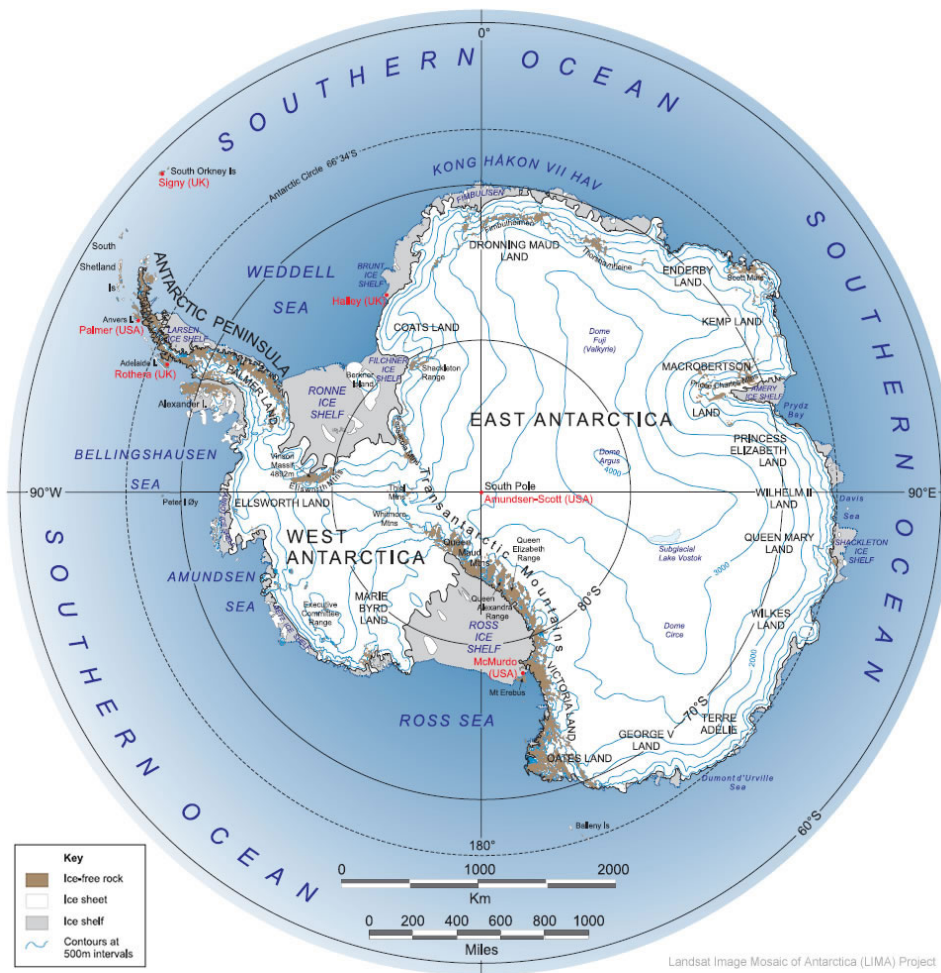


L'Oceano Meridionale (OM)

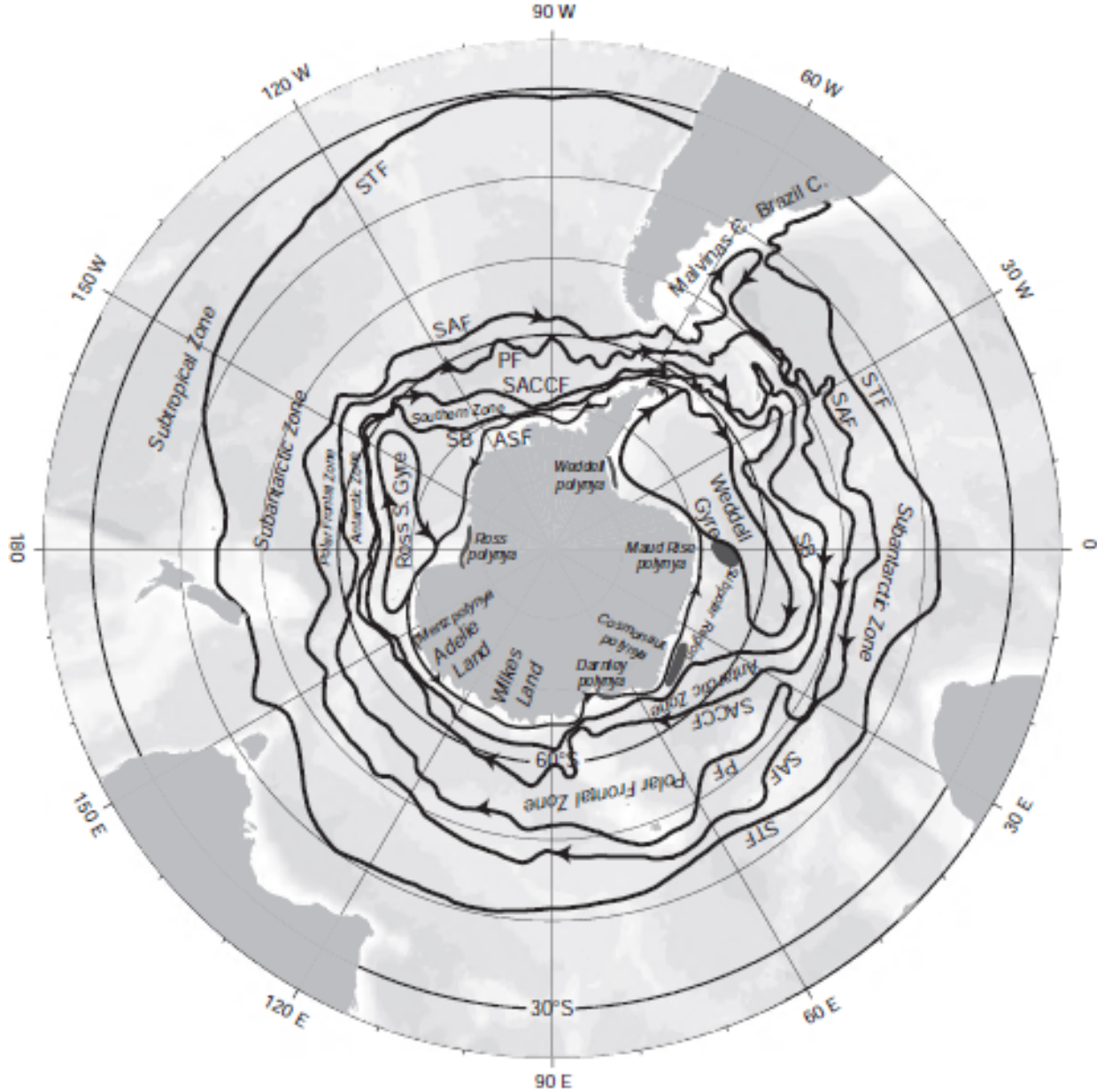




Il commodoro John Leech dell'International Hydrographic Organization dice:

“... great deal of oceanographic research in recent years has been concerned with ocean circulations, first because of [El Nino](#), and then because of a wider interest in global warming...(this research has) identified that one of the main drivers of ocean systems is the 'Southern Circulation,' which sets the Southern Ocean apart as a separate eco-system. As a result the term Southern Ocean has been used to define that huge body of water which lies south of the northern limit. Thinking of this body of water as various parts of the Atlantic, Indian and Pacific Oceans makes no scientific sense. New [national](#) boundaries arise for geographical, cultural or ethnic reasons. Why not a new ocean, if there is sufficient cause?”

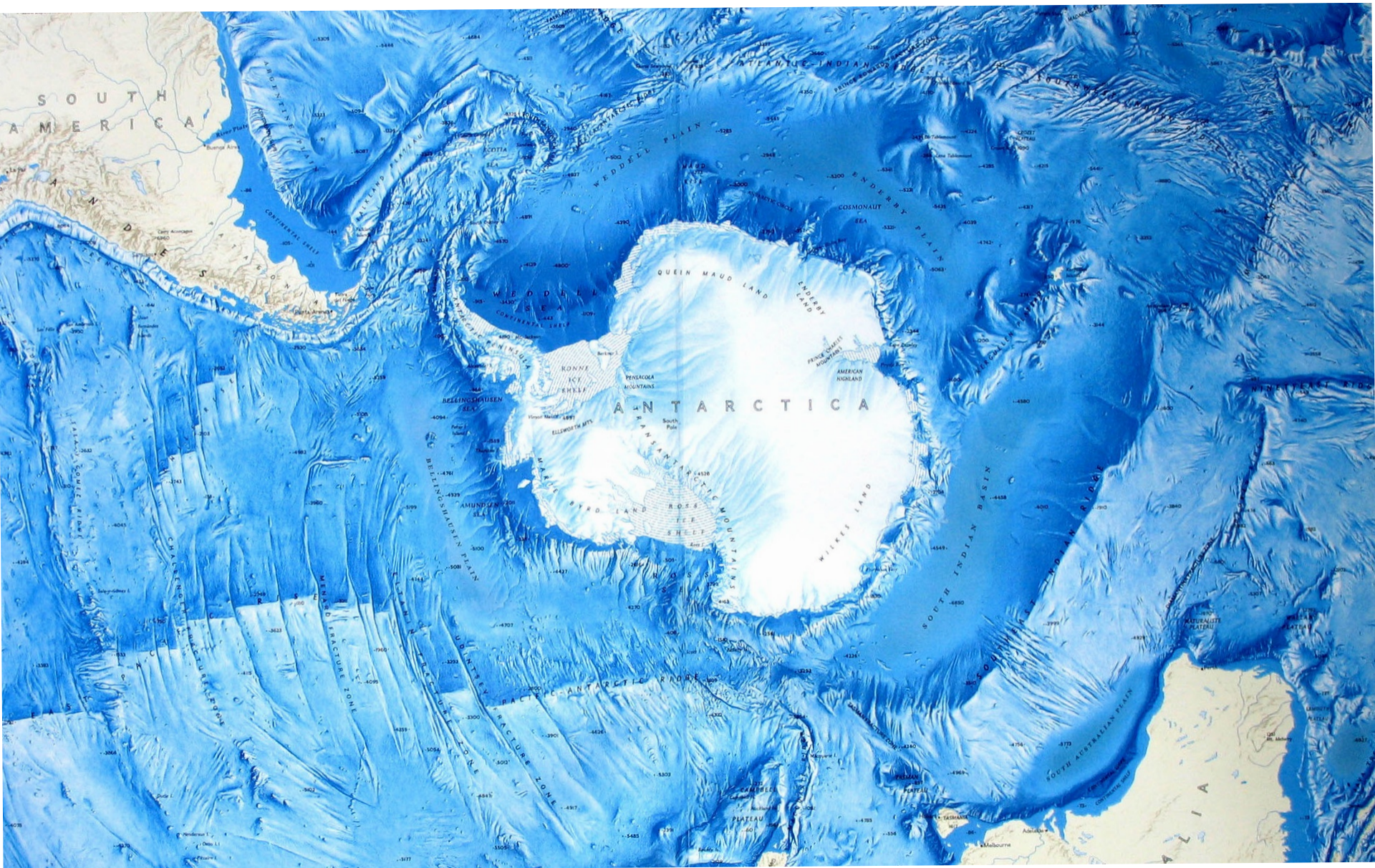
-Limite settentrionale geografico : 60° S



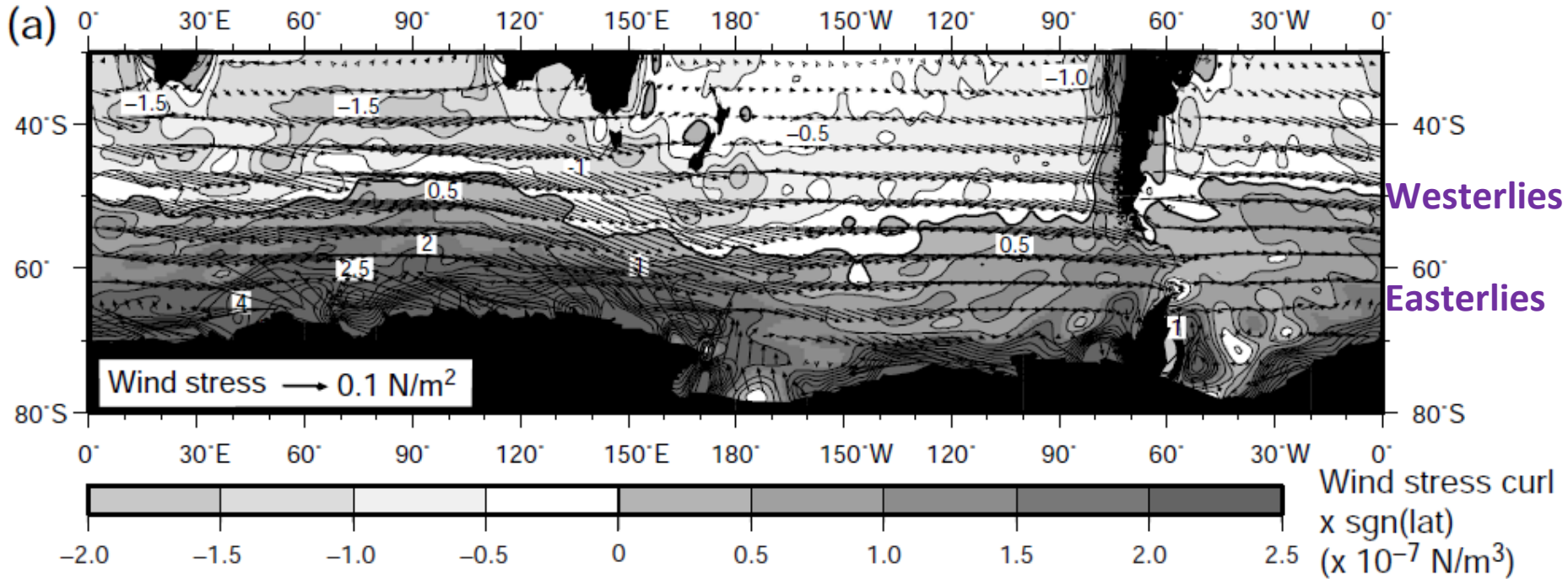
- Limite “oceanografico” : c.a. 38° S ovvero il punto di minor latitudine raggiunto dalla ACC
- Per essere sicuri : 30°S (a nord del STF in tutti i bacini)

FIGURE 13.1 The Southern Ocean geography, principal fronts, and oceanographic zones (see Table 13.1). The Subtropical Front (STF) is the oceanographic northern boundary for the region. The eastward Antarctic Circumpolar Current (ACC) includes these fronts: Subantarctic Front (SAF), Polar Front (PF), Southern ACC Front (SACCF), Southern Boundary (SB). Front locations from Orsi et al. (1995). The westward Antarctic Slope Front (ASF) (thin) follows the continental slope. Circulation of the ocean basins north of the SAF is not represented; see the maps in Chapters 9, 10 and 11. Major polynyas (dark gray patches) are labeled; all polynyas are shown in Figure 13.20.

Batimetria dell'OM



Il Forzante Vento

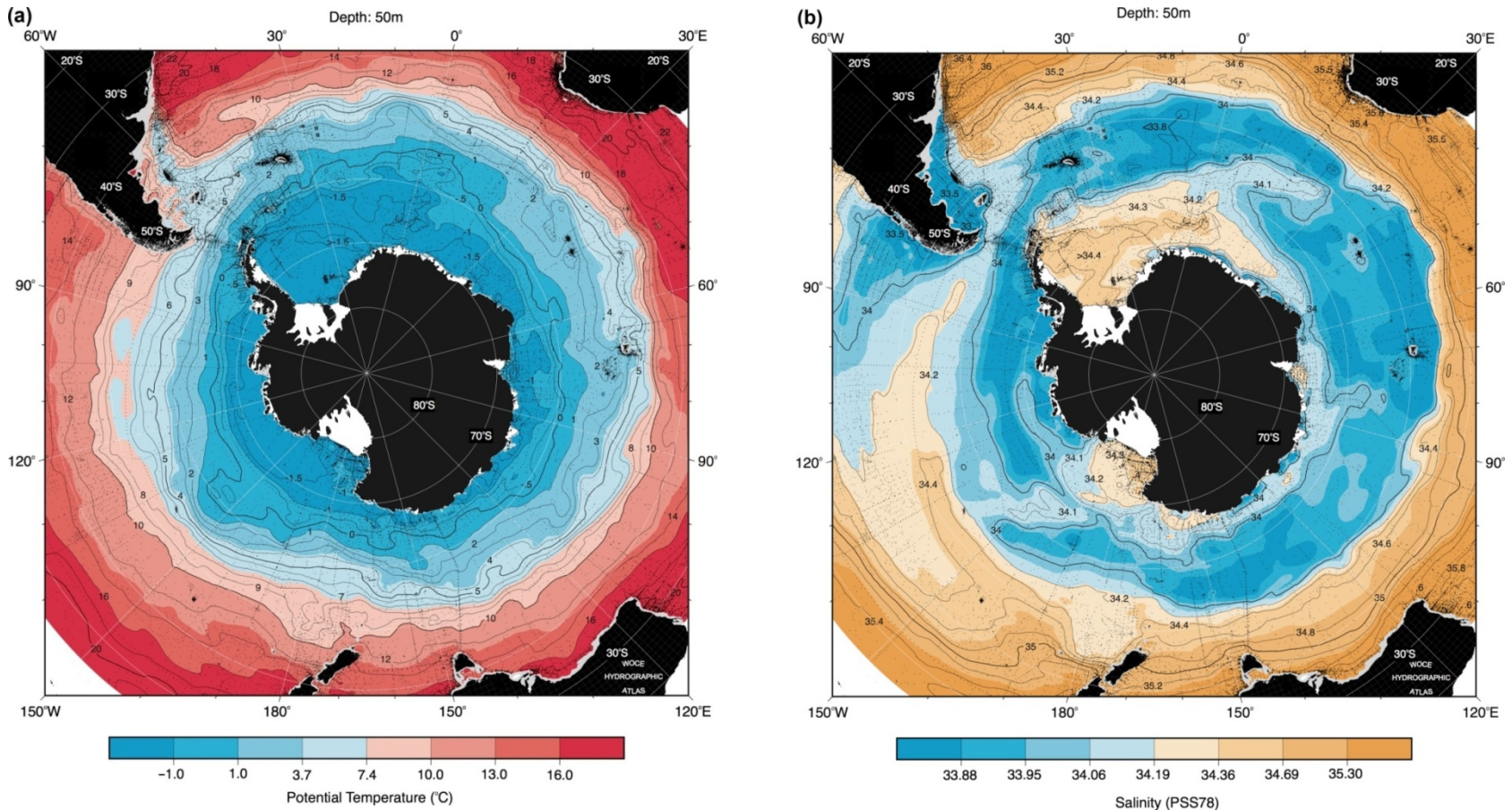


- I *westerlies* non sono spazialmente uniformi :

- Sono max nelloceano Indiano a c.a. 50°S
- Hanno una significativa componente verso S specialmente nell'Indiano orientale e a sud dell'Australia

- Gli *easterlies* possono essere molto intensi a causa del contributo che viene dal continente (venti catabatici)

Distribuzione di temperatura e salinità superficiali



Properties at 50 m depth. (a) Potential temperature (°C), (b) salinity. This figure can also be seen in the color insert. *Source: From WOCE Southern Ocean Atlas, Orsi and Whitworth (2005).*

Fronti dell'OM

- I fronti sono determinati da forti cambi dei principali parametri fisici (temperatura in primis) osservabili nello strato superficiale o appena sotto tale strato.
- Rappresentando le isoterme (o isopicne) si nota una pendenza che cresce all'approssimarsi della zona frontale
- I fronti principali SAF, PF e SACCF sono interni alla Antarctic Circumpolar Current (ACC) e a loro è associato la quasi totalità del trasporto della corrente
- Per identificare un fronte è necessario usare dei *proxy* che sono in genere legati a particolari valori o andamenti di uno o più parametri fisici

