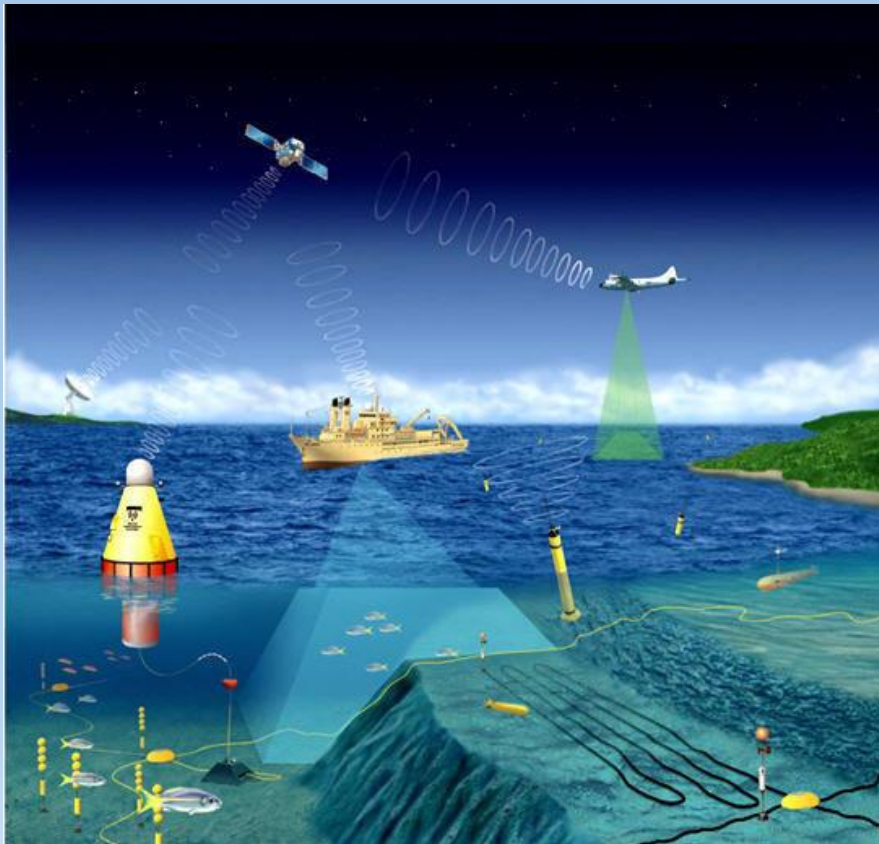


# Caratteristiche fisiche degli oceani e proprietà fisiche dell'acqua di mare



Lezione 1: Corso di  
oceanografia

Anno Accademico 2025-2026

[mmenna@ogs.it](mailto:mmenna@ogs.it)

Milena Menna



**OGS**

National Institute  
of Oceanography  
and Applied  
Geophysics

# Caratteristiche fisiche degli oceani



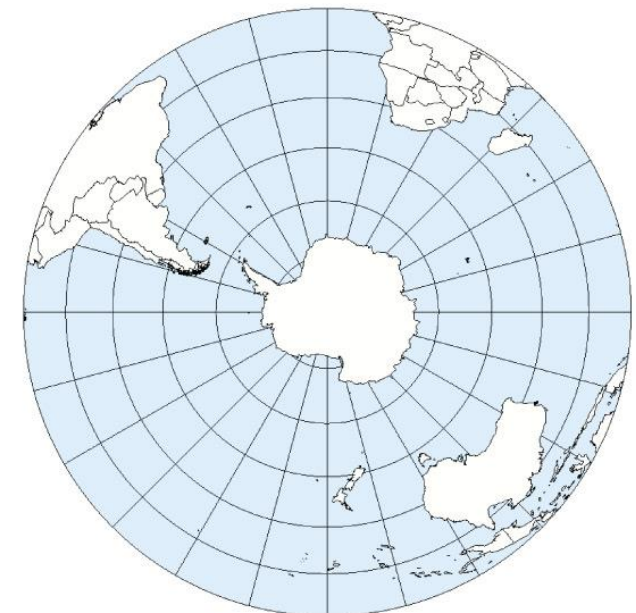
- ✓ Le acque dei mari e degli oceani coprono più del **70%** della superficie della Terra. L'acqua che più comunemente si trova in natura è **l'acqua di mare** (circa il **98%**);
- ✓ L'oceano è un corpo continuo di acqua salata che è contenuto in enormi bacini sulla superficie terrestre.

- ✓ L'emisfero settentrionale è definito **emisfero terrestre** (60.7% di acqua);
- ✓ L'emisfero meridionale è definito **emisfero dell'acqua** (80.4% di acqua);
- ✓ I climi dell'emisfero meridionale tendono a essere leggermente più miti rispetto a quelli dell'emisfero settentrionale a latitudini simili, ad eccezione dell'Antartide che è più freddo dell'Artico.

Northern Hemisphere



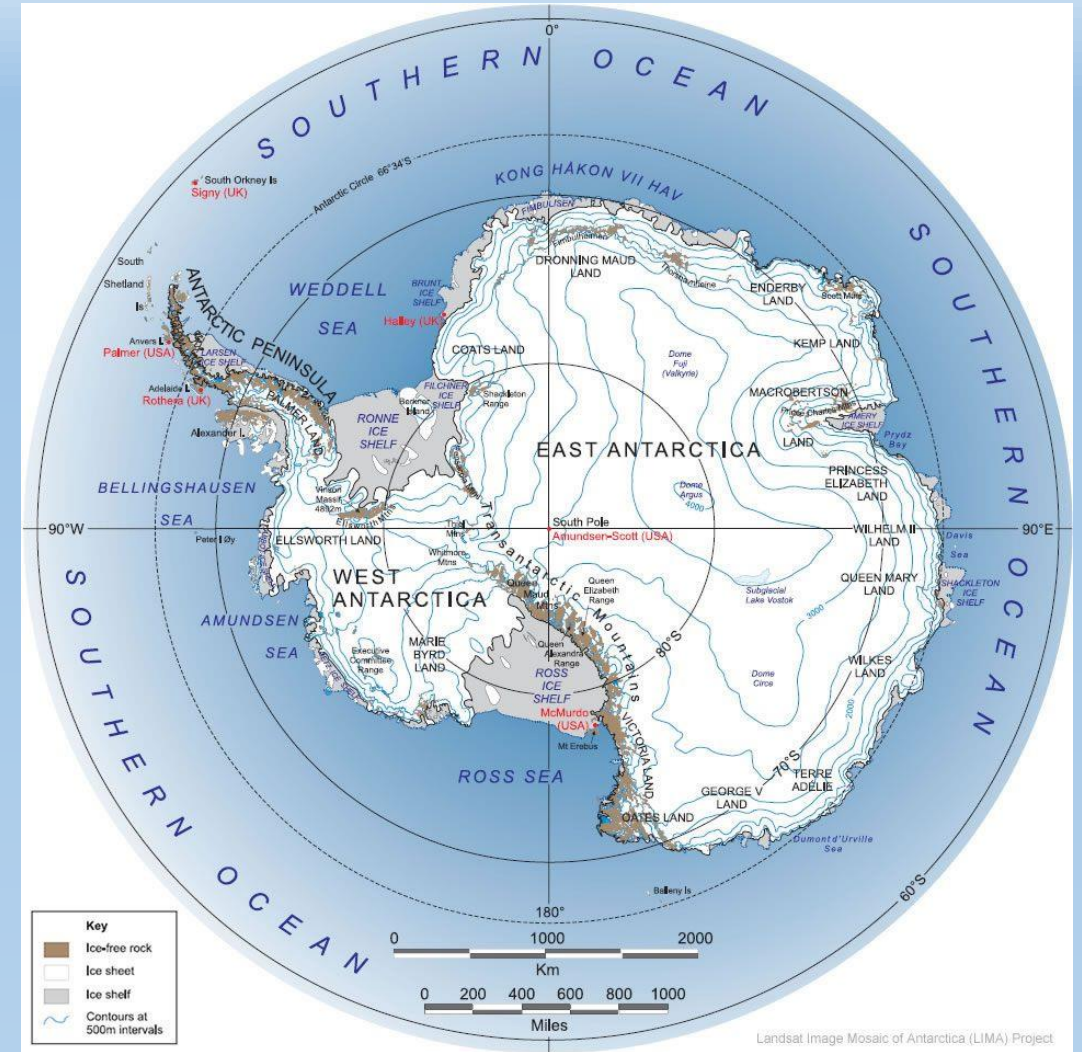
Southern Hemisphere



# Caratteristiche fisiche degli oceani



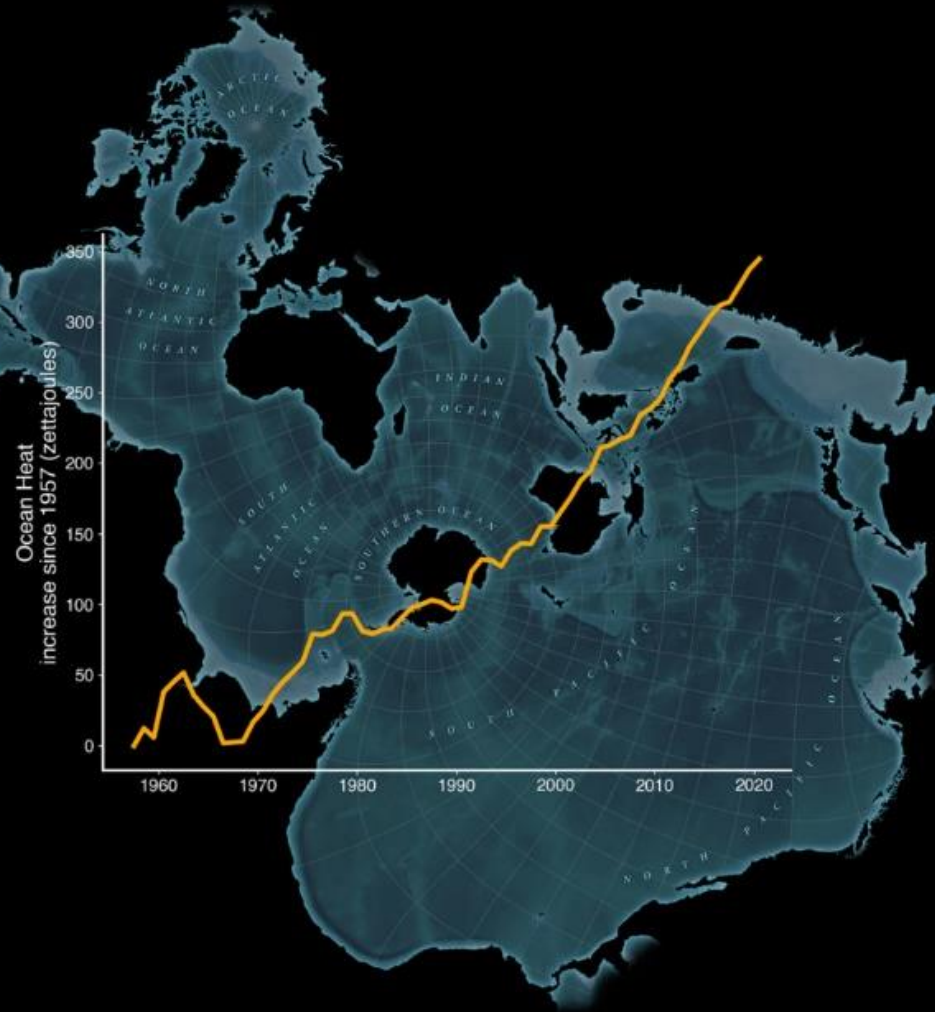
Nell'inverno artico, la temperatura può scendere fino a  $-58^{\circ}\text{C}$ , mentre in estate può arrivare a  $+10^{\circ}\text{C}$



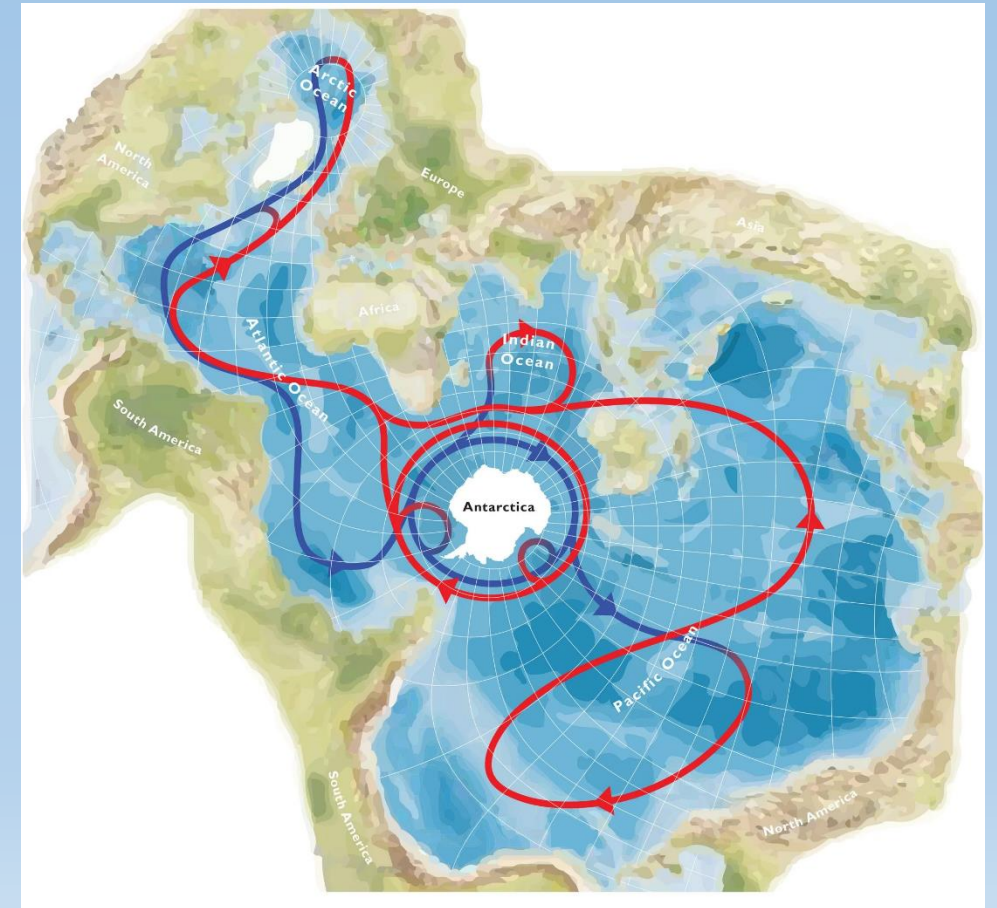
Le temperature medie dell'Antartide vanno da  $-70^{\circ}\text{C}$  in inverno a  $-15^{\circ}\text{C}$  nei mesi più caldi.

# Caratteristiche fisiche degli oceani

Spilhaus World Ocean Map



- Viene ribaltato il punto di vista delle rappresentazioni classiche;
- L'Antartide è al centro e gli oceani appaiono chiusi dalle linee di costa dei continenti;
- Il colpo d'occhio è un'unica enorme massa blu;



# Caratteristiche fisiche degli oceani

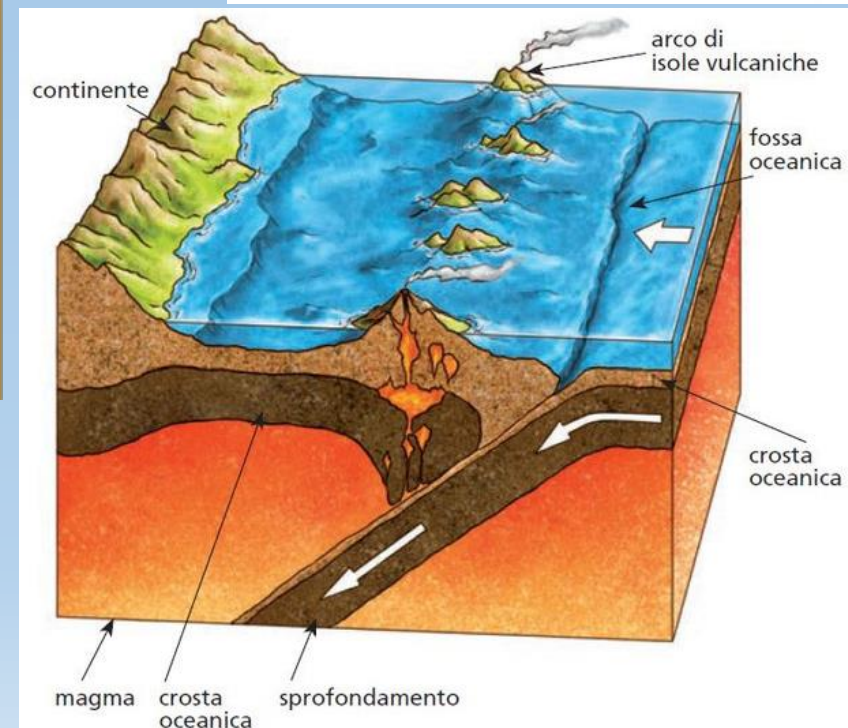
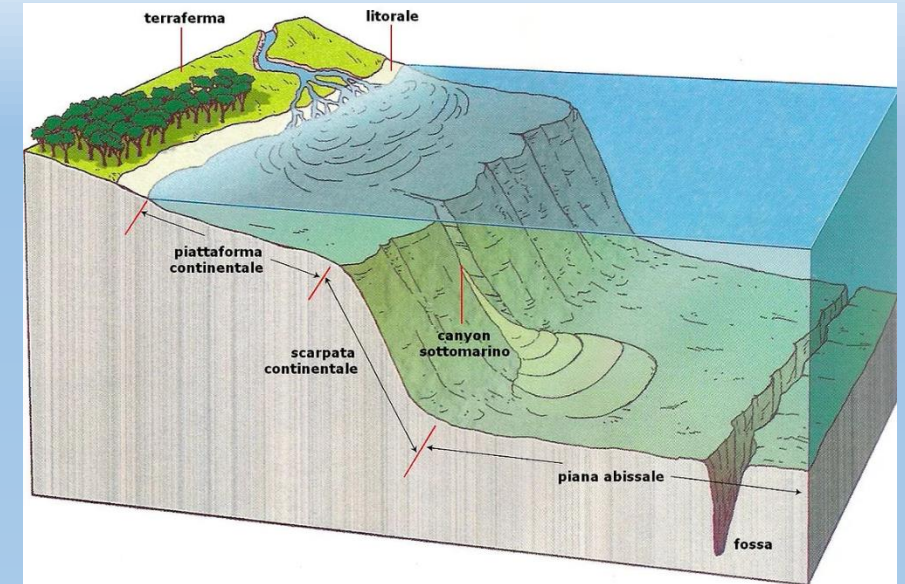
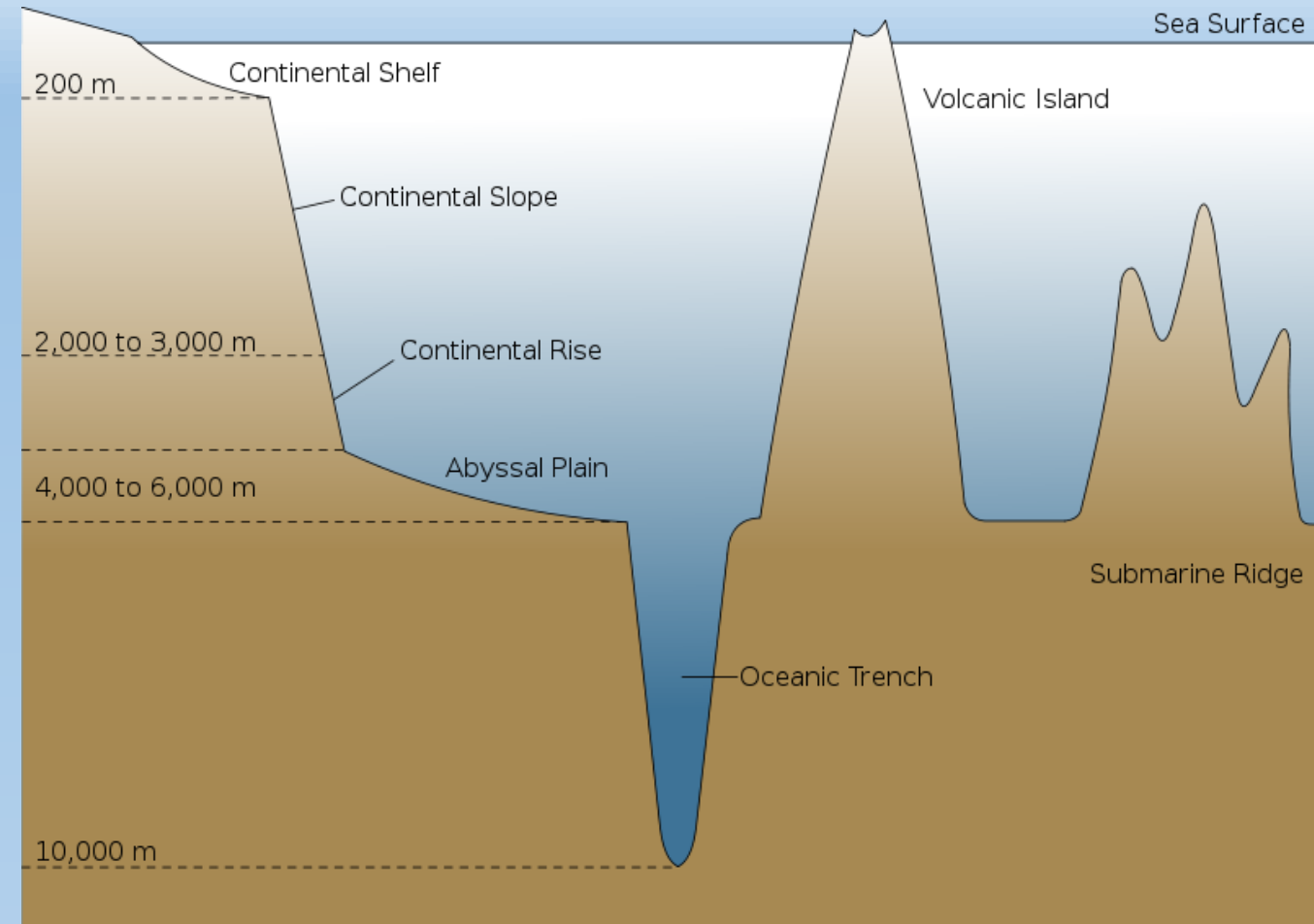


“How inappropriate to call this planet Earth when it is clearly Ocean.”

