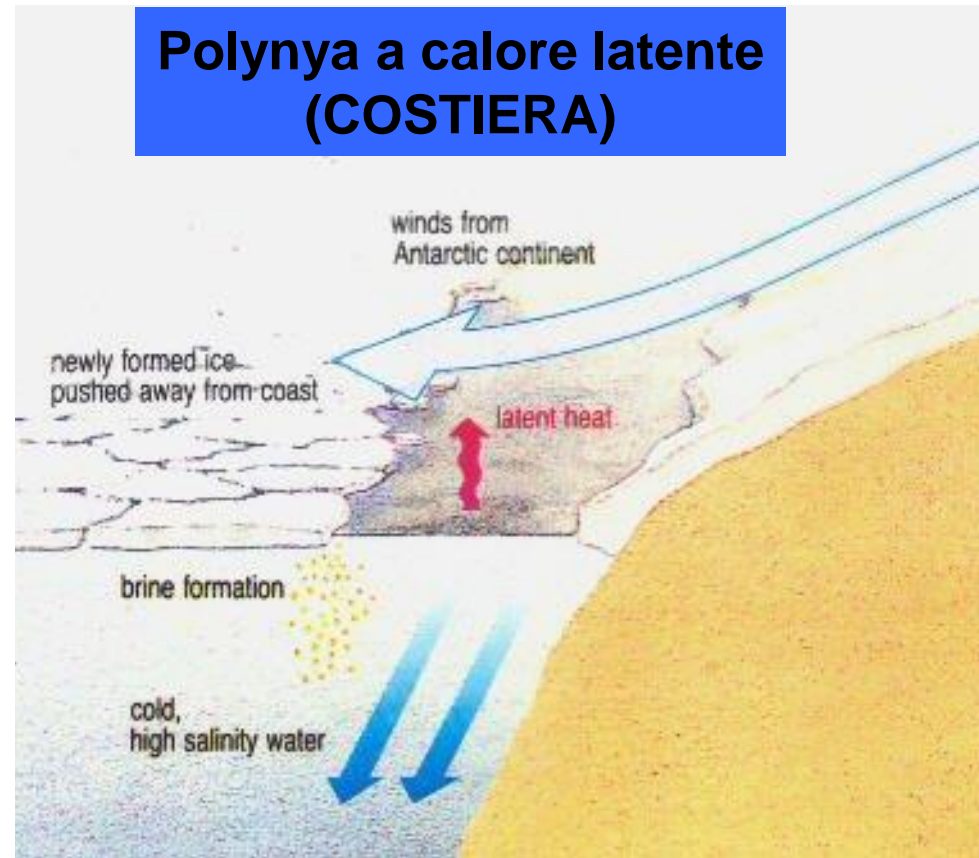
La destabilizzazione della colonna d'acqua porta ad un riscaldamento della superficie, impedendo o rallentando la produzione di ghiaccio.



## Polynya a calore latente

Si formano in aree dove i venti prevalenti e le correnti oceaniche sono tali da staccare e trasportare lontano interi blocchi di ghiaccio.

Il meccanismo responsabile del mantenimento della polynya a calore latente è la continua produzione ed esportazione di ghiaccio dalla zona in questione. Il nome di questo tipo di polynya deriva dal fatto che, durante il lento processo di congelamento, viene rilasciato calore latente.



# Brina e *Brine Rejection*

- Quando l'acqua superficiale raggiunge la temperatura di congelamento, cominciano a formarsi cristalli di ghiaccio e quindi
- Ioni di sale sono espulsi dal reticolo di struttura del ghiaccio e quindi sono rilasciati in acqua sotto forma di ioni sale oppure intrappolati nei cristalli di ghiaccio in agglomerati chiamati celle di Brina (*Brine Cells*)
- Quanto più è rapido il processo di congelamento maggiore è il numero *brine cells* rilasciate in mare.
- La densità dello strato superficiale aumenta la colonna d'acqua acquista di instabilità



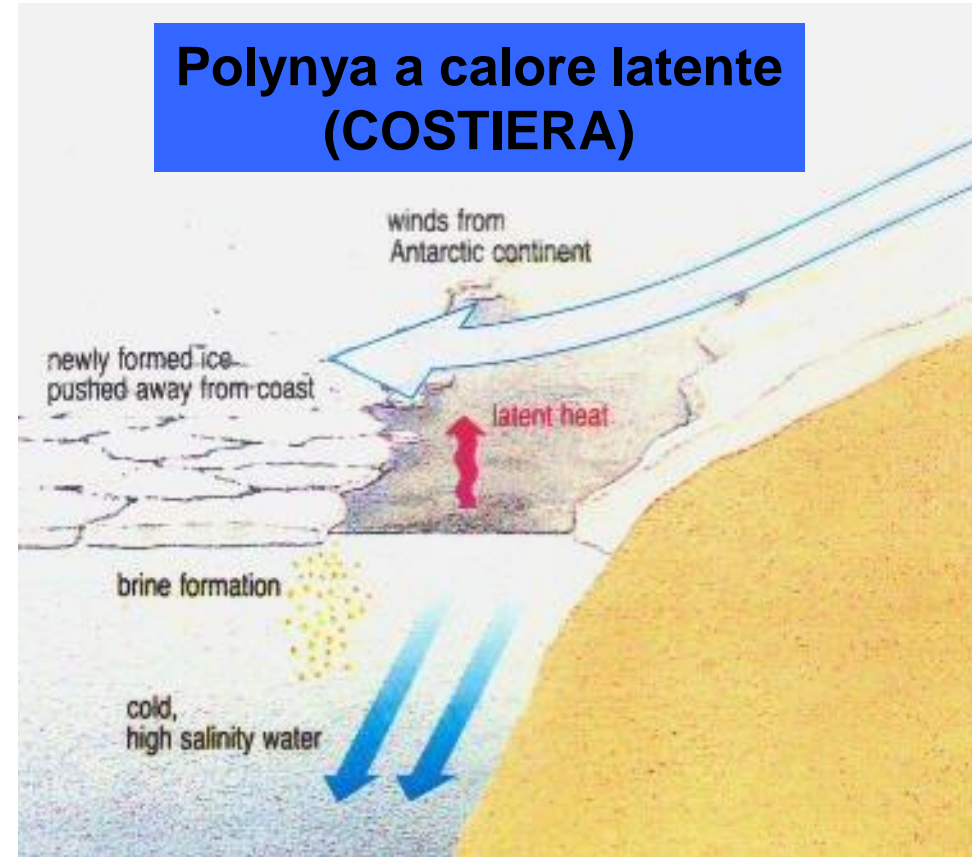
# Brinicles



## Polynya a calore latente

Il flusso di calore dovuto alla polynya a calore latente corrisponde a più di  $300\text{W/m}^2$ , abbastanza da provocare giornalmente nelle zone costiere la formazione di uno strato di ghiaccio spesso 10 cm (successivamente rimosso dal vento).

Queste polynyas sono aree con un alto tasso di produzione di ghiaccio e le loro dimensioni sono determinate dal rapporto tra l'esportazione di ghiaccio fuori dalla polynya e la produzione di ghiaccio all'interno di essa.