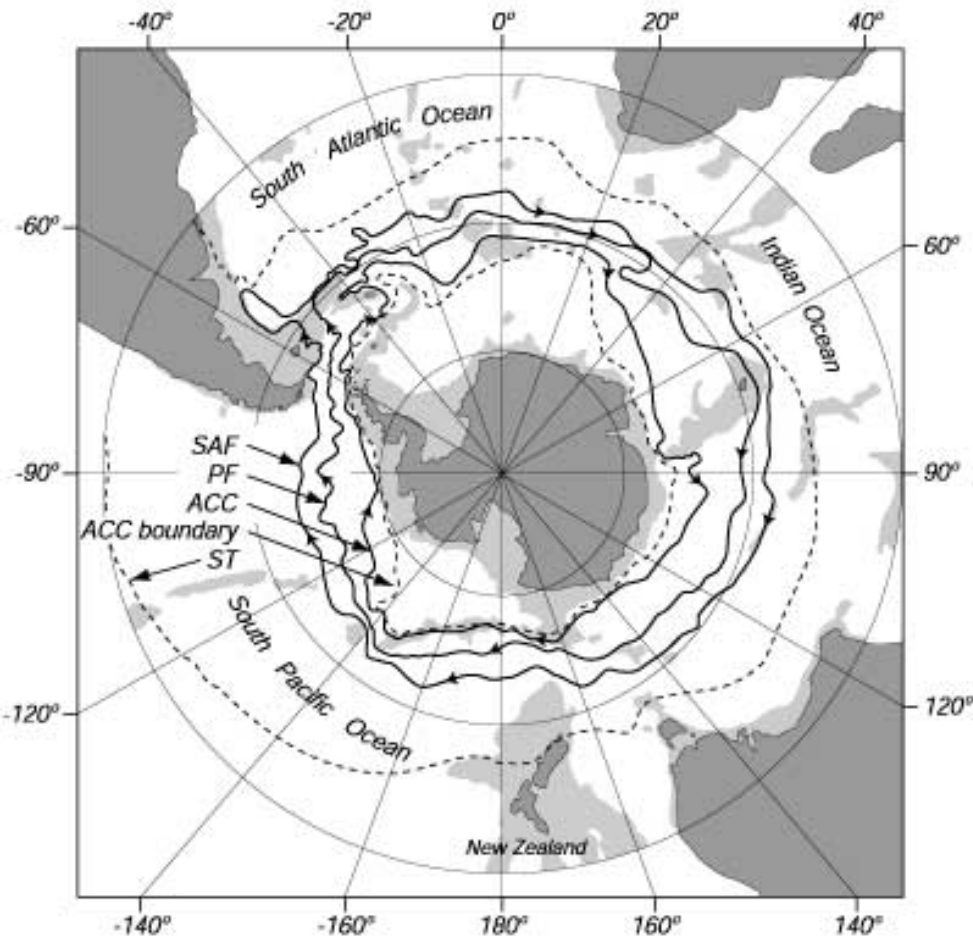


TABLE 13.1 Fronts and Zones of the Antarctic Circumpolar Current and Southern Ocean

Feature	Acronym	Short Description
Subantarctic Front	SAF	Northernmost ACC front
Polar Front	PF	Central ACC front
Southern ACC Front	SACCF	Southernmost dynamical ACC front
Southern Boundary	SB	Mostly along the continental shelf, but also including the Weddell Sea front
Antarctic Slope Front	ASF	Continental slope front, south of the ACC
Antarctic Coastal Current	ACoC	Westward coastal flow
Subantarctic Zone	SAZ	North of the SAF
Polar Frontal Zone	PFZ	Between the SAF and PF
Antarctic Zone	AZ	Between the PF and SACCF
Southern Zone	SZ	Between the SACCF and SB
Subpolar Region	SPZ	Between the ASF and SB
Continental Zone	CZ	South of the Antarctic Slope Front

Following Orsi et al., (1995) and Whitworth et al., (1998).

SOKOLOV AND RINTOUL

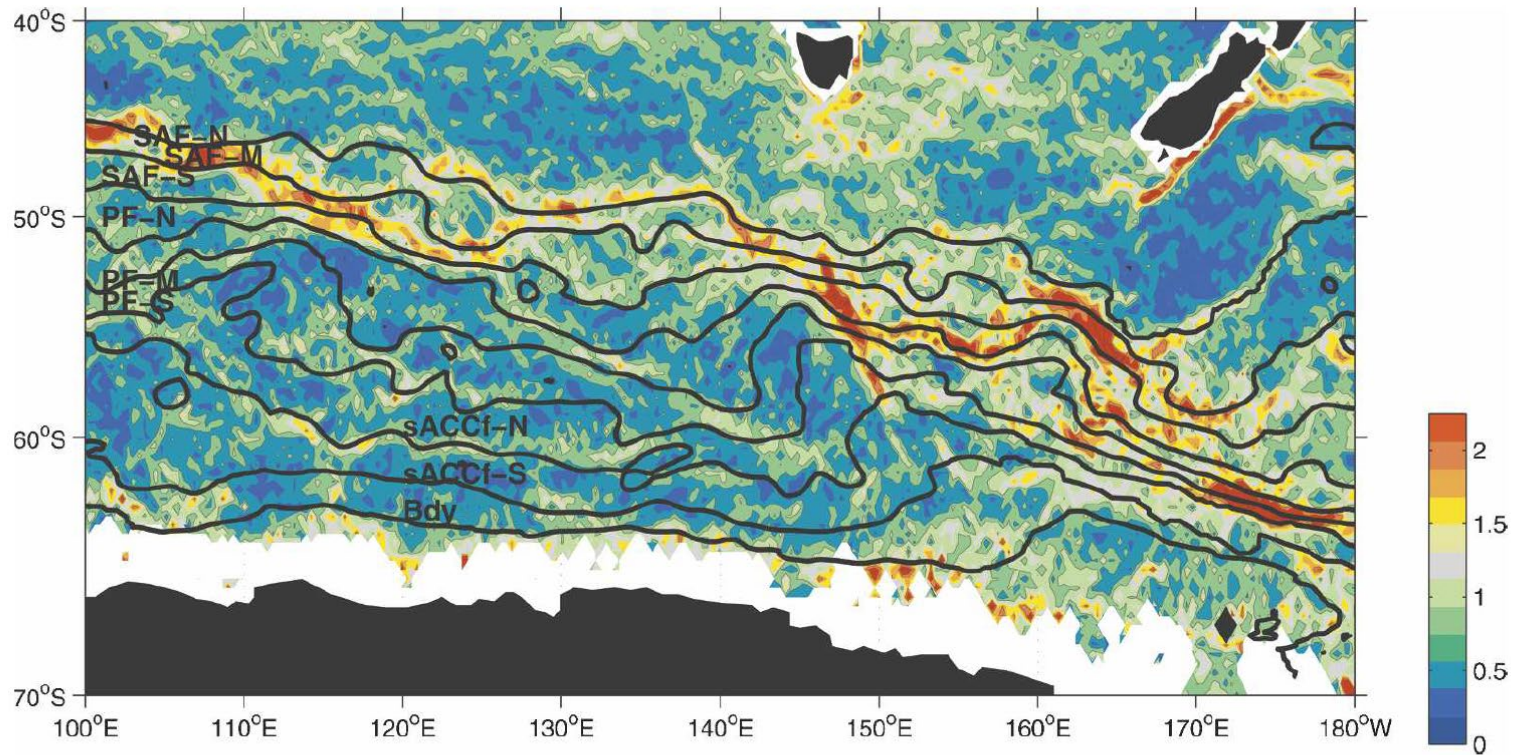


FIG. 8. Annual average front positions for 1993 overlaid on the annual mean sea surface temperature gradient [$^{\circ}\text{C} (100 \text{ km})^{-1}$]. SST data are from the National Oceanic and Atmospheric Administration–National Aeronautics and Space Administration (NOAA–NASA) Pathfinder reanalysis of Advanced Very High Resolution Radiometer data.

FRONTS	CRITERIA
Northern Subantarctic Front SAF – N	$6.32 \pm 0.71 \theta$ at $p = 400$ dbar
Subantarctic Front Middle branch SAF – M	$4.06 \pm 0.34 \theta$ at $p = 400$ dbar
Southern Subantarctic Front SAF – S	$2.65 \pm 0.21 \theta$ at $p = 400$ dbar
Northern Polar Front PF – N	$1.99 \pm 0.23 \theta$ at $p = 200$ dbar
Polar Front Middle branch PF – M	$2.15 \pm 0.03 \theta$ in θ_{\max} $1.22 \pm 0.30 \theta$ in θ_{\min}
Southern Polar Front PF – S	$2.01 \pm 0.06 \theta$ in θ_{\max} $0.48 \pm 0.37 \theta$ in θ_{\min}
Northern Southern ACC front sACCf – N	$1.87 \pm 0.12 \theta$ in θ_{\max} $-0.29 \pm 0.33 \theta$ in θ_{\min}
Northern Southern ACC front sACCf – S	$1.59 \pm 0.19 \theta$ in θ_{\max} $-0.71 \pm 0.34 \theta$ in θ_{\min}
SBdy	$-1.11 \pm 0.09 \theta$ in θ_{\min}

Table 1: Antarctic Circumpolar Current front names, acronyms and temperature-based criteria used for their location in the Atlantic sector of the SO (from Sokolov and Rintoul, 2009a).

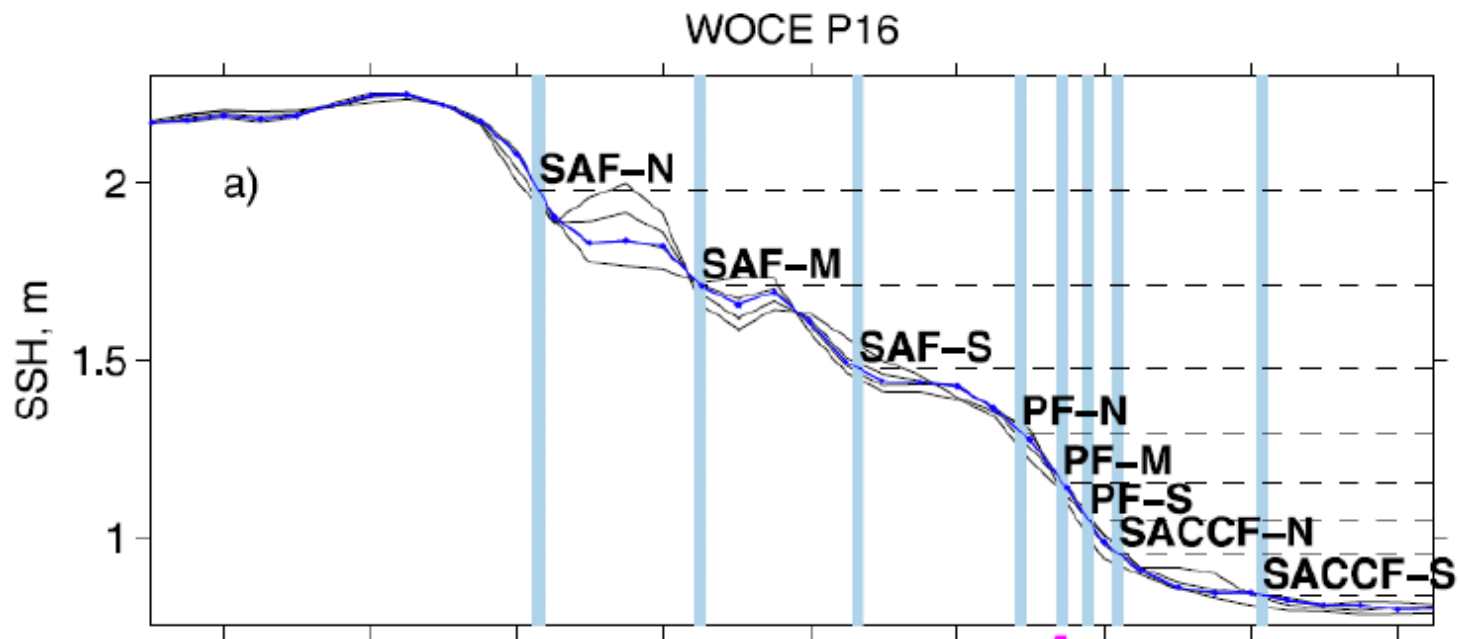


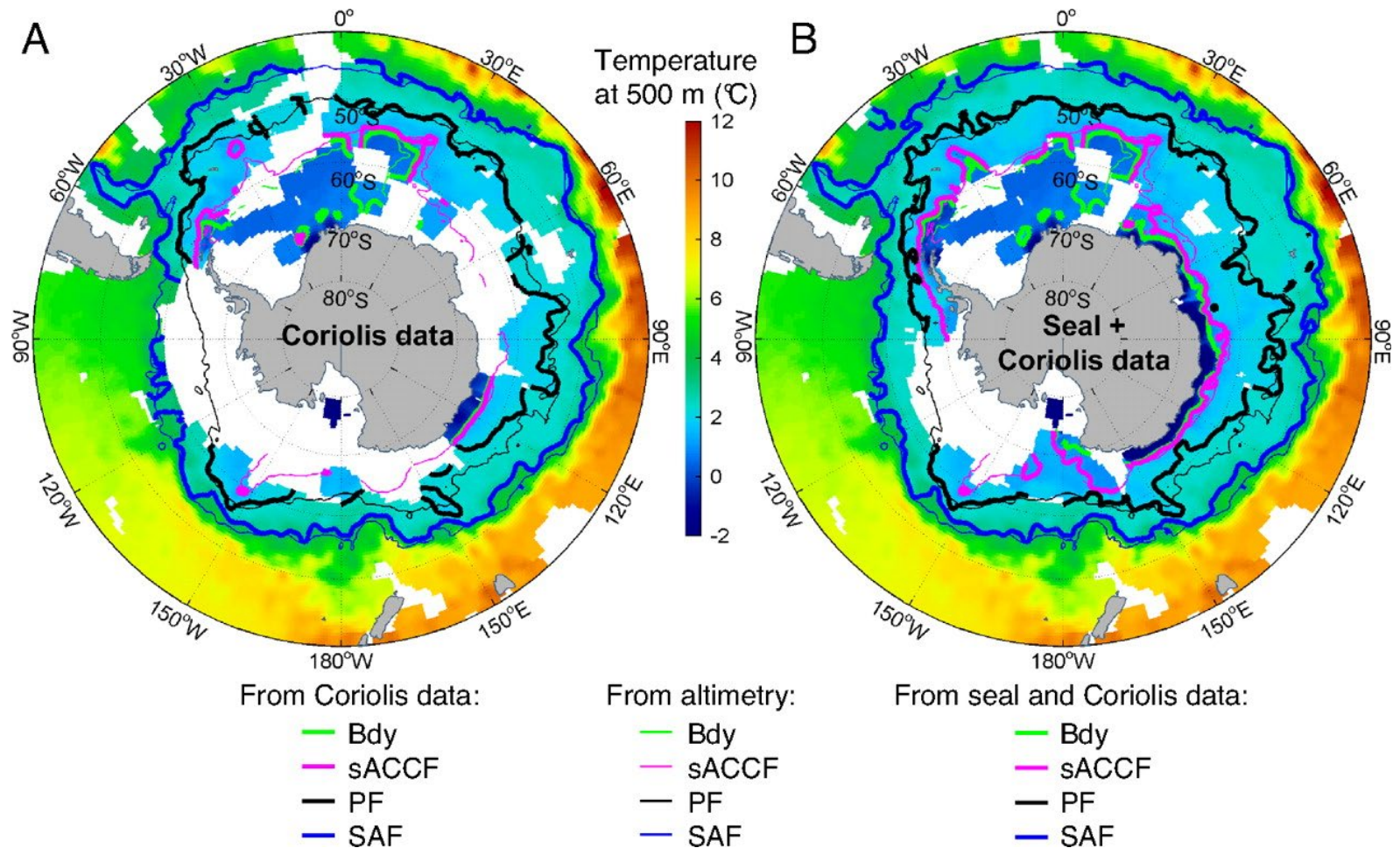
Figure from Sokolov and Rintoul (2009)

Sub Antarctic Front (SAF)

- E' l'estremità settentrionale della ACC
- E' caratterizzato da una forte pendenza delle isopiche a tutte le profondità a cui si associa un forte flusso verso est
- Il modo più comune per identificarlo consiste nella successione dell'isoterma dei 4 e 5° C a 200m o da un gradiente orizzontale massimo tra l'isoterma dei 3 e 5 °C
- La sua posizione varia : attraversa Drake a c.a. 55°S; raggiunge la lat min a c.a. 58° nel Pacifico S; la lat max è invece a c.a. 39-40°S nell'Atlantico meridionale

Sub Antarctic Front (SAF)

Temperature field at 500 m during 2004–2005 from the Coriolis database and from the merged Coriolis and elephant seal databases.