— Arthur C. Clarke, *Nature*, 8 March 1990

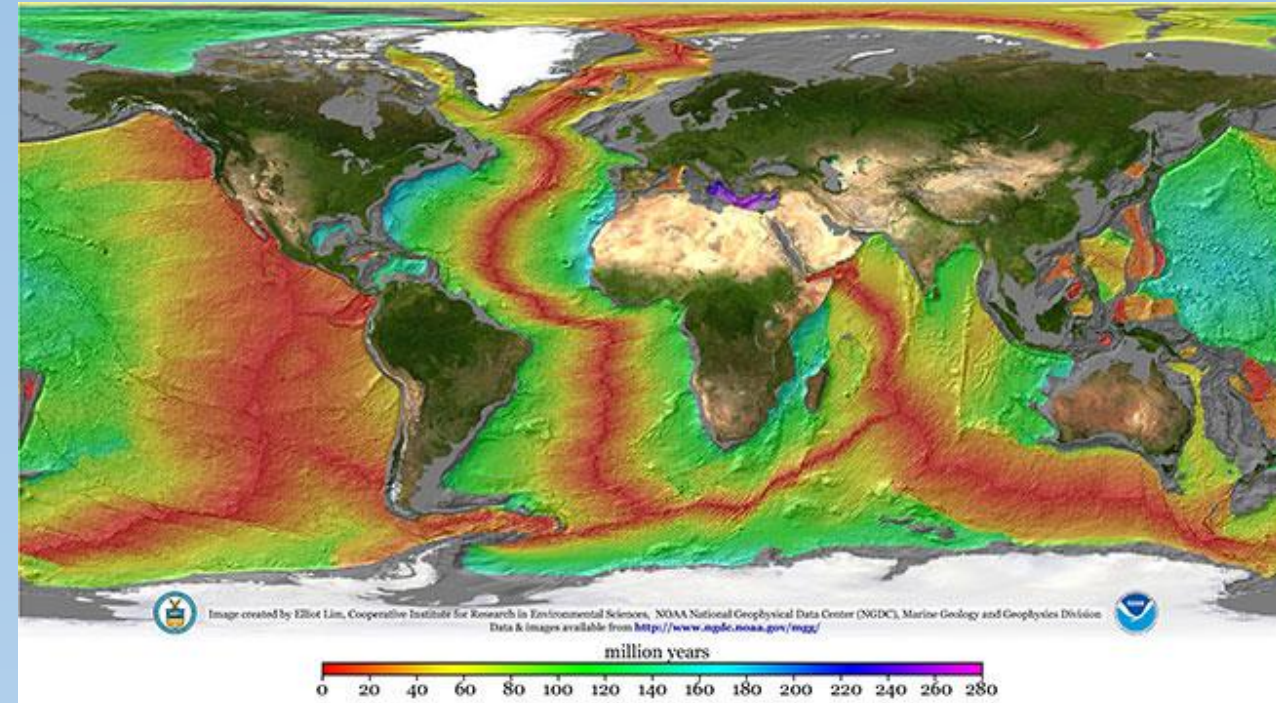
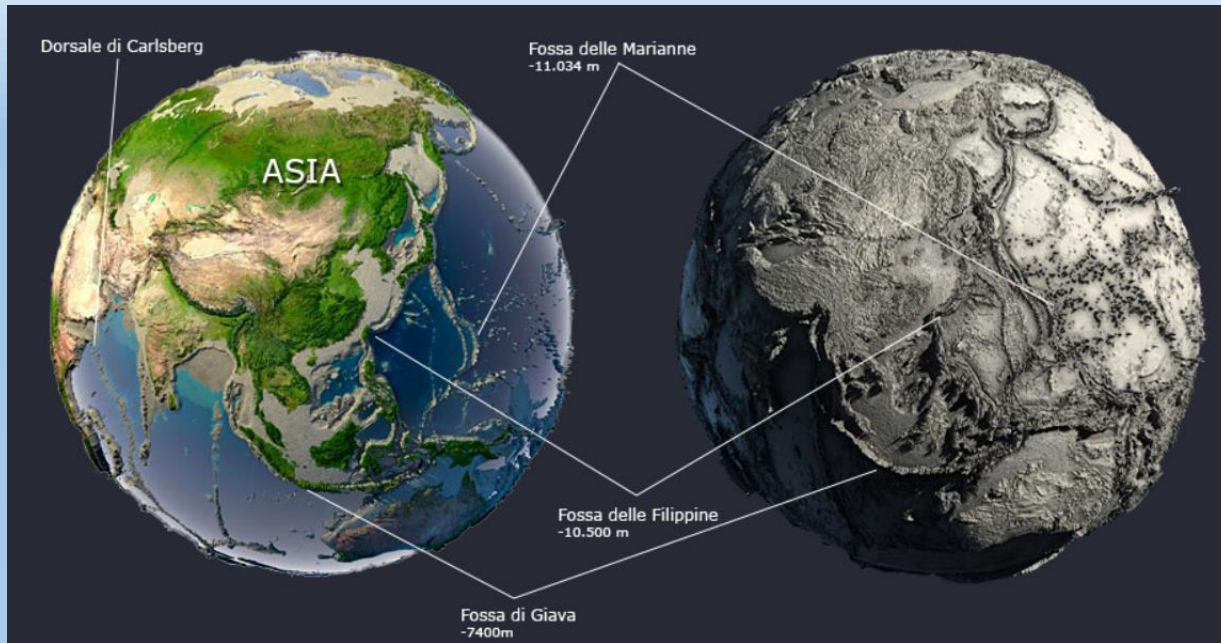
GOES-7 satellite image of the Pacific Ocean, North and South America, and Hurricane Andrew, August 25, 1992. Image credit: NASA/JPL/GSFC

# Caratteristiche morfologiche degli oceani



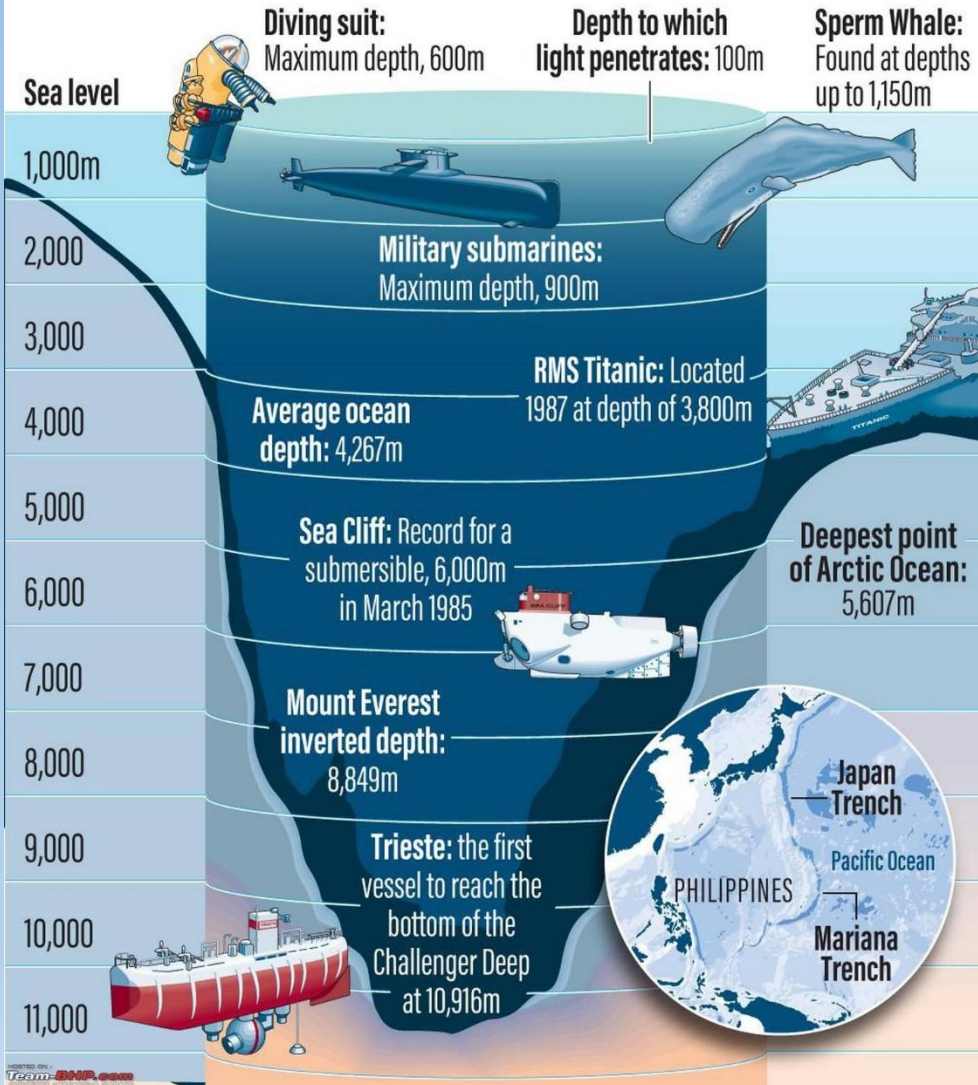
- ✓ La crosta oceanica si rinnova continuamente grazie a processi di **espansione** e **subduzione** in un processo che dura 180-190 milioni di anni;
- ✓ La crosta continentale è molto più antica con rocce di 4 miliardi di anni fa.

# Caratteristiche morfologiche degli oceani



# Caratteristiche fisiche degli oceani

## THE MARIANA TRENCH

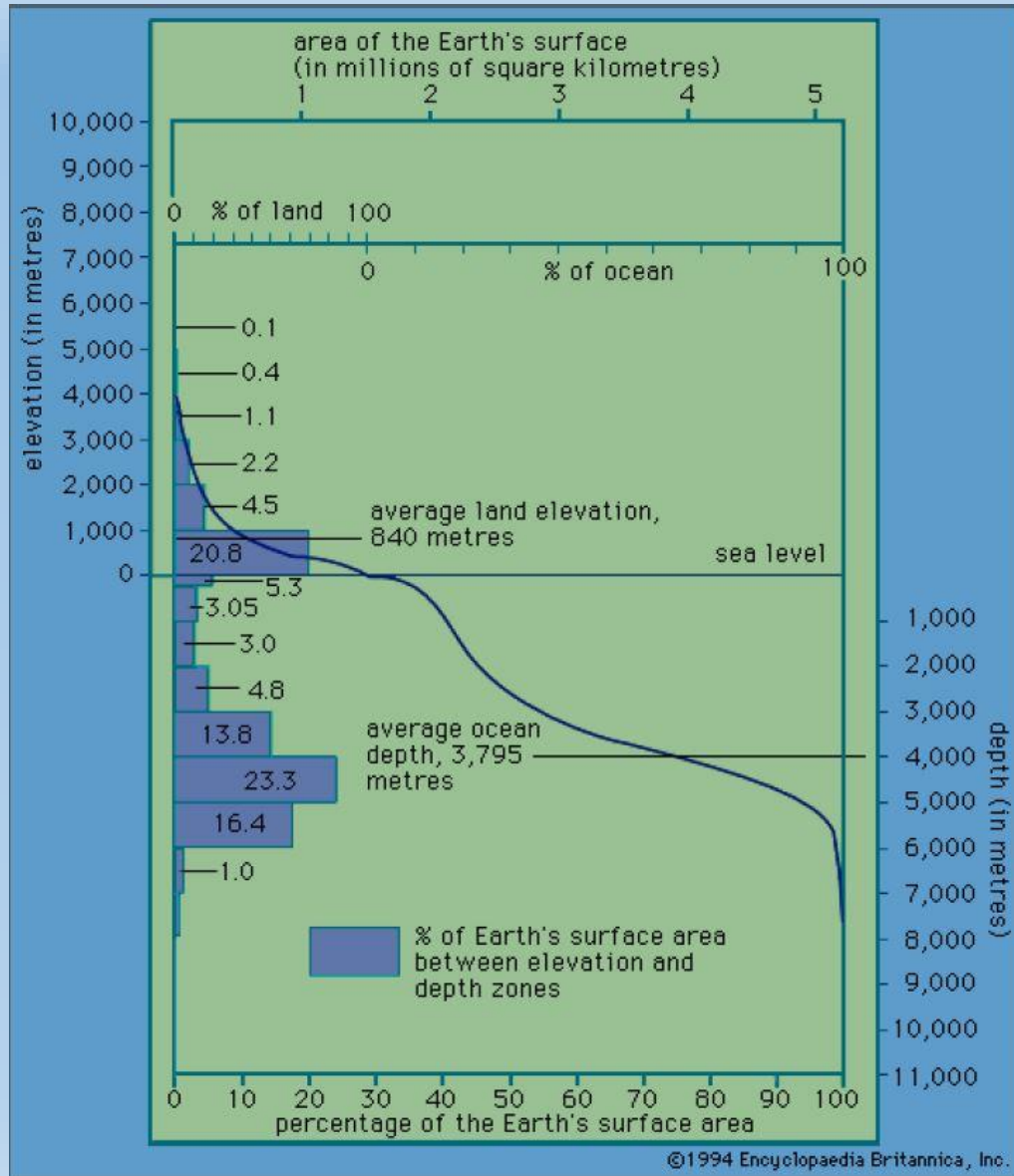


23 gennaio 1960

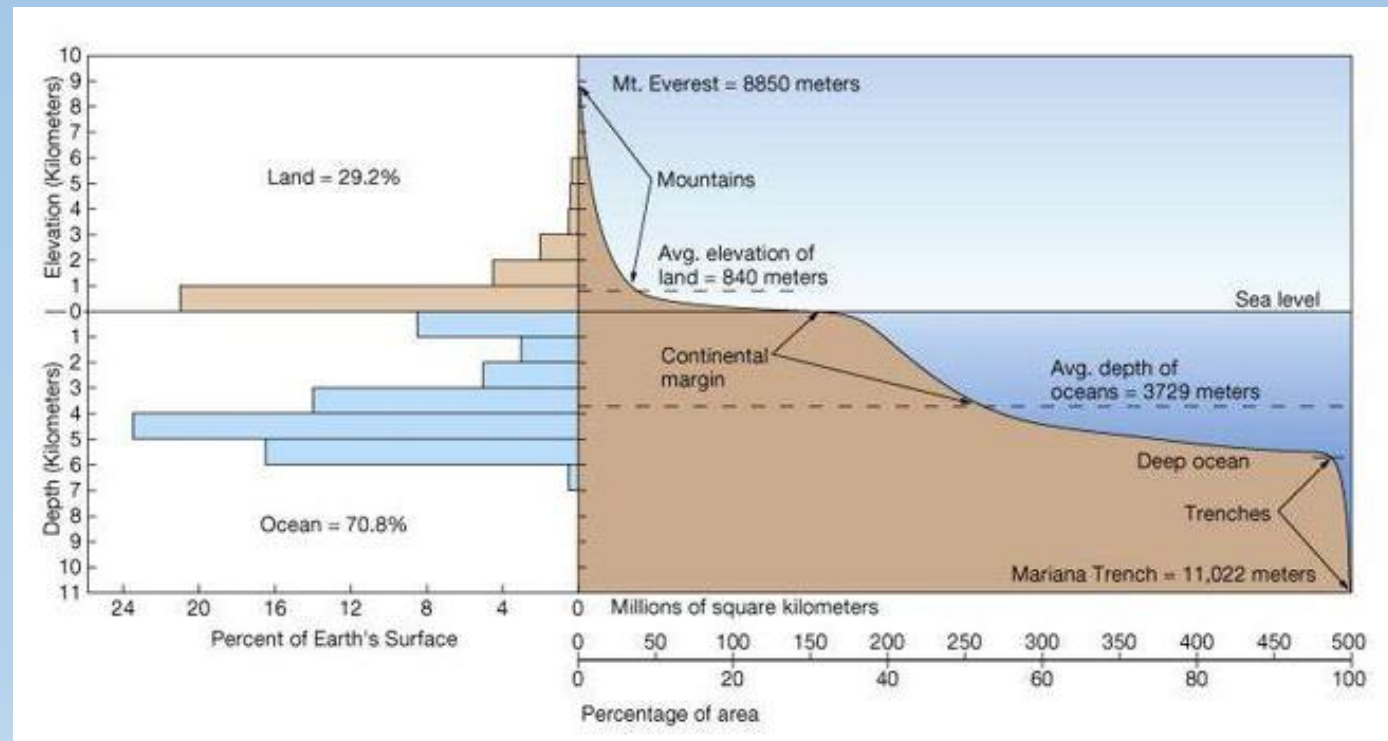


- ✓ Il batiscafo *Trieste* fu ideato dallo scienziato svizzero Auguste Piccard;
- ✓ La costruzione del batiscafo venne eseguita a Trieste, dai Cantieri Riuniti dell'Adriatico, ed a Castellammare di Stabia, dove la sfera fu saldata allo scafo. Il *Trieste* venne acquistato dalla Marina Americana nel 1958.

# Caratteristiche fisiche degli oceani

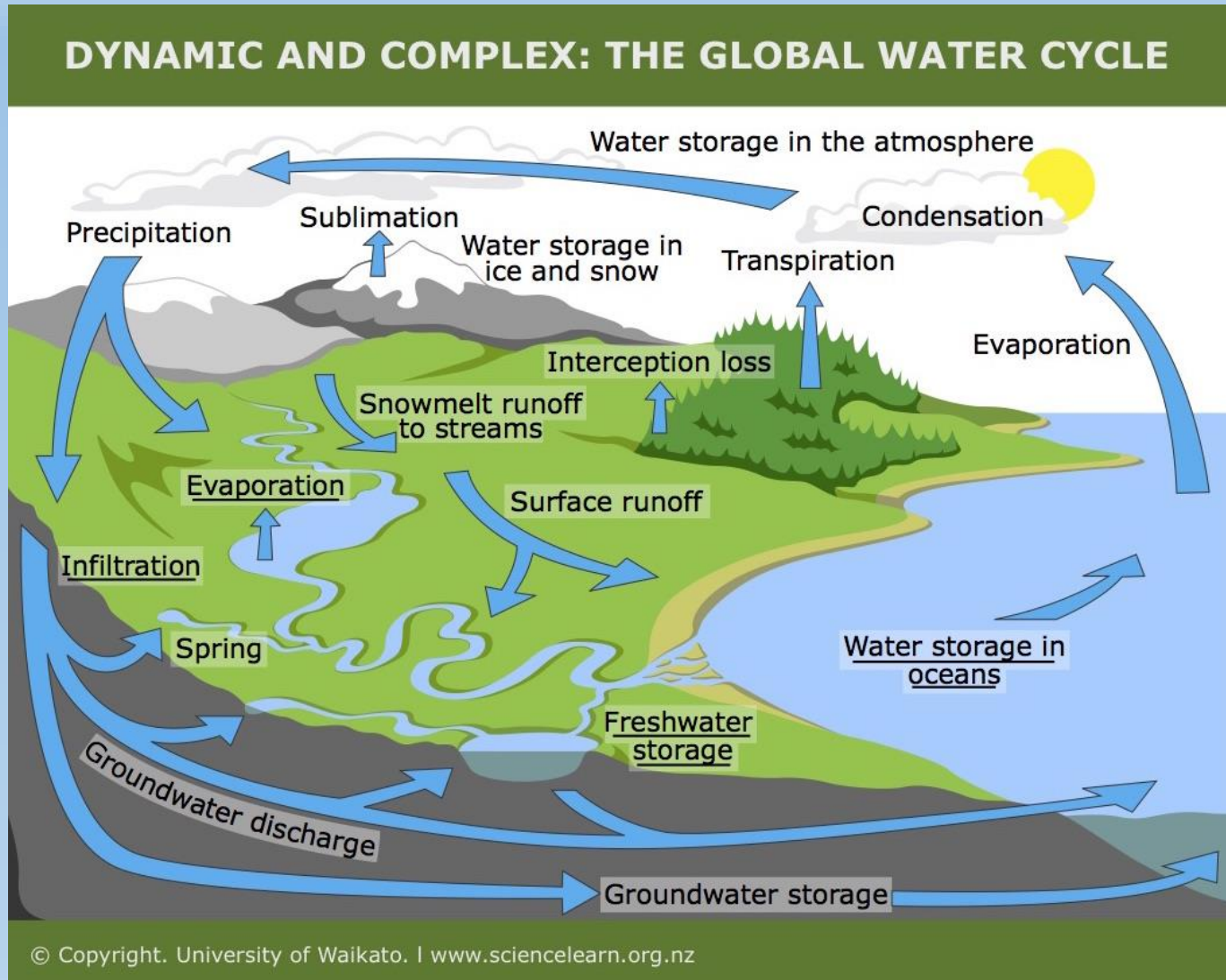


- ✓ Una **curva ipsometrica** è un istogramma o una funzione di distribuzione empirica dei prospetti per un'area geografica. L'**ipsometria** è la misura dell'elevazione del terreno rispetto al livello del mare.

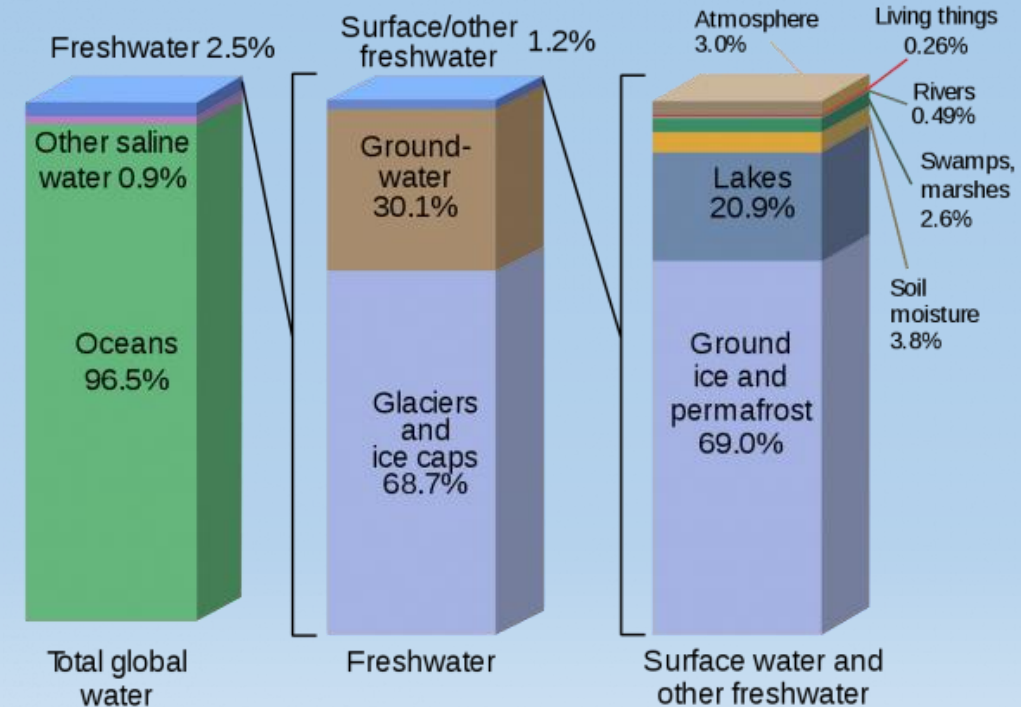


# Idrosfera

- ✓ Per **IDROSFERA** si intende l'insieme delle acque presenti nei vari stati di aggregazione (solido, liquido, gassoso) sul nostro pianeta, dal sottosuolo alla superficie fino agli strati dell'atmosfera (vapore acqueo atmosferico, acque del sottosuolo, laghi, fiumi, le calotte polari e gli oceani).



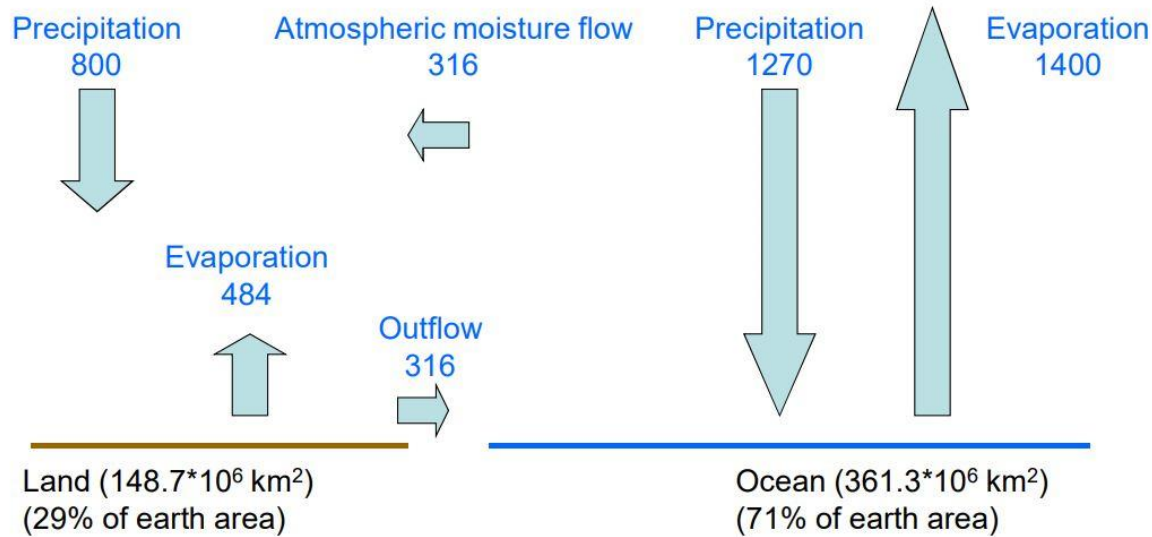
## Where is Earth's Water?



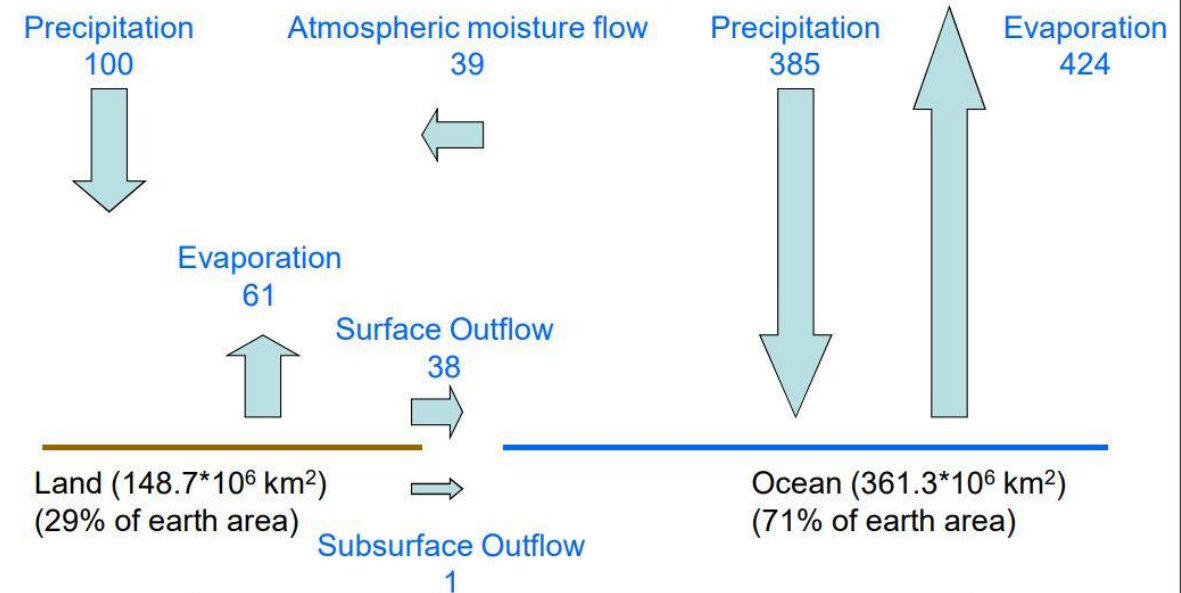
# Bilancio idrico globale

- ✓ Rapporto tra l'afflusso e il deflusso di acqua stimato per diverse scale spaziali e temporali, per un periodo a lungo termine o per particolari anni e stagioni.
- ✓ Il bilancio idrico è la più importante caratteristica **fisiografica** di un territorio, che determina il suo clima specifico, i paesaggi tipici, la possibile gestione dell'acqua e l'uso del suolo.