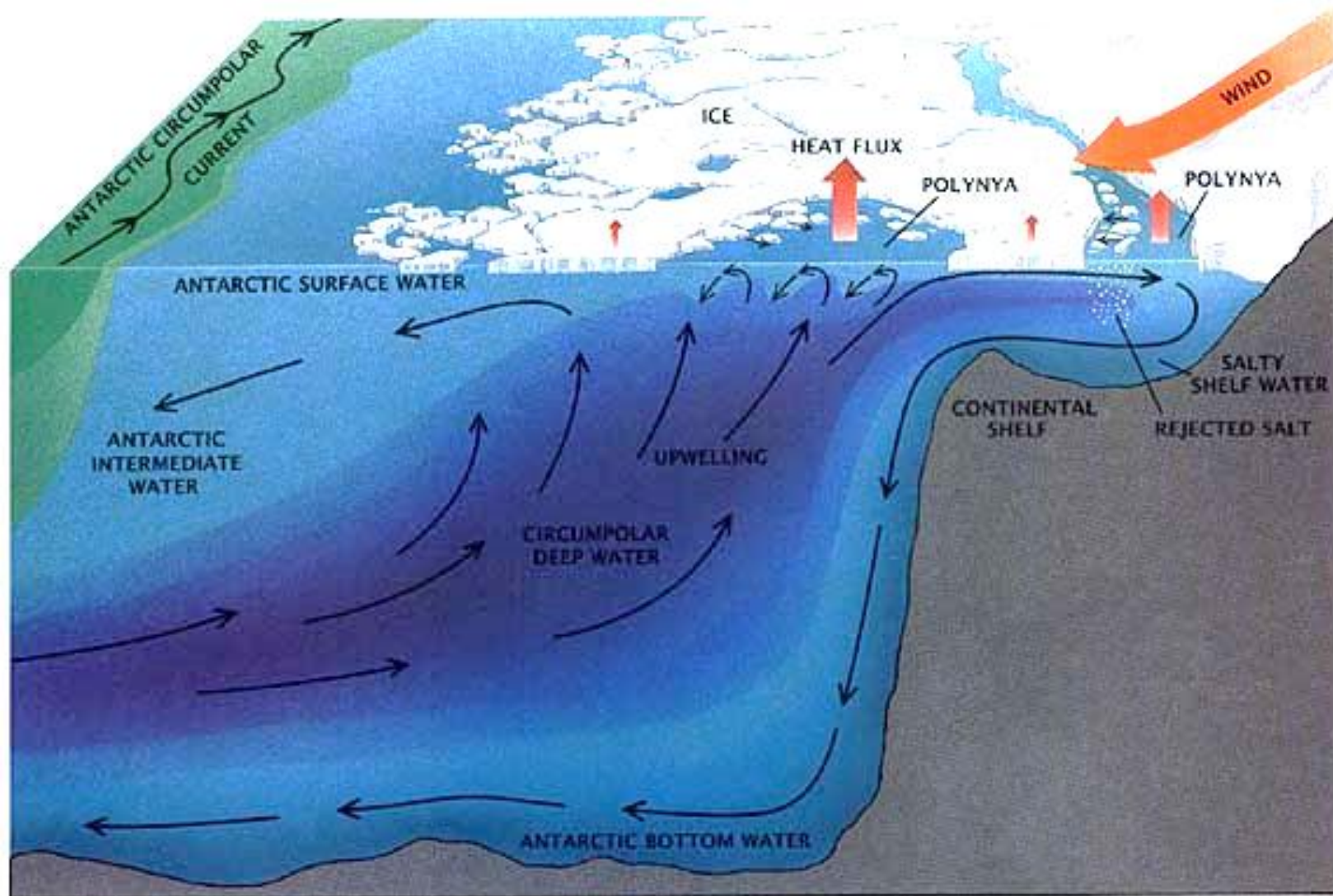
# Mare di Ross

- Ampia insenatura situata lungo la costa antartica, tra Cape Adare a 170° est e Cape Colbeck a 158° ovest.
- Situato principalmente sulla piattaforma continentale, con un'estensione pari a circa 958,000 km<sup>2</sup> e una profondità media che supera i 500 m.
- Circa la metà del Mare di Ross è coperta da una coltre di ghiaccio spessa circa 250 m nella parte più lontana dal polo, denominata Ross Ice Shelf.



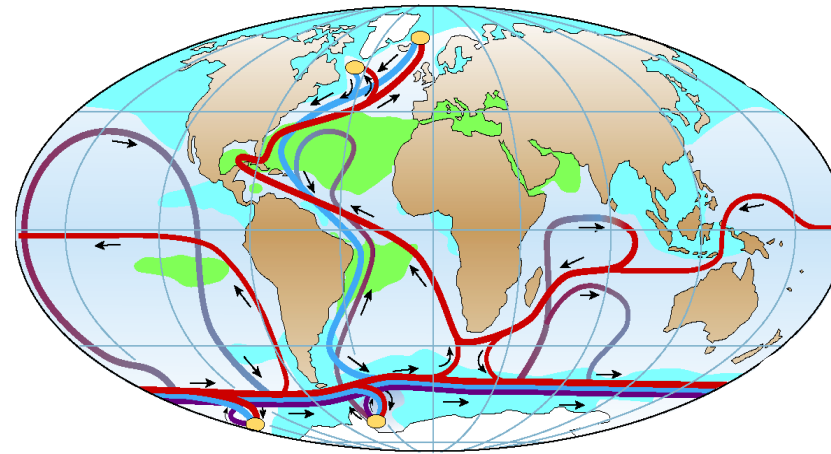


Source: Gordon, Arnold L. and Josefino, C. Comiso (1988) "Polynyas in the Southern Ocean." *Scientific American*, June 1988, Vol. 256, No. 6, p. 92.



Meridional circulation pattern of the Southern Ocean (the ocean surrounding Antarctica) is dominated by the upwelling of a warm, salty water mass called the Circumpolar Deep Water and its transformation into Antarctic Surface Water, which ultimately sinks to become Antarctic Intermediate Water and Antarctic Bottom Water. The circulation is driven by wind and the exchange of heat and fresh water between the ocean and the atmosphere.

**Le correnti verticali sono circa 1000 volte più lente rispetto a quelle orizzontali: le velocità sono dell'ordine di frazioni di millimetro al secondo (si tenga comunque presente che 1 mm/s equivale a 30 km in un anno, cioè quasi 10 volte la profondità media degli oceani). Dato che lo sprofondamento delle acque avviene su estensioni orizzontali amplissime, è facile calcolare che le correnti verticali, nonostante la loro lentezza, spostano masse d'acqua di centinaia di Sv. Anche le correnti di profondità e/o abissali sono molto lente (circa 1 mm/s).**



## Differenza (*sottile*) tra lead e polynya

- I lead sono strutture quasi-lineari che possono essere da metri a centinaio di metri larghe e da km a decine di km lunghe.
- Come le polynye i lead sono generati per divergenza del ghiaccio e si verificano in punti di debolezza del ghiaccio marino
- A differenza delle polynye i lead non hanno una posizione ricorrente



# Polynyas

“any nonlinear-shaped openings enclosed in sea ice” (WMO, 1970)