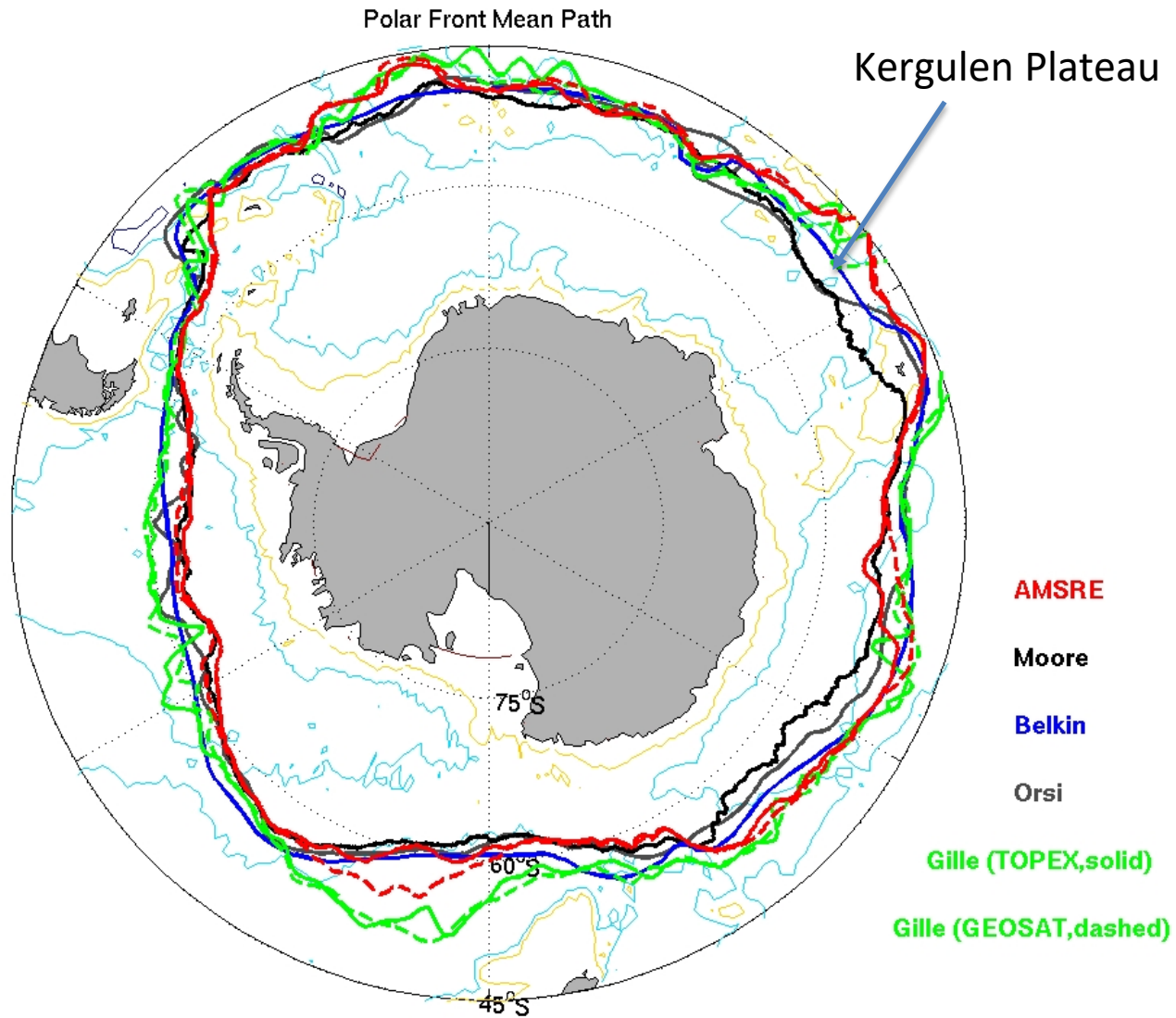


J.-B. Charrassin et al. PNAS 2008;105:11634-11639

Polar Front (PF)

- E' tutto interno alla ACC
- Si identifica in generale con il minimo di temperatura "superficiale" più settentrionale.
- Il minimo in alcuni casi può coincidere con l'isoterma dei 2° C
- Può essere anche contrassegnato dalla zona in cui il minimo di temperatura più superficiale comincia a diventare sempre più profondo
- Si trova a c.a. 50°S (in media) nell'Indiano e Atlantico mentre nel Pacifici si assesta intorno al parallelo dei 60°S; a Drake raggiunge il min a 63°S

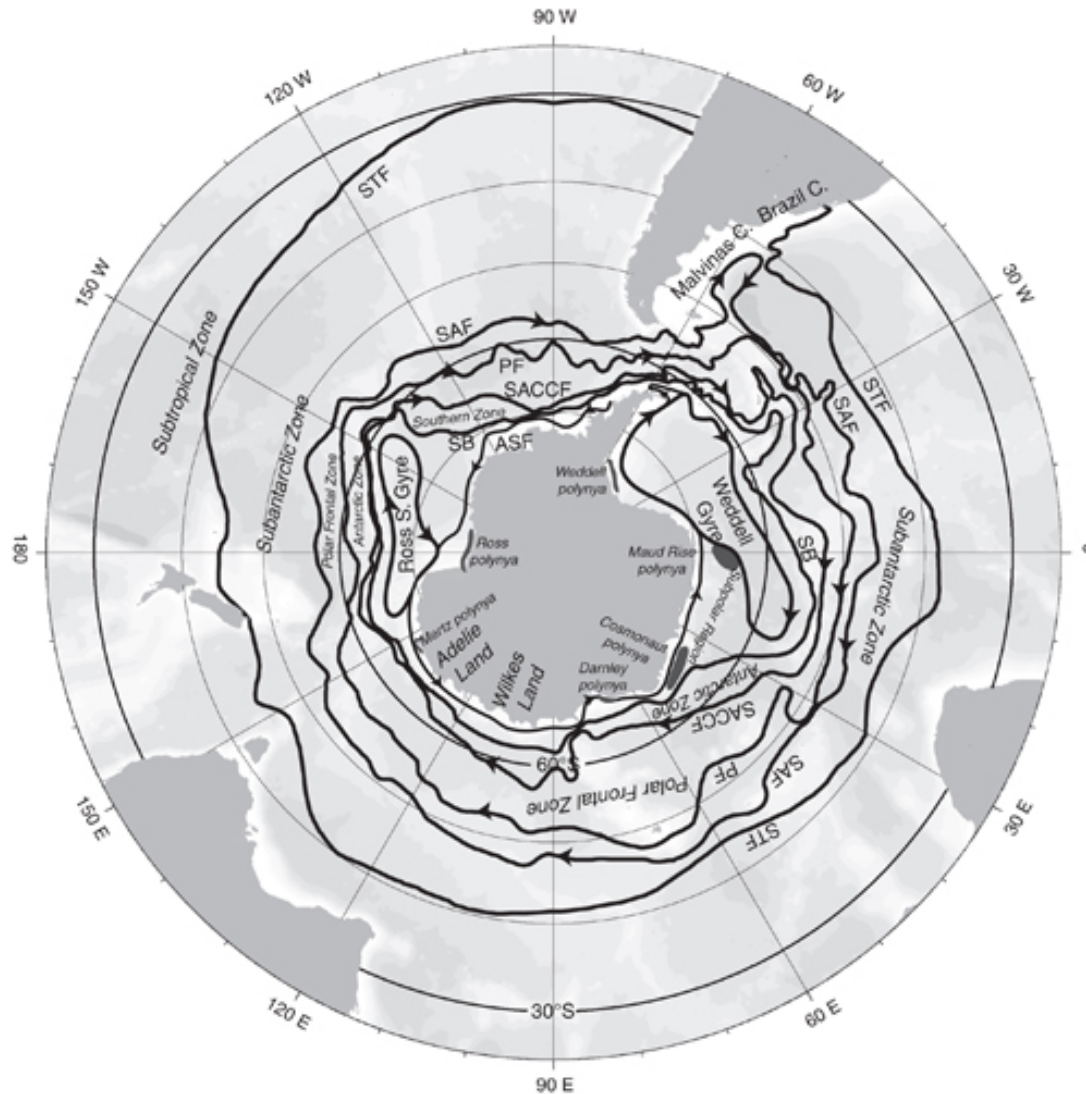
Polar Front (PF)



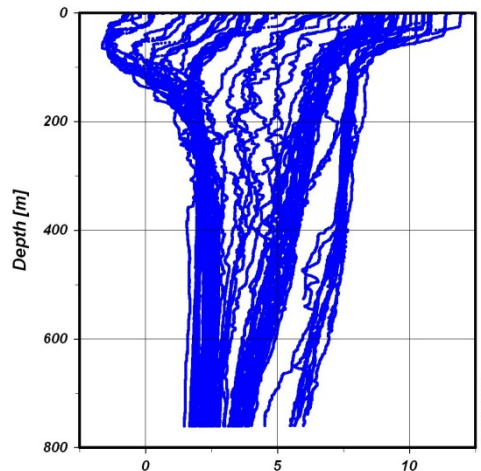
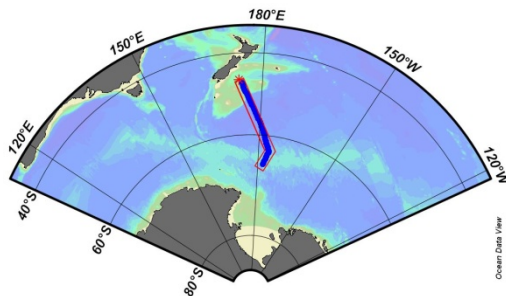
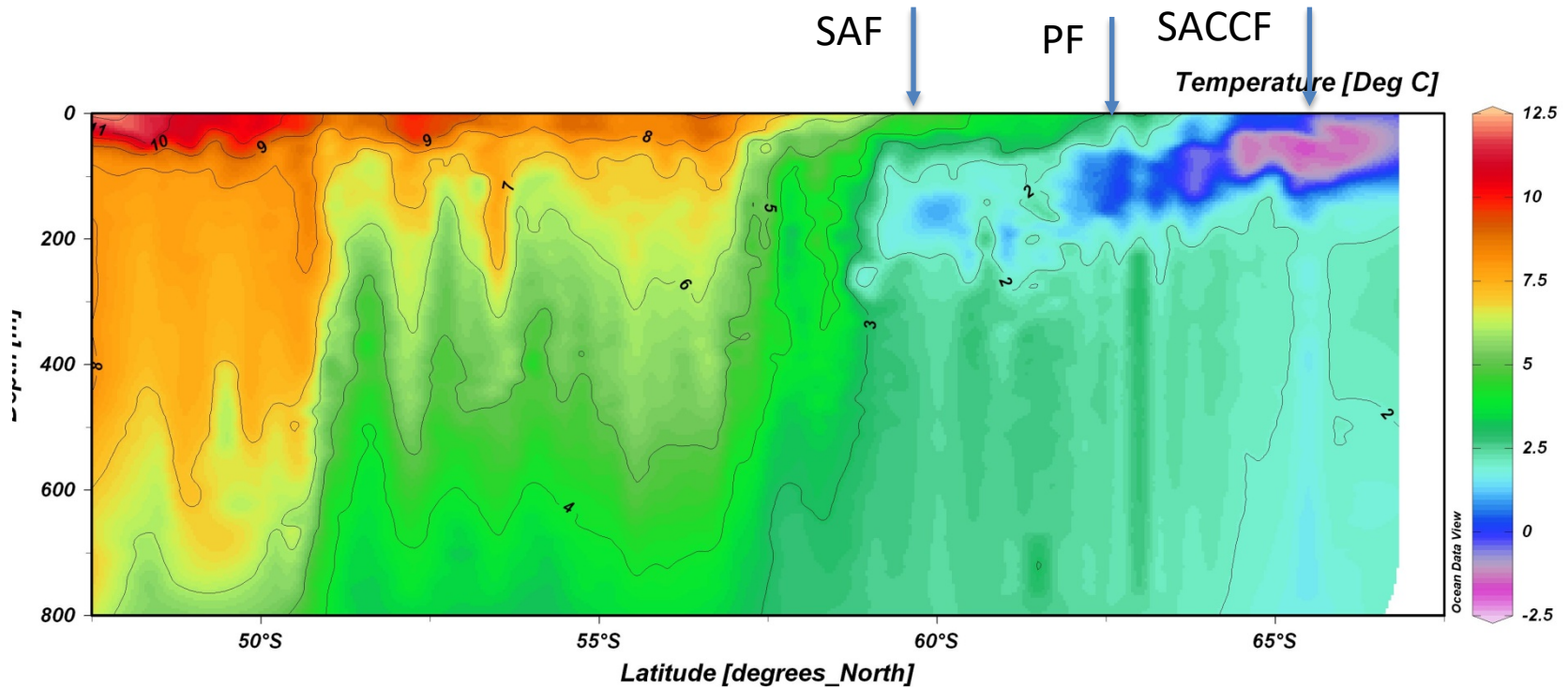
The Southern ACC front (SACCF) e il Southern Boundary (SB)

- Il SACCF rappresenta il fronte maggiore con le correnti più intense in prossimità della limite meridionale della ACC
- Coincide o con la zona dove il minimo di temperatura potenziale è c.a 0° a prof < 150 m, oppure dove la temperatura potenziale è $> 1.8^{\circ}\text{C}$ a prof > 500m
- A differenza del SB, il SACCF è una struttura dinamicamente molto attiva
- Il SB marca il limite più meridionale della ACC che coincide con la scomparsa del min di O_2 che contraddistingue una massa d'acqua tipica della ACC ovvero la Upper Circumpolar Deep Water (UCDW)
- SB ha estensione circumpolare e si posiziona sulla piattaforma continentale solo nel settore occidentale della penisola Antartica.

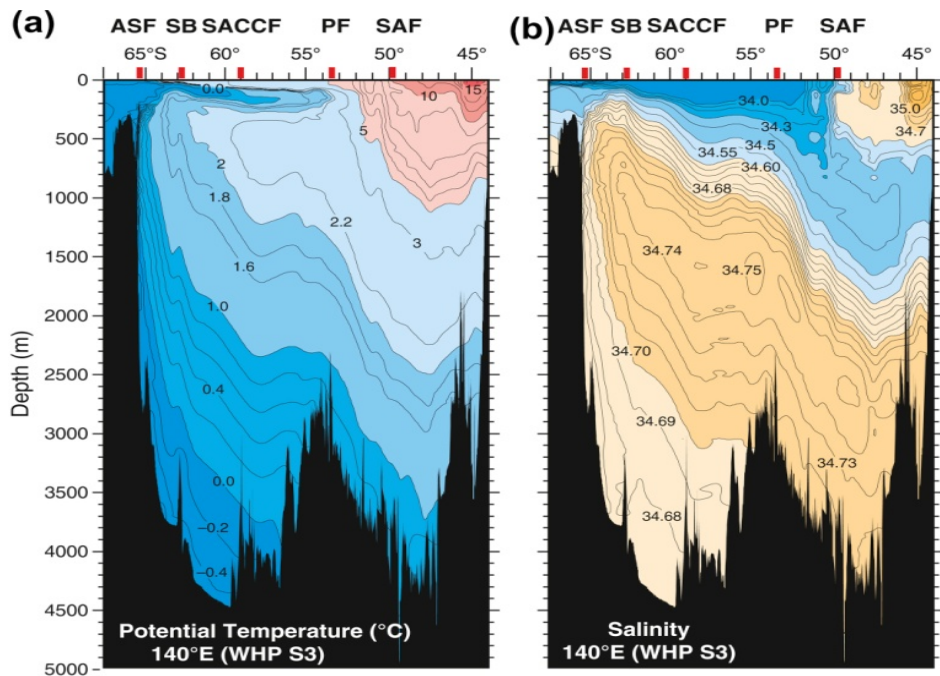
The Southern ACC front (SACCF) e il Southern Boundary (SB)



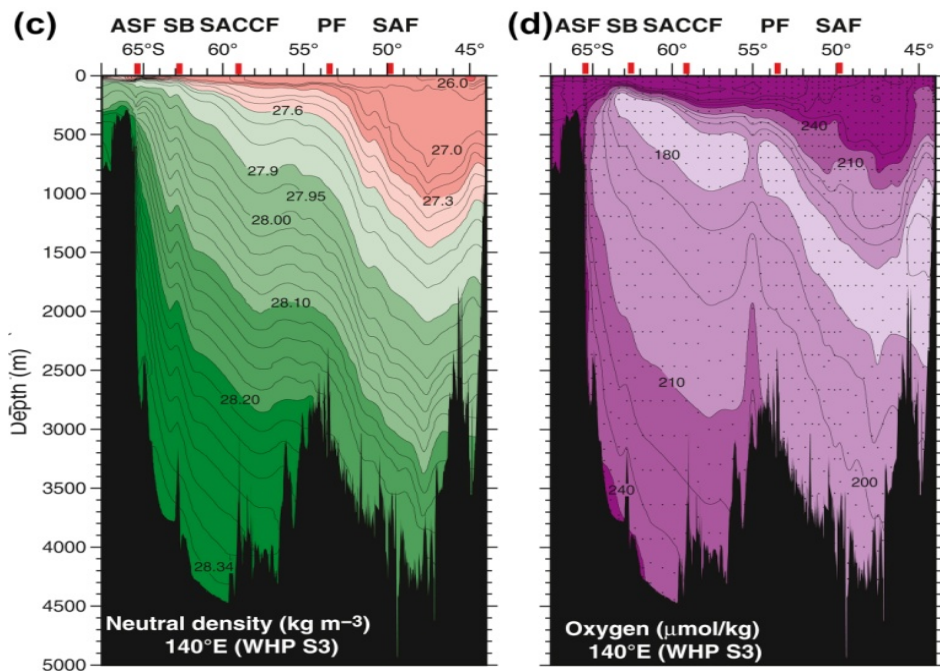
Fronti della ACC ottenuti dai lanci XBT



**Dal rapporto della XXIX
spedizione Italiana in
Antartide
(Budillon et al., 2014)**



(a) Potential temperature ($^{\circ}\text{C}$), (b) salinity, (c) neutral density (kg m^{-3}), and (d) oxygen ($\mu\text{mol/kg}$) along 140°E from Antarctica to Tasmania (*WOCE Hydrographic Programme Atlas section S3, from Talley, 2007*). Fronts: Subantarctic Front (SAF), Polar Front (PF), Southern ACC Front (SACCF), Southern Boundary (SB), and Antarctic Slope Front (ASF). Location of section is shown by station dots in Figure 13.5b.

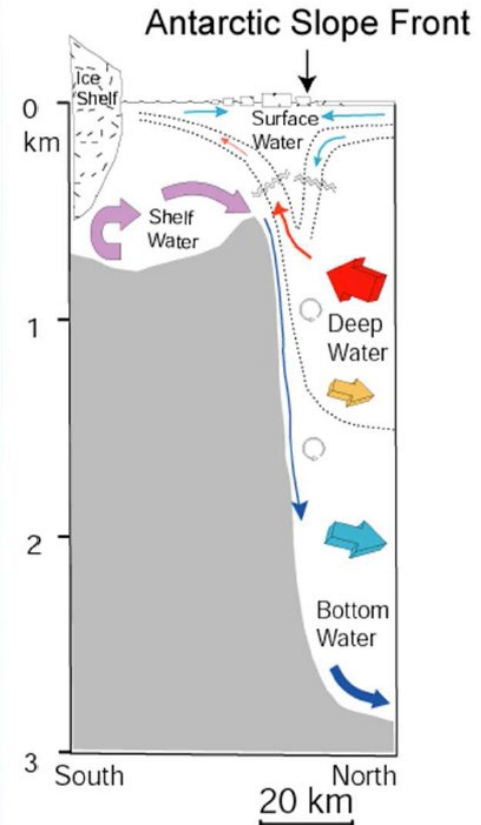
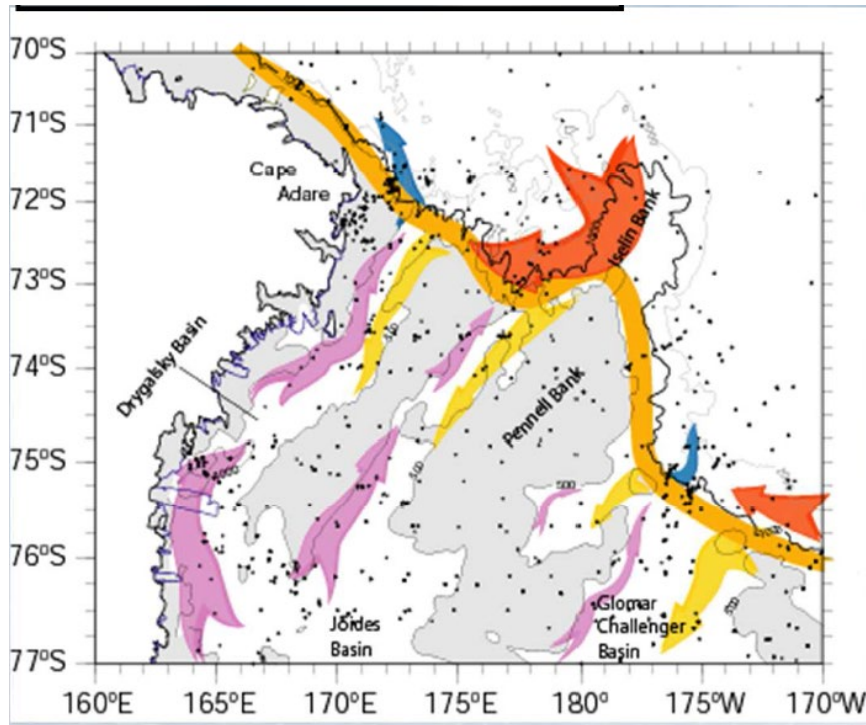


Antarctic Slope Front (ASF) e Antarctic Coastal Current (ACoC)