## Global Water Balance (mm/yr)



## Global Water Balance (Volumetric)



Units are in volume per year relative to precipitation on land ( $119,000 \text{ km}^3/\text{yr}$ ) which is 100 units

# Bilancio idrico globale

Water volumes (m<sup>3</sup>), their percentage of the total, and their sea level equivalents for the ocean, ice sheets, and glaciers; groundwater, lakes, and rivers; and the atmosphere.



|                                                   | Water volume                                        | Percentage | Sea Level Equivalent |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------|----------------------|
| <b>Ocean<sup>1</sup></b>                          | $1.3324 \times 10^{18} \text{ m}^3$                 | 96.5%      | 3,682 m              |
| <b>Ice sheets, glaciers, and snow<sup>2</sup></b> | $2.406 \times 10^{16} \text{ m}^3$                  | 1.7%       | 66 m                 |
| <b>Groundwater, lakes, and rivers<sup>2</sup></b> | $2.359 \times 10^{16} \text{ m}^3$                  | 1.7%       | 65 m                 |
| <b>Atmosphere<sup>2</sup></b>                     | $1.29 \times 10^{13} \text{ m}^3$                   | 0.001%     | 0.04 m               |
| <b>Total</b>                                      | <b><math>1.38 \times 10^{18} \text{ m}^3</math></b> |            |                      |

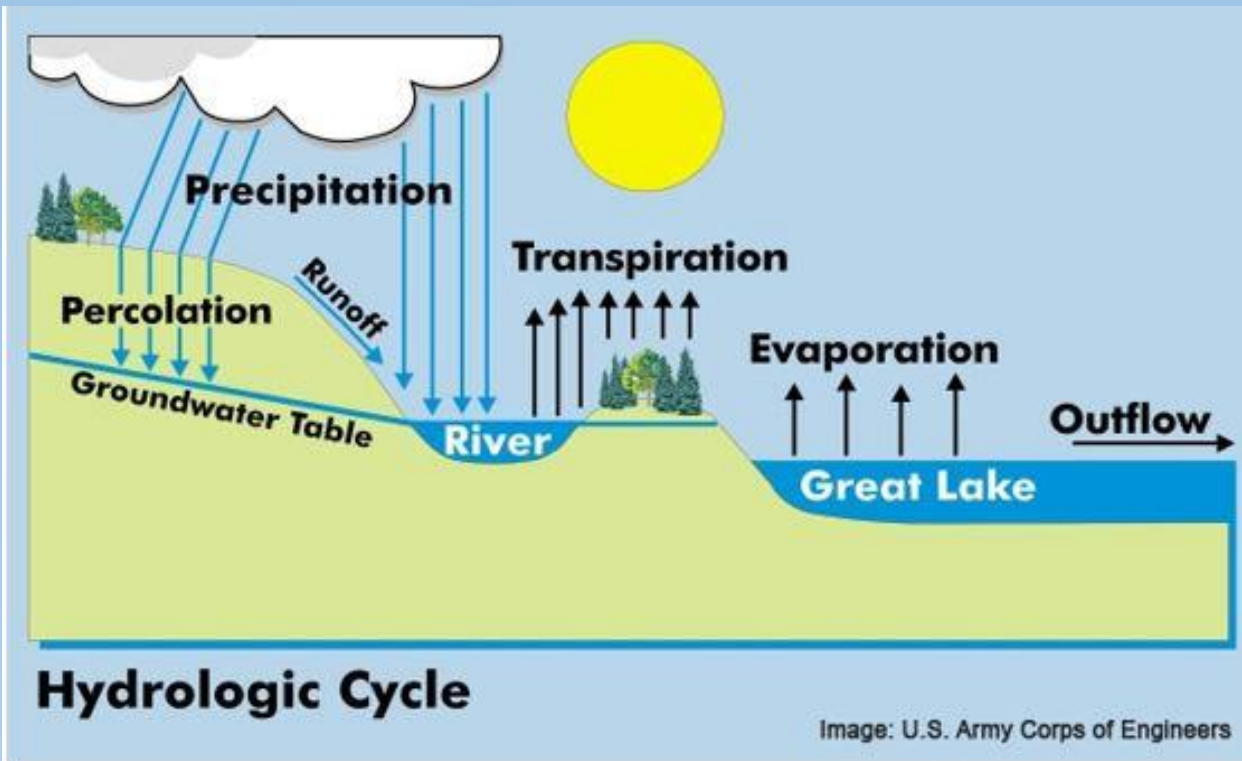
<sup>1</sup> Charrette and Smith (2010). <sup>2</sup> Gleick (1993).

Schmitt, R.W. 2018. The ocean's role in climate. Oceanography 31(2):32–40, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2018.225>.

- 0.001% dell'acqua viene immagazzinato dall'atmosfera;
- Vapore acqueo;
- Nuvole (condensano il vapore acqueo).

# Bilancio idrico globale: conservazione della massa

- ✓ I due processi che trasformano l'acqua dallo stato liquido a quello gassoso sono l'EVAPORAZIONE (90%) e la TRANSPIRAZIONE (10%);



Precipitazione (P)

Evaporazione (E)

Runoff (R)

In generale:

$$\text{INFLOW (I)} - \text{OUTFLOW (O)} = \text{Net Balance}$$

In questo caso:

$$-(P - E) = \text{Net Balance}$$



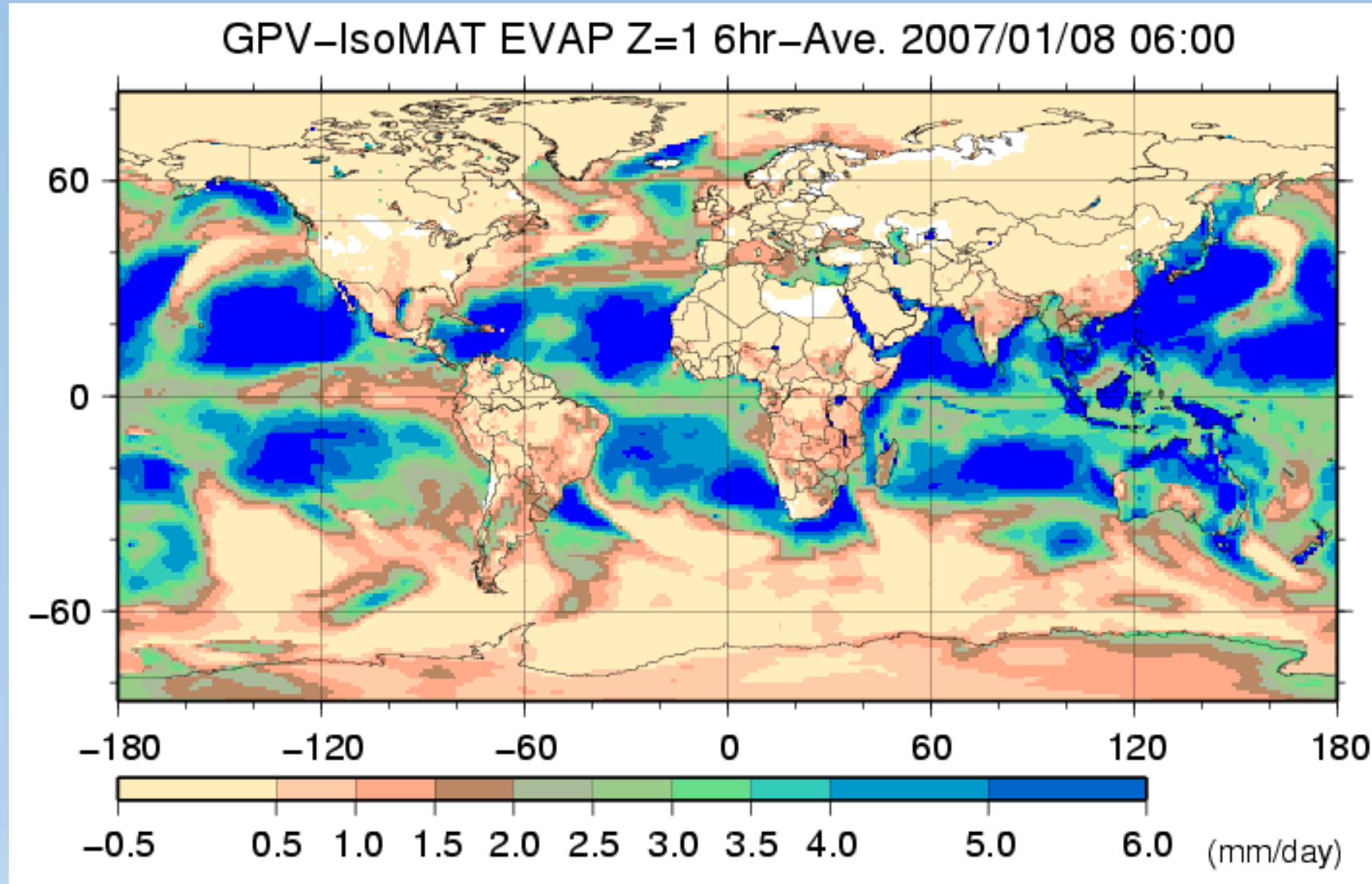
$$E - P = \text{Net Balance}$$



Questo bilancio viene anche chiamato **Equazione di Continuità** o di Bilancio della Massa

# Evaporazioni

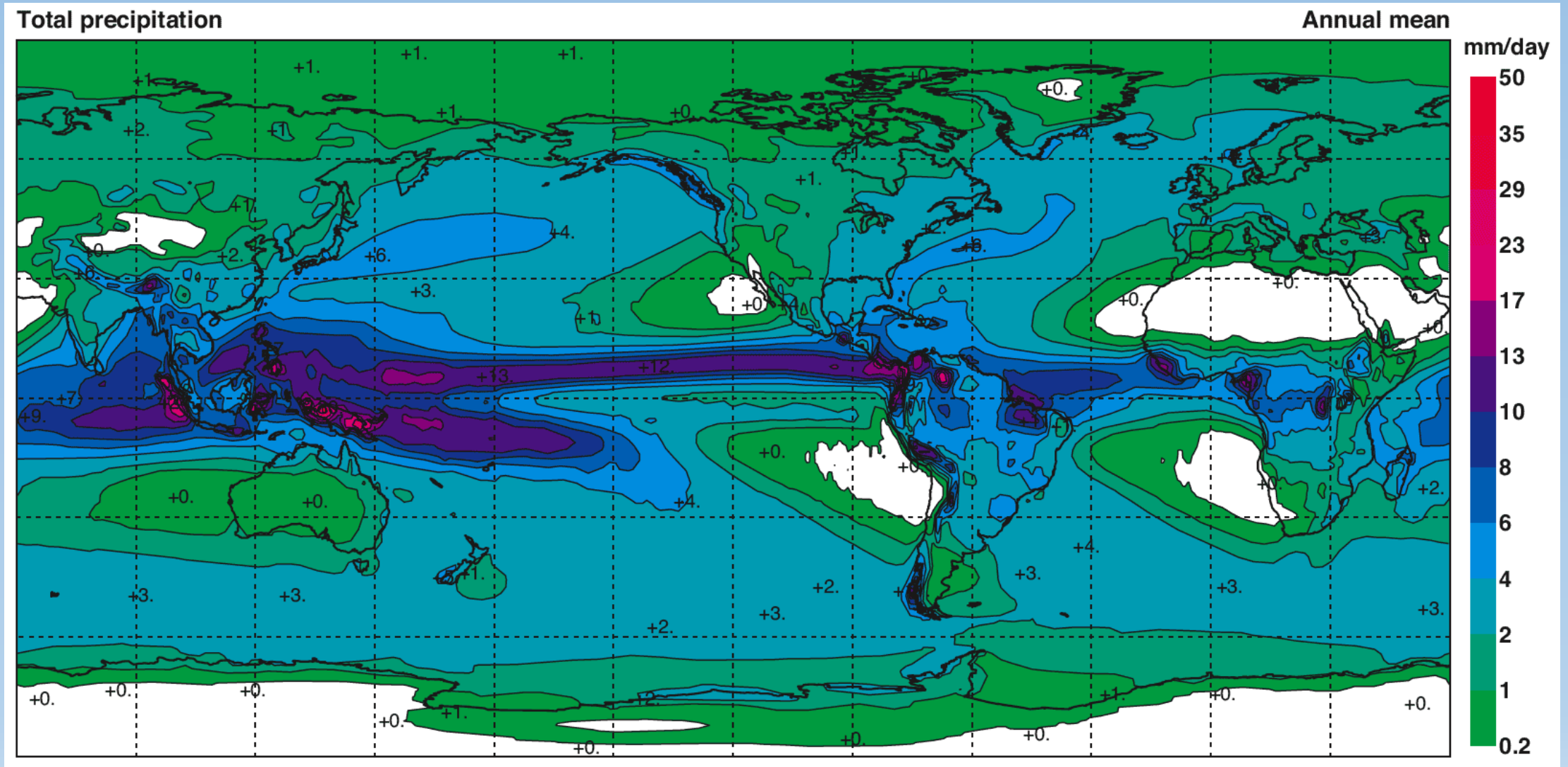
Principale meccanismo di trasporto dell'acqua dalla superficie della Terra all'atmosfera



E' prevalente sugli oceani!!

# Precipitazioni

Principale meccanismo di trasporto dell'acqua dall'atmosfera sulla superficie terrestre

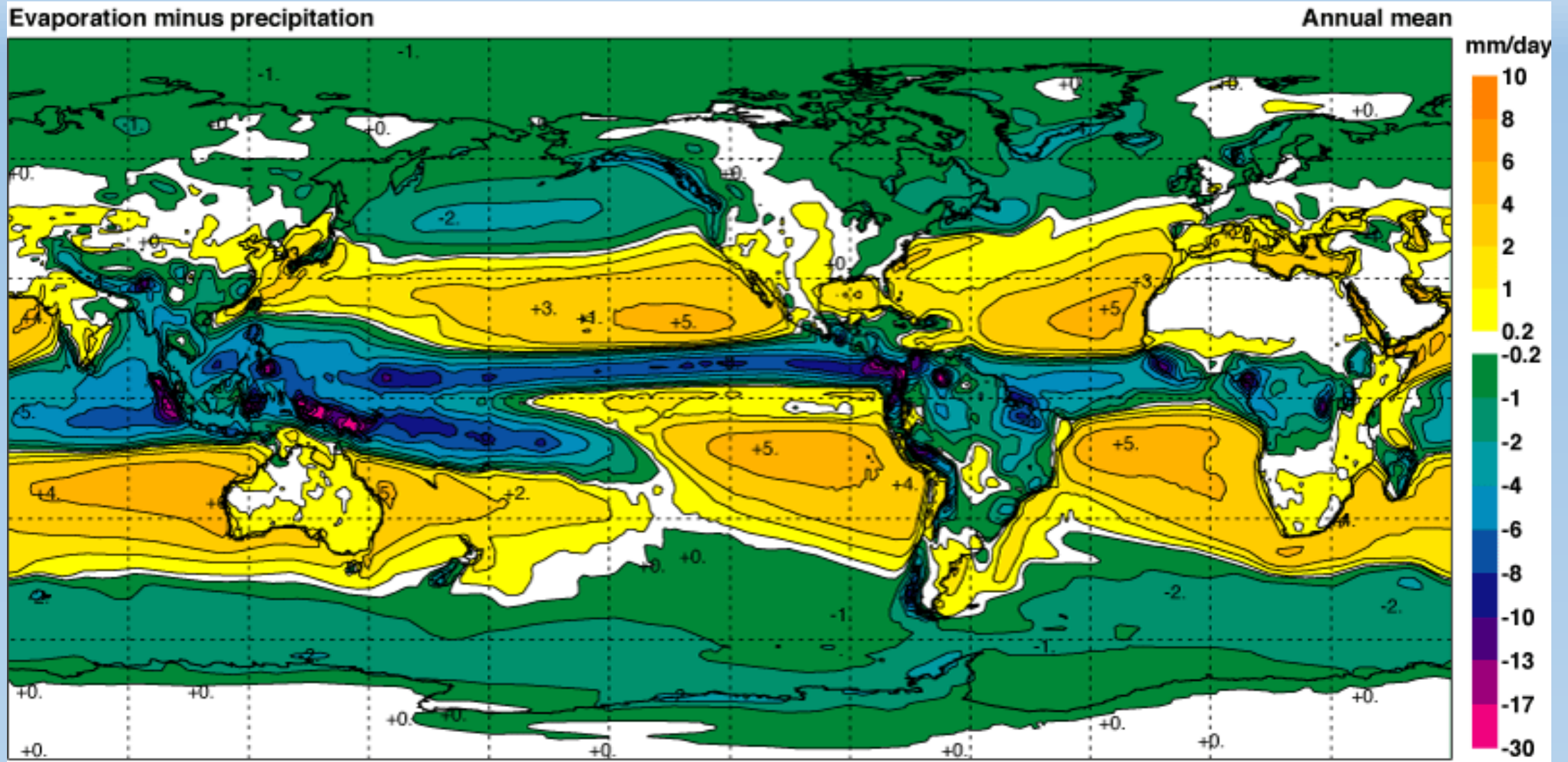


E' prevalente nelle regioni tropicali.

# Evaporazione & Precipitazione

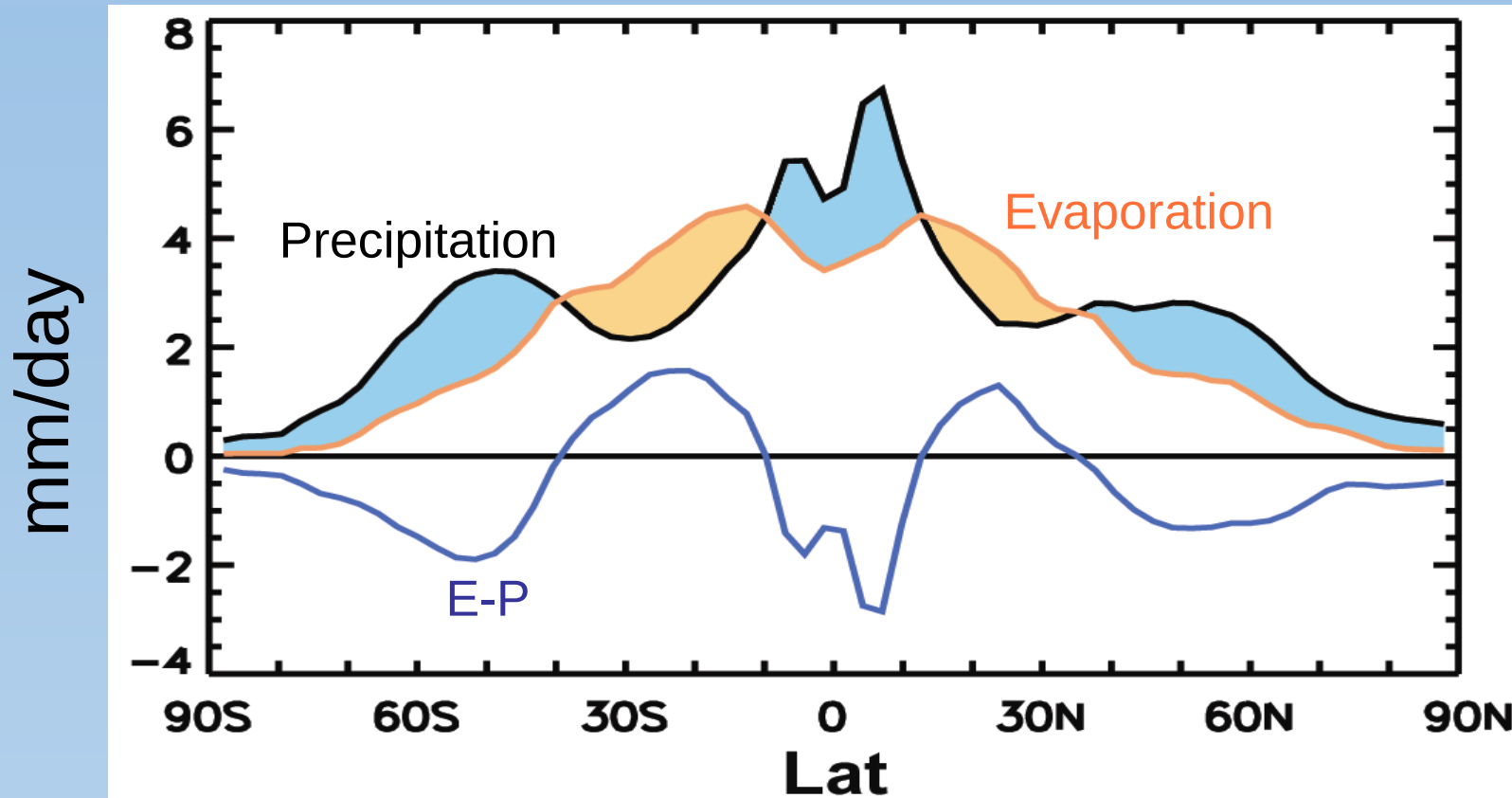
- ✓ L'EVAPORAZIONE è il processo attraverso cui un liquido viene trasformato in un gas;
- ✓ L'EVAPORAZIONE cessa quando un gas raggiunge la saturazione;
- ✓ Una netta EVAPORAZIONE si ottiene quando il tasso di evaporazione eccede quello di condensazione;
- ✓ Questo fenomeno rimuove calore dall'ambiente creando un netto RAFFREDDAMENTO;
- ✓ Le PRECIPITAZIONI derivano dal vapore che si accumula o congela nell'atmosfera e, sotto l'effetto della gravità, cade sulla superficie terrestre (pioggia, neve, grandine, rugiada e brina).
- ✓ Sul suolo le PRECIPITAZIONI sono maggiori dell'EVAPORAZIONE;
- ✓ Sugli oceani le EVAPORAZIONI sono maggiori delle precipitazioni;
- ✓ Il 10% dell'acqua evaporata dagli oceani viene trasportata sulla terra e cade sotto forma di precipitazioni.