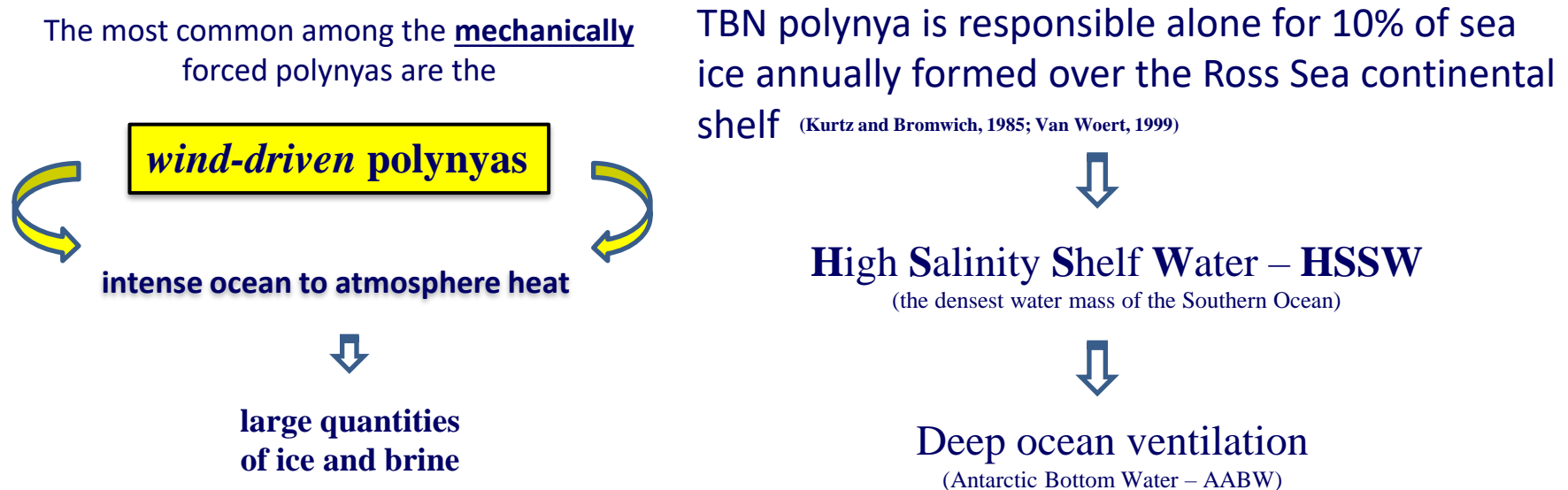
100/1000 m – 100 km (Smith et al., 1990)

10 - 10<sup>5</sup> km<sup>2</sup> (Barber et al., 2001)

## CLASSIFICATION:

- sensible heat and latent heat polynyas (Smith et al., 1990)
- deep water and shelf water polynyas (Gordon and Comiso, 1988; Morales Maqueda et al., 2004)
- convectively forced and mechanically forced polynyas (Williams et al., 2007)

**Most of polynyas are formed by a confluence of two or more physical factors**



## Polynye generate per forzamento meccanico

- Si formano per divergenza di ghiaccio (DdG) che a sua volta è determinata dallo stress del vento o dalle correnti oceaniche
- Wind driven polynyas si formano o di fronte una costa oppure al limite *terra/fast ice, delle piattaforme e/o lingue di ghiaccio marino quando il vento spinge il pack ice offshore*
- La formazione di polynya per DdG sono influenzate da stress interni al ghiaccio che possono inibire la formazione
- Polynye wind-forced si verificano in luoghi e tempi in cui la resistenza del ghiaccio a movimenti offshore non sia così forte durante gli eventi di vento favorevoli alla formazione (venti offshore).

- **Ad esempio :**

- la dinamica di grande scala del ghiaccio può determinare stress interni di compressione e contro la costa, elementi che vanno in opposizione rispetto all'azione del vento off-shore
- La ice strenght è un altro elemento che si oppone alla fratturazione del ghiaccio. **Ice strenght** è funzione dello spessore del ghiaccio quindi le polynye sono più probabili in luoghi e tempi in cui il ghiaccio marino è più debole.

**Modello di polynya idealizzato :**

$W = \left( \frac{VH}{F} \right) [1 - e^{(-t^F/H)}]$  in cui **W** è l'ampiezza della polynya, **V** la velocità off-shore del ghiaccio, **F** è il rate di produzione del ghiaccio, **t** il tempo e **H** è l'altezza del nuovo ghiaccio accumulato sul lato sotto vento della polynya

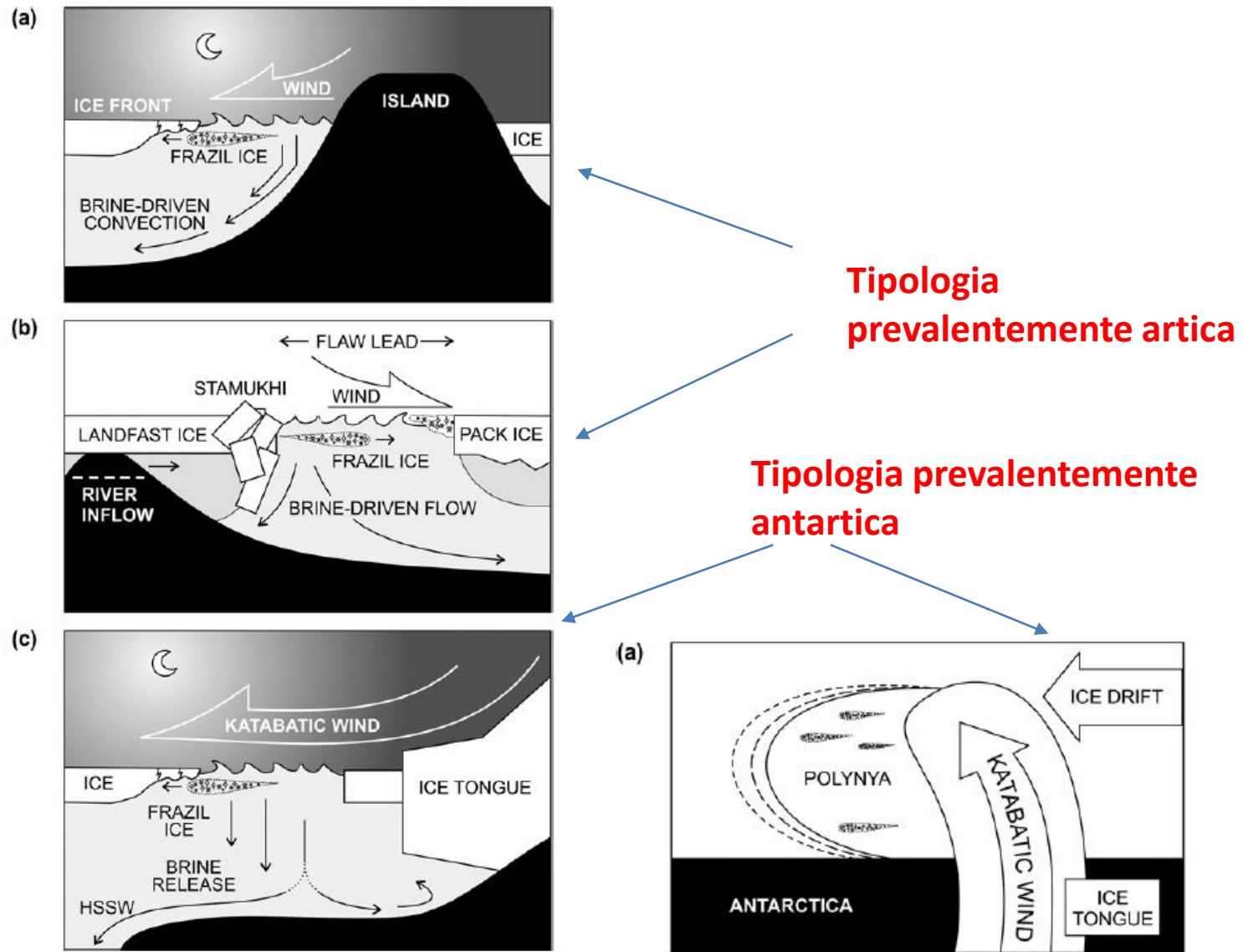


Figure 2: Physical processes within wind-driven polynyas: (a) a wind-driven polynya forming in the lee of an island (e.g., St. Lawrence Island); (b) the flaw polynya that forms on the Mackenzie Shelf in the southern Beaufort Sea; (c) a flaw polynya in the Antarctic. All diagrams are vertical sections across the polynya.