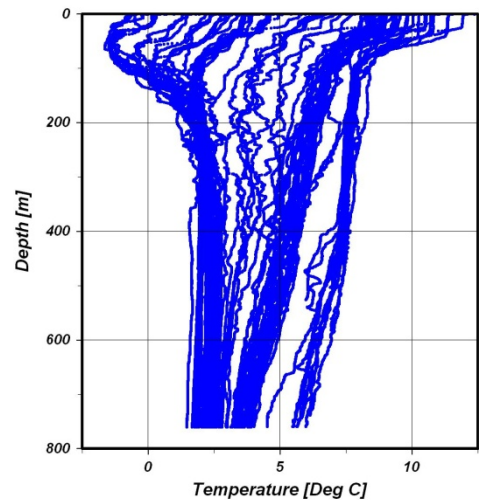
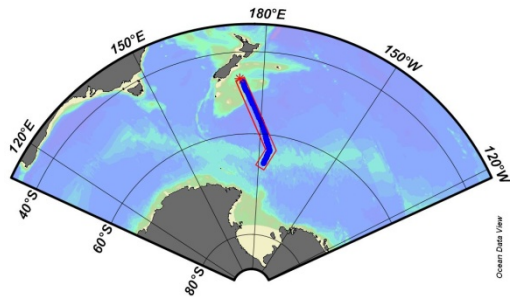
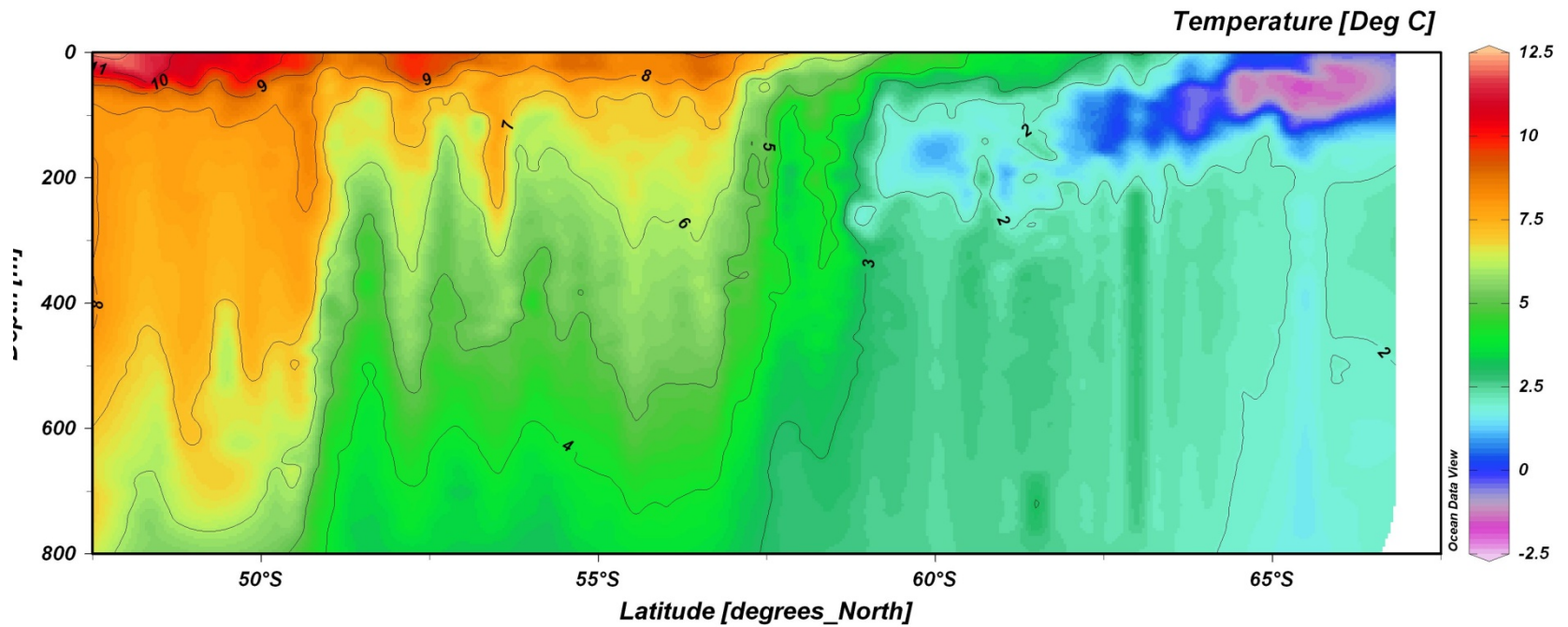
- Si osserva lungo la scarpata lungo buona parte della costa del continente antartico
- All'ASF è associata una corrente verso ovest
- Le isopicne tendono ad abbassarsi verso la costa dove le acque fredde della piattaforma si scontrano con quelle più “calde” provenienti da nord.
- Infine la ACoC è una corrente diretta verso ovest che scorre sulla piattaforma continentale. Si sovrappone spesso al ASF ma non delimita masse d'acqua

Antarctic Slope Front (ASF) e Antarctic Coastal Current (ACoC)

Orsi 2007



Fronti della ACC ottenuti dai lanci XBT (gennaio 2014)



Dal rapporto della XXIX
spedizione Italiana in
Antartide
(Budillon et al., 2014)



Variabilità della posizione dei fronti

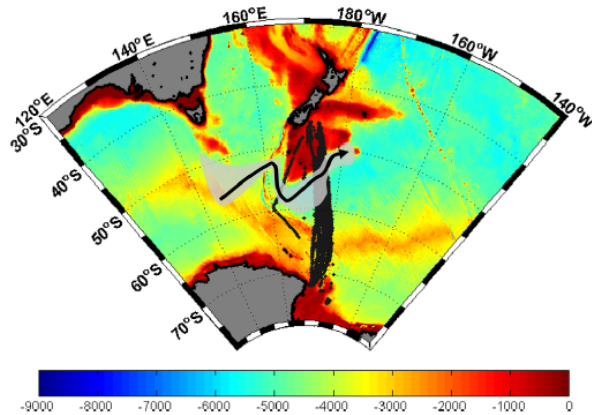


Figure 1. Positions of the CLIMA/SOChIC project XBT casts (black dots) from 1994 to 2010. The mean track of eddies identified during the cruises (black arrow) and the entire region occupied by them during their path (gray over imposed area) are also indicated. Underlying bathymetry is indicated by color scale.

• Da Cotroneo et al., 2013

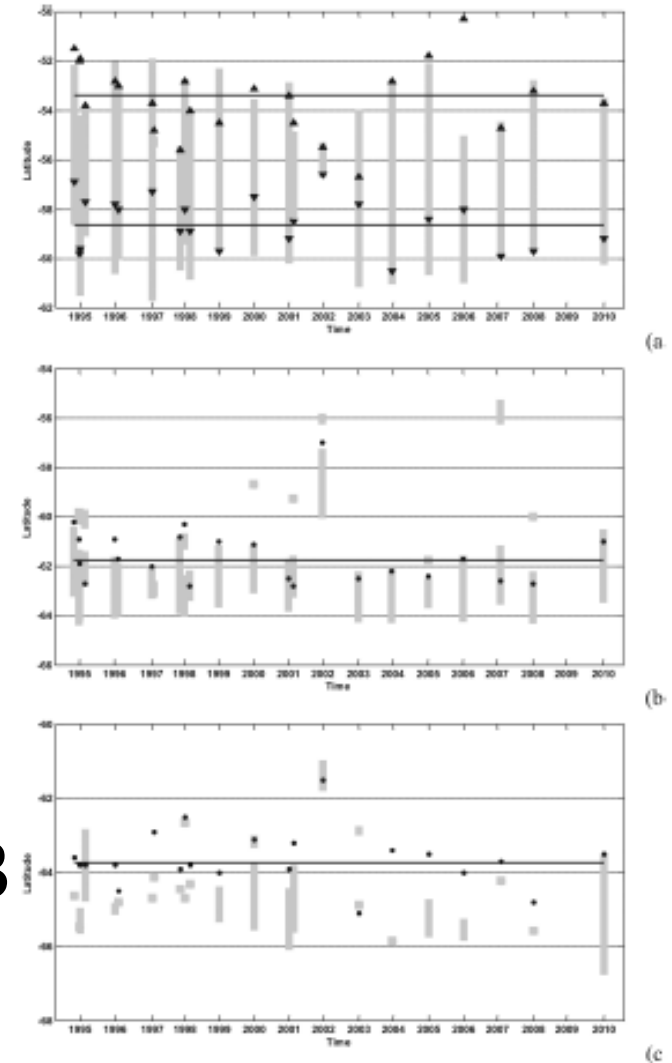
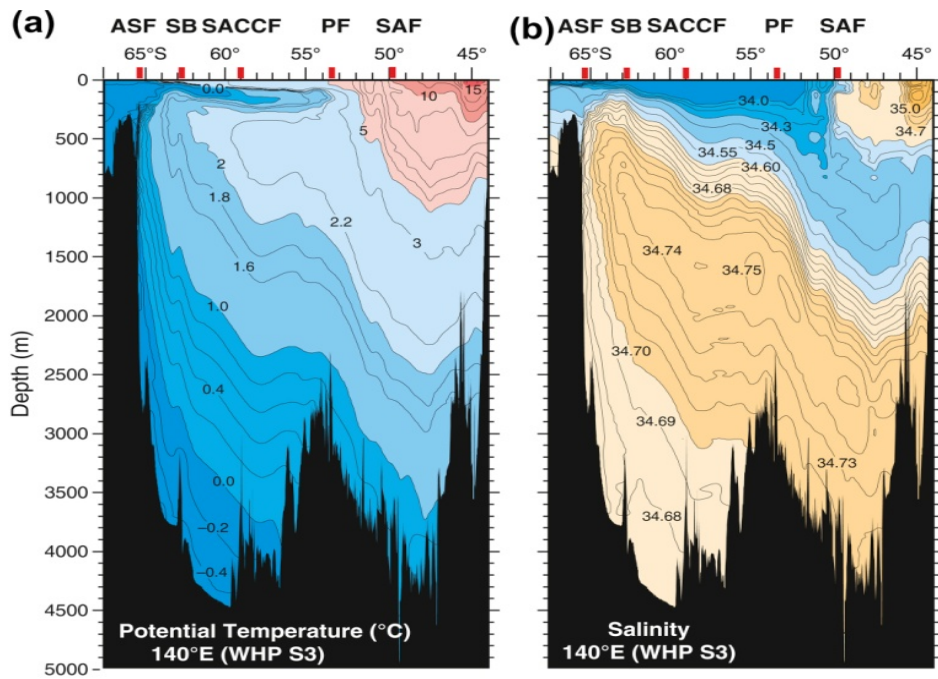
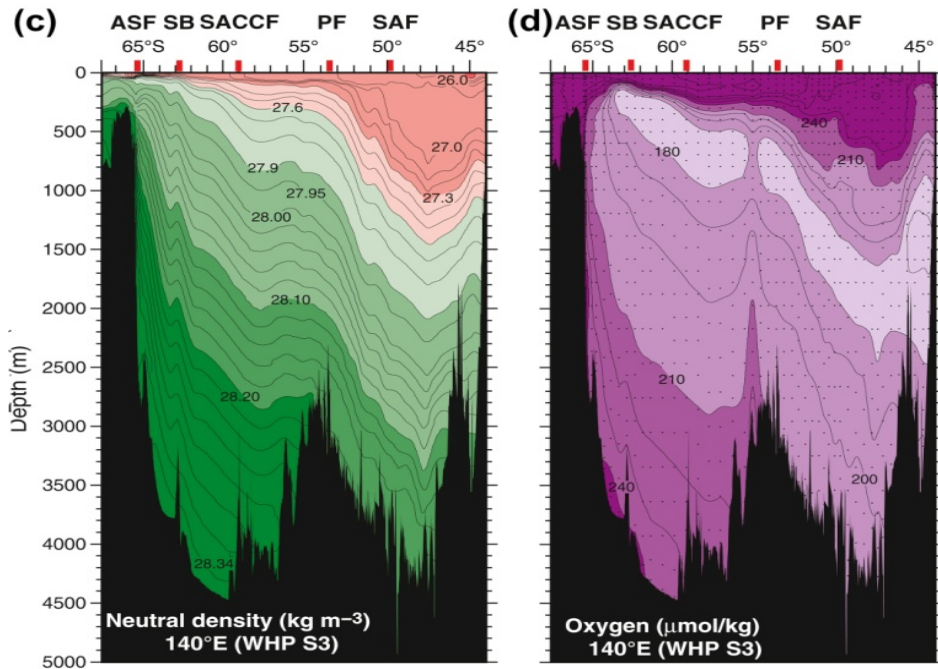


Figure 2. Positions of the (a) SAF, up triangles for NSAF and down triangle for SSAF; (b) PF; and (c) sACCF during the CLIMA/SOChIC cruises. Black line represents the mean latitude for each front from in situ data, gray vertical bars represent the along track-latitude bands where fronts are detected using altimetry values.



(a) Potential temperature ($^{\circ}\text{C}$), (b) salinity, (c) neutral density (kg m^{-3}), and (d) oxygen ($\mu\text{mol/kg}$) along 140°E from Antarctica to Tasmania (*WOCE Hydrographic Programme Atlas section S3, from Talley, 2007*). Fronts: Subantarctic Front (SAF), Polar Front (PF), Southern ACC Front (SACCF), Southern Boundary (SB), and Antarctic Slope Front (ASF). Location of section is shown by station dots in Figure 13.5b.

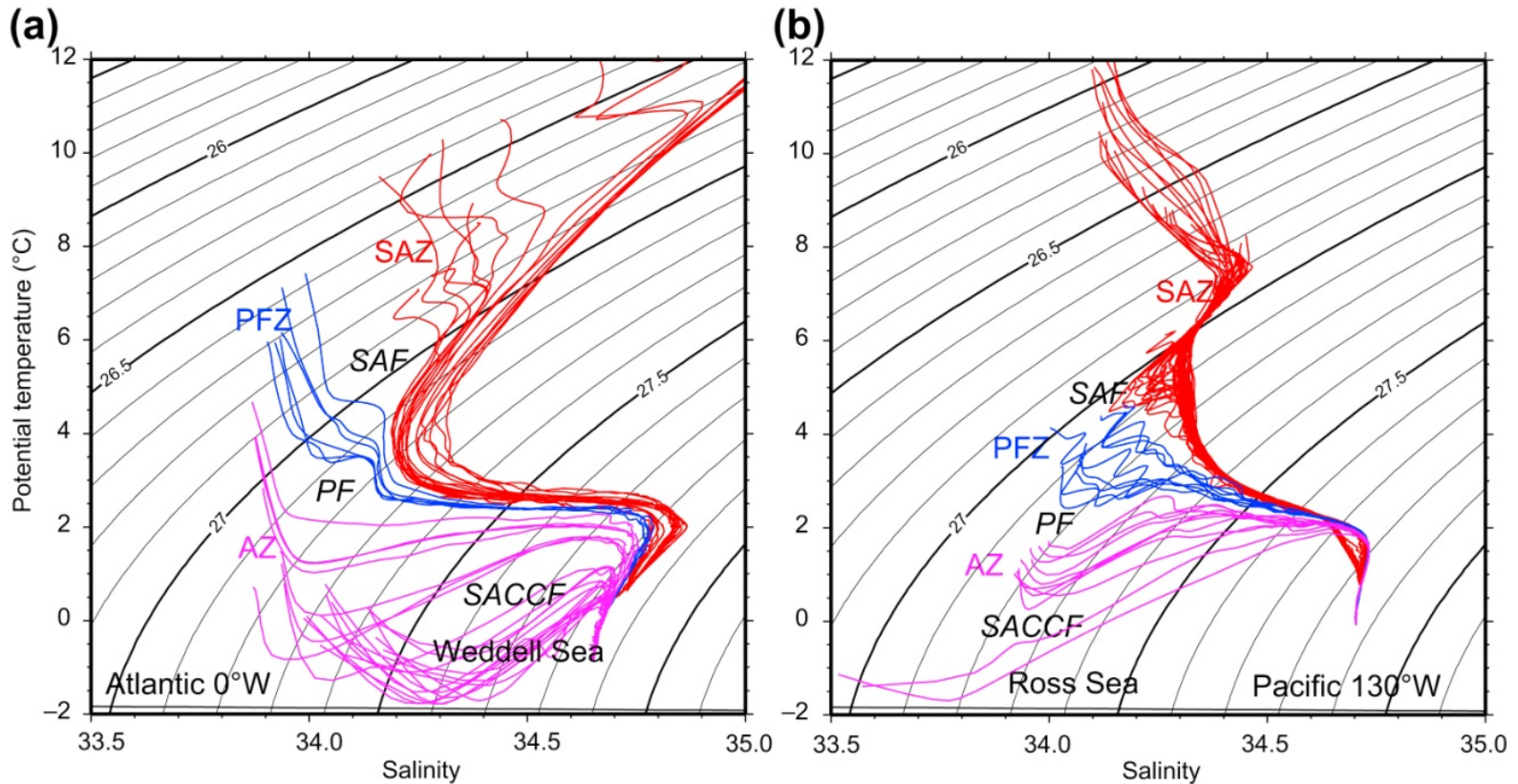


Le zone (tra i fronti)

- In generale considerato un fronte, le zone sono le aree geografiche a nord del frontee terminano a sud con esso
- sono caratterizzate da un andamento particolare di uno o più parametri oceanografici.
- **la Sub Antarctic Zone (SAZ)** e' individuata dal continuo decrescere della salinità fino alla profondità di 500 m o anche superiore, dopodiché comincia a crescere
- Questo minimo di salinità corrisponde al segnale di Antarctic Intermediate Water (AAIW)

- In prossimità del SAF, la SAZ e' caratterizzata da uno strato quasi-superficiale omogeneo noto come Sub Antarctic Mode Water (SAMW)
- il limite settentrionale della SAZ e' dato dal Sub Tropical Front (STF)
- La **Polar Front Zone (PFZ)** e' la zona tra il SAF ed il PF ed ha forte variabilità sia come ampiezza che nei parametri oceanografici
- nella PFZ si ha la transizione tra le acque fredde e meno salate superficiali, la ASW a sud, con le acque più calde e salate della SAZ
- le instabilità sia del PF che del SAF generano eddies che caratterizzano la dinamica di questa zona
- Gli eddies contribuiscono allo scambio meridionale di calore

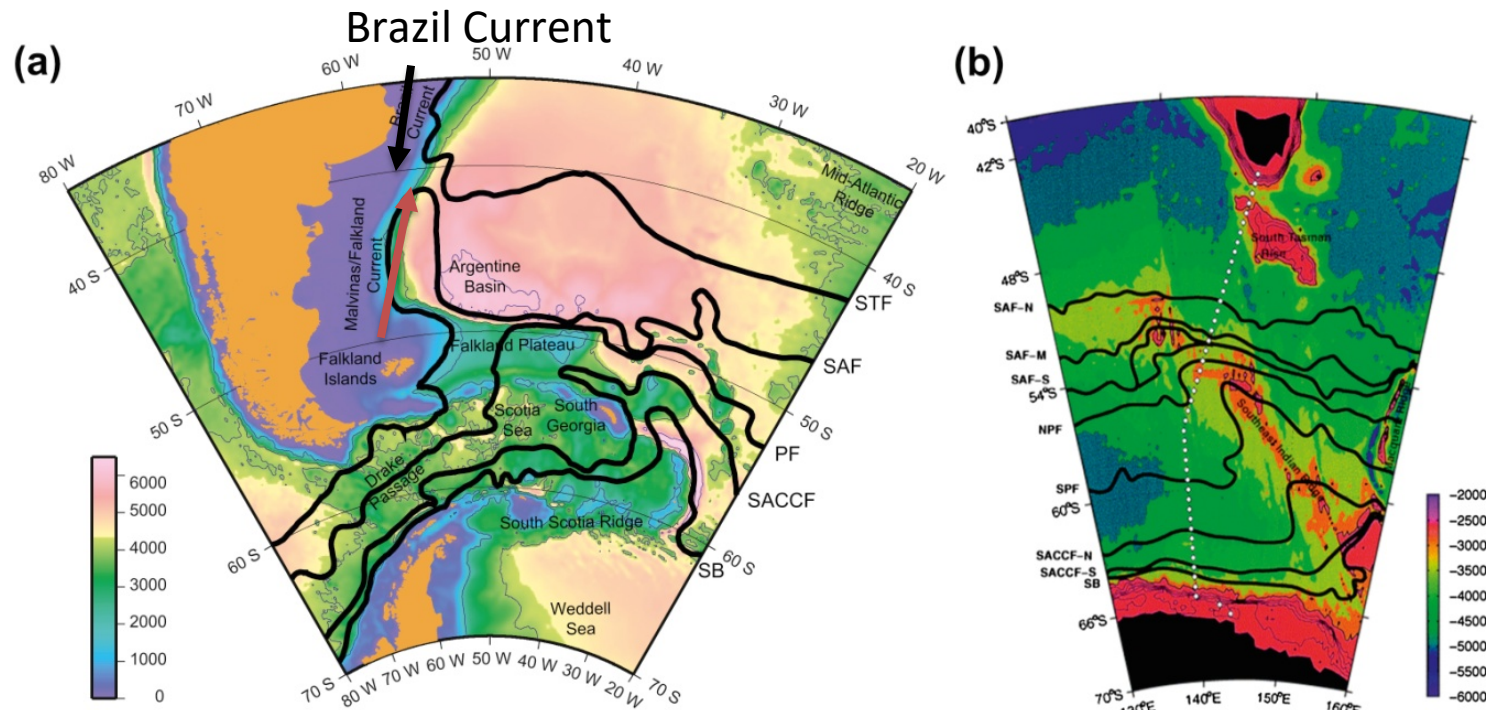
- L' **Antarctic Zone (AZ)** e' compresa tra il PF ed il SACCF, e' caratterizzata da uno strato sottile, freddo e poco salato di ASW. Nei periodi non invernali, si osserva un minimo sub-superficiale (~ 200 m) di temperatura.
- La **Sub Polar Zone (SPZ)**, compresa tra il SACCF ed il SB, e' principalmente caratterizzata dall'upwelling di UCDW (min di O^2) che è trasformata in ASW
- La **Southern Zone (SZ)** e' compresa tra il SB ed l'ASF. La sua ampiezza e' molto variabile: e' minima dove il SB si avvicina molto al continente antartico.