# Bilancio idrico globale netto



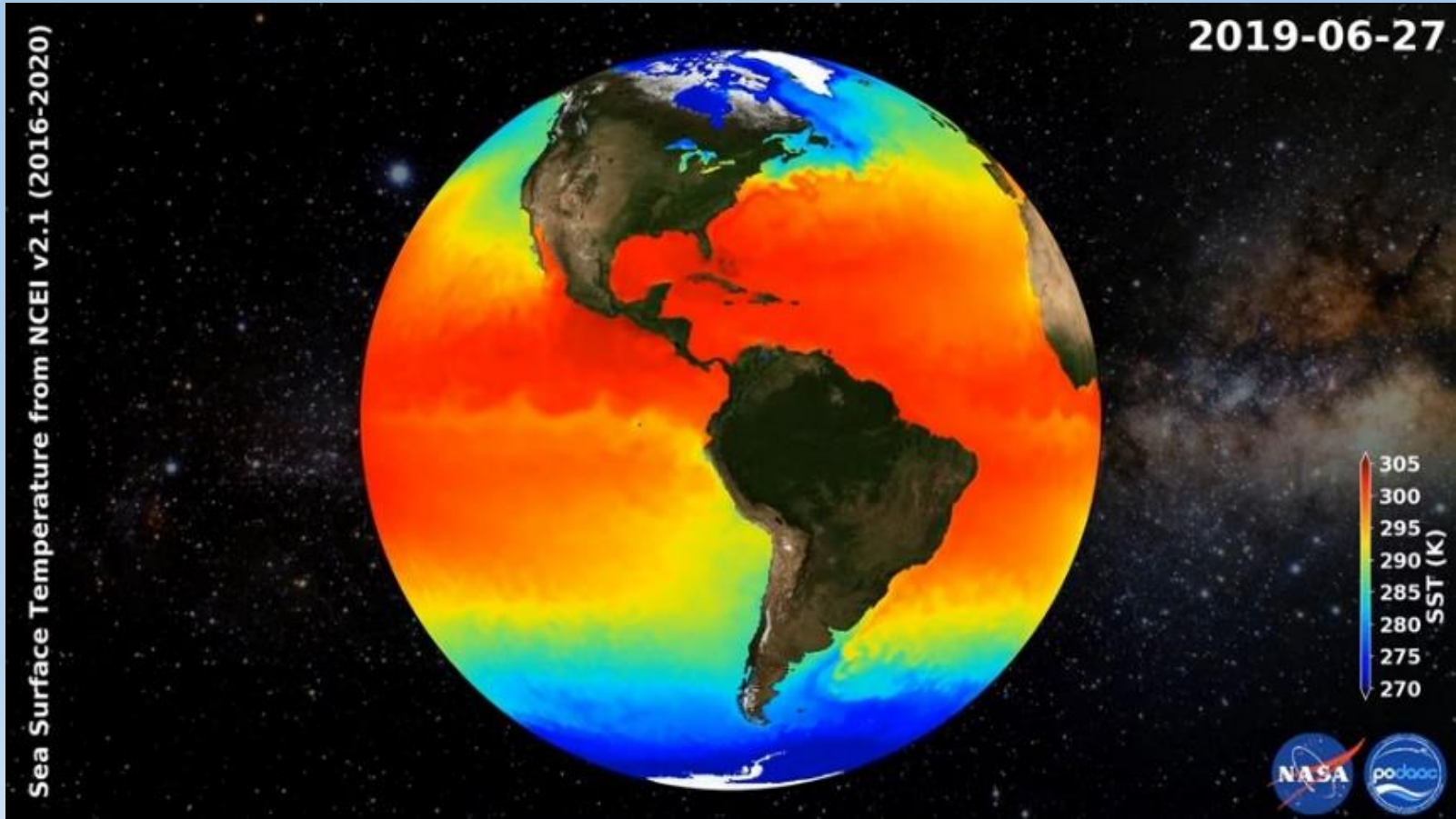
Evaporazioni – Precipitazioni (E-P)

# Bilancio idrico globale netto



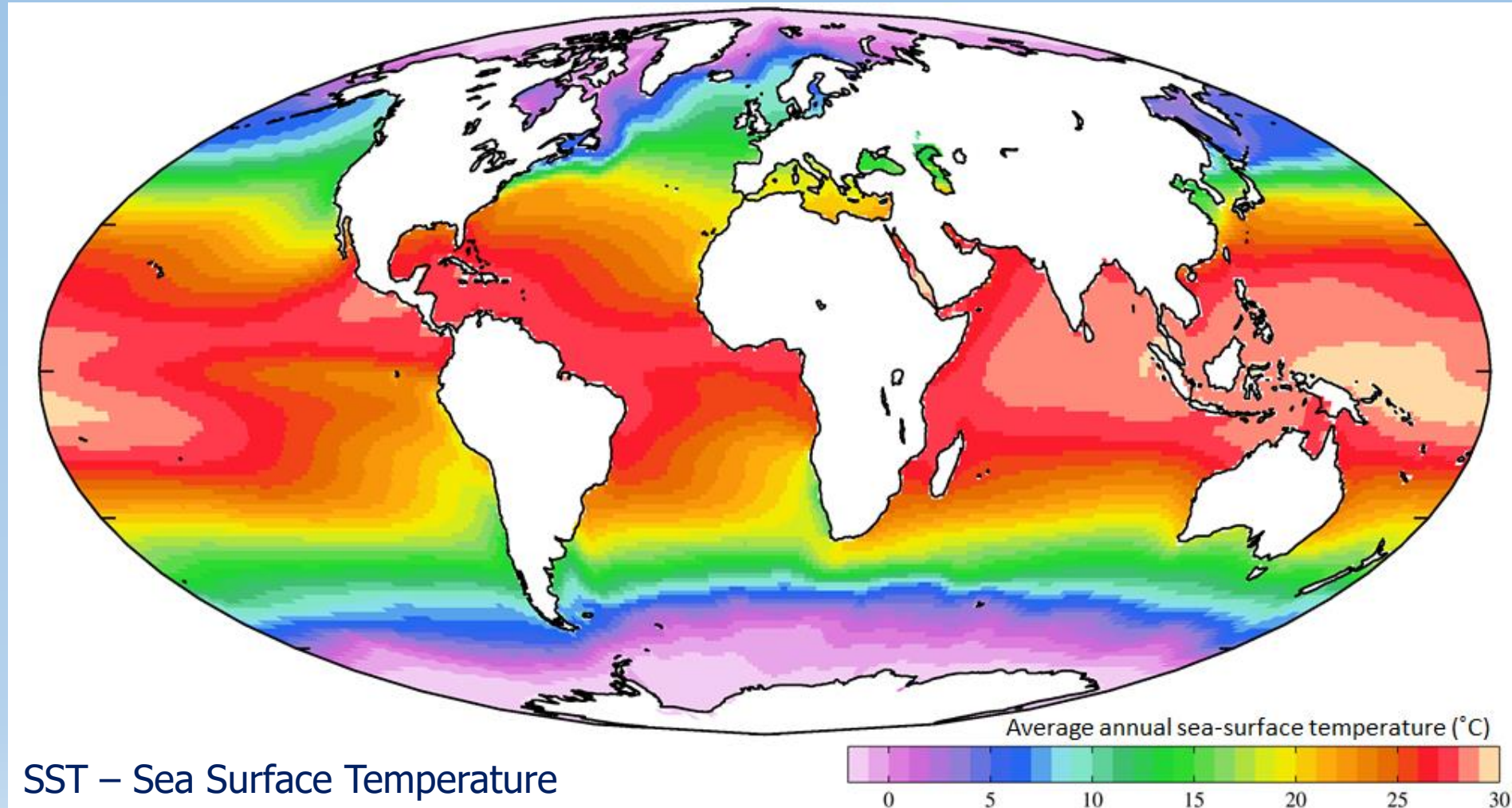
- Nelle aree colorate di blu prevalgono le precipitazioni (Equatore ed alte latitudini);
- Nelle aree colorate di arancione prevale l'evaporazione (medie latitudini).

# Proprietà fisiche dell'acqua di mare



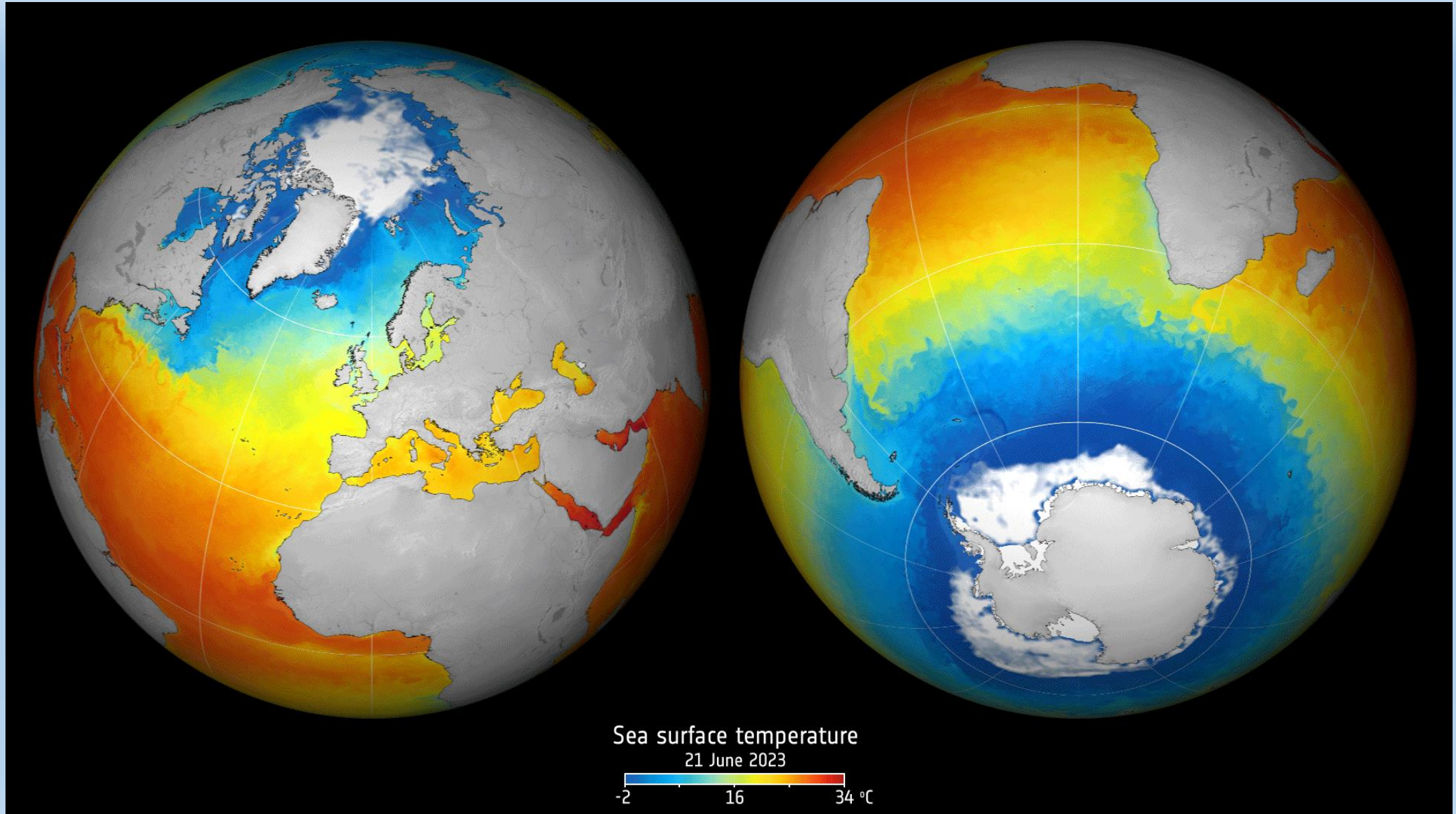
# Temperatura

- ✓ La distribuzione di temperatura (**T**) sulla superficie terrestre varia con la latitudine e con le stagioni;
- ✓ Le **T** superficiali variano da -2°C a 30°C;
- ✓ Prima dell'avvento dei satelliti era impossibile monitorare le variazioni stagionali o inter-annuali su vaste aree.
- ✓ A latitudini equivalenti, i margini occidentali degli oceani tendono ad essere più caldi dei margini orientali.

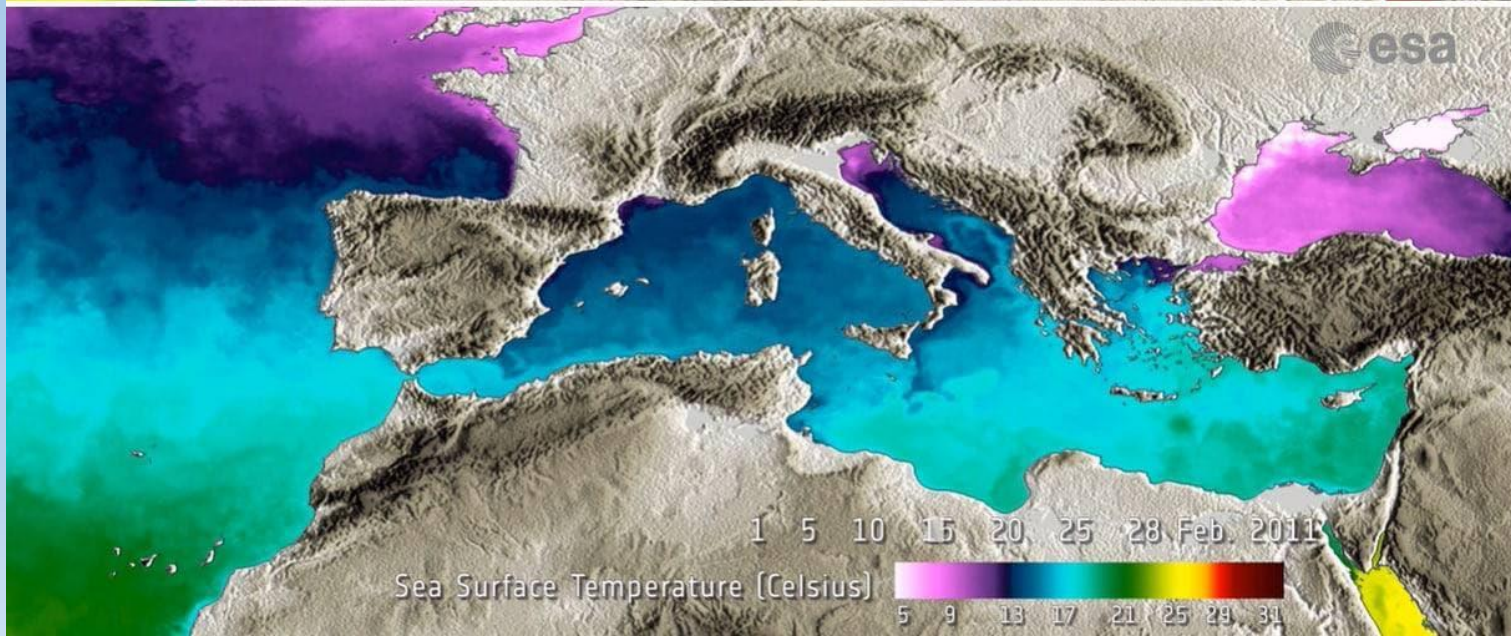
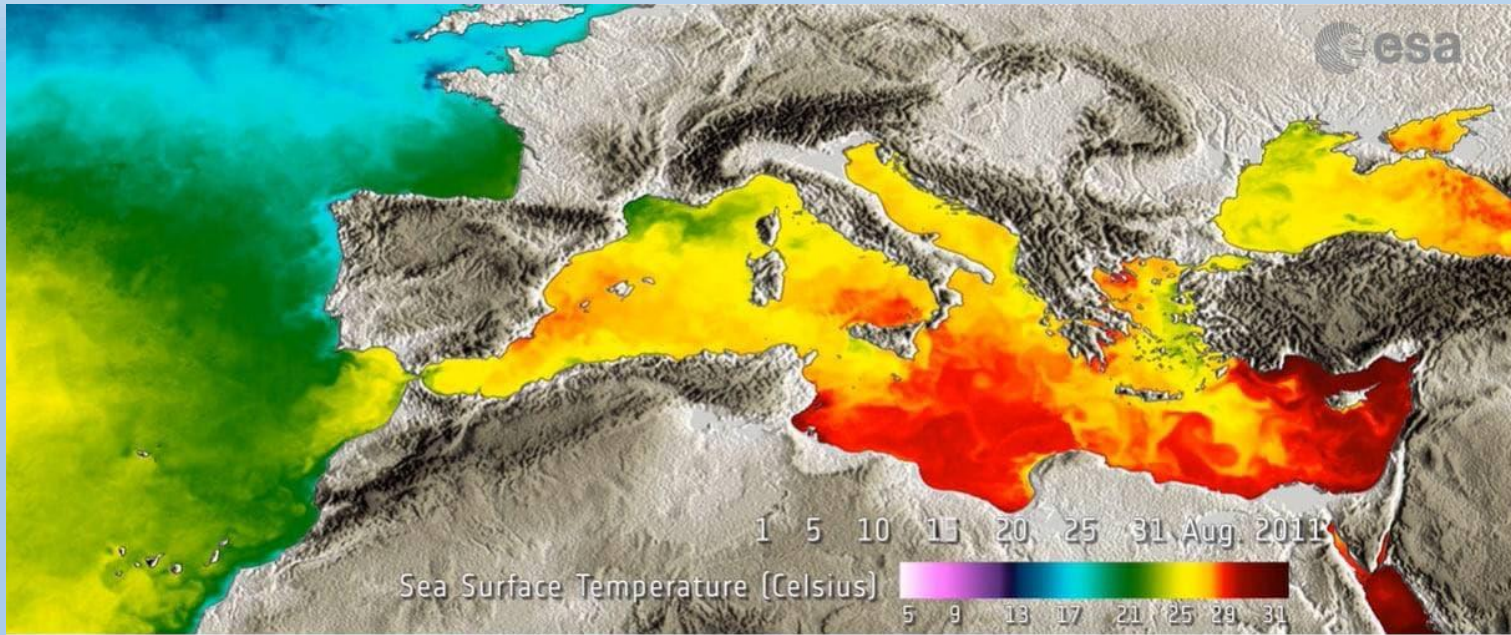


Global average annual sea surface temperature (Stephen Earle, "Physical Geology").

# Temperatura: variabilità stagionale

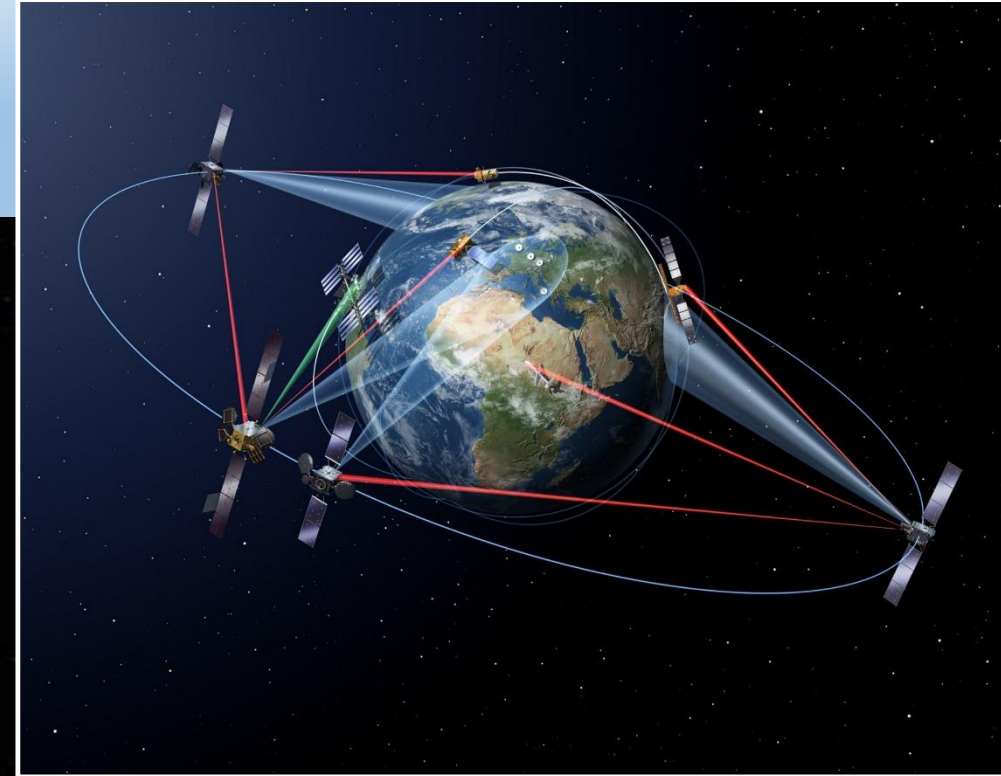


# Temperatura del Mediterraneo



- Le temperature più **alte** si registrano in estate lungo le **coste africane e turche** (fino a 30-31°C);
- Le temperature più **basse** si registrano in inverno nel **Nord del Mare Adriatico** (temperatura media a febbraio di 5°C);
- Nel Mediterraneo c'è un'escursione di circa 10°C tra le temperature medie invernali ed estive.

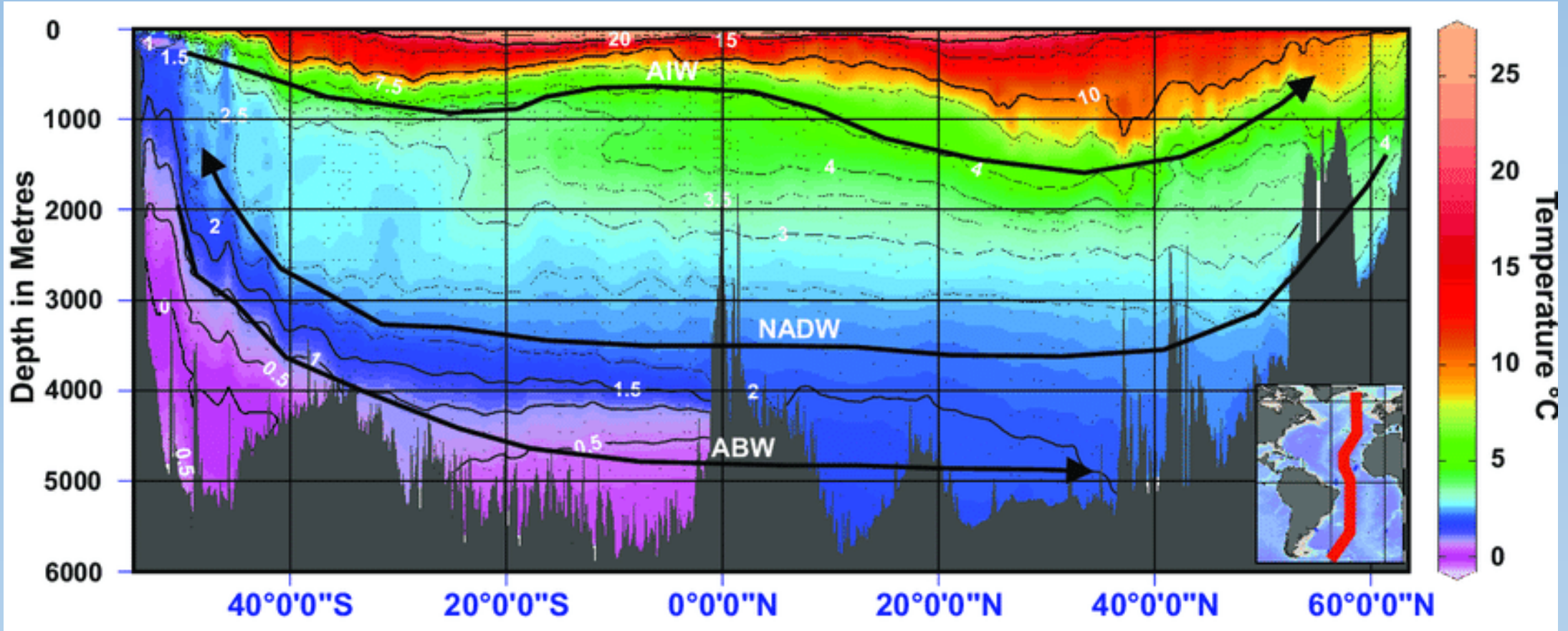
# Satellite data



**SST** misurata dallo spazio  
mediante  
la radiometria termica a  
infrarossi o  
la radiometria passiva  
a microonde.

# Distribuzione di Temperatura con la profondità

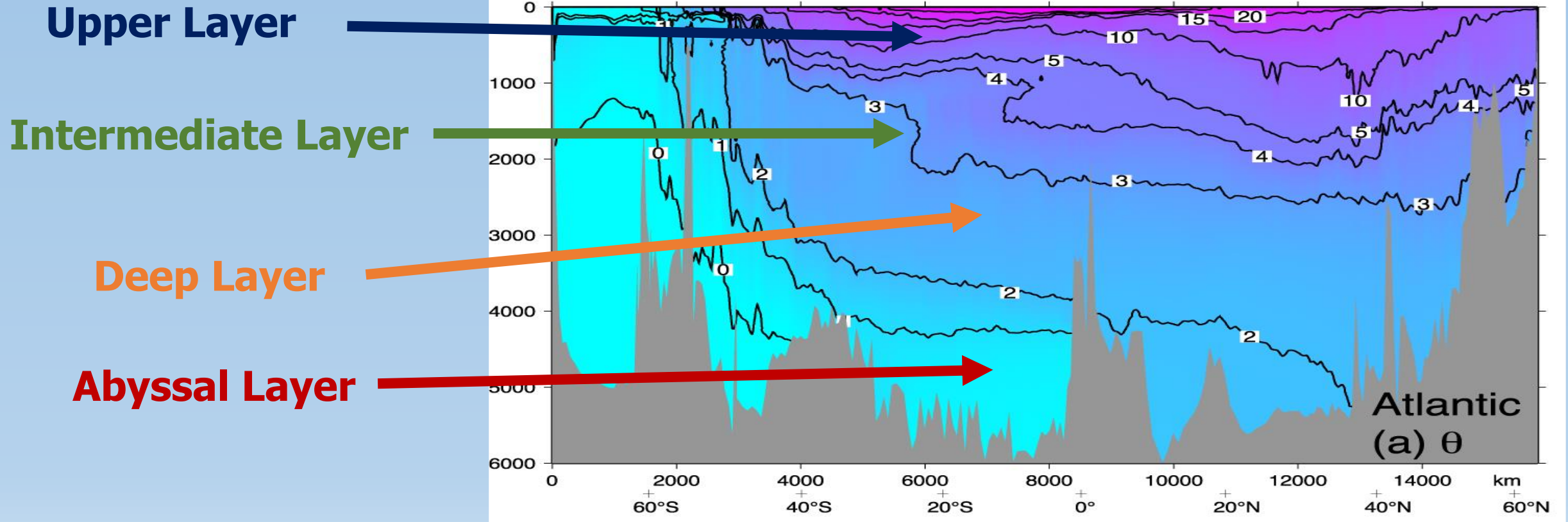
- ✓ La temperatura media all'interno dell'oceano è di circa 4°C;
- ✓ L'acqua di mare congela ad una temperatura di -1.91 °C.