Polynya del Ross Ice Shelf





## TNB AREA

from Cape Washington (74°35' S)  
to Drygalski Ice Tongue (75°15' S)

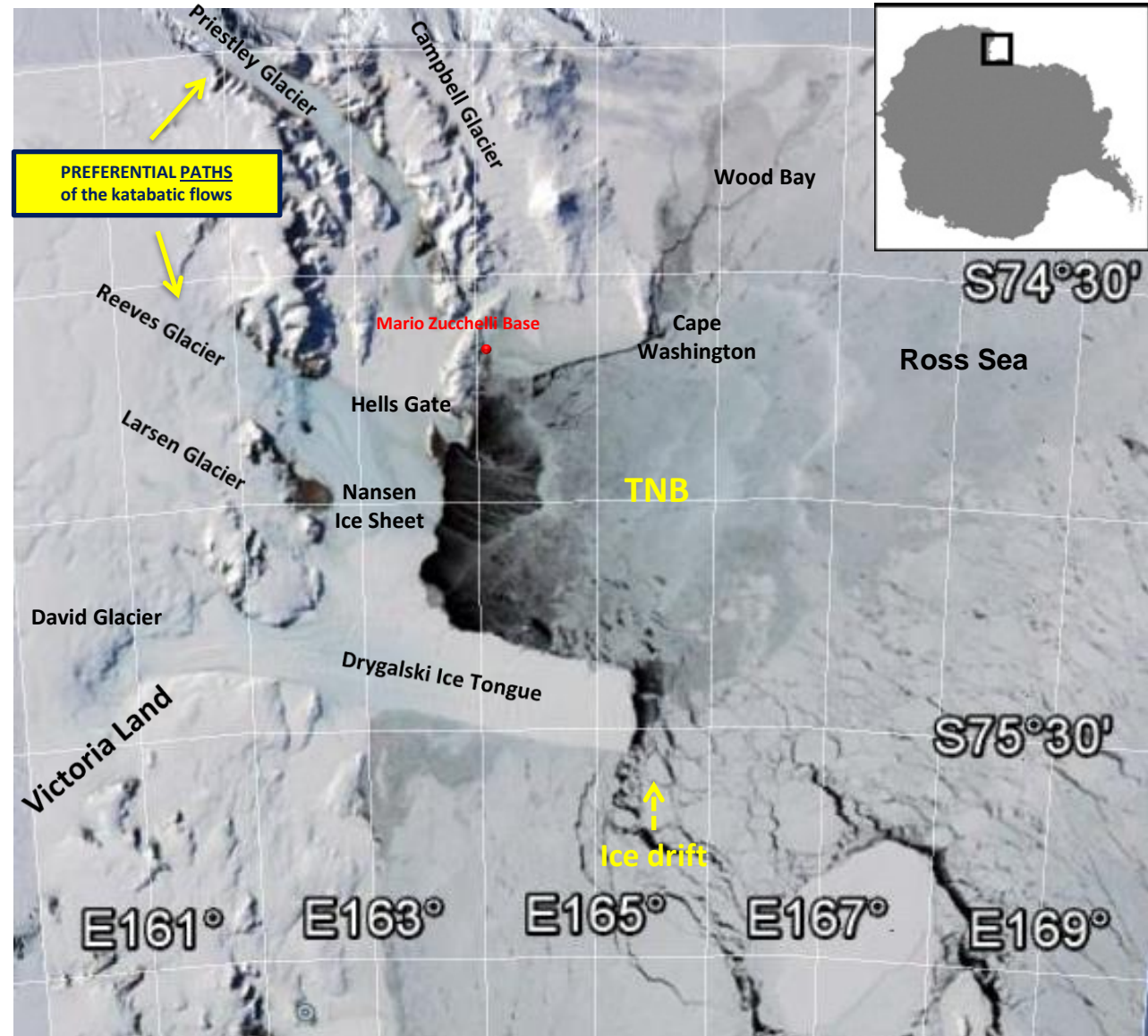
north-south (~ 65 km)  
east-west (~ 92 km) } ~ 6000 km<sup>2</sup>

(Frezzotti and Mabin, 1994)

### PECULIAR CLIMATIC & PHYSICAL FEATURES:

**Katabatic winds**  
**Drygalski Ice Tongue**

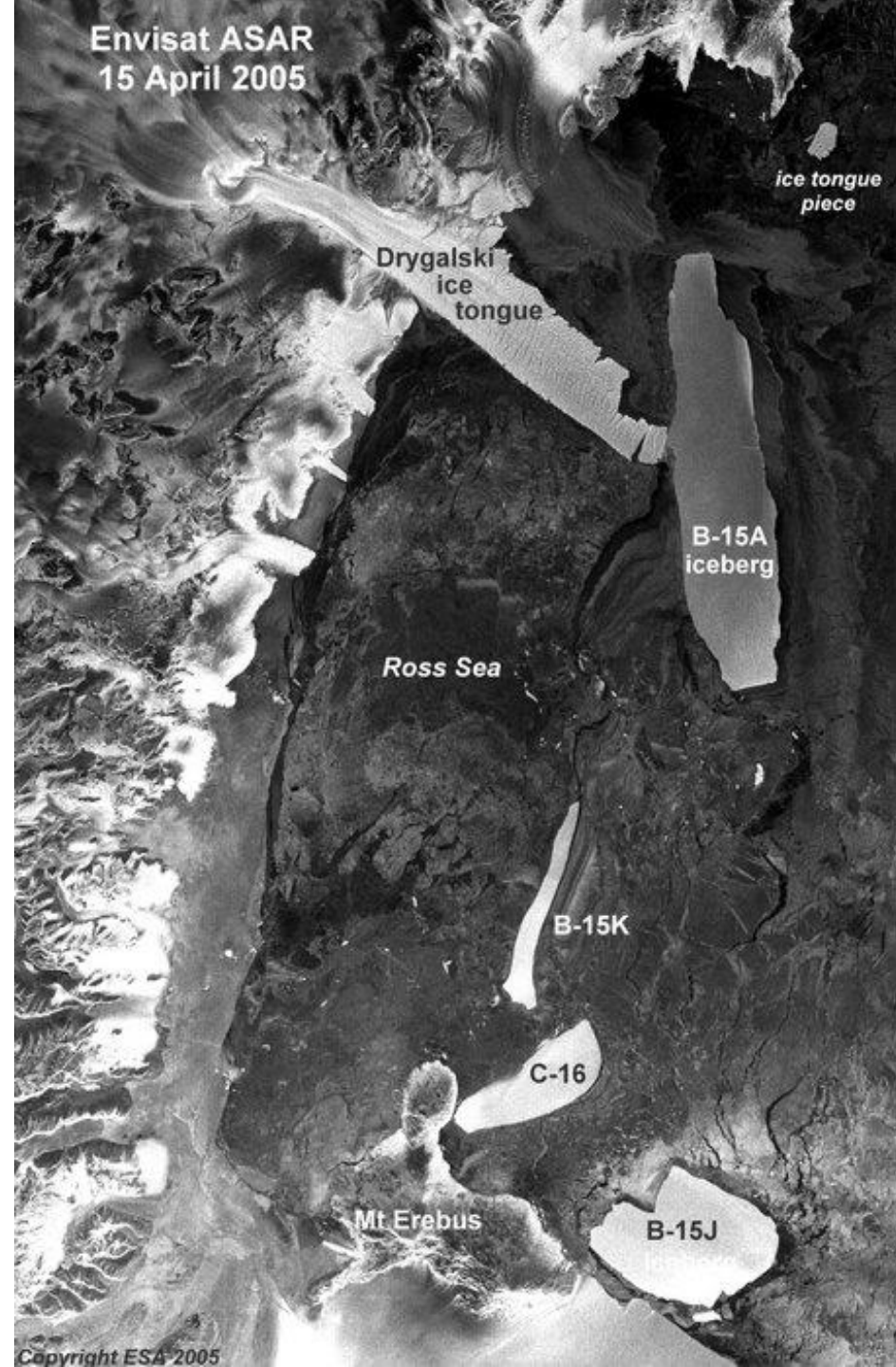
Fu osservata per la  
prima volta nell'inverno  
del 1912 dagli uomini  
del "Northern Party" del  
capitano Scott.