Potential temperature-salinity relations: (a) Atlantic Ocean (Greenwich meridian) and (b) Pacific Ocean (130°W), encompassing the fronts and zones of the ACC (Table 13.1). Contours are potential density ρ (kg/m³). Line near bottom is the freezing point. Acronyms as in Table 13.1: SAZ (Subantarctic Zone), SAF (Subantarctic Front), PFZ (Polar Frontal Zone), PF (Polar Front), AZ (Antarctic Zone), SACCF (Southern ACC Front).

La topografia gioca un ruolo molto importante nella posizione dei fronti

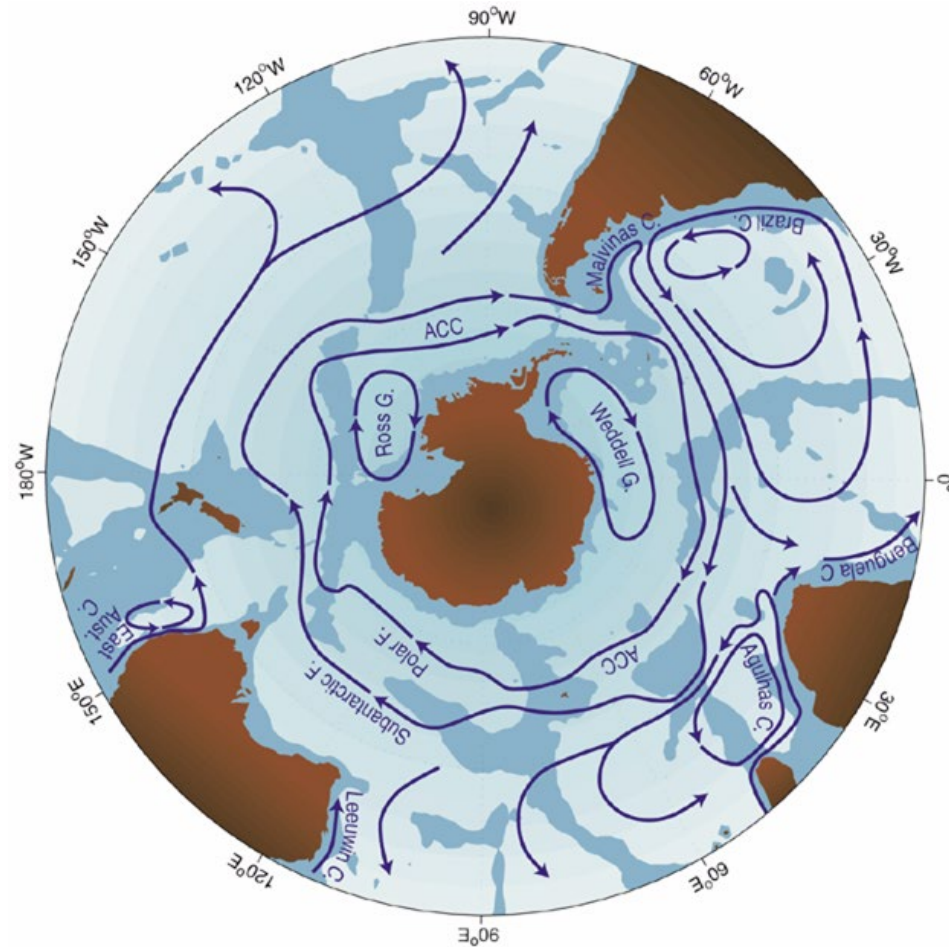
Nel Drake Passage i fronti convergono assumendo distanze minime
In altri casi un singolo fronte si suddivide in più rami come accade nella zona tra la Tasmania ed il continente antartico.



(a) Drake Passage and southwest Atlantic fronts. (*Fronts from Orsi et al., 1995; bathymetry (m) from Smith & Sandwell, 1997.*) (b) Fronts south of Australia (Tasmania). N, M, and S refer to northern, middle, and southern branches of the given fronts. *Source: From Sokolov and Rintoul (2002).*

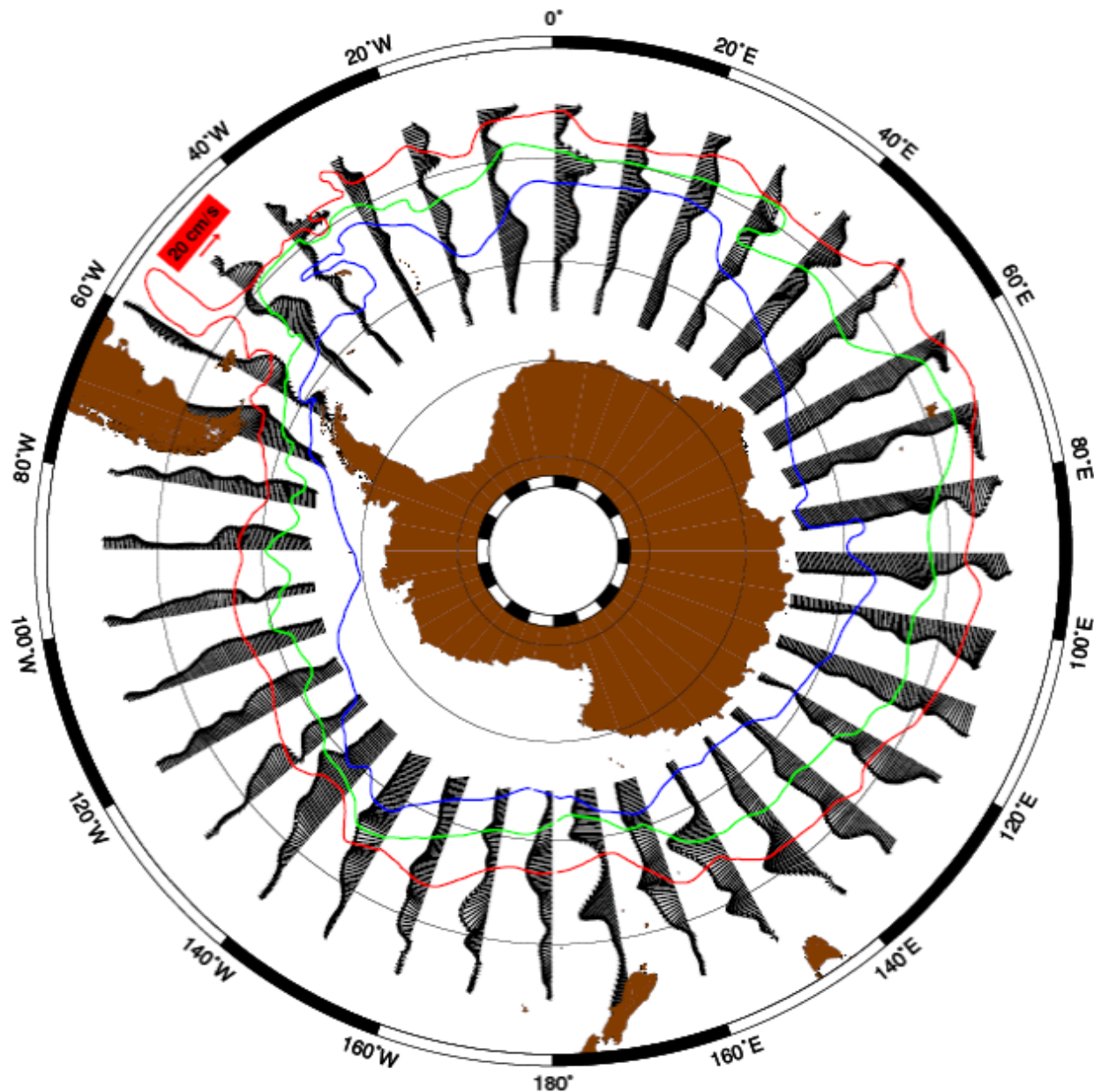
Antarctic Circumpolar Current (ACC)

- Limite settentrionale : SAF con il segnale delle SAMW
- Limite meridionale : coincidente con quello della UCDW (O_2 min) (Orsi et al., 1995, **DSR**)
- dinamica superficiale: shear meridionale
- **strette e potenti correnti a getto**
- forti gradienti di densità che determinano il PF e quello SA (Olbers et al., 2004, **AnSci**)

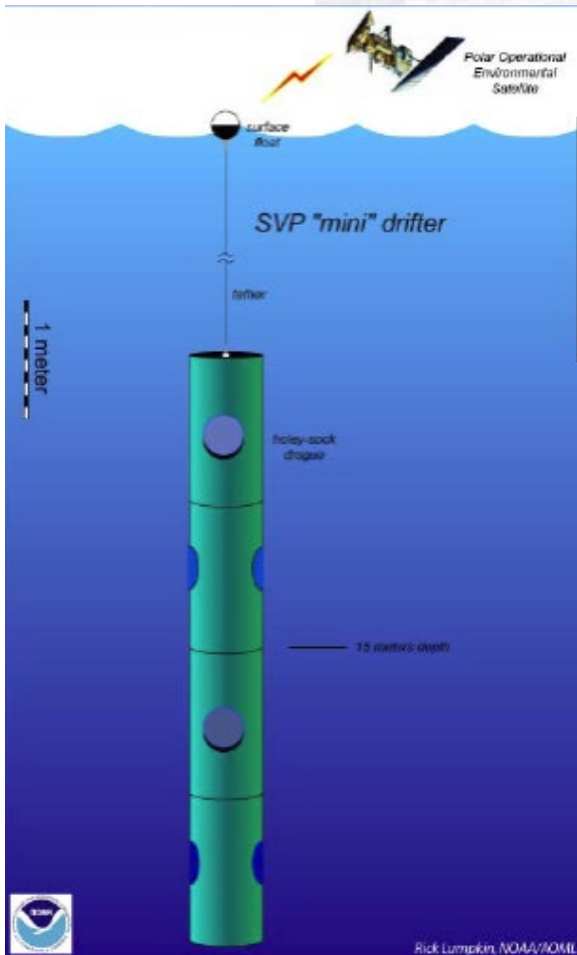


Da Rintoul et al.2001, **JGR**

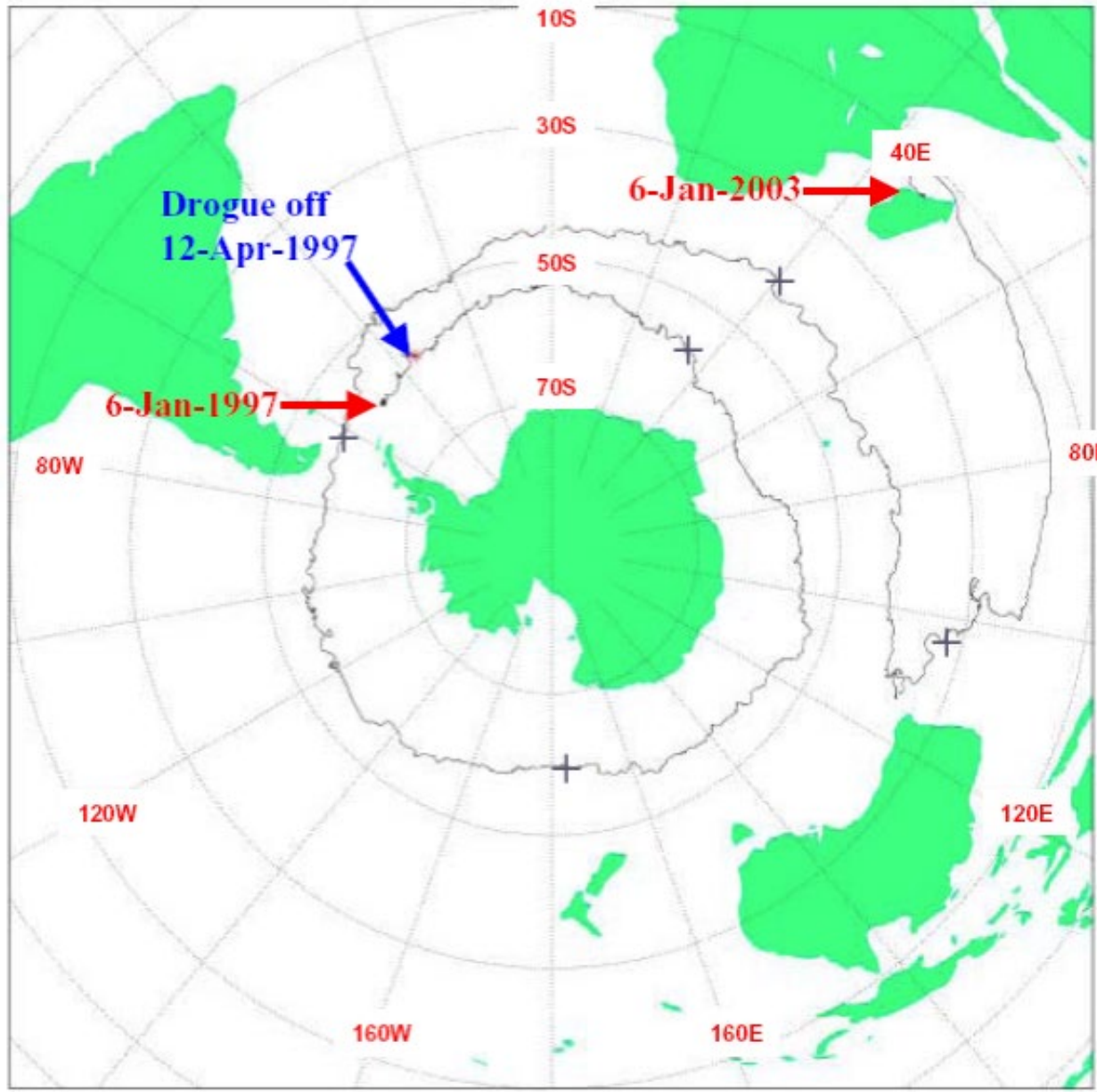
Campo Medio e limiti della ACC



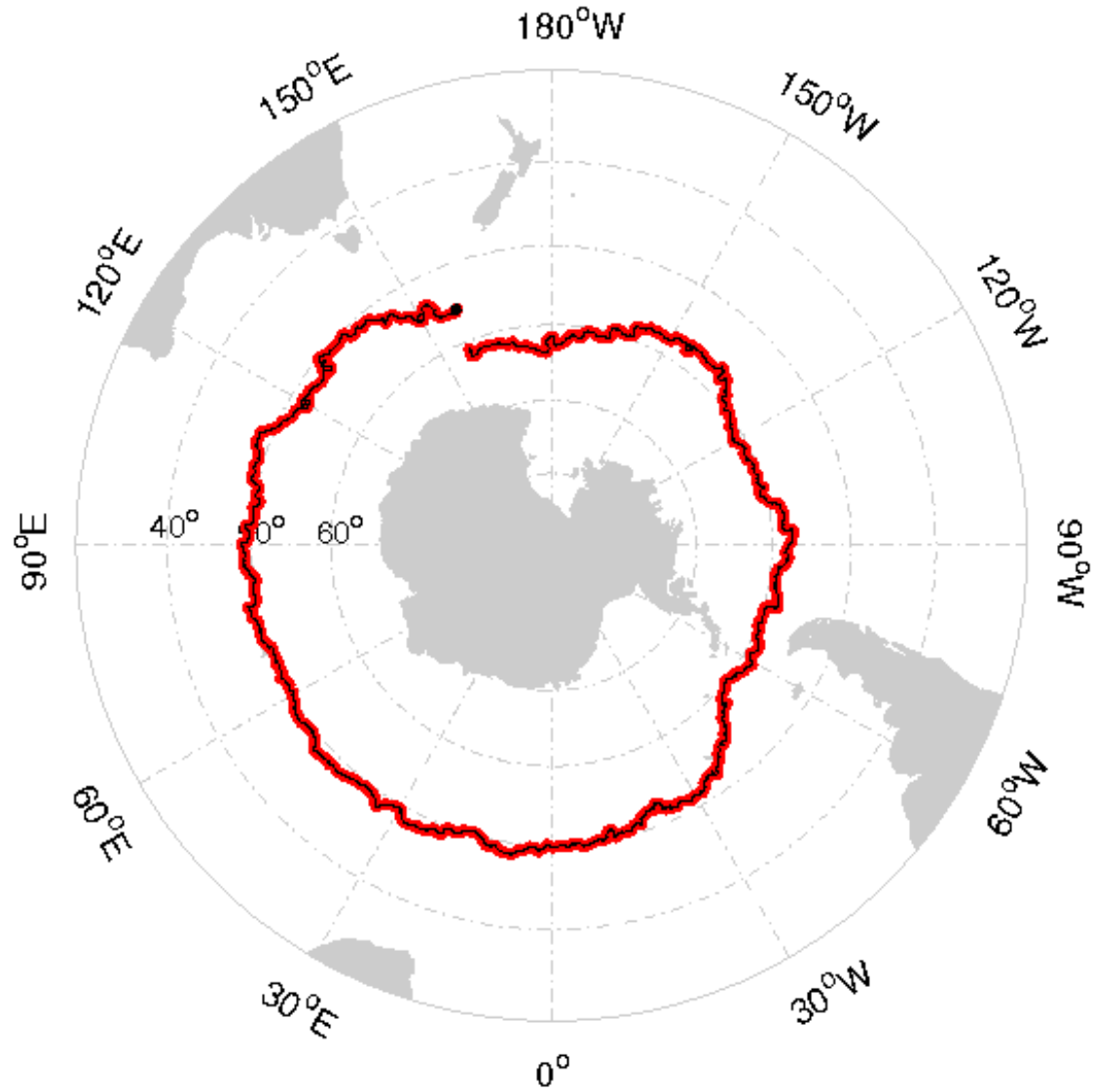
+ One year marks



Drifter 24442

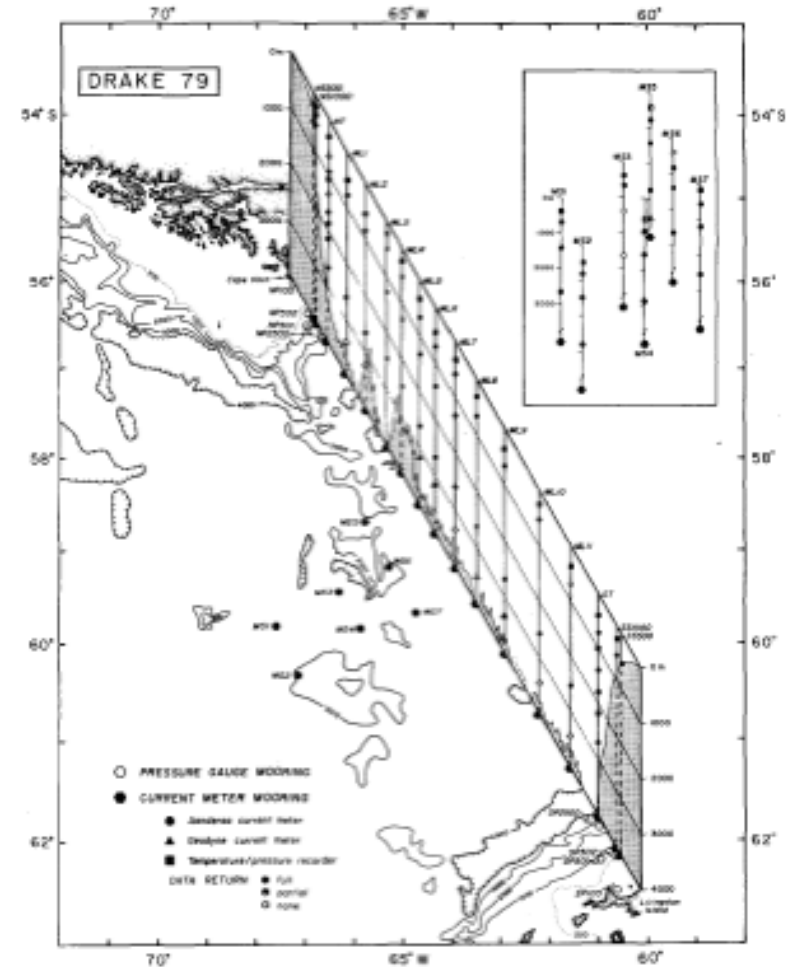


DRIFTER TRAJECTORIES ON 30-Dec-2017 (red dots = GPS positions if present)