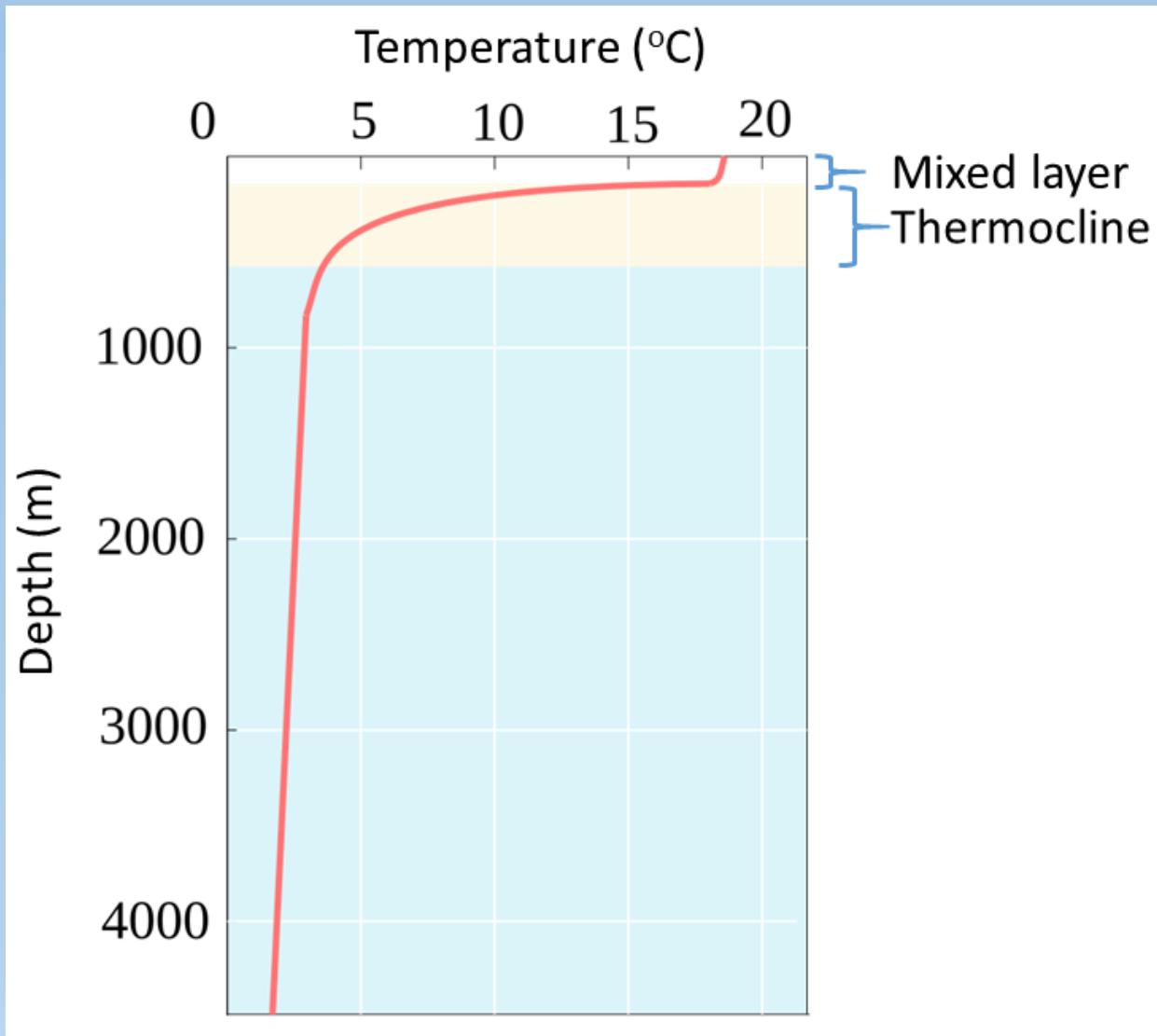
Cross section of the potential temperature of the Atlantic Ocean basin from ~55°S-65°N (map inset). ABW -Antarctic Bottom Water, NADW -North Atlantic Deep Water, AIW -Antarctic Intermediate Water and warm surface currents. Adapted from Schlitzer, (2003).

# Temperature distribution with depth

## Ocean Layers

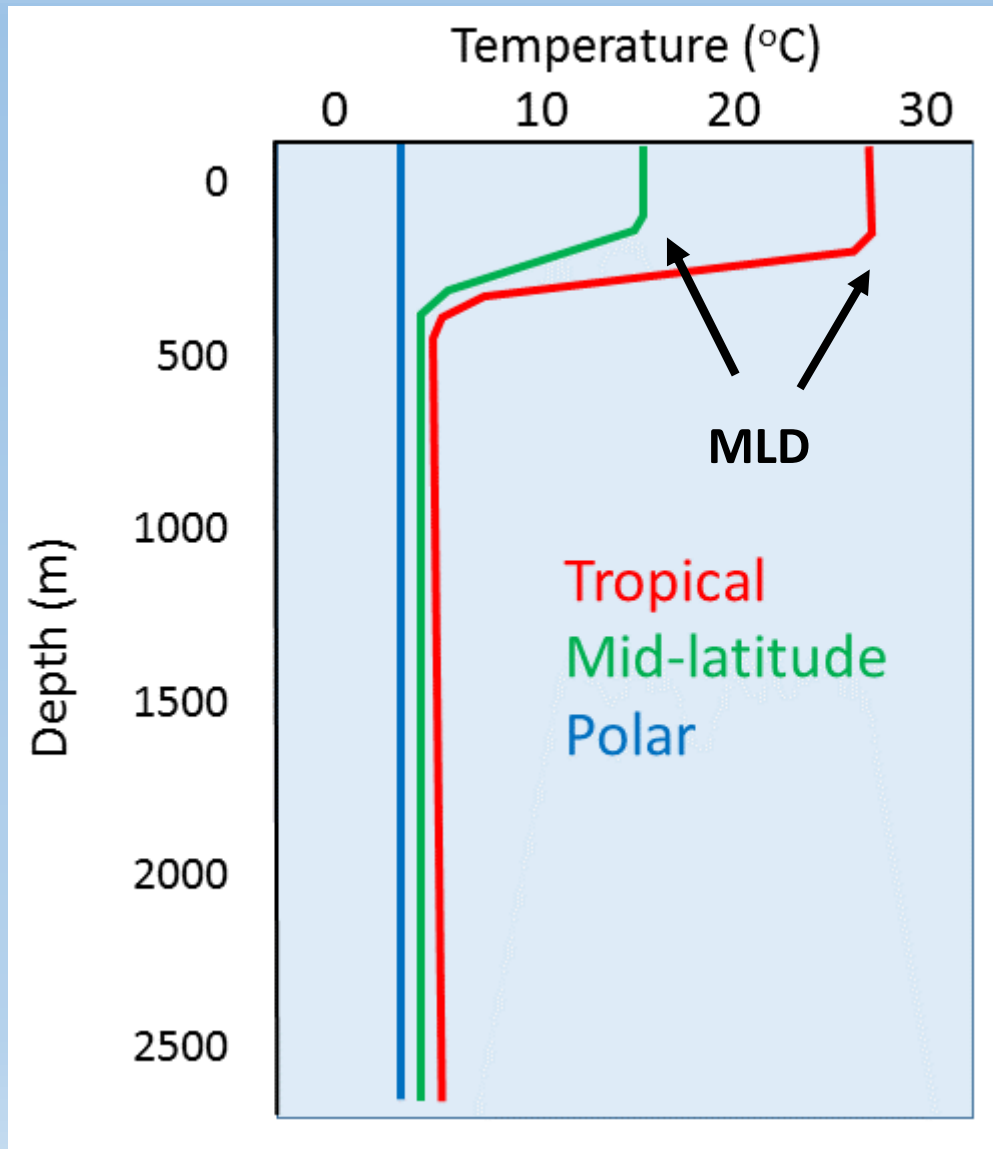


# Distribuzione di Temperatura con la profondità



- ✓ Profilo verticale di temperatura tipico delle medie latitudini;
- ✓ **Mixed Layer**: 0-300 m di profondità; T è più alta poiché l'acqua è riscaldata dal sole; omogeneo e rimescolato per l'azione del vento delle onde e delle correnti;
- ✓ **Termoclino**: 300-1000 m di profondità; strato caratterizzato da una rapida diminuzione della temperatura con la profondità;
- ✓ **Intermediate Layer**: 1000-2000 m;
- ✓ **Deep Layer**: da 2000 m fino al fondo; strato in cui la T dell'oceano è abbastanza costante (~ 2°C).
- ✓ **Abyssal Layer**: dai 4000 m fino al fondo.

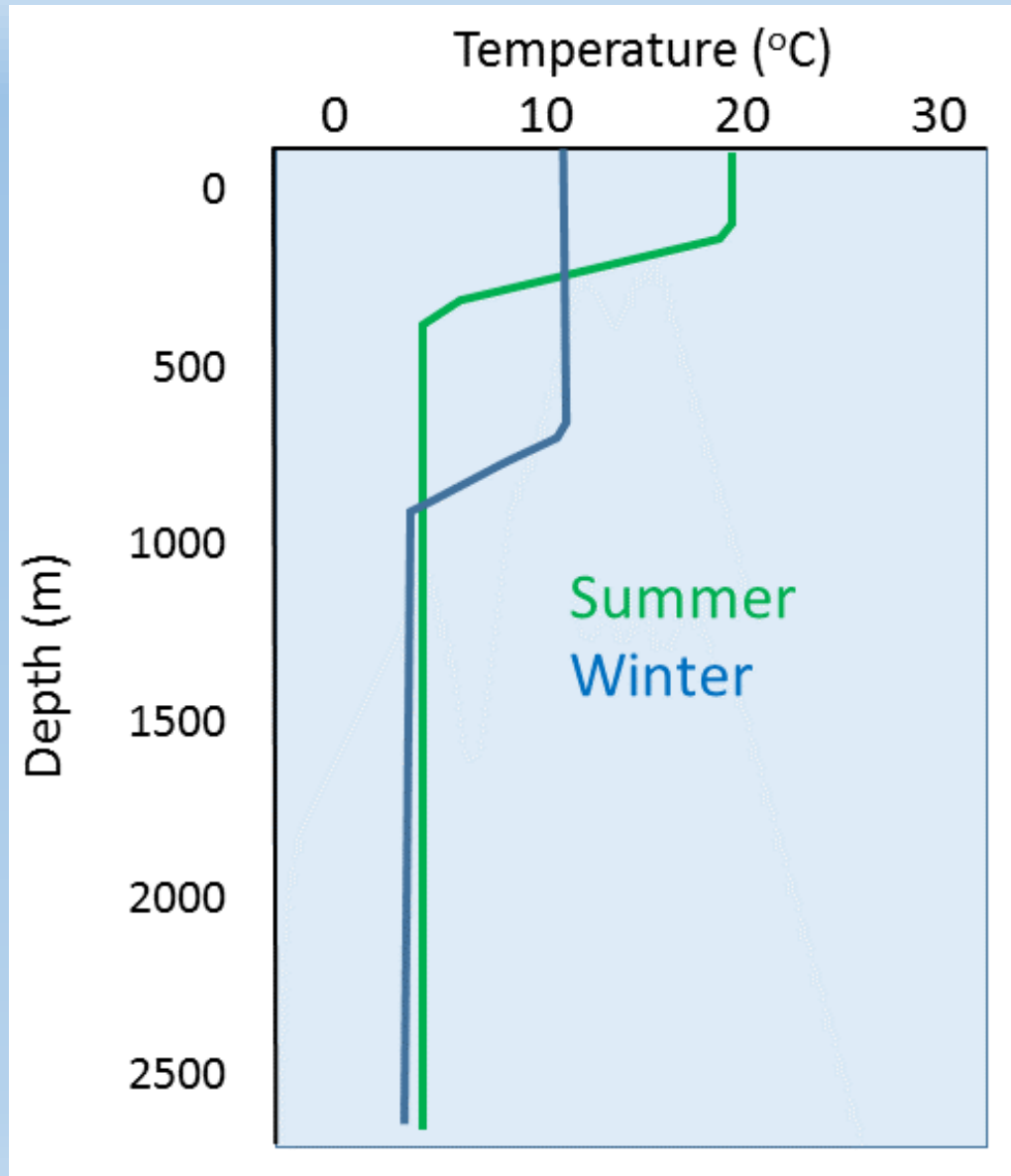
# Distribuzione di Temperatura con la profondità



- I profili di temperatura variano a latitudini diverse, poiché l'acqua superficiale è più calda vicino all'equatore e più fredda ai poli.
- Nelle regioni tropicali a bassa latitudine la superficie del mare è molto più calda, il che porta a un termoclino molto pronunciato; non ci sono grandi variazioni stagionali;
- Nelle regioni polari, la differenza tra la temperatura superficiale e quella delle acque profonde è minima e la temperatura è abbastanza costante (e fredda) a tutte le profondità. Le acque polari sono quasi prive di termoclino e le variazioni stagionali di T sono minime;

**MLD:** Mixed Layer Depth; profondità dello strato rimescolato

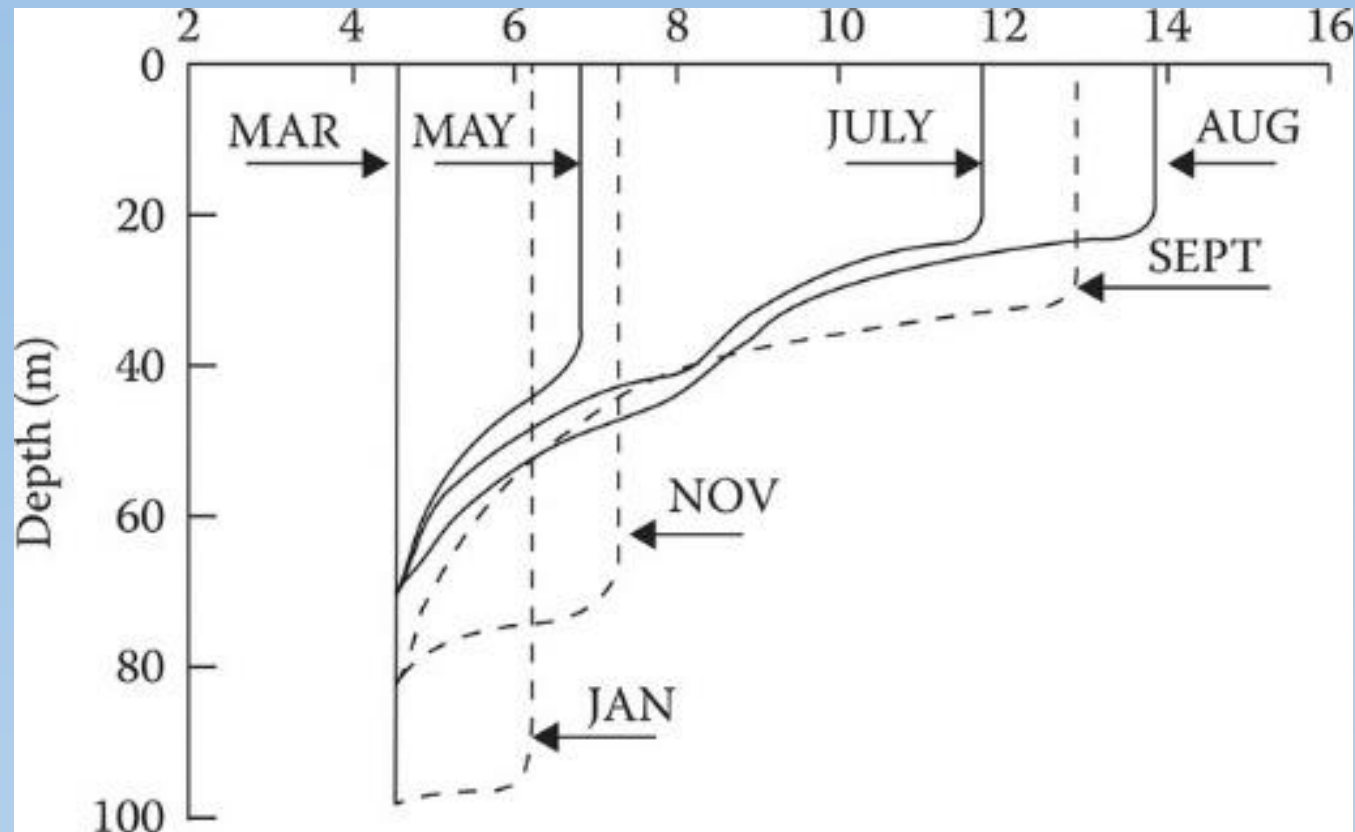
# Distribuzione di Temperatura con la profondità



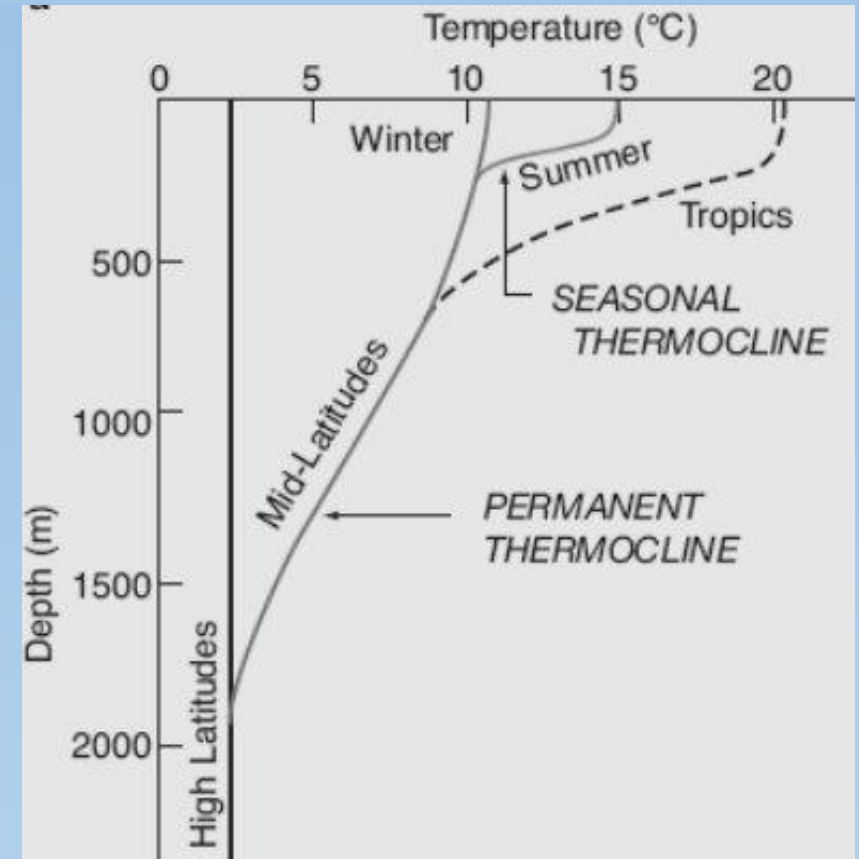
- Le regioni temperate alle medie latitudini mostrano maggiori fluttuazioni stagionali della temperatura superficiale rispetto ai poli o ai tropici;
- differenze di 8-15°C tra l'estate e l'inverno;
- l'acqua superficiale è molto più calda in estate e il termoclino è più pronunciato (maggiore differenza di T) rispetto ai mesi invernali;
- in inverno il termoclino è più profondo rispetto all'estate (a causa delle tempeste e del raffreddamento invernale).

Lo strato superficiale perde calore in inverno; quello sub-superficiale

# Distribuzione di Temperatura con la profondità



A succession of temperature profiles to show the growth (solid lines) and decay (broken lines) of a seasonal thermocline in the Northern Hemisphere.



# Temperatura in-situ e potenziale

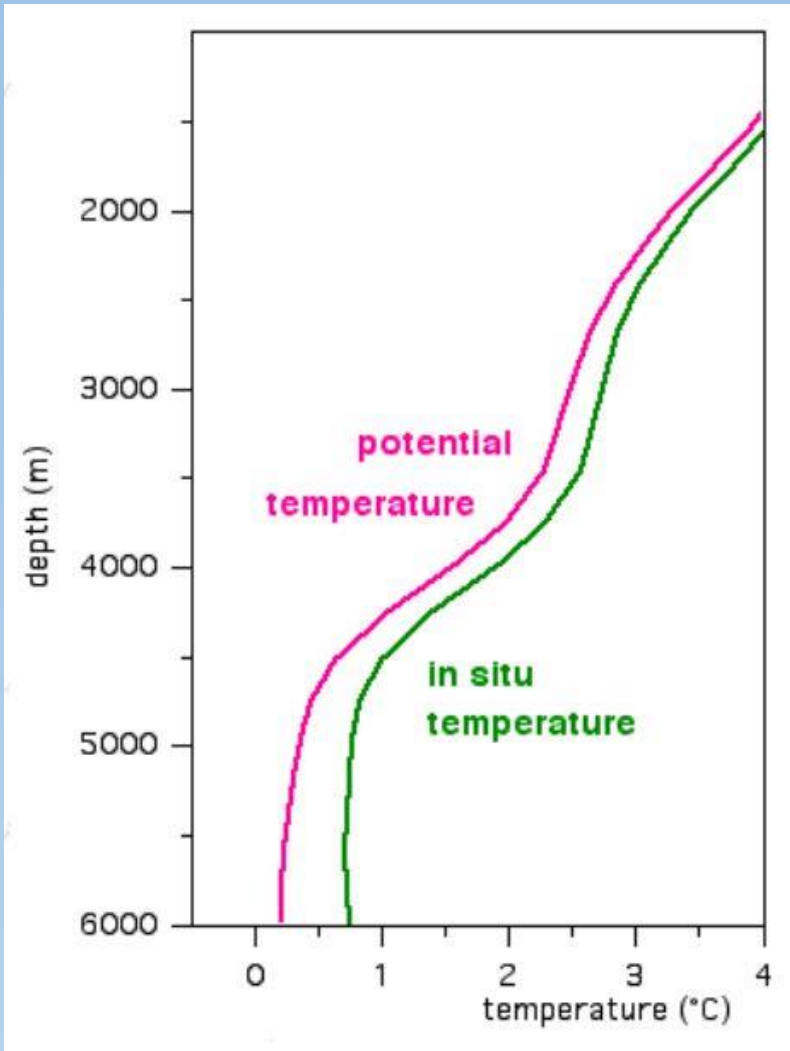
La *temperatura in-situ* è la temperatura di un fluido misurata alla sua reale altezza (in atmosfera) o profondità (a mare).

La *temperatura potenziale* ( $\theta$ ) di una particella di fluido alla pressione  $p$  è la temperatura che quella particella avrebbe se fosse portata, tramite uno spostamento adiabatico, ad una pressione standard di riferimento  $p_0$ .

$$\theta = T \left( \frac{p_0}{p} \right)^{\frac{R}{c_p}}$$

dove  $T$  è la temperatura assoluta della particella,  $R$  la costante universale dei gas e  $c_p$  il calore specifico a pressione costante.

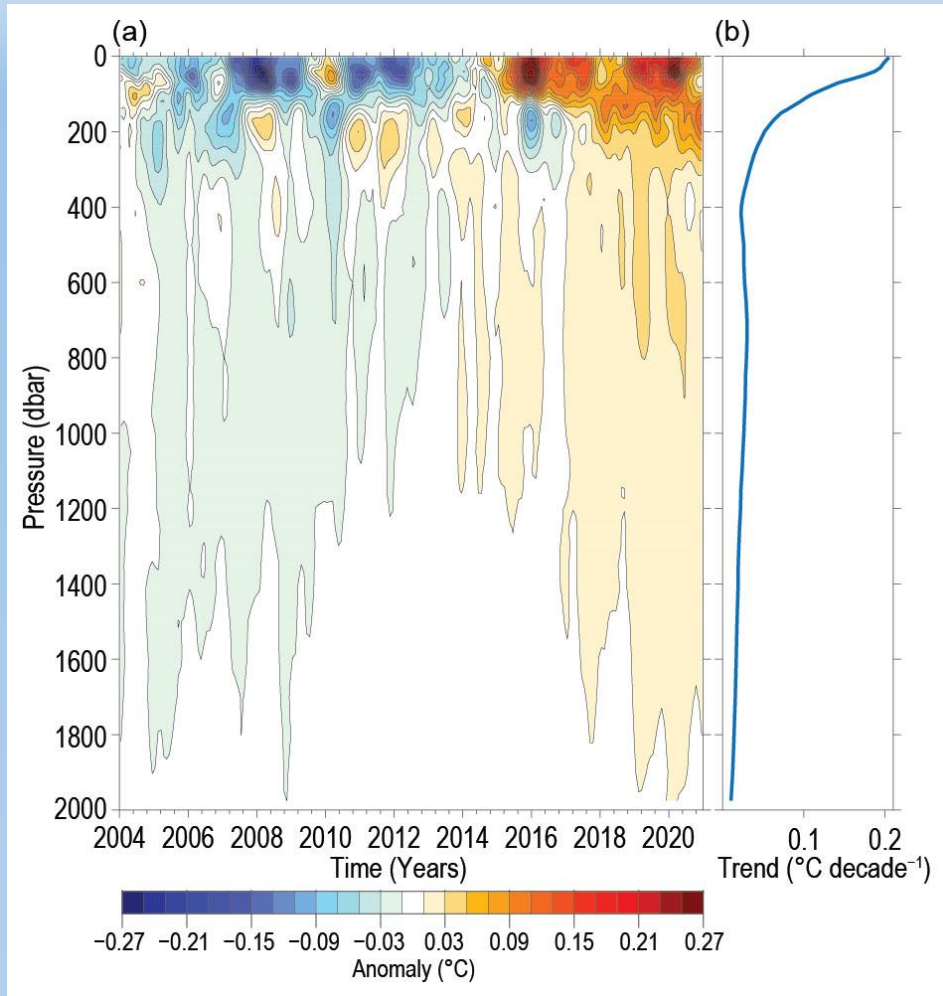
$p_0$  in genere è la pressione al livello del mare 1013,25 hPa (1 atm)  
La pressione in mare aumenta di 1 atm ogni 10 metri  
1 atm  $\approx$  10 dbar