Terra Nova Bay polynya image acquired by the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on NASA's Aqua satellite on October 16, 2007 (from NASA's website).



Envisat ASAR  
15 April 2005



ice tongue  
piece

Drygalski  
ice  
tongue

B-15A  
iceberg

Ross Sea

B-15K

C-16

Mt Erebus

B-15J

## EARTH FROM SPACE: ICEBERG KNOCKS THE BLOCK OFF DRYGALSKI ICE TONGUE

7 April 2006



An enormous iceberg, C-16, rammed into the well-known Drygalski Ice Tongue, a large sheet of glacial ice and snow in the Central Ross Sea in Antarctica, on 30 March 2006, breaking off the tongue's easternmost tip and forming a new iceberg.

... images acquired by Envisat's Advanced Synthetic Aperture Radar ...  
... and the ice tongue before and after the collision. On 26 March, C-16 was

### Related news

Earth from Space: Iceberg knocks the block off Drygalski Ice Tongue

New collision looks imminent for B-15A iceberg

B-15A collides with Antarctic ice tongue

Giant iceberg B-15A edges past floating ice pier

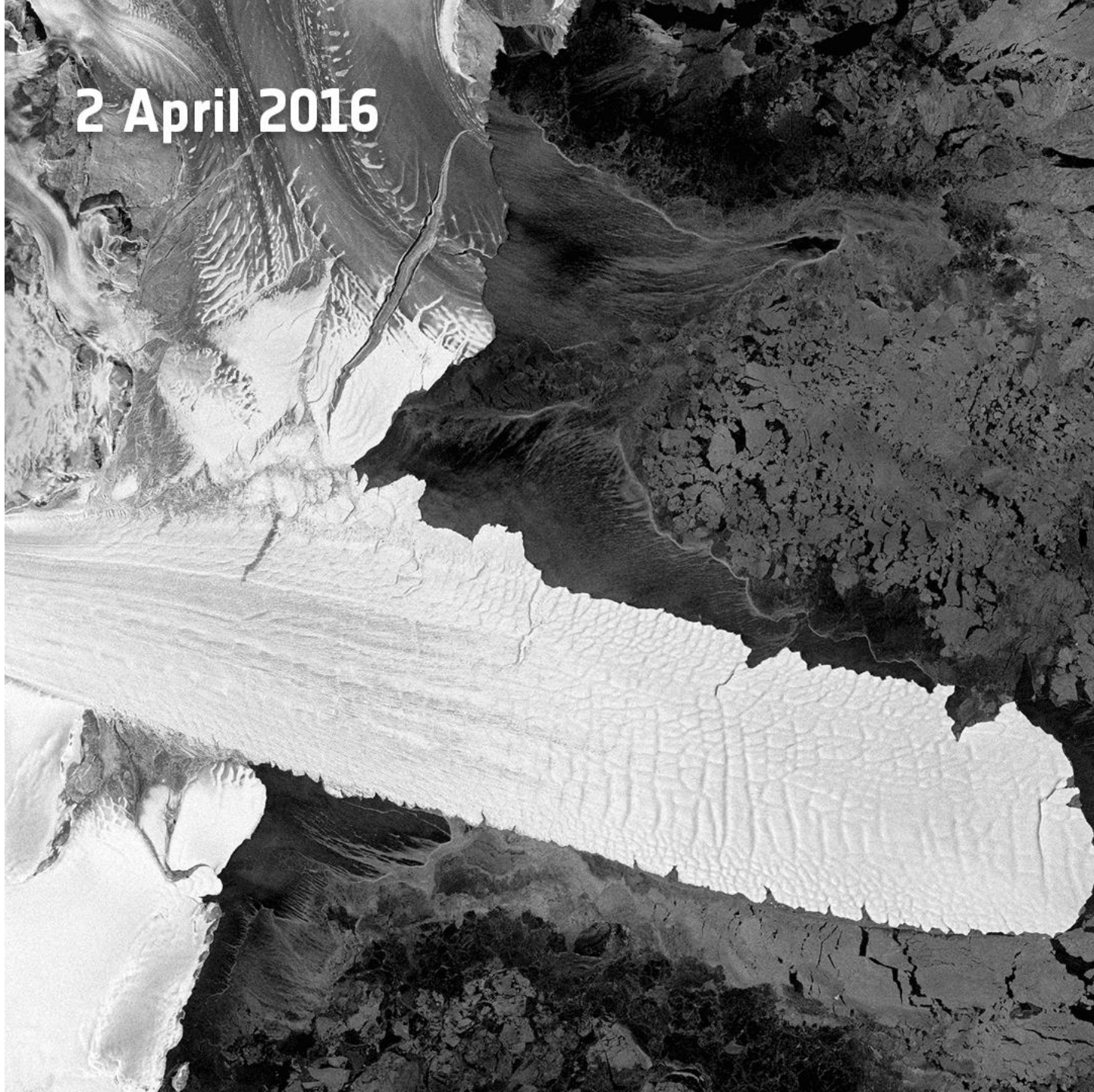


Image of the week archive

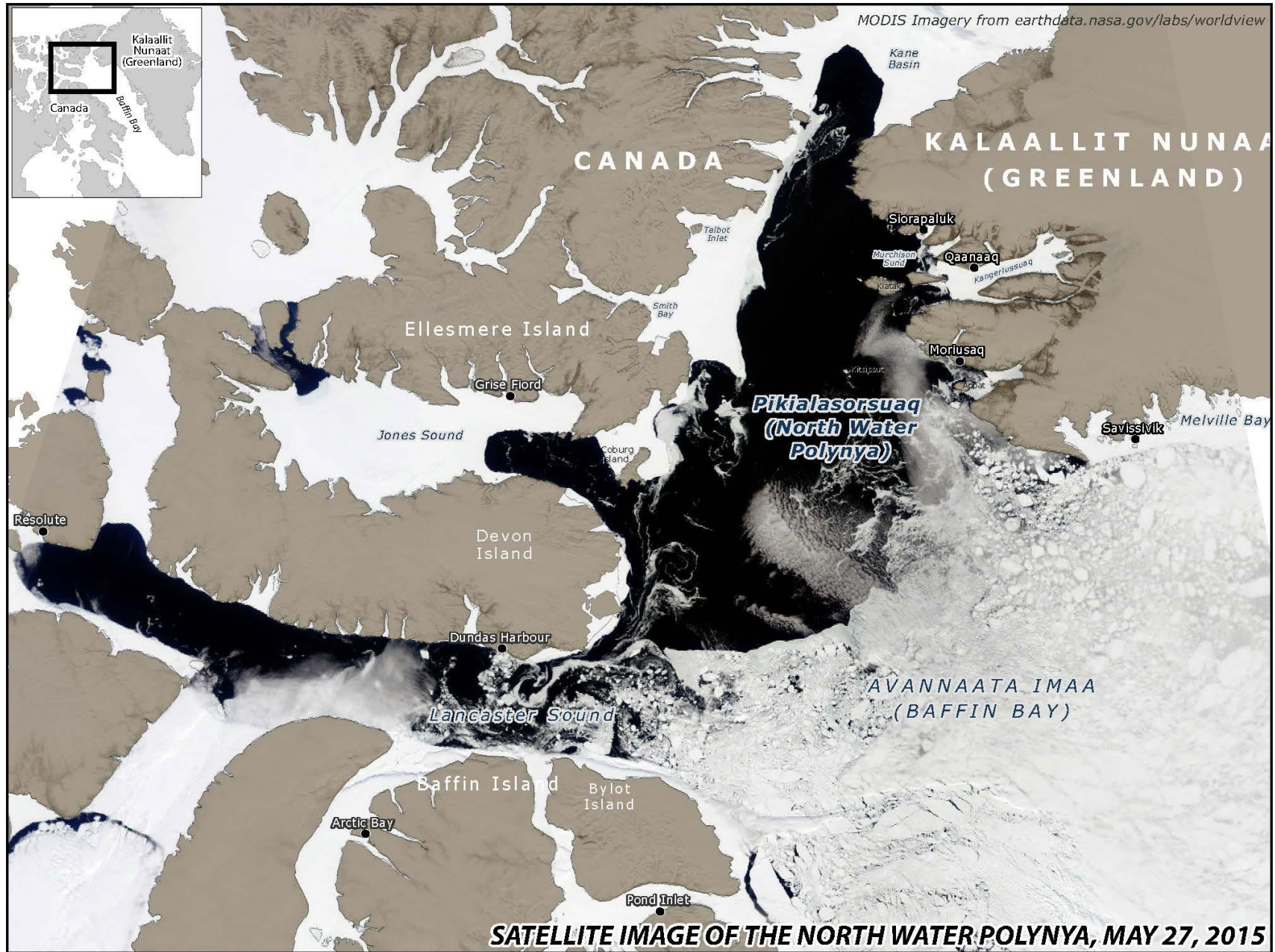


Earth images gallery

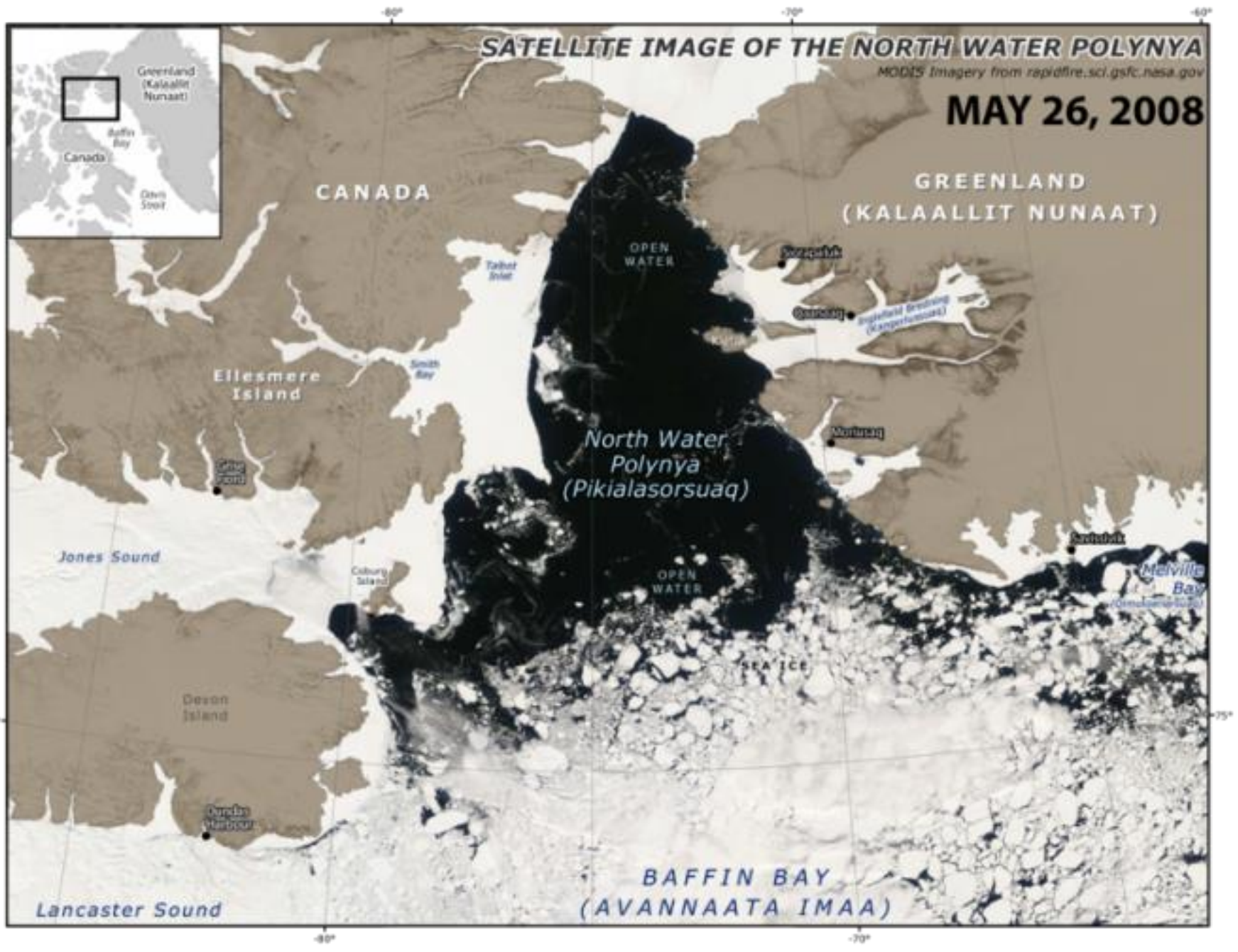
2 April 2016









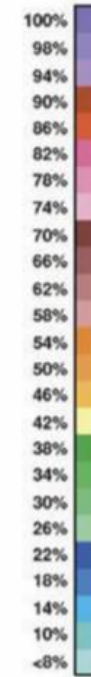
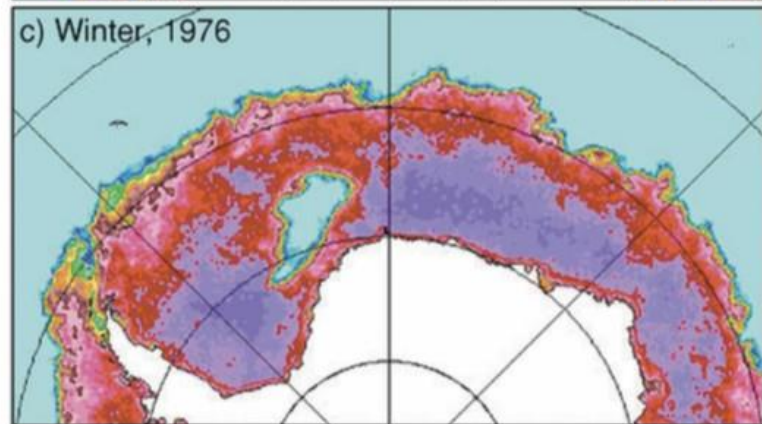
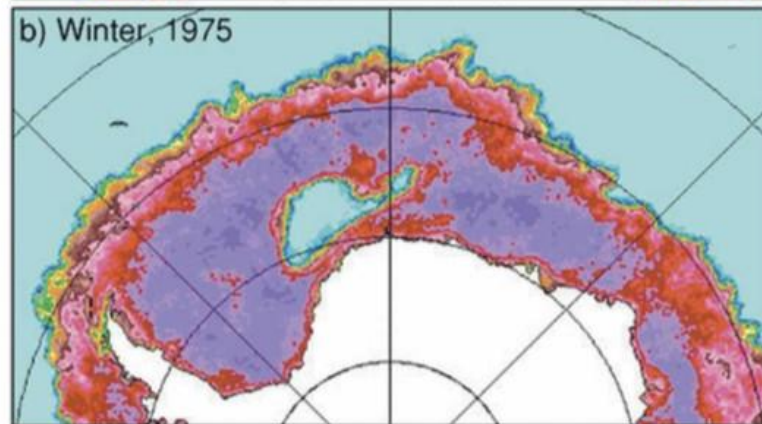
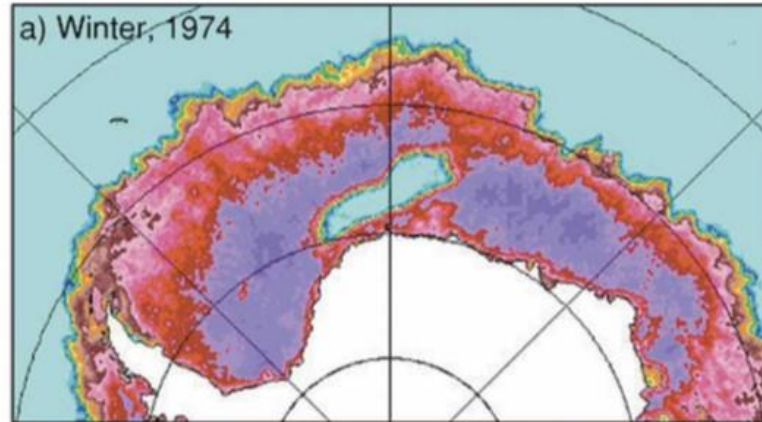