Trasporto della ACC

- International Southern Ocean Studies (ISOS) progetto dedicato alla stima del trasporto della ACC (anni '80)
- 17 *mooring* distribuiti tra capo Horn a l'isola di Livingston (stretto di Drake); altri sette posizionati più a ovest lungo la posizione nota del PF
- Al termine dell'ISOS il trasporto determinato fu di **134 ± 11.2 Sv** ed un intervallo di variazione da 98 a 154 Sv



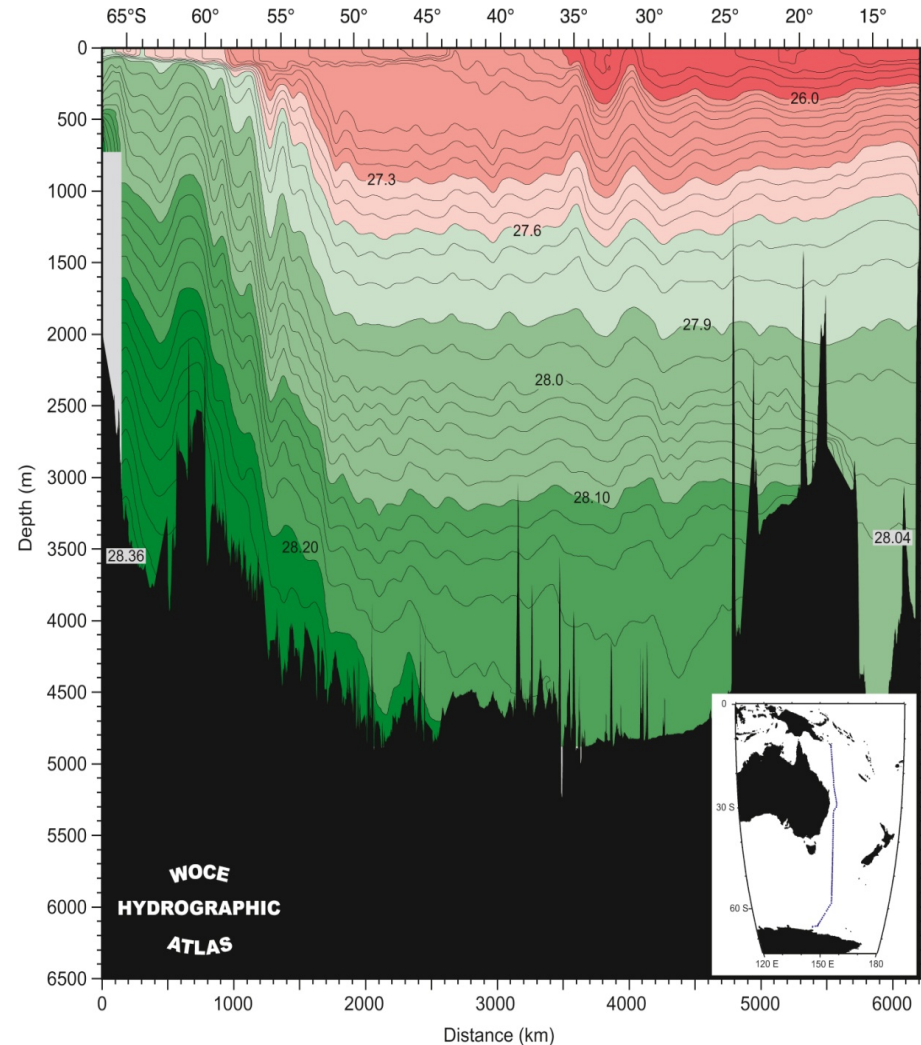
- Da sezione verticali dei parametri fisici, il trasporto baroclinico è stato stimato in 107 ± 10.4 Sv (livello di moto nullo a 3000 m) suddiviso principalmente tra SAF= 53 ± 10.5 Sv e PF= 57.5 ± 5.7 Sv.
- Tra la Tasmania ed il continente antartico il trasporto baroclinico è stato stimato in 147 ± 10 Sv relativo al fondo dell'oceano
- La componente barotropica del trasporto è ancora materia di discussione sia in termini di valore che di variabilità

Circolazione a profondità intermedia e profonda

- La circolazione è verticalmente coerente verso est dalla superficie a c.a. 3000 db
- Laddove il fondo si trova a prof < 3000 db, la topografia impedisce il flusso verso est (ad es. a Drake a prof < 3500 db le linee di flusso della ACC sono interrotte)
- A prof < di 4000 db, la circolazione è determinata da gyre profondi di carattere regionale
- I gyre sono ciclonici per cui ci sarà una corrente che scorre sui margini occidentali diretta verso N (Deep Western Boundary Current – DWBC)
- Le DWBC sono responsabili del trasporto delle acque di fondo verso N

Bilancio Meridionale

- $u_G|_{z=0} = - \left(\frac{g}{f} \right) \frac{\partial \zeta}{\partial y}$
- shear verticale (50-70 cms^{-1} in sup., a c.a. 4-10 cms^{-1} al fondo)
- $\frac{\partial u_G}{\partial z} = - \left(\frac{g}{f} \right) \frac{\partial \rho}{\partial y}$



Neutral density section in the western Pacific into the Tasman Sea (WOCE section P11, location on insert).
Source: From WOCE Pacific Ocean Atlas, Talley (2007).

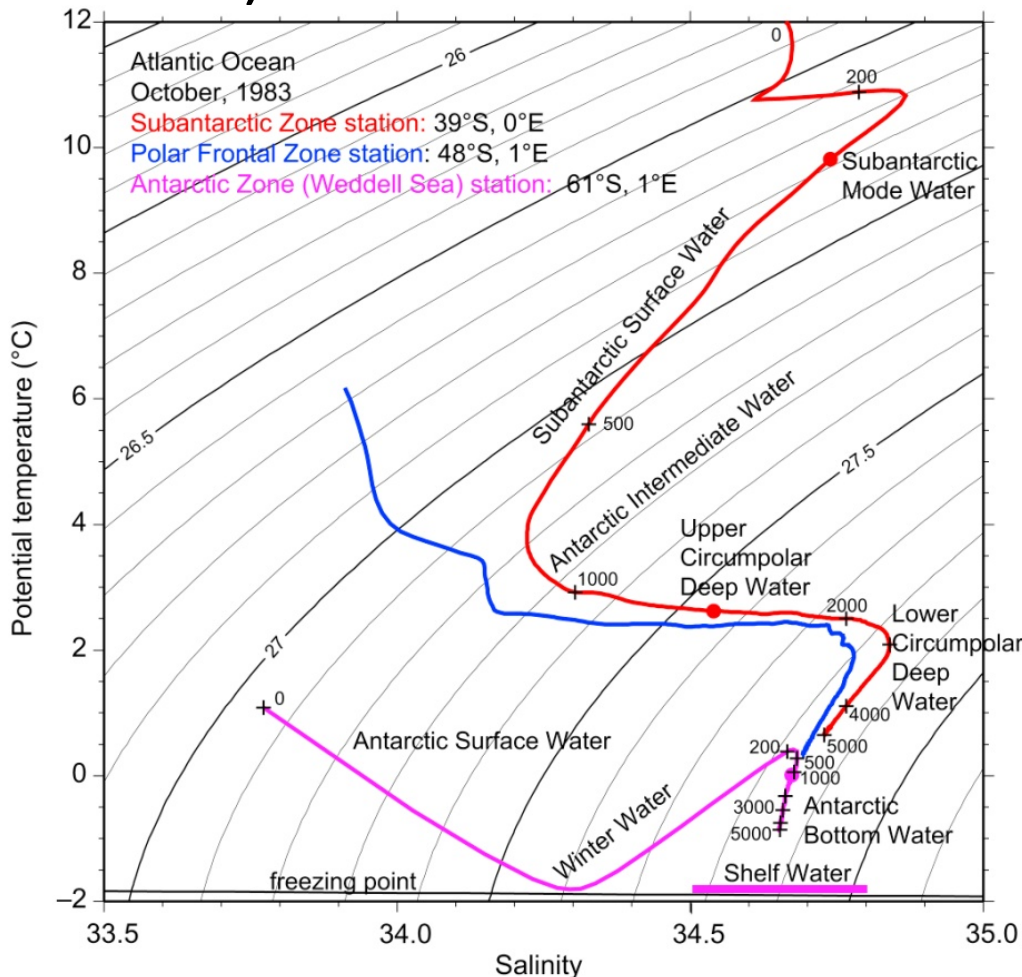
Masse d'acqua dell'O.M.

TABLE S13.2 Southern Ocean Water Masses

Water Mass and Acronym	Location	Characteristic Properties	Source
Subantarctic Surface Water (SASW)	Surface north of the SAF	Warm, salty	Local
Subantarctic Mode Water (SAMW)	Upper ocean north of the SAF	Vertical thickness maximum	Thick mixed layers just north of the SAF
Antarctic Surface Water (ASW)	Surface layer south of the PF	Cold, fresh, extends down to temperature minimum ("Winter Water") at the top of the CDW	Local
Continental Shelf Water	Surface to the shelf bottom	Freezing temperature, density of AABW	Properties set by sea ice formation.
Antarctic Intermediate Water (AAIW)	North of the SAF at 500–1500 m depth	Vertical salinity minimum	Fresh surface water north of the SAF around the Drake Passage
Upper Circumpolar Deep Water (UCDW)	Throughout the Southern Ocean, at 200 to 1700 m depth	Vertical oxygen minimum	Pacific and Indian Deep Waters provide the oxygen minimum
Lower Circumpolar Deep Water (LCDW)	Throughout the Southern Ocean, at 200 to 4000 m depth	Vertical salinity maximum	North Atlantic Deep Water provides the salinity maximum
Antarctic Bottom Water (AABW)	Throughout the Southern Ocean, near-bottom layer that spreads north from the ACC	Cold, dense, relatively fresh bottom layer	Dense shelf waters formed by brine rejection
Weddell Sea Deep Water (WSDW)	Weddell Sea, most of the water column	Cold, dense, thick layer between the CDW above and the bottom water below	Mixture of CDW and dense shelf waters formed by brine rejection
Weddell Sea, Ross Sea and Adélie Land Bottom Water (WSBW, RSBW, ALBW)	Weddell Sea, Ross Sea, coast of Adélie Land, bottom	Cold, densest bottom layers	Densest shelf waters formed in these seas

Masse d'acqua dell'O.M.

- La distribuzione verticale delle masse d'acqua avviene su quattro livelli principali ovvero : superficiale, intermedio, profonde (*deep water*) e il fondo (*bottom water*)



Potential temperature-salinity curve of Southern Ocean waters in the Atlantic sector showing the different water masses.

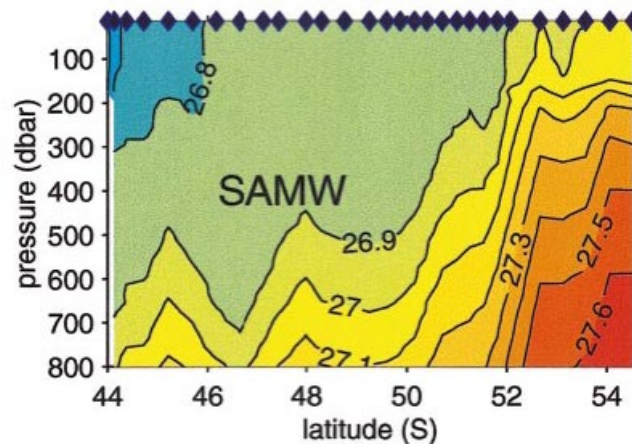
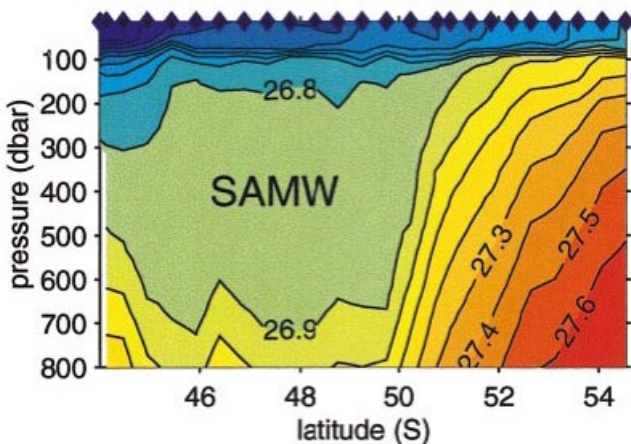
Acque superficiali

- Le masse d'acqua che principalmente occupano gli strati superficiali dell'OM nel settore nord sono la: **Subantarctic Mode Water (SAMW)** e la **Subantarctic Surface Water (SASW)**
- Le SASW, occupano i primi 500 m dell'area a nord del SAF. La temp. varia tra 4 e 10 °C in inverno e arriva fino a 14 in estate; più salate in inverno ($S > 34$ psu) mentre in estate la S diminuisce per effetto dello scioglimento dei ghiacci
- La T e S aumentano andando verso N dove in particolare si osserva (in tutti i bacini oceanici) uno strato di prof compresa tra i 150-450 m caratterizzato da S relativamente alta
- Tale strato rappresenta la parte superficiale dei gyre subtropicale dove si hanno intense evaporazioni

Acque Modali (*Mode Water*)

- Per *mode water* si intende una massa d'acqua i cui valori caratteristici di temperatura e/o densità variano poco con la profondità (scarsa stratificazione)
- Formazione : interazione di acque superficiali con l'atmosfera o con masse d'acque adiacenti, può determinare una convezione e quindi formazione di uno strato mescolato con ampiezza funzione dell'intensità della convezione e della struttura verticale degli strati sottostanti
- I processi di mescolamento in profondità sono generalmente meno energetici rispetto alla superficie, per cui si ha conservazione delle proprietà della massa d'acqua formata.

- La **SAMW** si osserva immediatamente a N del SAF e si forma durante l'inverno
- Lo strato può raggiungere prof max ~500 m (oceano Indiano orientale) mentre nei restanti bacini è inferiore (Pacifico ~300 m a tutte le longitudine, nel sud Atlantico ~200 m)



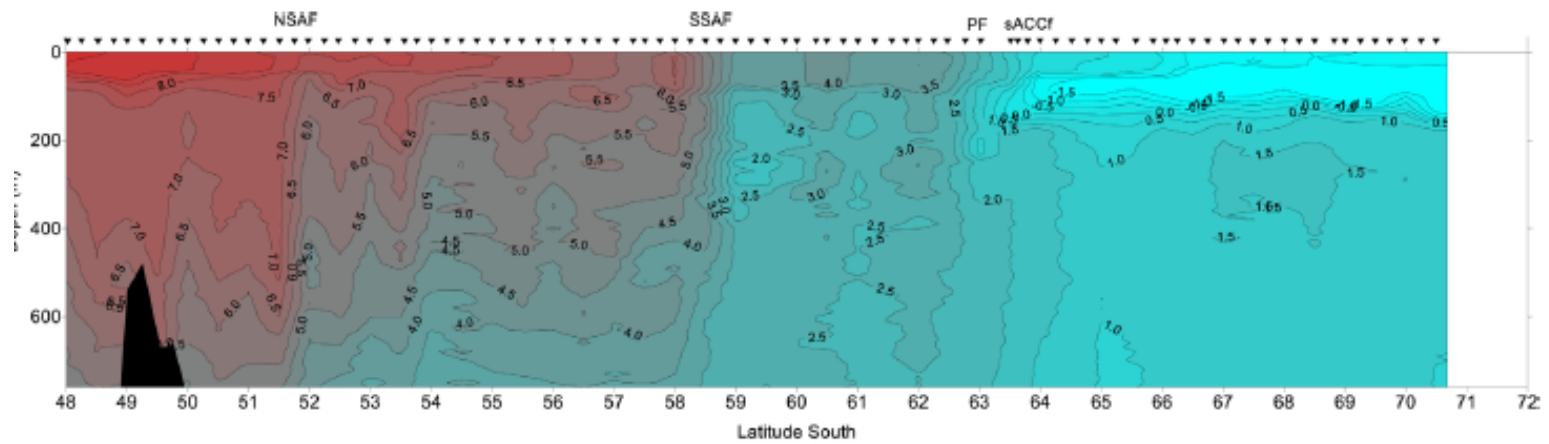
- Sezione verticale della densità potenziale (kg m^{-3}) rilevata lungo la sezione S3 del progetto WOCE, relative al mese di marzo 1993 (a sinistra) e a maggio 1995 (a destra) (da Rintoul e England, 2002)

- La SAMW è trasportata verso est (lungo il SAF) oppure verso nord (trasporto di Ekman)
- In questo secondo caso avviene un processo di **subduzione, nel gyre subtropicale**, al termine del quale la SAMW si trova inglobata all'interno del picnoclino permanente
- Il trasporto di SAMW dovuto al gyre subtropicale coinvolge volumi maggiori di acqua rispetto al nucleo originale in superficie.
- Per cui la SAMW fornisce acqua superficiale nella fascia **del picnoclino subtropicale** e la sua presenza è facilmente osservabile laddove **l'O² presenta un max**
- Essendo legata al SAF la sua temperatura oscilla in funzione della posizione del fronte (temp min ~4°C ad ovest di Drake)