100 m = 10 atm  $\approx$  100 dbar

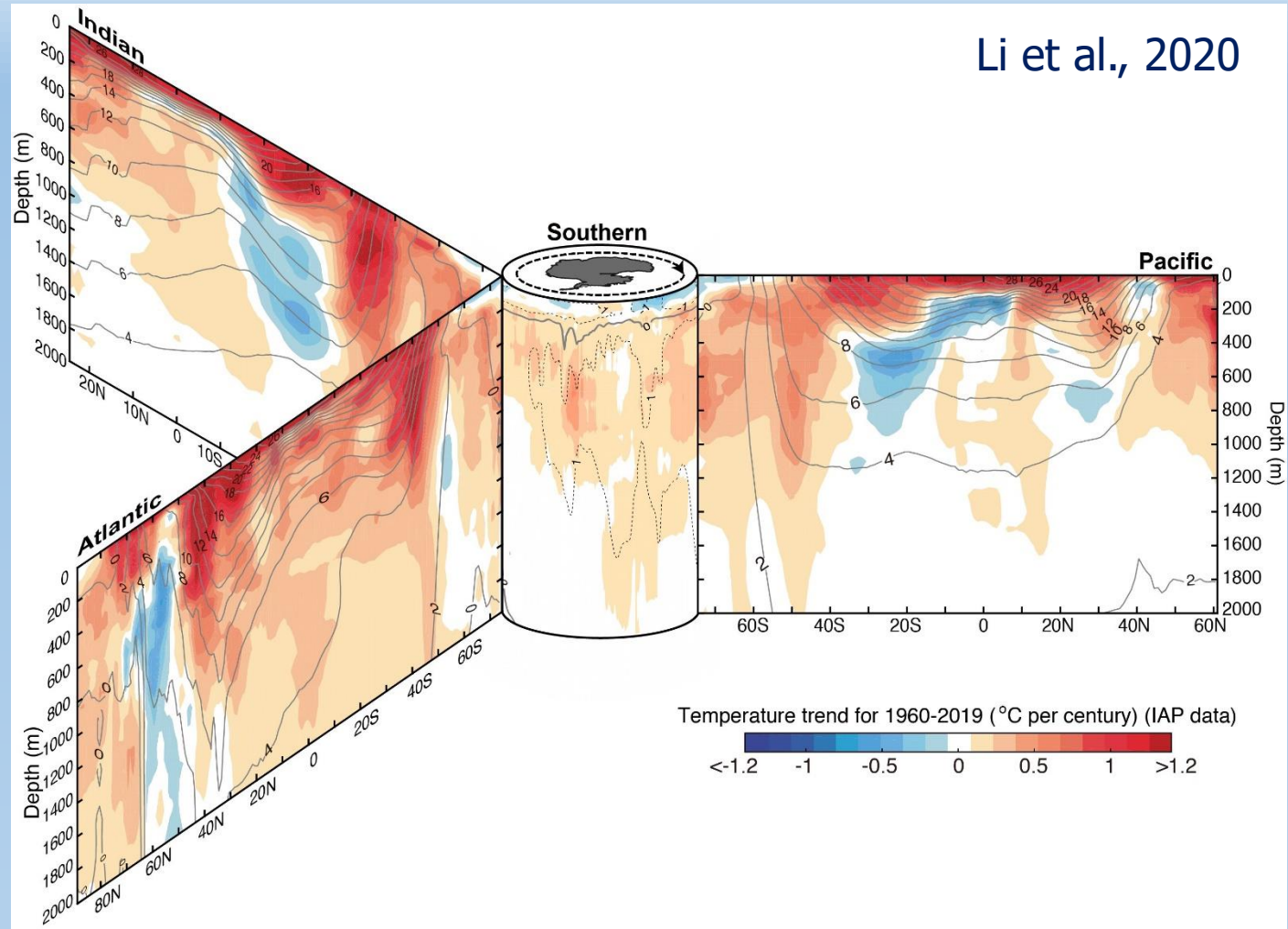
# Anomalia di T nell'oceano globale

Roemmich al., 2019



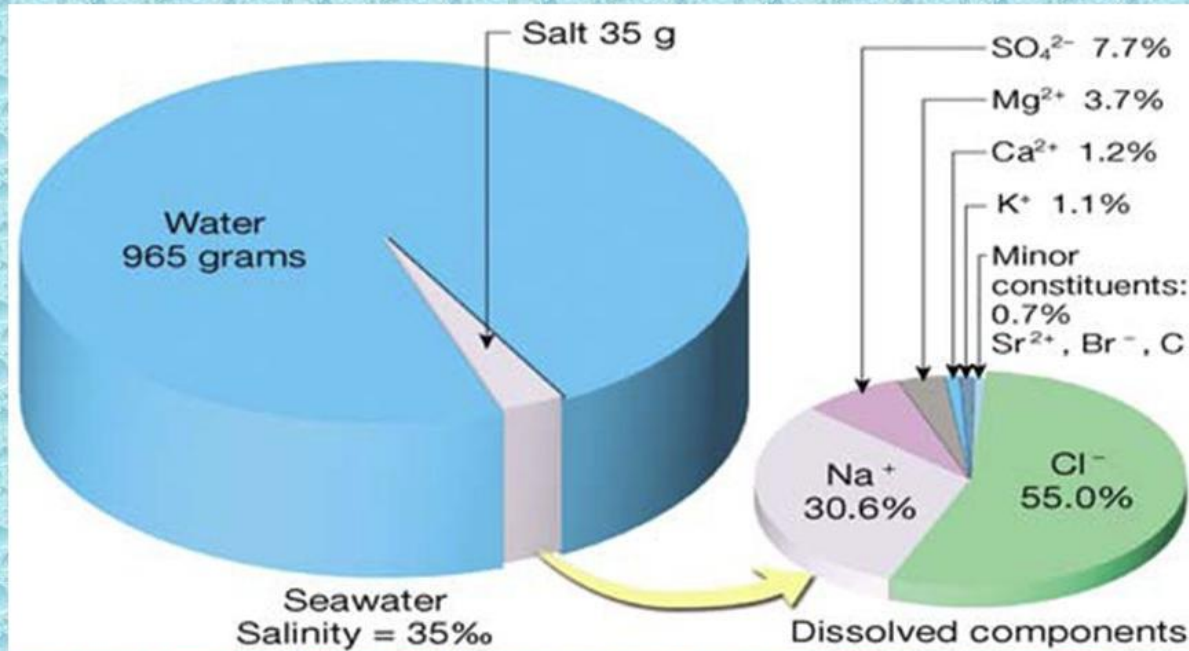
A) NEAR-GLOBAL (65°S–80°N) AVERAGE MONTHLY OCEAN TEMPERATURE ANOMALIES (°C; UPDATED FROM ROEMMICH AND GILSON [2009]) RELATIVE TO RECORD-LENGTH AVERAGE MONTHLY VALUES, SMOOTHED WITH A 5-MONTH HANNING FILTER AND CONTOURED AT ODD 0.02°C INTERVALS (SEE COLORBAR) VERSUS PRESSURE AND TIME. (B) LINEAR TREND OF TEMPERATURE ANOMALIES OVER TIME FOR THE LENGTH OF THE RECORD IN (A) PLOTTED VERSUS PRESSURE (BLUE LINE).

Li et al., 2020



# Salinità

## Constituents of SeaWater



$$\text{Salinità} = \frac{\text{grammi di sale}}{1 \text{ kg di acqua}} \text{ (g/kg)}$$

Practical Salinity Units (PSU)

$$1 \text{ PSU} = 1‰$$

Spesso l'unità di misura non viene inclusa

- ✓ L'acqua di mare è composta per circa il 3.5% da materiali disciolti;
- ✓ Il costituente principale è il Cloruro di Sodio;
- ✓ La salinità corrisponde alla concentrazione di Sali disciolti nell'acqua di mare;
- ✓ Tipicamente si esprime in parti-per-mille (‰ oppure ppt);
- ✓ La salinità media è di 35‰;
- ✓ La salinità delle acque superficiali dell'oceano aperto (open ocean) varia da 33‰ a 37‰;
- ✓ Prendendo in considerazione le aree costiere e le condizioni locali (marginal seas), il range di salinità va da 28 ‰ a 40 ‰;
- ✓ L'acqua di mare contiene tracce di quasi tutti i tipi di minerali conosciuti, provenienti dal dilavamento delle rocce.

Sale Totale negli oceani  $\sim 5 \times 10^{19}$  kg

# Conservazione del sale

*La concentrazione degli ioni disciolti più abbondanti può cambiare tra una regione e l'altra dell'oceano, ma la loro proporzione relativa rimane costante!*

La salinità totale può cambiare, ma il rapporto di concentrazione di ogni ione principale rispetto al totale rimane costante, così come i rapporti di concentrazione di ogni singolo ione principale rispetto all'altro

- ✓ La salinità degli oceani cambia a causa del bilancio tra **EVAPORAZIONI (E)** e **PRECIPITAZIONI (P)** ed all'entità del mixing tra le acque superficiali e quelle profonde. In generale questi cambiamenti non hanno effetti sulle proporzioni relative tra gli ioni principali;
- ✓ La maggior parte degli ioni scaricati dai fiumi ha tempi di residenza piuttosto bassi rispetto agli ioni presenti nell'acqua di mare, di solito perché vengono utilizzati nei processi biologici. Questi bassi tempi di residenza non consentono agli ioni di accumularsi e di alterare la salinità.
- ✓ Il tempo necessario per il mixing dell'oceano mondiale è di circa 1000 anni, i tempi di residenza degli ioni principali possono essere di decine di milioni di anni.

Ioni principali nell'acqua di mare

| Ion                              | g/kg of Seawater | Percentage by Weight |
|----------------------------------|------------------|----------------------|
| Chloride ( $\text{Cl}^-$ )       | 19.35            | 55.07                |
| Sodium ( $\text{Na}^+$ )         | 10.76            | 30.62                |
| Sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ )   | 2.71             | 7.72                 |
| Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )   | 1.29             | 3.68                 |
| Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )     | 0.41             | 1.17                 |
| Potassium ( $\text{K}^+$ )       | 0.39             | 1.10                 |
| Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) | 0.14             | 0.40                 |
| Total                            |                  | 99.76                |

## Variazioni di salinità

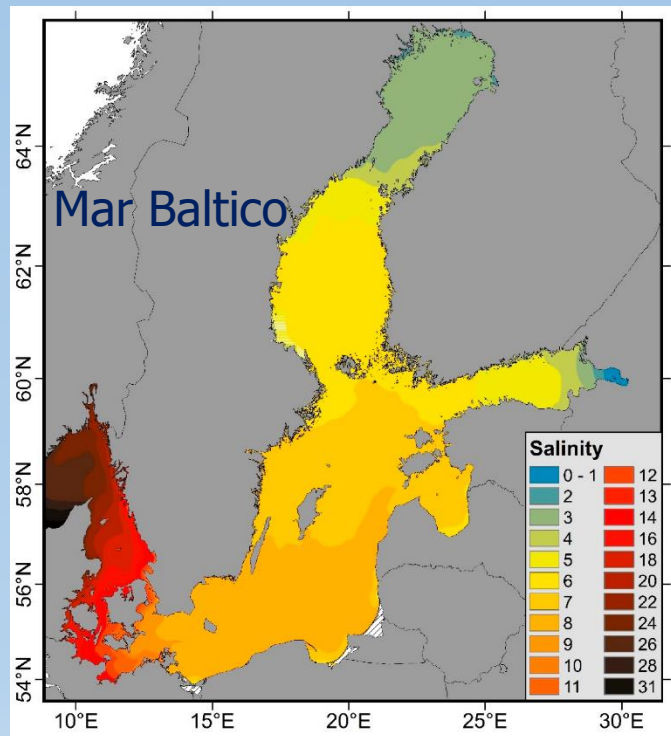
### APPORTO DI ACQUA DOLCE:

Precipitazioni (P), Runoff (R),  
Scioglimento dei ghiacci (Melting – M);

### PERDITA DI ACQUA DOLCE:

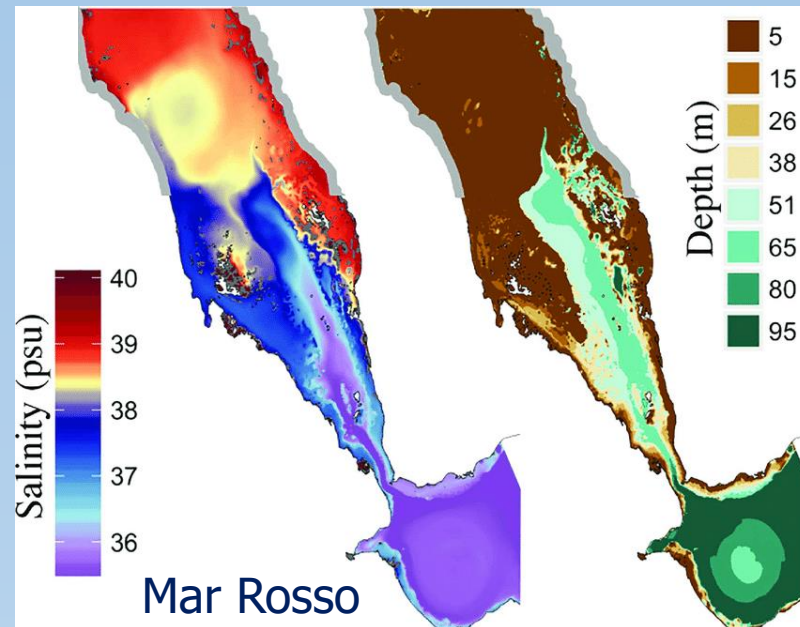
Evaporazione (E), Congelamento  
(Freezing - F)

Le differenze nei tassi di P, E, R, M e F giocano quindi un ruolo significativo nelle variazioni regionali di salinità.



Jasper et al., 2021

Il **Mar Baltico** ha una salinità superficiale molto bassa (valore medio **10 ‰**), perché è un corpo idrico per lo più chiuso, con molti apporti fluviali.



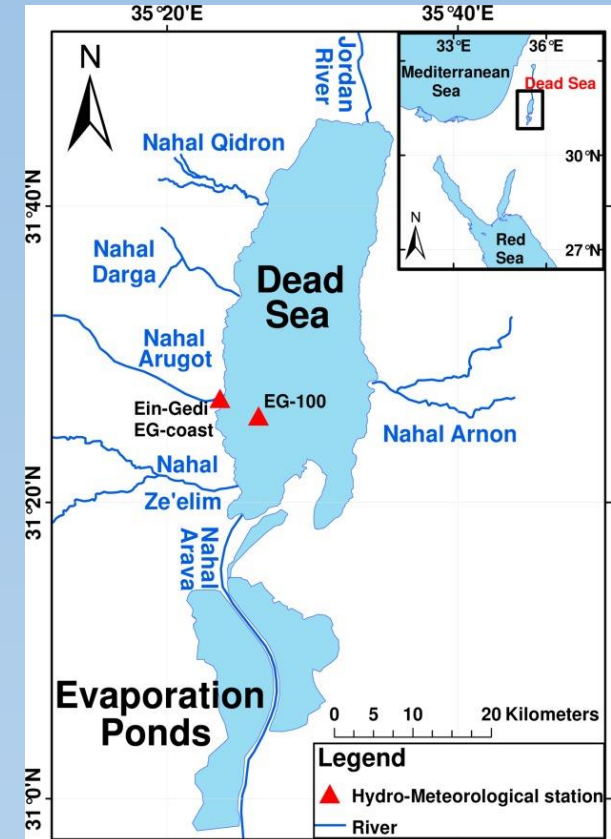
Dreano et al., 2016

il **Mar Rosso** è molto salato (la salinità arriva a **40 ‰**), a causa della mancanza di precipitazioni e dell'ambiente caldo che porta ad alti livelli di evaporazione.

## Variazioni di salinità

Uno dei grandi corpi idrici più salati della Terra è il **Mar Morto**, tra Israele e la Giordania. La salinità del Mar Morto è di circa **330 ‰**, cioè quasi dieci volte più salata dell'oceano. Questa salinità estremamente elevata è il risultato delle condizioni calde e aride del Medio Oriente, che portano ad alti tassi di evaporazione.

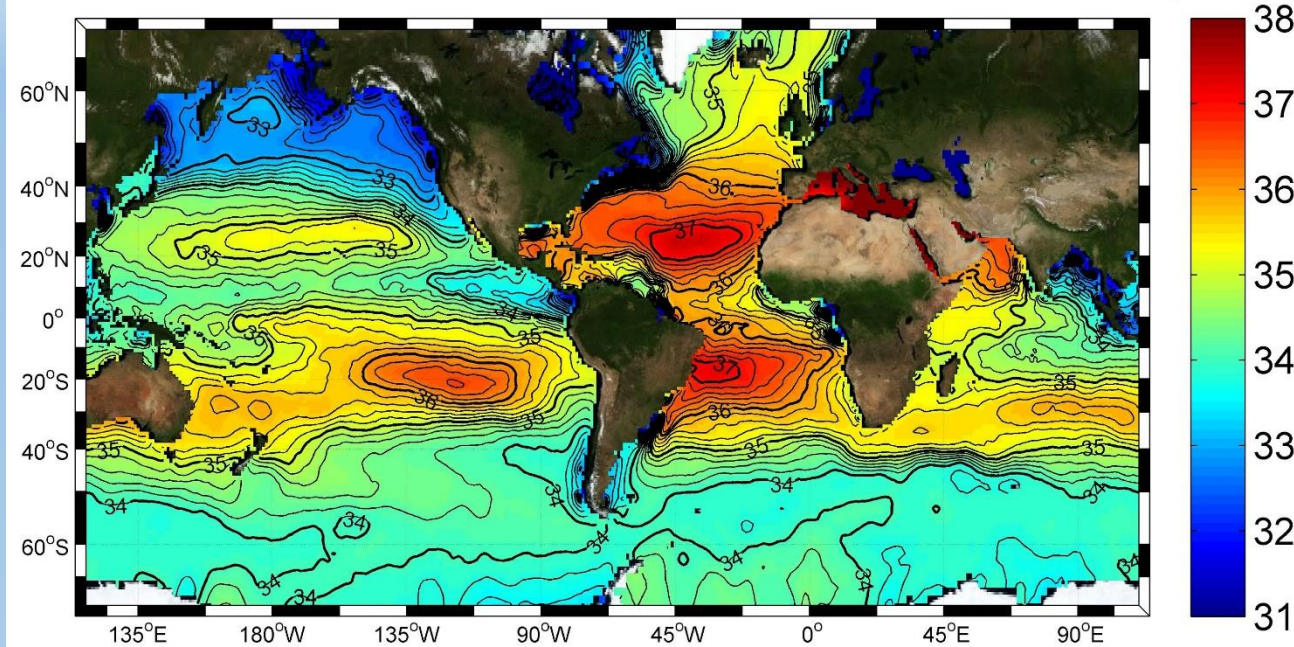
- ✓ Negli anni '50 il flusso del fiume Giordano è stato deviato dal Mar Morto, per cui non c'è più un apporto significativo di acqua dolce. Senza apporti e con un'elevata evaporazione, il livello dell'acqua del Mar Morto si sta abbassando a un ritmo di circa 1 m all'anno.
- ✓ L'elevata salinità genera **forze di galleggiamento** che permettono alle persone di galleggiare facilmente in superficie.
- ✓ Ma l'acqua è troppo salata per la maggior parte degli organismi viventi, quindi solo i microbi possono sopravvivere; da qui il nome di Mar Morto.



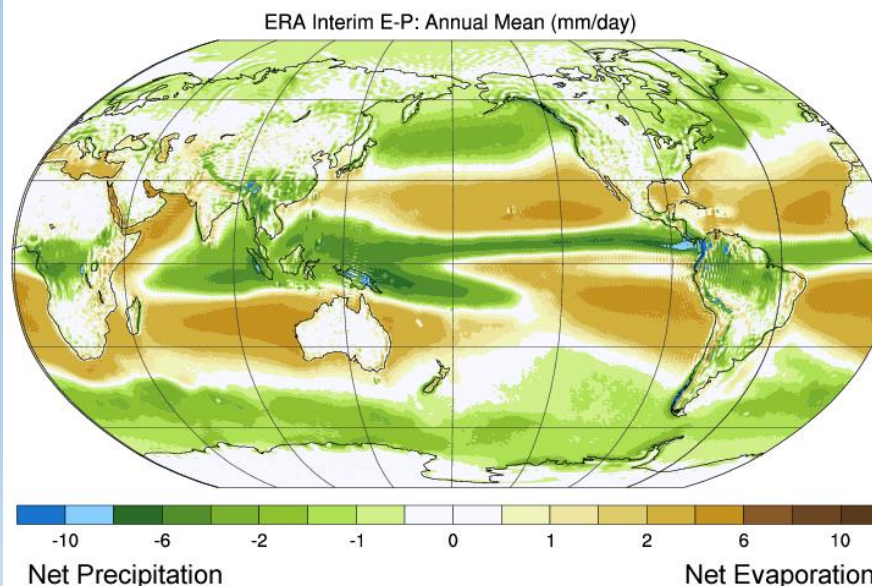
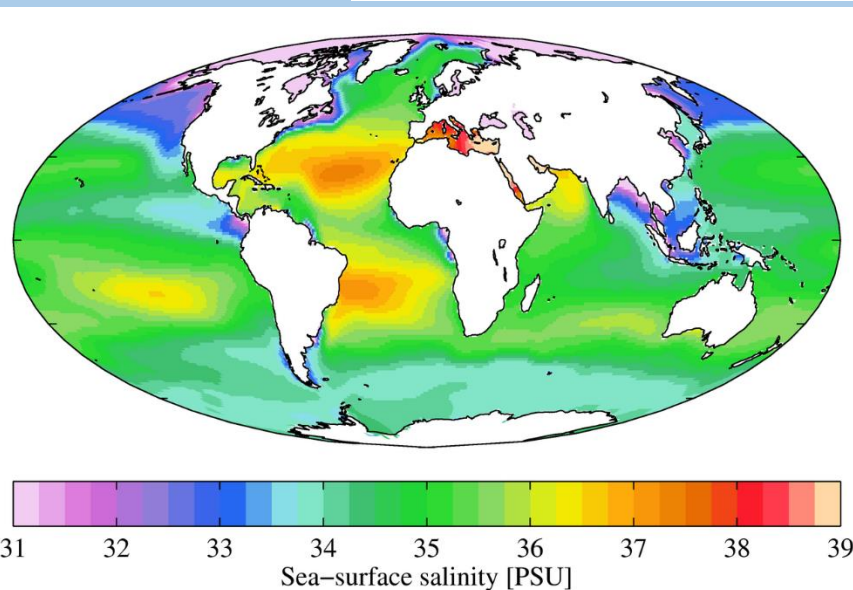
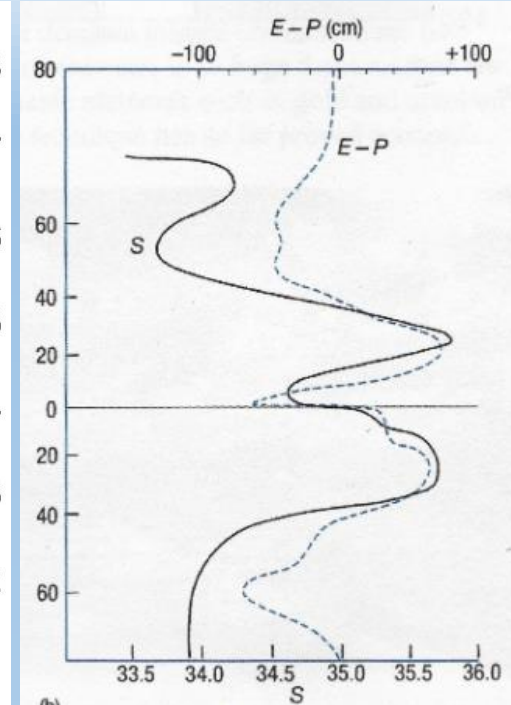
**Spinta di galleggiamento o principio di Archimede:** un corpo immerso in un fluido subisce una spinta dal basso verso l'alto che è pari al peso del volume del liquido spostato dal corpo.