## Polynye convettive

- Sono dovute a flussi convettivi di calore verso la superficie **e non richiedono movimenti del ghiaccio**
- Teoricamente sarebbero indipendenti dalla dinamica del ghiaccio e dagli stress interni
- In realtà il ghiaccio è sempre in movimento e quindi c'è avvezione di ghiaccio nell'area di mare aperto
- **L'area di polynya quindi dipenderà dal bilancio tra il tasso di avvezione laterale di ghiaccio ed il tasso di fusione del ghiaccio.**





## Convezione libera e forzata

- Il bilancio verticale dovuto alla stabilità della colonna d'acqua ha influenza ovviamente sull'apporto in superficie del calore necessario per la formazione della polynya
- **La convezione può essere libera** se la convezione è regolata dalla densità
- **La convezione può essere forzata** se intervengono forze (ad es. mescolamento turbolento) che muovono verticalmente masse d'acqua forzando anche il naturale equilibrio verticale



## Convezione libera

- In ambiente polare si verifica quando due condizioni principali accadono :
  - C'è una riduzione locale di stabilità verticale (pre-conditioning)
  - produzione locale di brina
- Precondizione : gyre ciclonico oppure su piattaforma continentali quando venti autunnali trasportano off-shore acque più dolci, dovute alla fusione dei ghiacci e/o river runoff e lasciano acque più salate in piattaforma