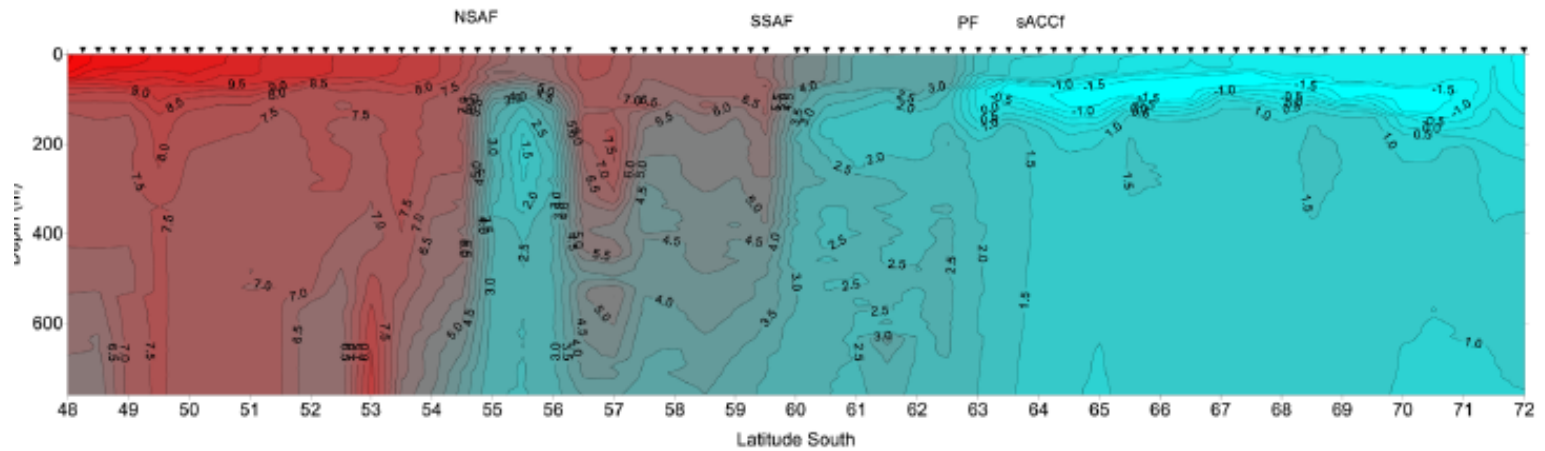
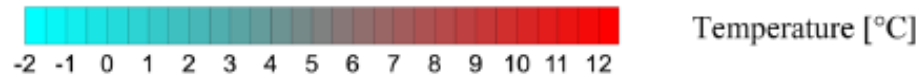
Antarctic Surface Water (ASW)

- E' l'acqua superficiale a S del SAF
- E' fredda a causa del raffreddamento e congelamento invernale e poco salata a causa dello scioglimento del ghiaccio in estate. In questo periodo la temp. cresce e si osserva uno strato più caldo e poco salato (spessore c.a. 50 m) sopra uno più freddo residuo dell'inverno (Winter Water)
- Lo strato in oceano di ASW è ampio 100-250 m con salinità tra 33-34.5 psu . La temp oscilla tra -1.9 e 1 °C in inverno e tra -1 e 4 °C in estate
- L'escursione limitata in temperatura è conseguenza dello "scarso" riscaldamento estivo (il calore è per lo più usato per lo scioglimento del ghiaccio)

- A sud del SACCF, l'ASW è un vero strato superficiale con un min di temp a 50 m ovunque.
- La temp varia poco in questa zona (ghiaccio) per cui le variazioni di densità delle ASW dipendono dalla salinità
- Sullo shelf può anche sprofondare
- Andando verso il PF la temperatura cresce così come la prof del min di temp
- In alcuni casi la posizione del PF è individuata dalla latitudine più settentrionale dove si osserva la presenza del min in temp della ASW



a



b

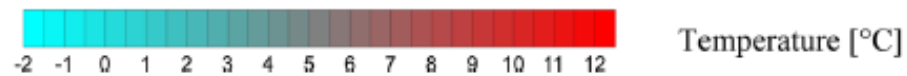
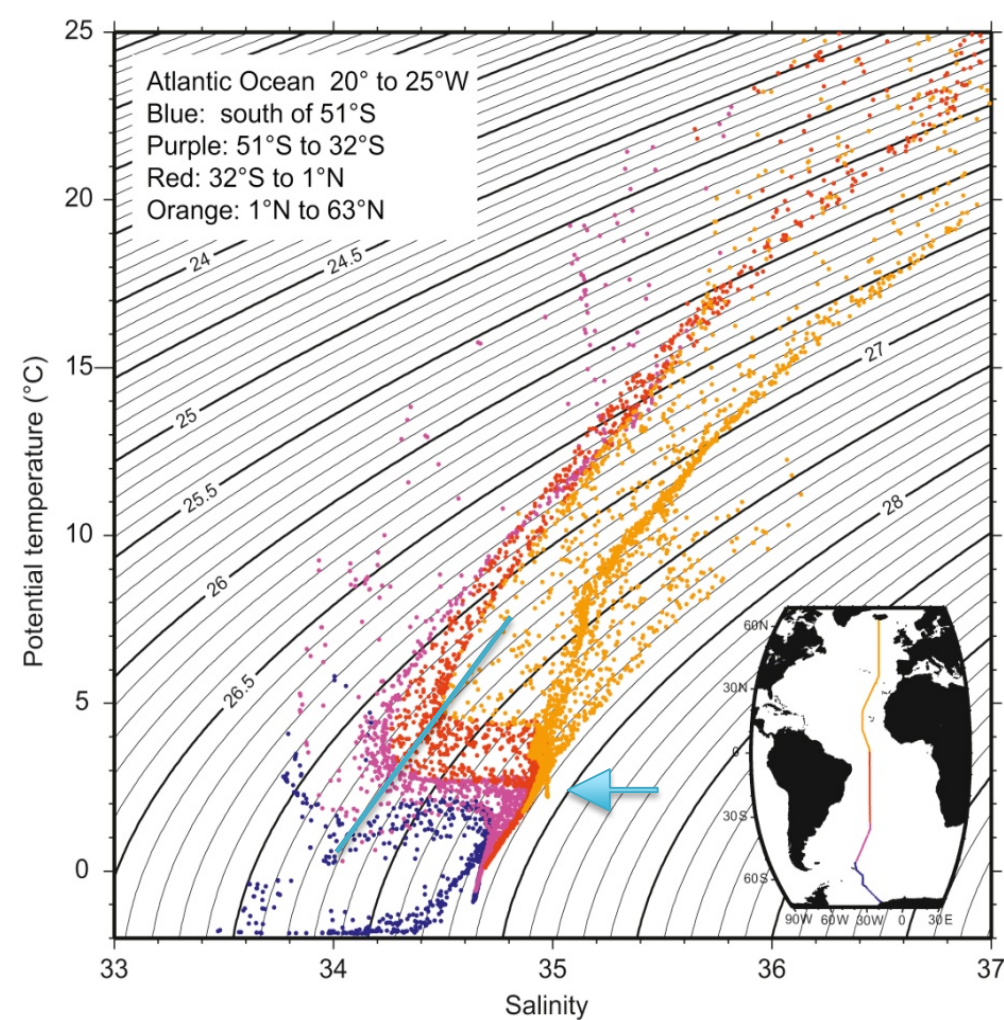


Figure 5. Temperature sections from XBT for January 2005 (a) and February 2007 (b) cruises. Black triangles indicating position of XBT casts. Positions of main ACC fronts are indicated on top of each section. A deep reaching cold-core anomaly is evident in Figure 5b.

Antarctic Intermediate Water

- Le AAIW occupano lo strato, compreso tra i 500 - 1500 m, che si estende fino alla fascia sub equatoriale dell'emisfero meridionale.
- La sua presenza e' indicata da un min. in salinità osservabile a nord del SAF a tutte le longitudini.
- Le caratteristiche della AAIW variano tra i bacini oceanici così come la sua profondità
- da N a S la temp e la salinità del min. di salinità diminuiscono (il minimo di sal scompare nell'Atlantico nord sub-tropicale) anche se la densità rimane costante fino al SAF
- La minima estensione in latitudine si osserva nel Pacifico



-In Oceano Atlantico ed Indiano la temp e' ~ 4-5 °C con una dens.pot. = 27.3. Nel Pacifico la dens pot = 27.1

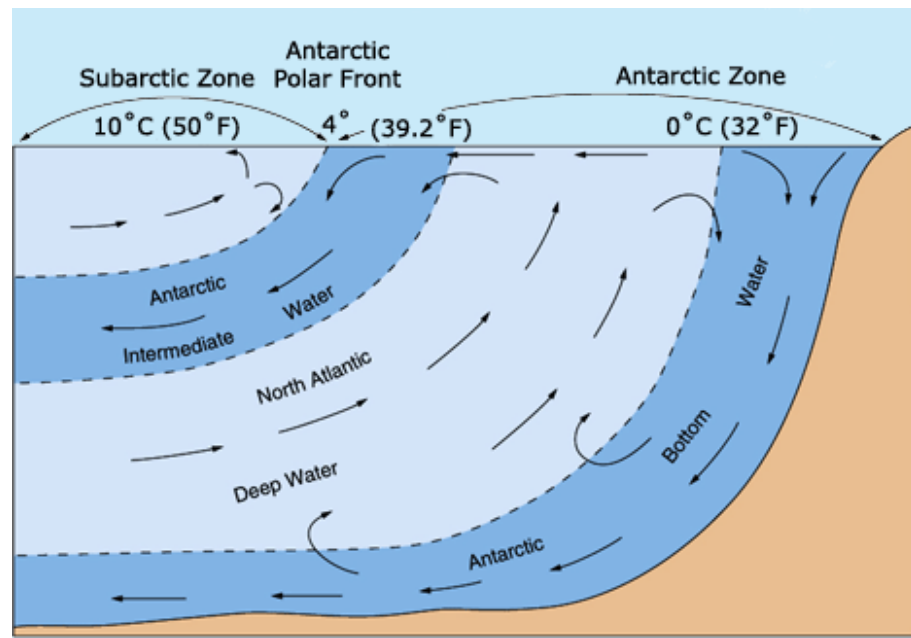
Potential temperature-salinity diagram in the Weddell Sea and Atlantic Ocean

- Nel SE Pacifico e nel SW Atlantico AAIW è caratterizza da un valore relativamente alto di O_2 a causa del recente contatto con l'atmosfera
- In generale l'AAIW del Pacifico è diversa da quella atlantica e dell'Oceano Indiano.

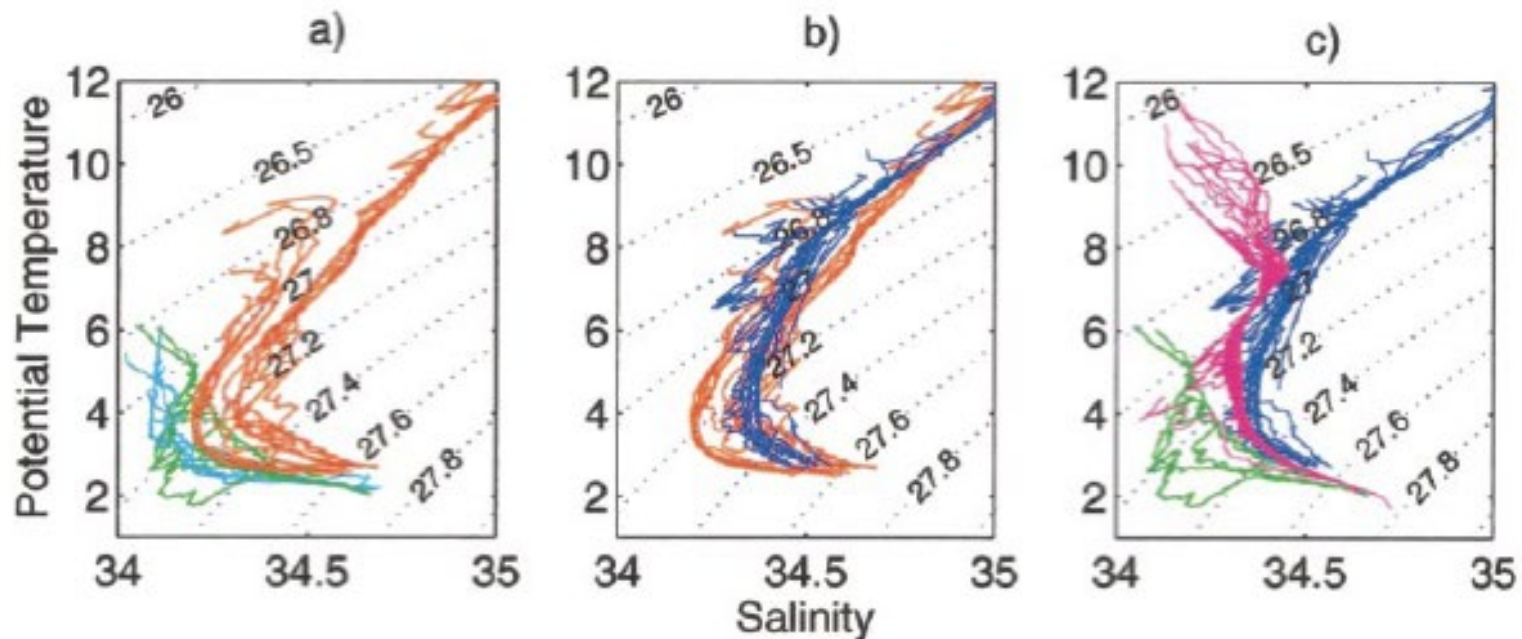
Formazione AAIW

- Ci sono differenti teorie su come avvenga il processo di formazione dell'AAIW
- **Teoria 1)** : si forma a partire dalla SAMW in particolare quando è più fredda e meno salata (*McCartney, 1977* e *Talley, 1999*) nel settore sud-orientale dell'oceano Pacifico e in quello sud-occidentale dell'oceano Atlantico
- **Teoria 2)** : per mescolamento di acqua superficiale con acque più profonde, processi che avvengono nella fascia sub-antartica

lungo le isopiche, in zona SAF (*Molinelli, 1982*)
a tutte le longitudini

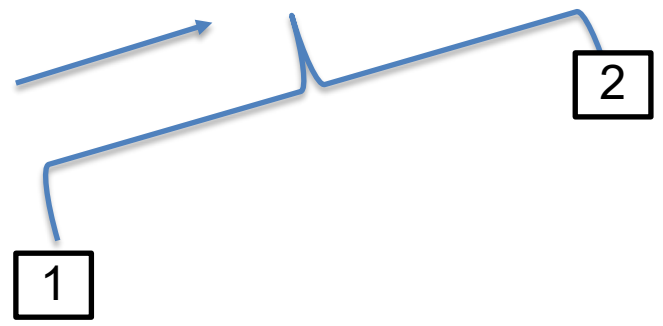


- **Teoria 3)**: sia meccanismi di trasformazione dello strato superficiale che meccanismi di scambio aria-mare, laddove la SAMW affiora in superficie forzata dall'andamento delle isopiche, contribuiscono alla formazione di AAIW (*Sloyan e Rintoul, 2001*)



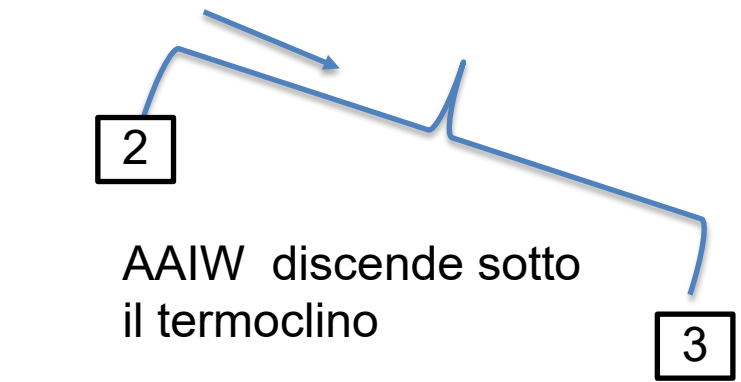
Diagrammi θ -S relativi a misure avvenute nei tre bacini oceanici dell'Oceano Meridionale. a) Atlantico b) Indiano e c) Pacifico. I diversi colori delle curve indicano che le misure sono avvenute in aree differenti (da Sloyan e Rintoul, 2001)

AAIW diventa più fredda e più densa



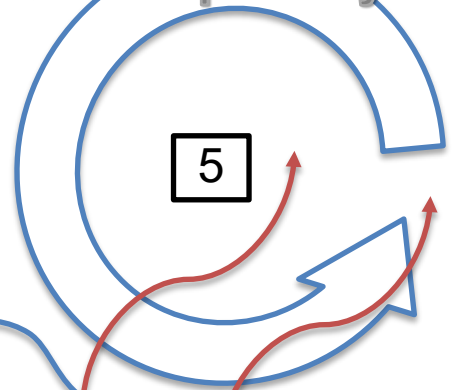
2

AAIW discende sotto il termocline



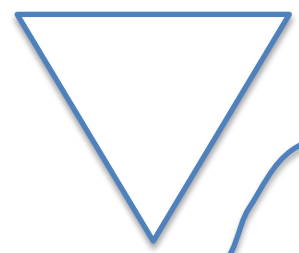
3

Sub Tropical Gyre



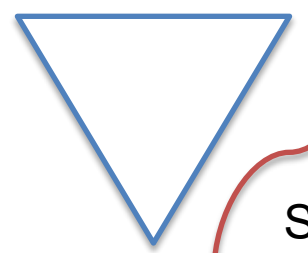
5

Terra del Fuoco



2

Capo di Buona Speranza

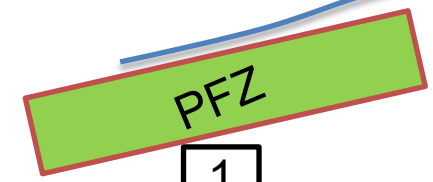


6

SE Pacifico

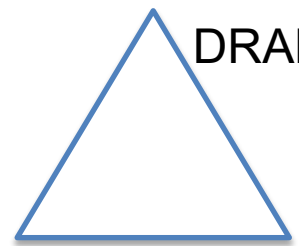
SAF

SAF



1

DRAKE



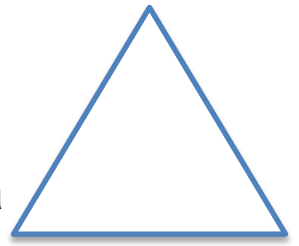
Penisola Antartica

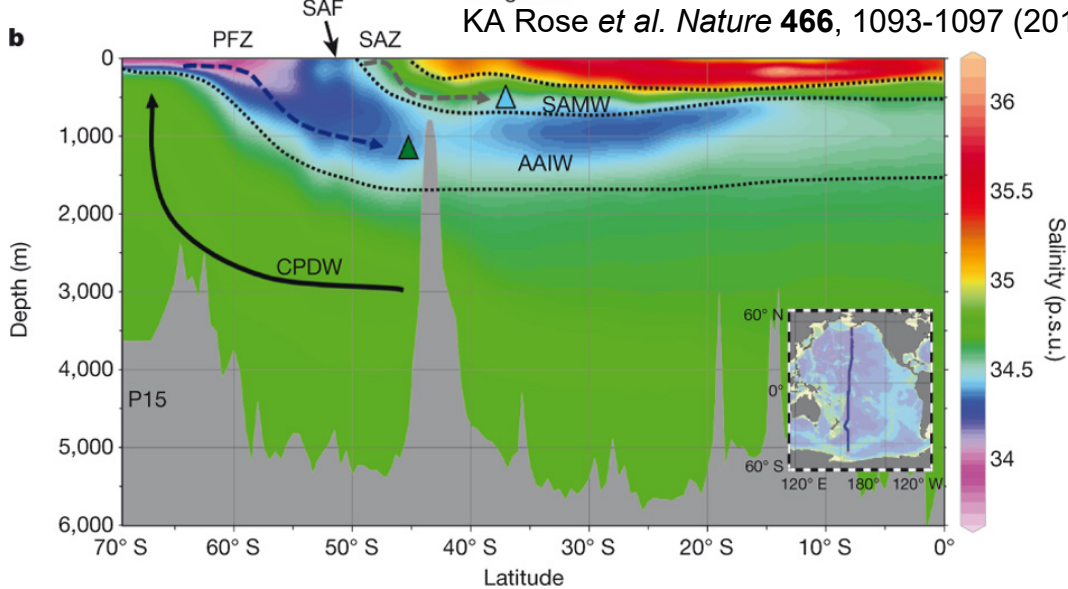
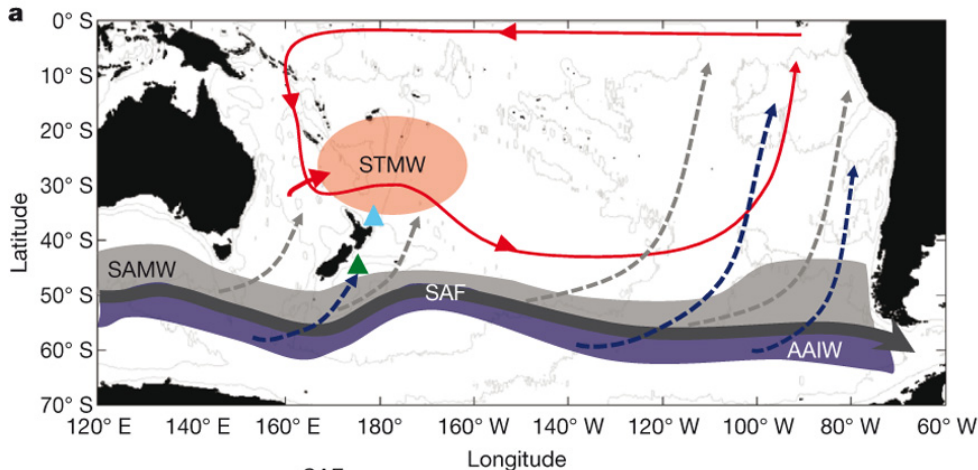
3