# Variazioni di salinità: distribuzione superficiale

Annual mean of the sea surface salinity distribution (World Ocean Atlas, 2005)



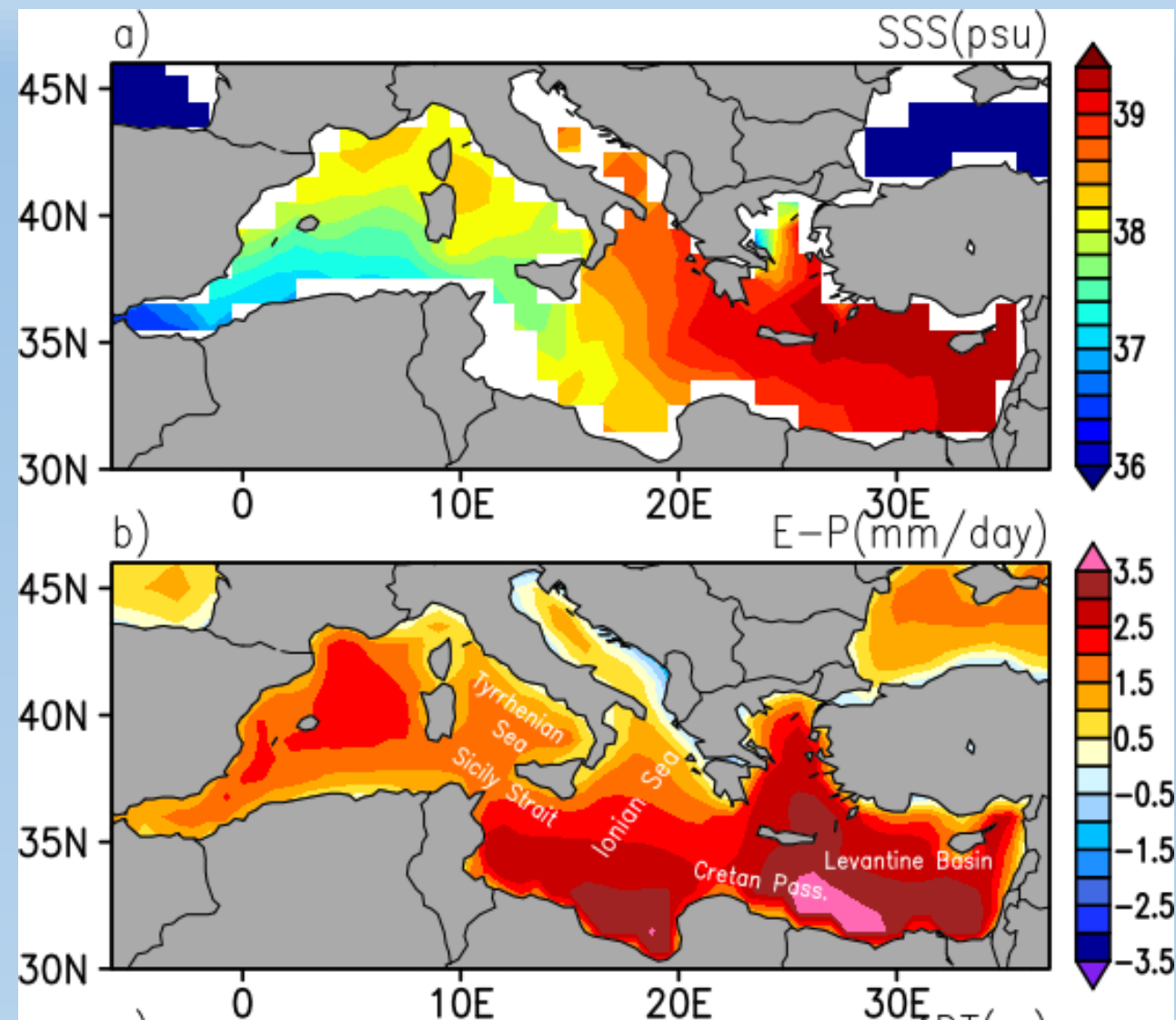
[PSU]



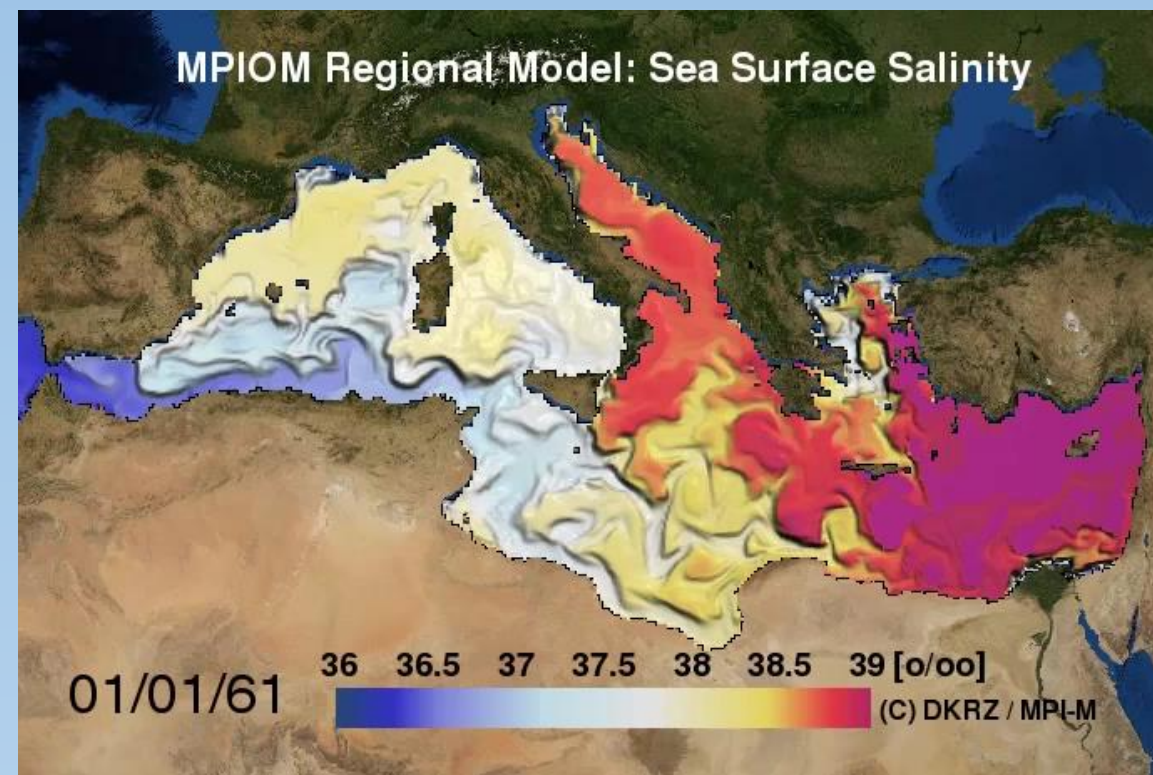
La salinità delle acque superficiali:

- ✓ E' massima nelle regioni sub-tropicali, dove E eccede P;
- ✓ Decresce sia andando verso le alte latitudini sia andando verso l'Equatore;

# Distribuzione superficiale di salinità: Mediterraneo

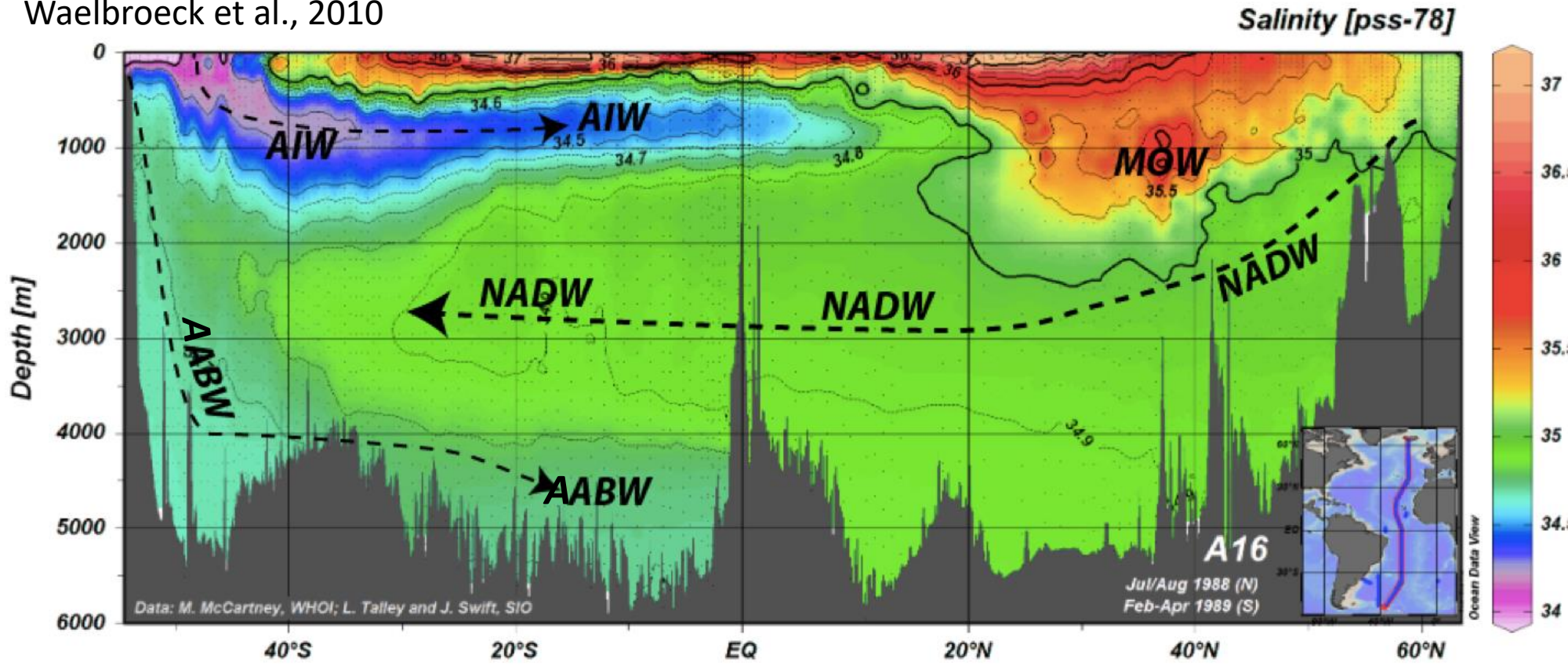


Grodsky et al., 2019



<https://salinometry.com/space-view-of-salinity/>

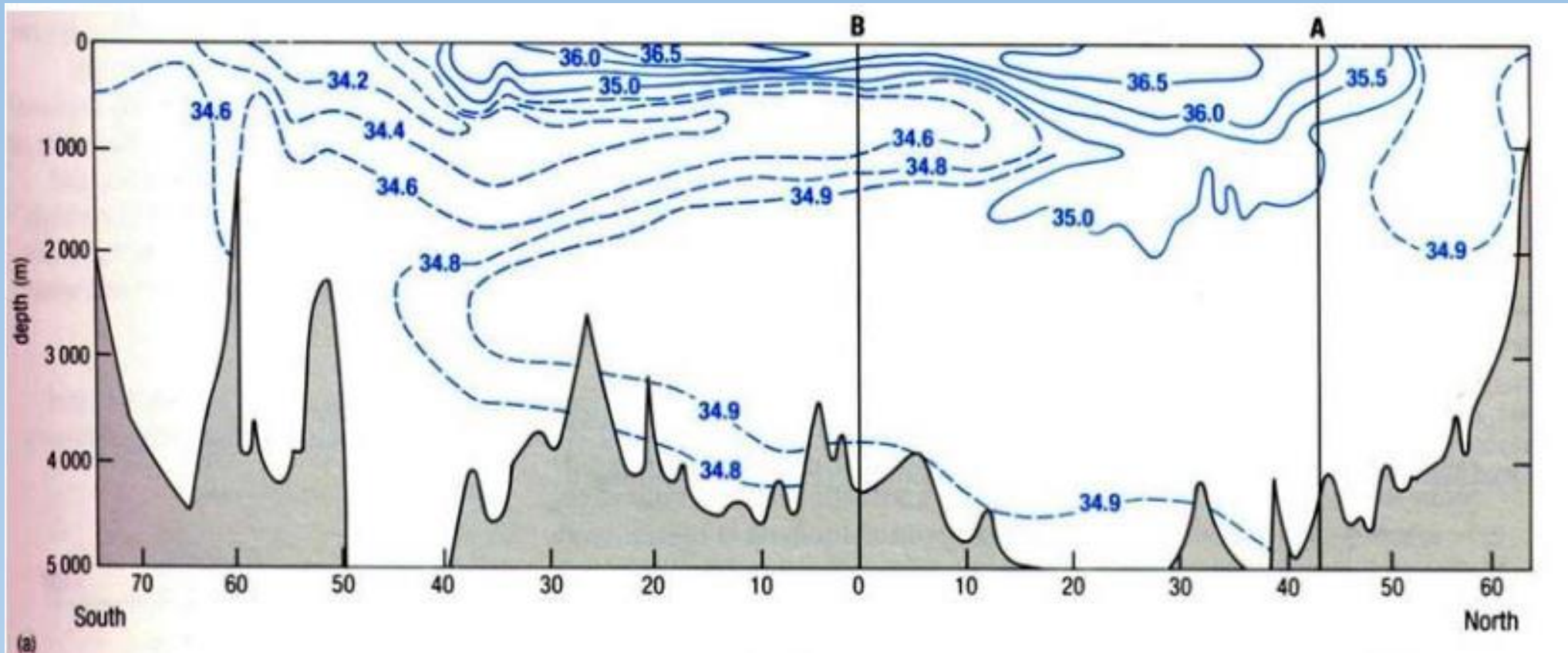
Waelbroeck et al., 2010



North Atlantic Deep Water (**NADW**), Antarctic Intermediate Water (**AAIW**), and Antarctic Bottom Water (**AABW**). Mediterranean Outflow Water (**MOW**).

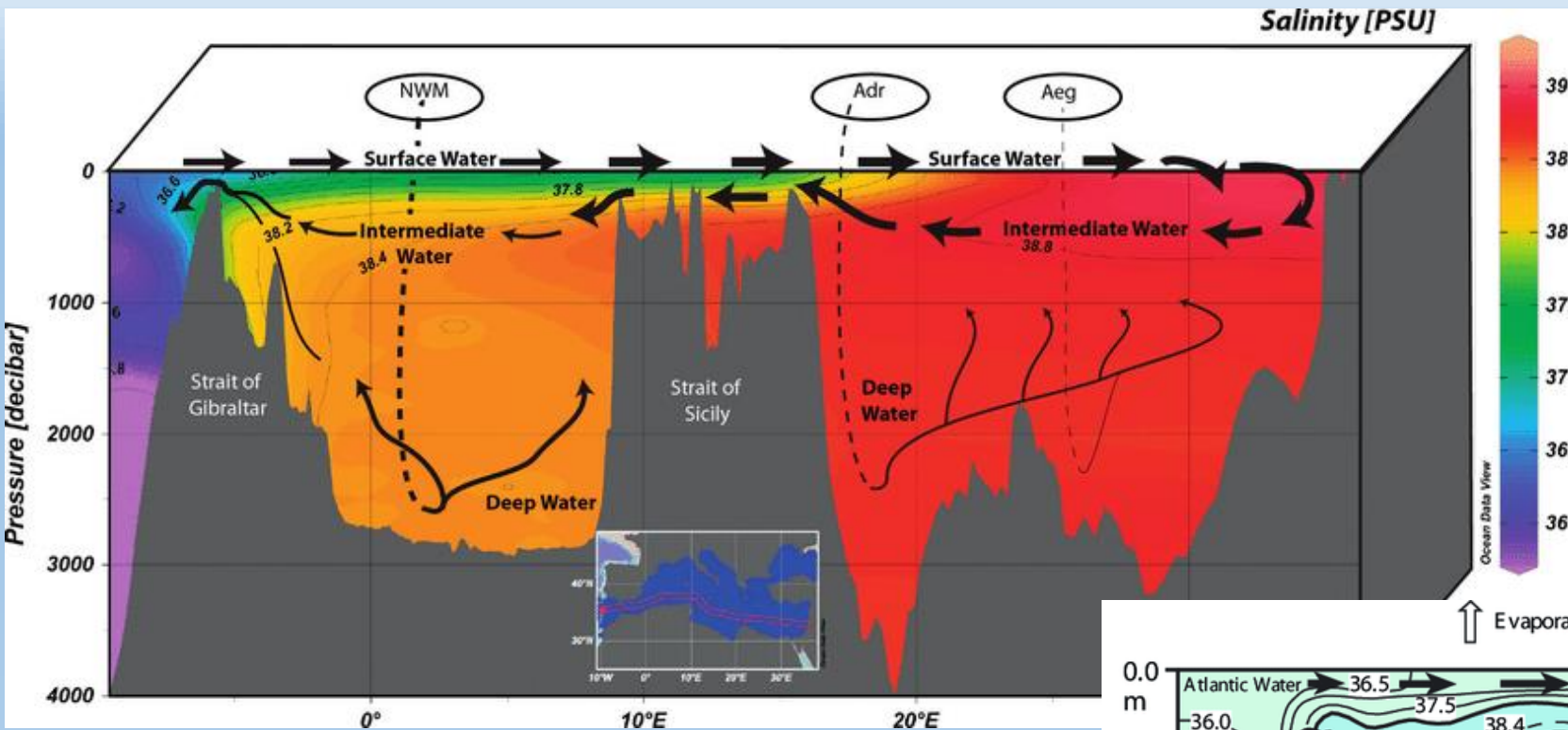
- ✓ La sezione verticale mostra la distribuzione di salinità nell'Atlantico;
- ✓ La salinità varia molto di più nei primi 1000 m di profondità;
- ✓ Lo strato profondo è costituito da salinità tra 34.5‰ e 35‰ a tutte le latitudini;
- ✓ Questo pattern è simile per tutti gli oceani;
- ✓ Le linee che uniscono i punti ad uguale salinità sono dette **ISOALINE**;

# Variazioni di salinità: distribuzione verticale



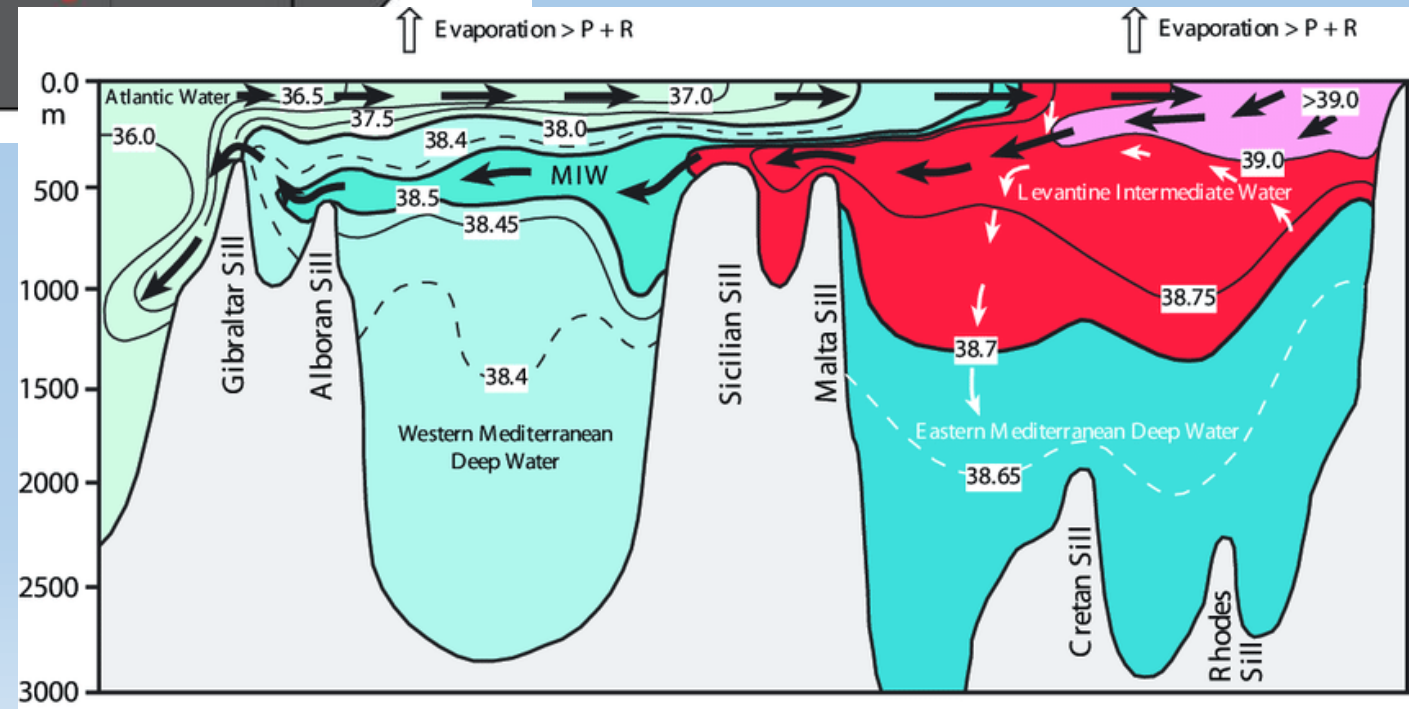
Book. Seawater: its Composition, Properties and Behaviour  
Prepared by an Open University Course Team

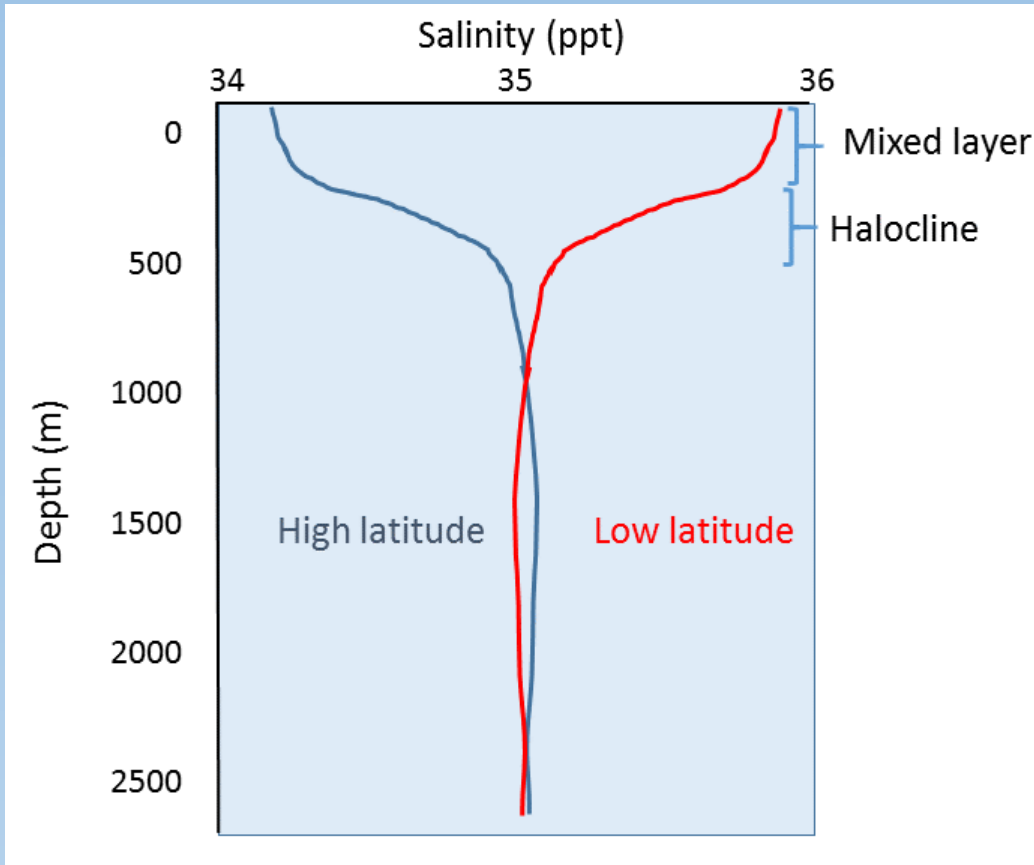
# Distribuzione verticale di salinità nel Mediterraneo



Powley et al., 2017

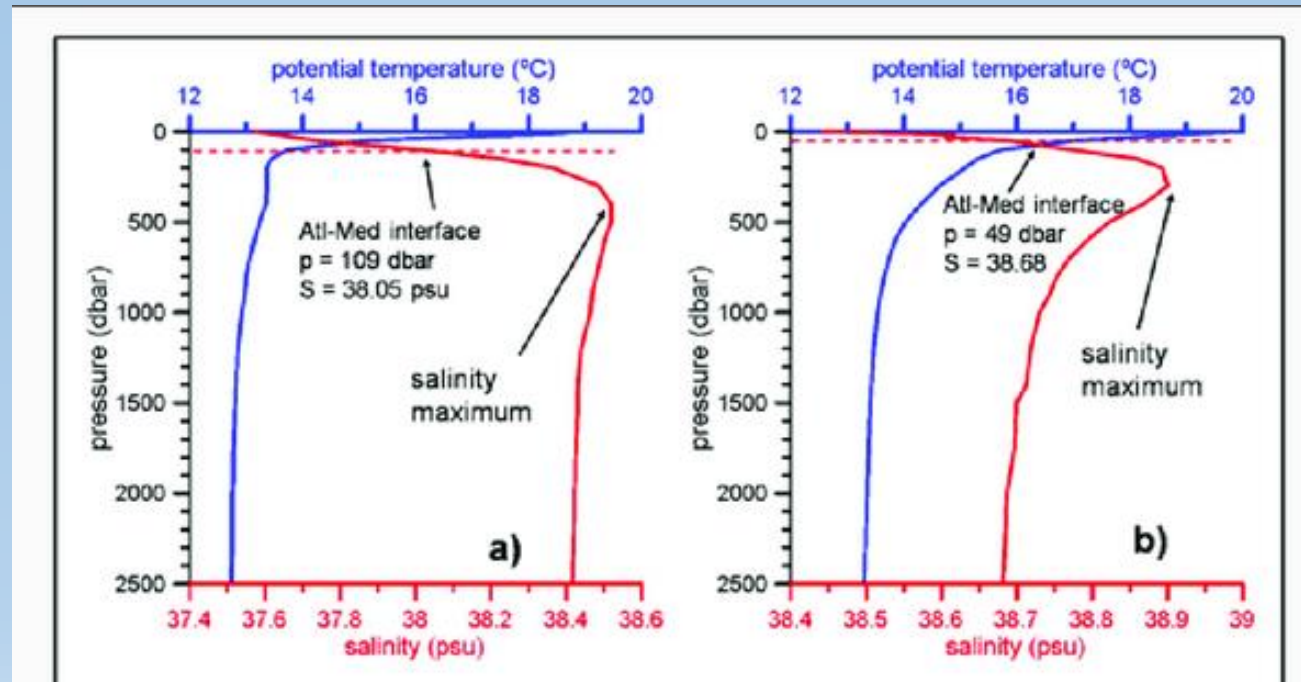
**AW:** Atlantic Water;  
**WMDW=** Western Mediterranean Deep Water;  
**MIW=** Mediterranean Intermediate Water;  
**LIW=** Levantine Intermediate Water;  
**EMDW=** Eastern Mediterranean Deep Water;





- ✓ I profili verticali di salinità alle alte e basse latitudini partono da differenti salinità superficiali;
- ✓ I primi 200 metri presentano una salinità relativamente uniforme nel **MIXED LAYER**;
- ✓ Lo strato caratterizzato da un rapido cambiamento della salinità con la profondità è detto **ALOCLINO (HALOCLINE)**;
- ✓ A profondità maggiori dell'**ALOCLINO** la salinità diventa più uniforme.