NORTHERN HEMISPHERE

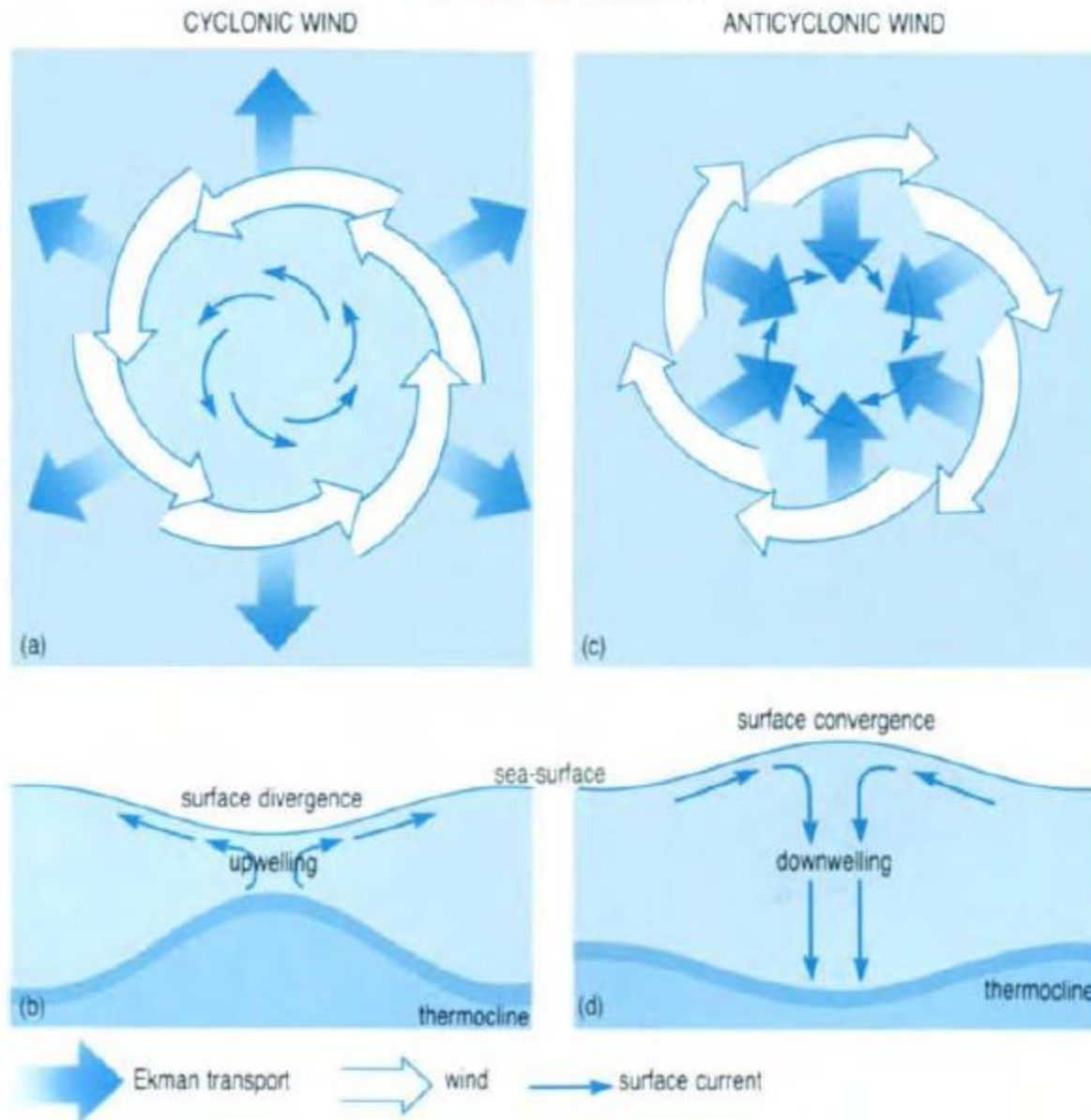


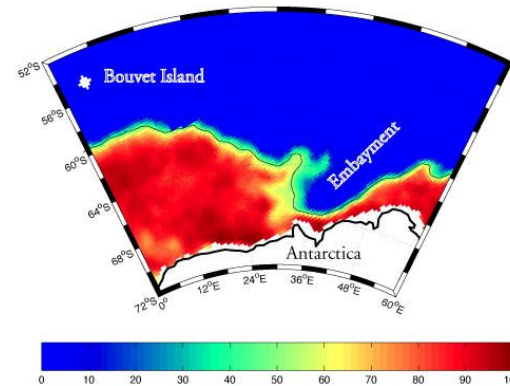
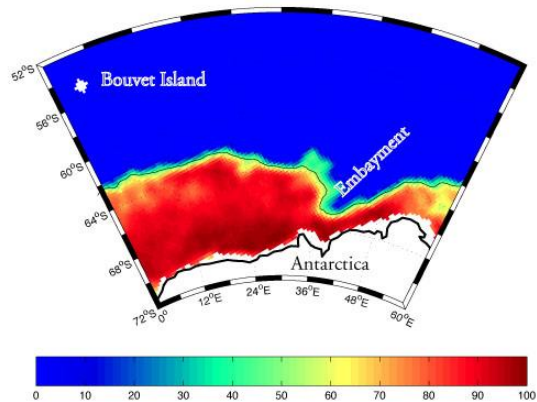
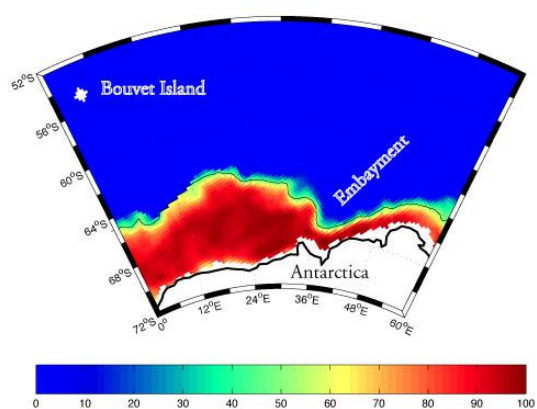
Figure 3.24 The effect of a cyclonic wind in the Northern Hemisphere (a) on surface waters. (b) on the shape of the sea-surface and thermocline. Diagrams (c) and (d) show the effects of an anticyclonic wind in the Northern Hemisphere. (Remember that in the Southern Hemisphere, cyclonic = clockwise and anticyclonic = anticlockwise.)



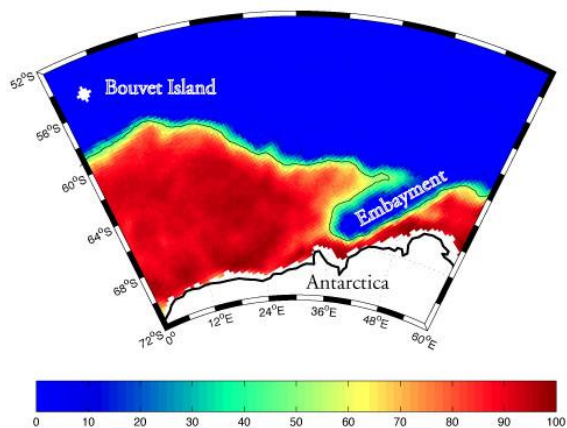
# Convezione Forzata

- Si ha principalmente in presenza di forte mescolamento turbolento come nel caso di mescolamento mareale, upwelling
  - Mescolamento mareale è il più studiato.
- Upwelling : trasferimento di calore verso la superficie sia in prossimità della costa che al centro di gyre (Cosmonaut Polynya)