4

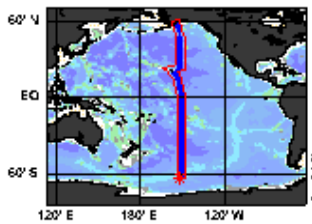
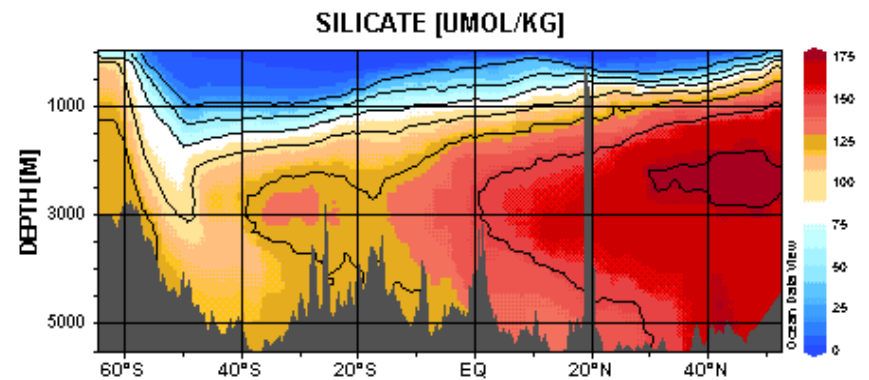
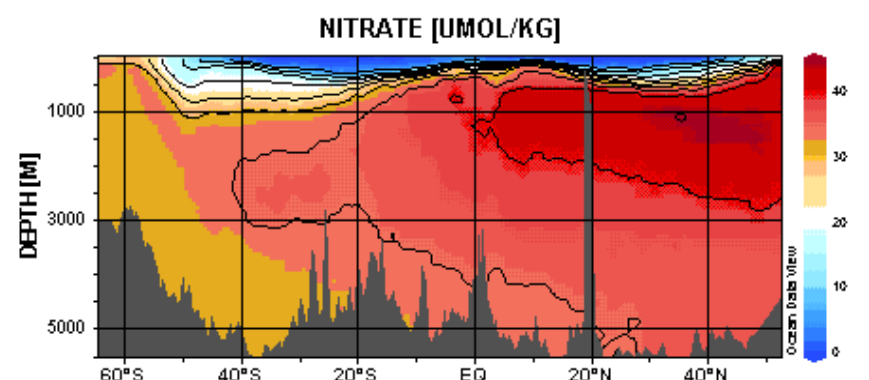
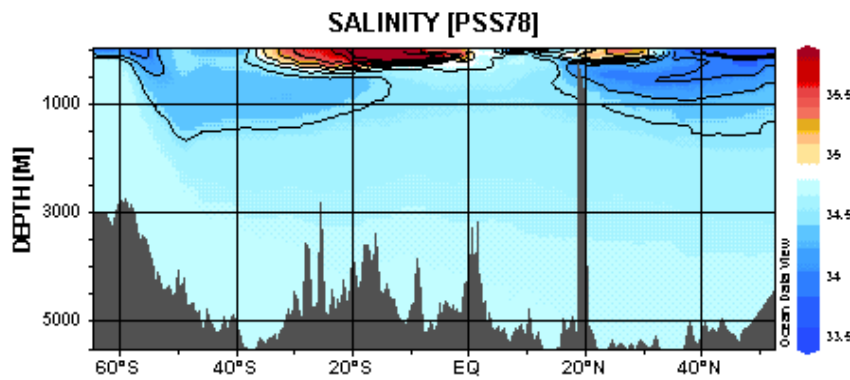
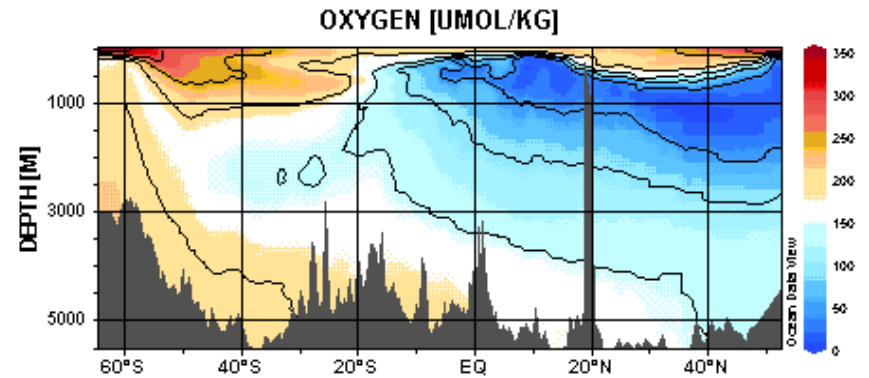
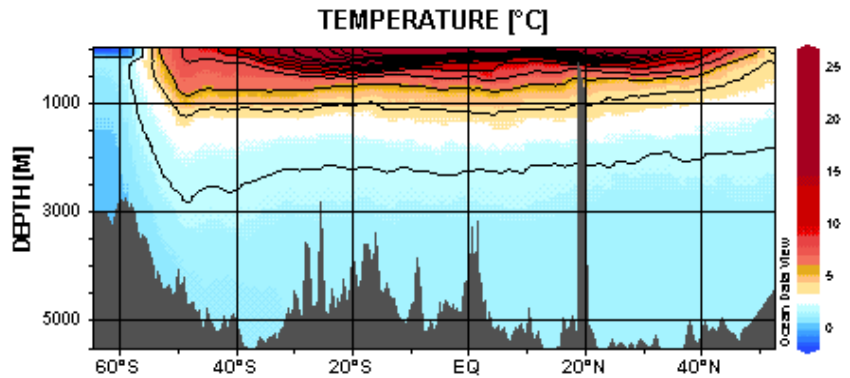
Max di O2 scompare

Costa Antartica



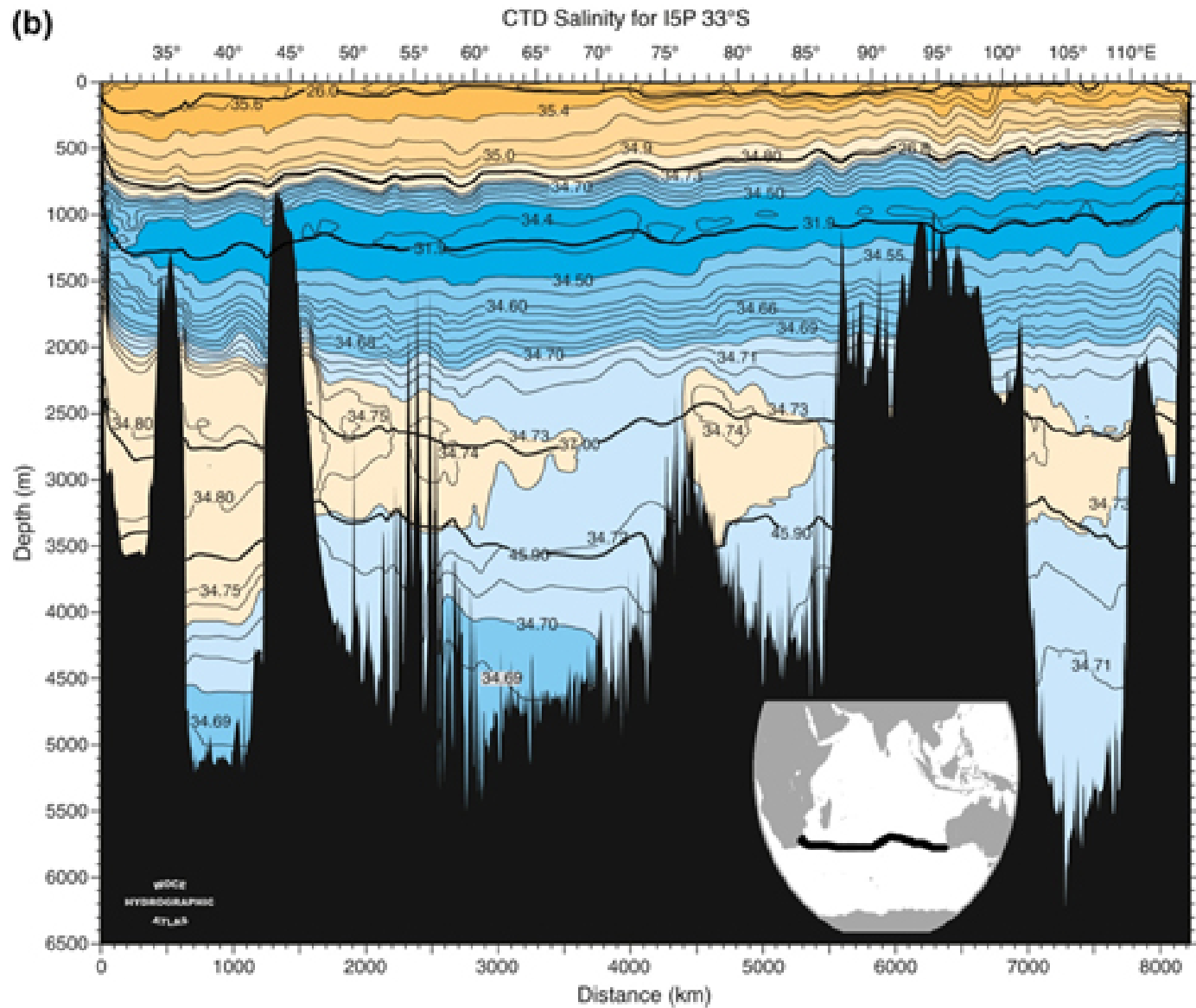


The bold solid line marks the approximate location of the SAF. SAMW forms in the SAZ (grey shaded area) and becomes entrained in the South Pacific subtropical gyre circulation (solid red line). Denser AAIW (~800–1,400-m water depth) in the polar frontal zone (PFZ, blue shaded area), and flows northwards below SAMW.). **b**, Wind-driven upwelling in the Southern Ocean causes shallow, mid-depth and deep-water masses to shoal.



**Pacific Ocean Sections
Along WOCE line P16**

Oceano Pacifico



Oceano Indiano

Circumpolar Deep Water (CDW)

- E' la massa d'acqua che maggiormente caratterizza la ACC in quanto occupa il maggior volume (dai 1000 fino ai 3000 m c.a. in tutti i bacini)
- E' il prodotto del mescolamento delle acque profonde dei tre bacini oceanici nel momento in cui entrano nella ACC. Quindi anche la NADW partecipa alla formazione di CDW.
- LA CDW influenza molto la struttura verticale ed i processi di mescolamento nel PFZ e nella AZ
- Nella AZ la CDW sale in superficie dove è trasformata in "acqua antartica" inglobando le SW antartiche che non sono diventate dense abbastanza per essere acque di fondo.

Upper e Lower CDW

- Lungo la verticale la CDW si suddivide in due strati di cui, il meno profondo si distingue per un minimo nei valori dell'O₂ mentre il secondo e' particolarmente salato (max di salinità)
- la CDW e' quindi suddivisa in due masse la Upper CDW (UCDW) e la Lower CDW (LCDW)
- Il min di O₂ della UCDW e' determinato dal contributo che la Indian Deep Water e la Pacific Deep Water nella fase di formazione della CDW
- Il limite inf della CDW e' determinato dalla isopicna più profonda circumpolare

- Nella AZ la UCDW include lo strato del max di temp ($\sim 1.5-2.5^{\circ}\text{C}$, prof 200-600 m). In questa zona quindi il max di temp e min di O_2 si osservano nello stesso strato
- A nord del SAF il min di O_2 si posiziona intorno ai 1500m in corrispondenza del valore di temp.pot (θ) = 2.5°C e di un valore di dens.pot (σ_{θ})=27.6
- La UCDW e' inoltre ricca di nutrienti per cui quando affiora nella AZ trasporta nutrienti verso la superficie, con un forte impatto sulla catena trofica locale

- Il max di salinità che caratterizza la LCDW e' dovuto al contributo della NADW nel processo di formazione di CDW
- Il limite inferiore della LCDW era prima identificato dalla isoterma dello 0°C posizionato al di sopra della acqua di fondo antartica. Successivamente e' stato sostituito con la isopicna di dens.neutrale (γ_n) = 28.27
- La LCDW e' acqua di fondo in molti bacini e sottobacini dell'oceano. Solo in Atlantico si posizione tra i 2500-3000m. Nell'Indiano non raggiunge il fondo mentre nel Pacifico si.
- Nella AZ si osserva a quote comprese tra i 400-700 m

- Il **valore max** di salinità della LCDW si osserva nell'Atlantico (34.8-34.9 psu) dopodiché **proseguendo verso est** e mescolandosi con acqua a più basso valore di salinità, **il max si riduce**
- **Si riduce** anche andando da nord verso sud (**valori più alti nella PFZ e più bassi nella AZ**)
- Valori tipici di temp e dens pot sono rispettivamente :1.3-1.8 gradi, 27.8 kgm^{-3}
- La NADW entra nella ACC caratterizzata anche da un max di temp($\sim 3^\circ\text{C}$). La LCDW perde subito questa proprietà

Distribuzione della LCDW e sue proprietà

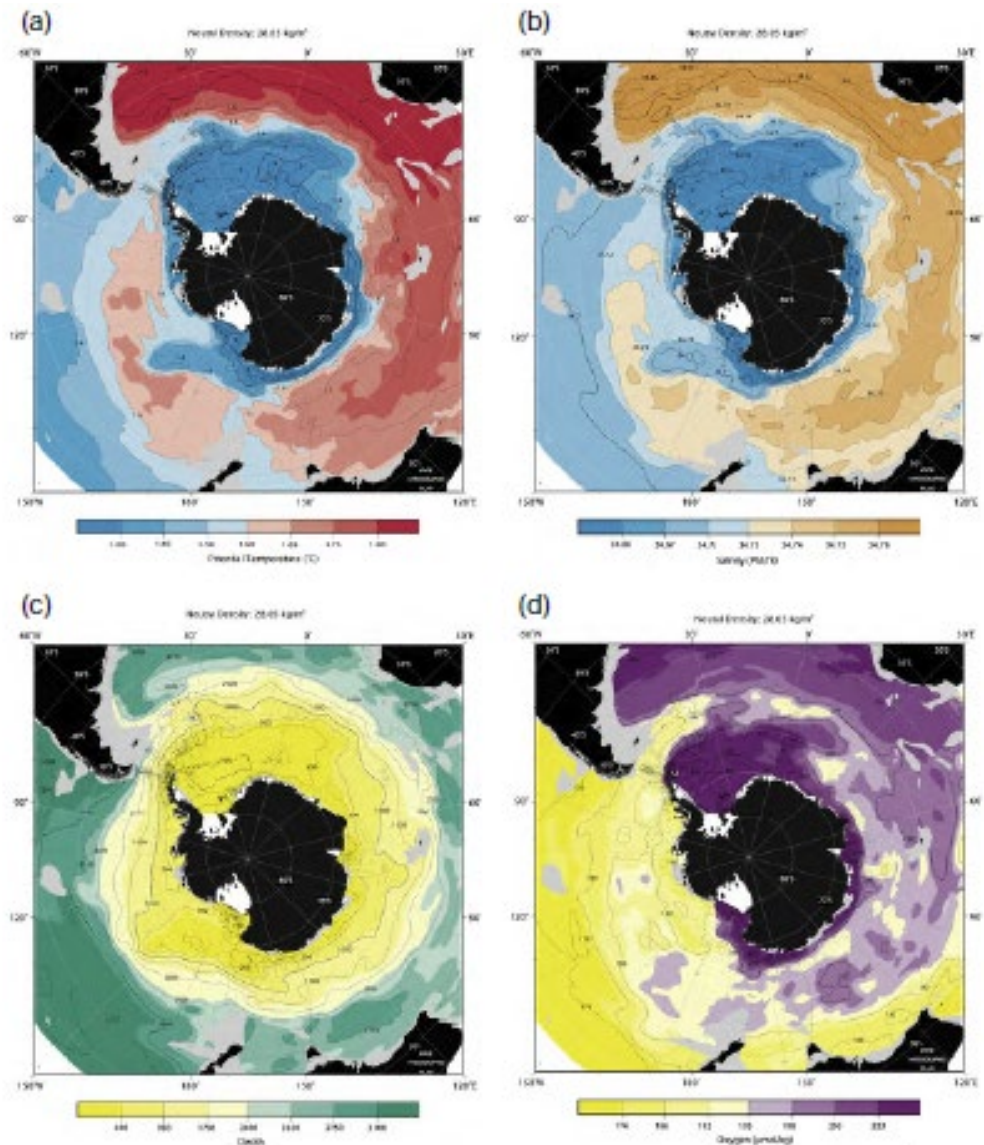


FIGURE 13.15 Properties along a Lower Circumpolar Deep Water isopycnal (neutral density 28.05 kg m^{-3}), corresponding roughly to the salinity maximum core. (a) Potential temperature ($^{\circ}\text{C}$), (b) salinity, (c) depth (m), (d) oxygen ($\mu\text{mol/kg}$). This figure can also be found in the color insert. Source: From WOCE Southern Ocean Atlas, Orsi and Whitworth (2005).