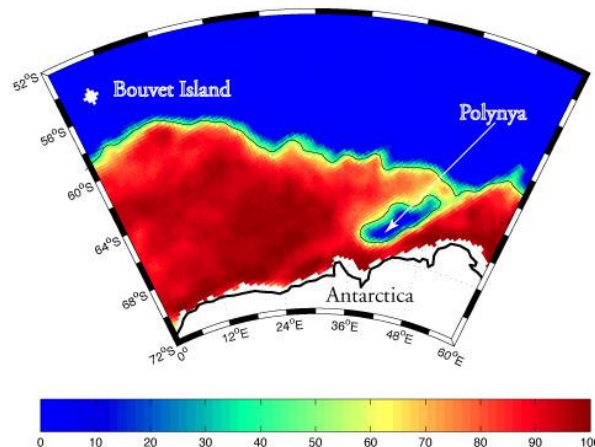
## Average Ice Conditions for the period May 26 to 30 1999.



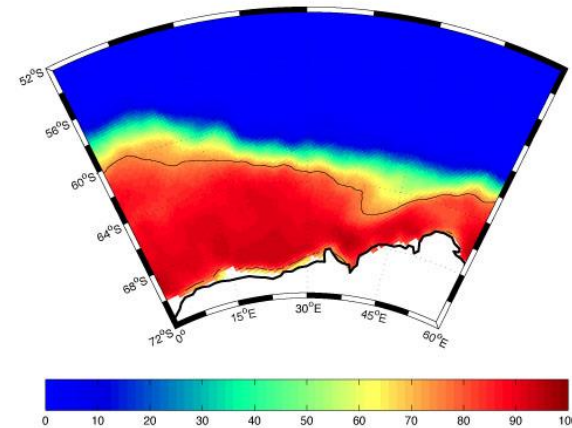
## Average Ice Conditions for the period July 5 to 9 1999.

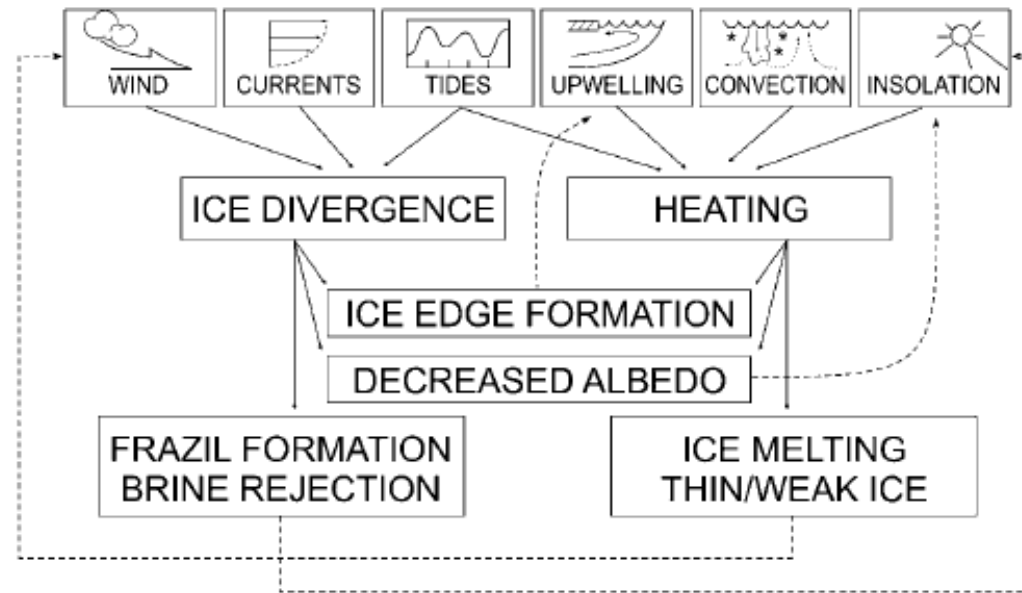


## Average Ice Conditions for the period July 10 to 14 1999.



## Climatological Ice Conditions for the period July 15 to 19 (based on data from 1979-1998)





- DdG dovuta al vento induce (tramite rilascio di brina) upw/dow su ampie zone dello shelf o localmente (differenza di stress tra l'edge del ghiaccio e la zona di mare più aperto).
- Processi convettivi indeboliscono il ghiaccio e l'effetto del vento può risultare in DdG.

**Processi di Feedback** : a causa dei differenti Fb, è improbabile che un solo un meccanismo contribuisca alla formazione di una polynya