## Massimo di salinità sub-superficiale



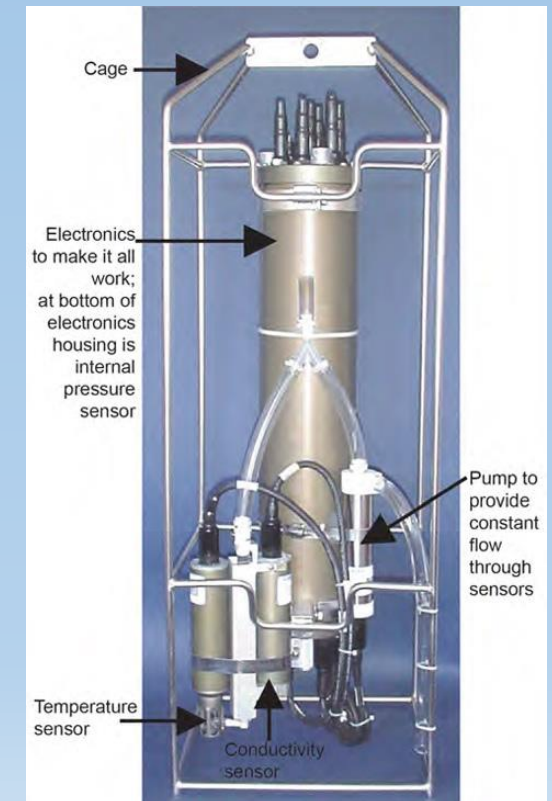
- ✓ Il modo più ovvio di misurare la salinità è quello di prendere una quantità nota di acqua di mare, farla evaporare fino all'essiccazione e poi pesare i sali rimanenti (**determinazione gravimetrica**);
- ✓ Esso risulta inaffidabile per una serie di motivi (decomposizione di alcuni Sali; vaporizzazione di alcune sostanze organiche; fuoriuscita di CO<sub>2</sub>, etc...).

# Metodo fisico

- ✓ L'acqua pura è un cattivo conduttore di elettricità, invece la presenza di ioni permette il passaggio di una corrente elettrica. Negli anni '30 è stato dimostrato che la conducibilità elettrica dell'acqua di mare è proporzionale alla sua salinità;
- ✓ La conducibilità è influenzata anche dalla temperatura, che può portare ad errori apprezzabili;
- ✓ I salinometri moderni sono compatti e veloci nel funzionamento e possono misurare la salinità con un accuratezza di 0,003‰.
- ✓ I sensori di conducibilità sono incorporati in strumenti per la misura di temperatura e salinità in-situ (sonde di conducibilità-temperatura-profondità o CTD)

$$\text{Rapporto di conducibilità } R = \frac{\text{conducibilità del campione}}{\text{conducibilità di una soluzione nota (KCl)}}$$

# CTD

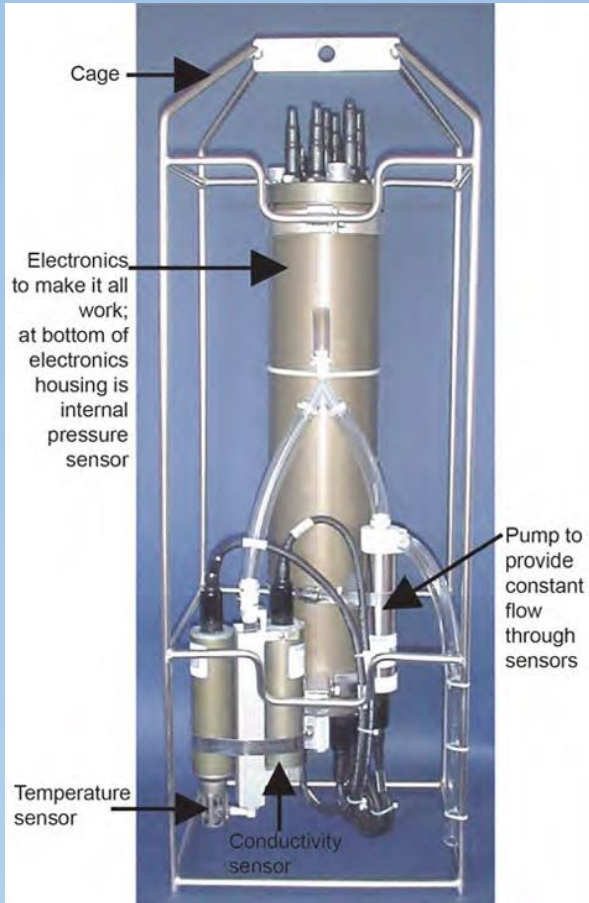


# Misure di Temperatura e Salinità

## Sonda CTD

A **CTD** — an acronym for **Conductivity**, **Temperature**, and **Depth** — is the primary tool for determining essential physical properties of sea water. It gives scientists a precise and comprehensive charting of the distribution and variation of water temperature, salinity, and density.

Le sonde **CTD** possono essere utilizzate su diverse piattaforme.



# Misure di Temperatura e Salinità



**Salinometro  
portatile**



**Termosalinometro**

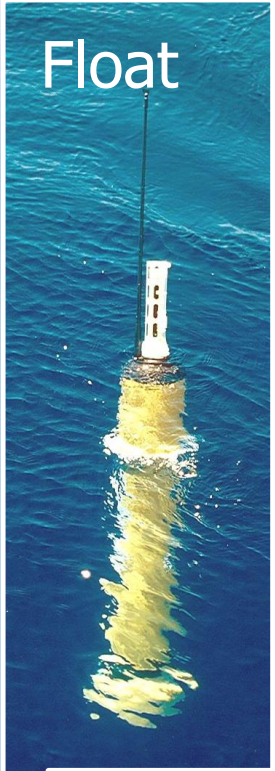


**Expendable  
Bathythermograph  
(XBT)**

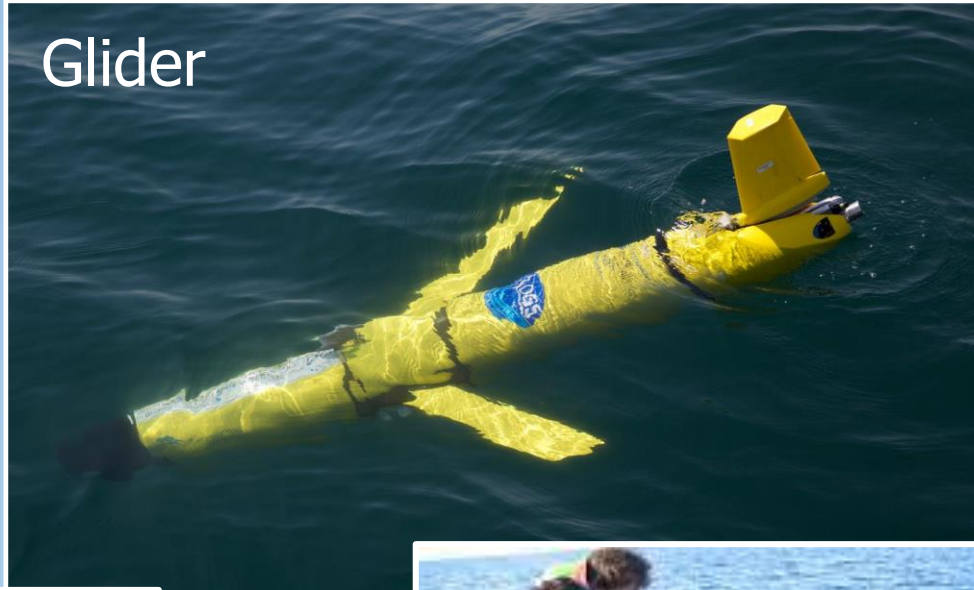
# Misure di Temperatura e Salinità

## Strumenti autonomi e ancoraggi

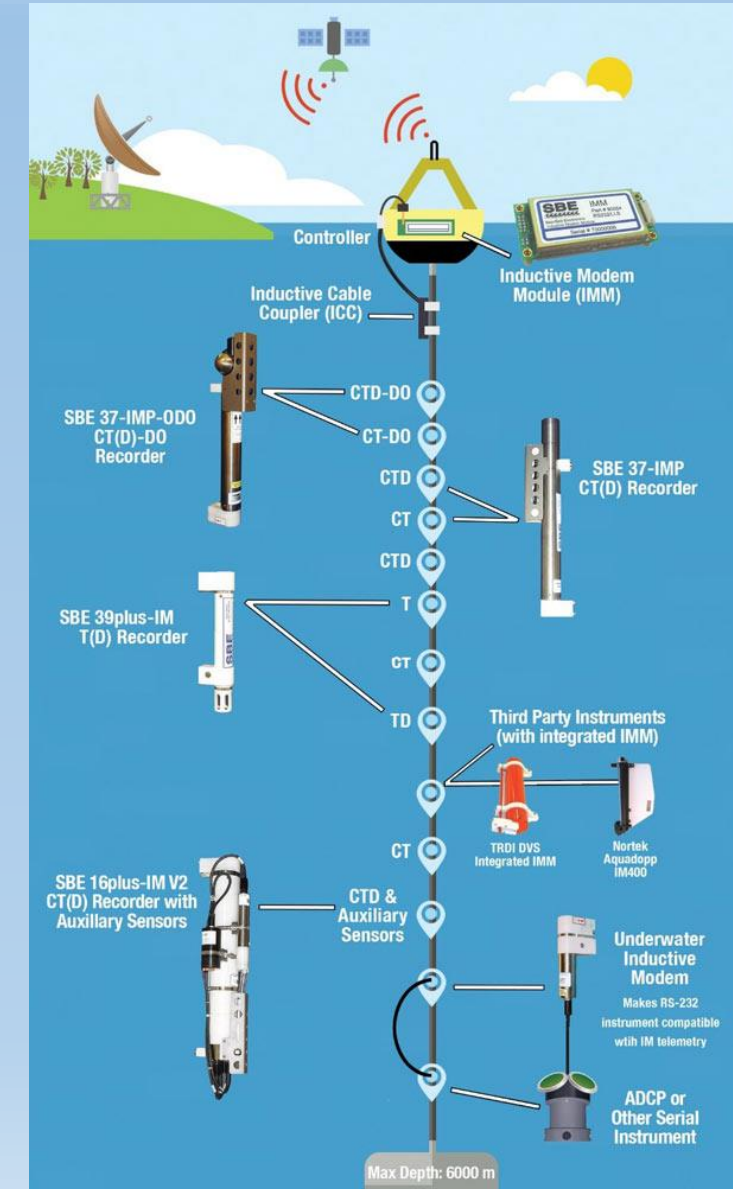
Float



Glider

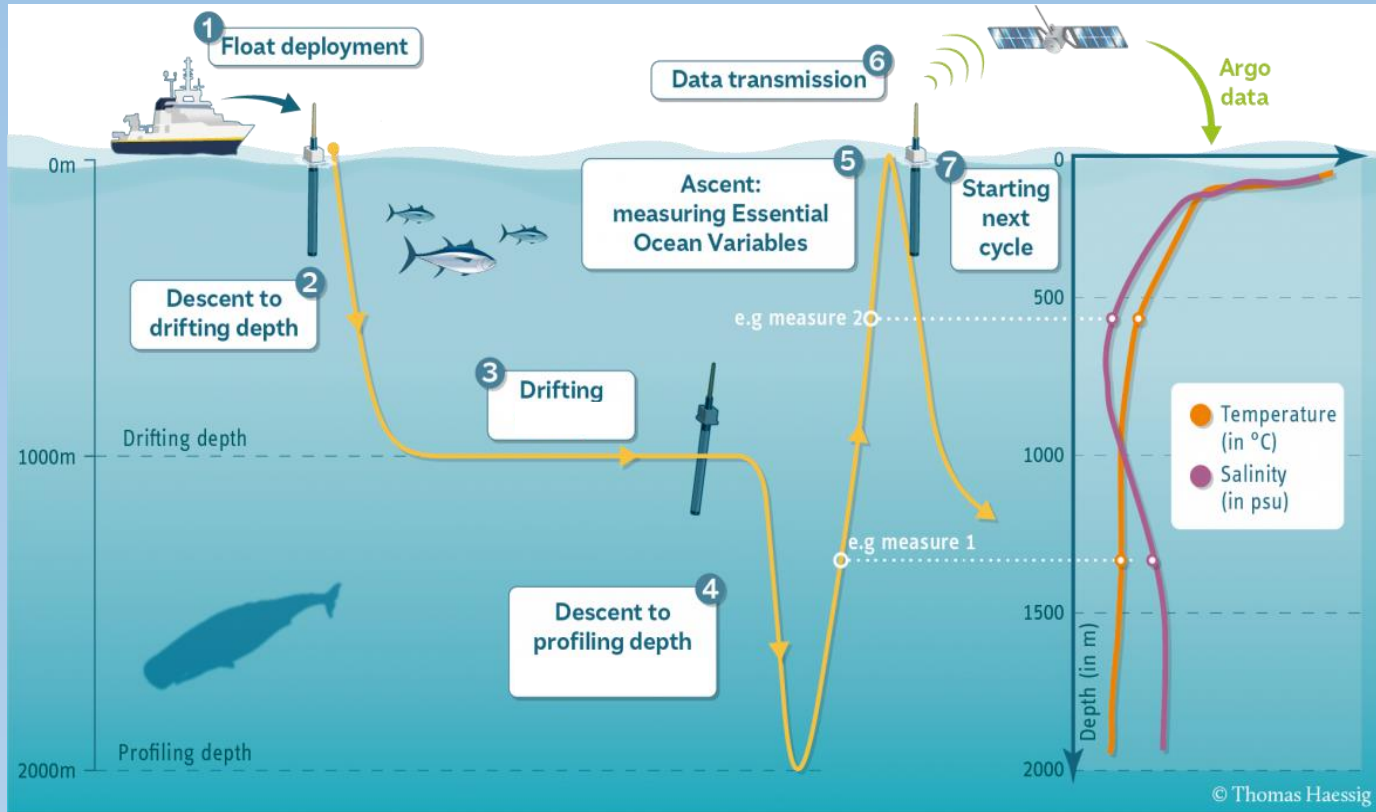


Mooring



# Argo float

**L'Argo Float esegue misurazioni mentre sale e scende nella colonna d'acqua.**



Il servizio **ARGO FLOAT** fornisce **GRATUITAMENTE** dati oceanografici, con un **controllo di qualità** senza precedenti, a un'ampia gamma di utenti, sia per la ricerca sui **cambiamenti climatici** che per i sistemi di **analisi e previsione** degli oceani.

**4 ANNI**

*Aspettativa di  
operatività*

**~ 5 GIORNI**

*Realizzazione di un  
ciclo completo*

**~ pochi minuti**

*Trasmissione dei dati  
al centro operativo*



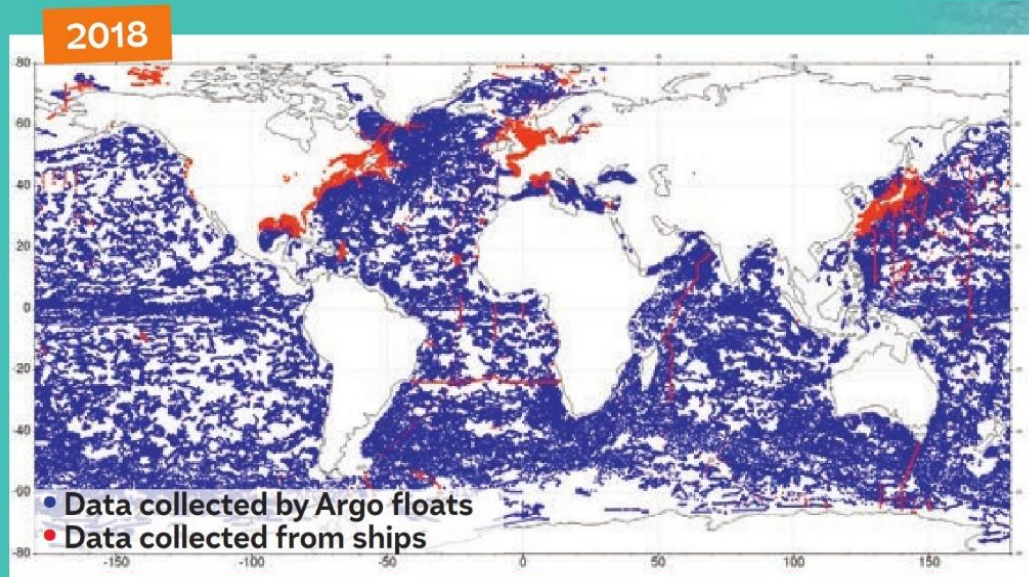
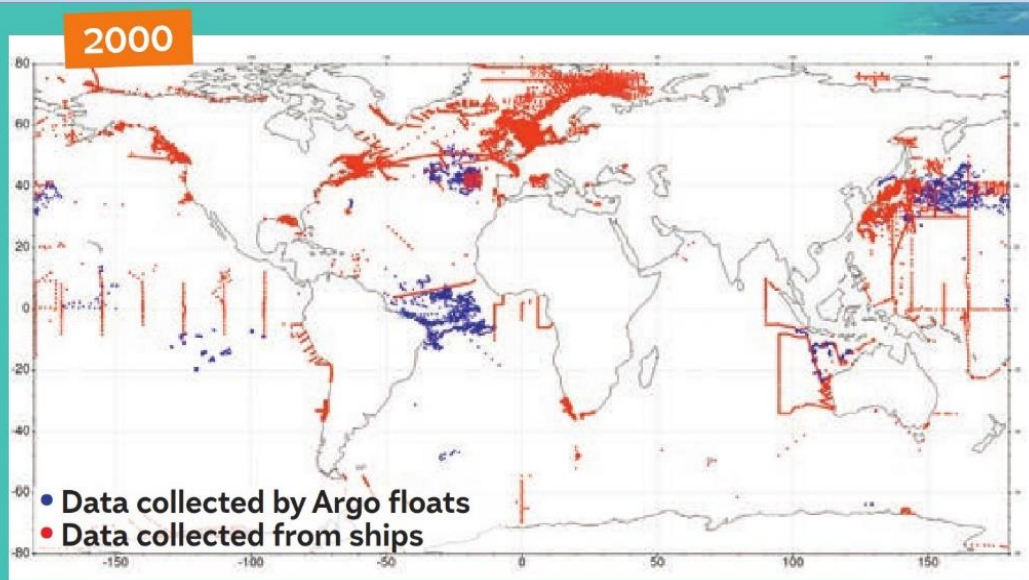
# Argo float

## Per le previsioni meteomarine e climatiche

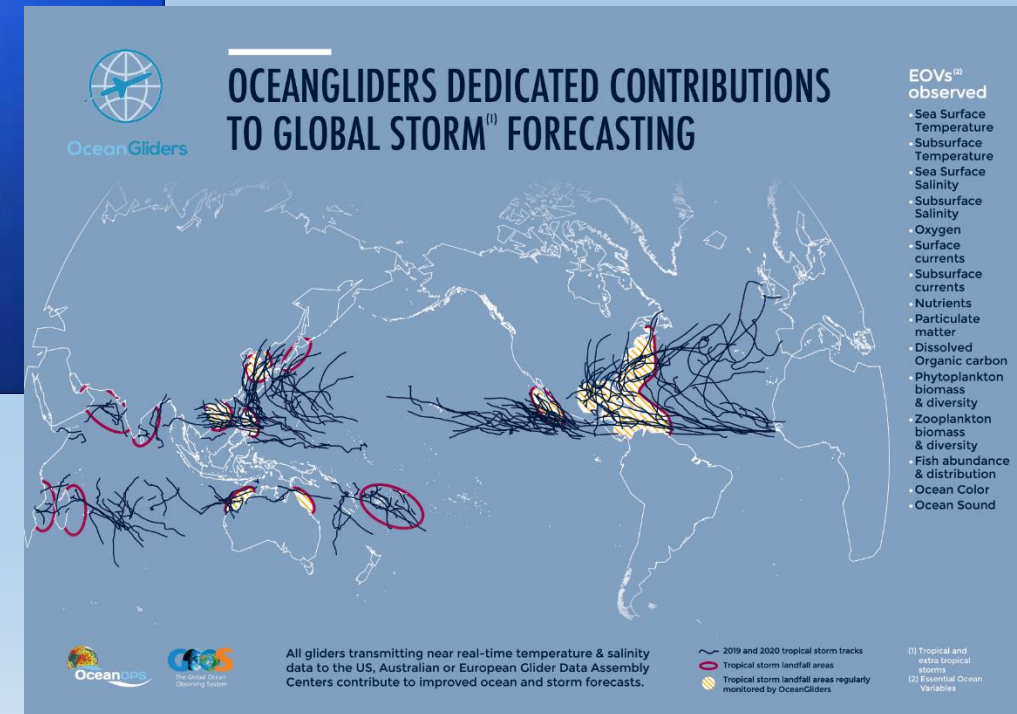
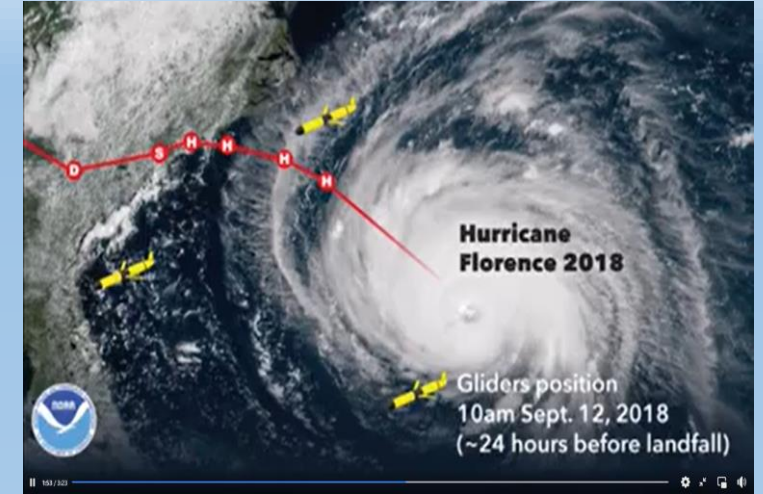
*I dati Argo migliorano l'accuratezza delle previsioni oceaniche e sono fondamentali per lo sviluppo di previsioni climatiche stagionali e decadali affidabili.*

## Per la mitigazione del cambiamento climatico

*Uno dei contributi scientifici più importanti di Argo è l'enorme miglioramento della stima del calore immagazzinato dagli oceani, fondamentale per comprendere il riscaldamento globale, l'innalzamento del livello dei mari e la salute degli oceani.*

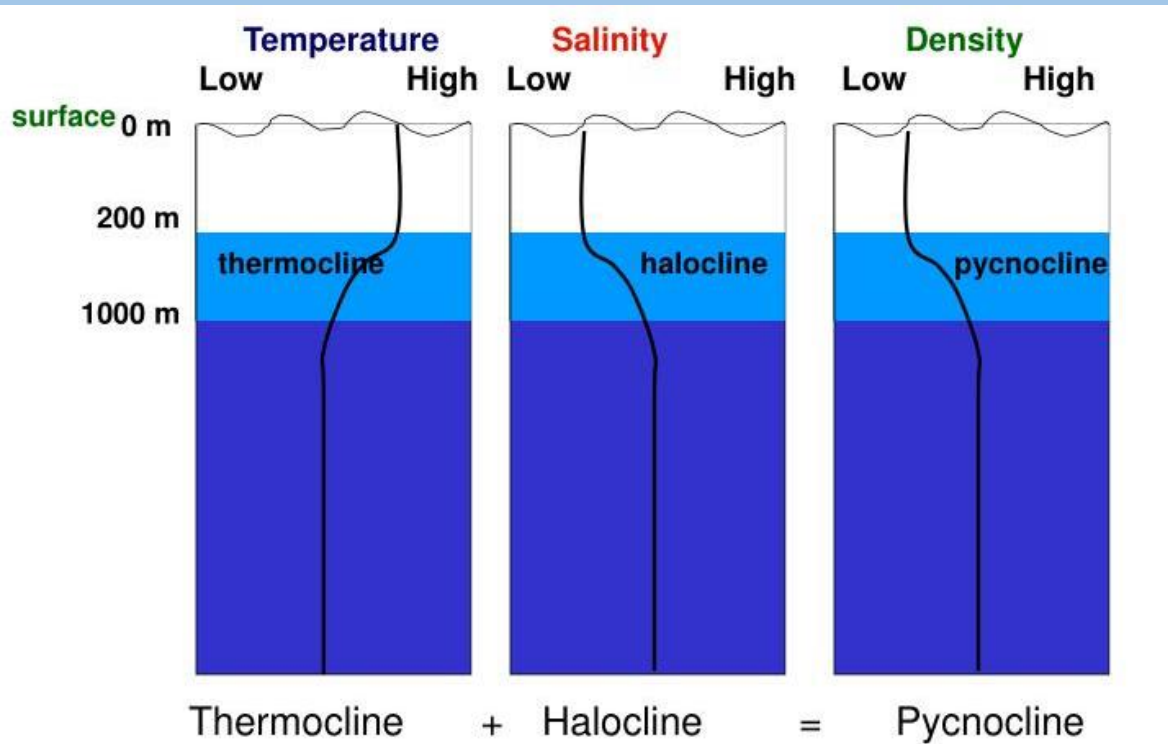


# Ocean Glider



# Densità

- ✓ La Temperatura ( $T$ ) e la salinità ( $S$ ), insieme alla Pressione ( $p$ ) controllano la densità dell'acqua di mare. La Densità ( $\rho = \frac{m}{V}$ ) è il fattore che maggiormente controlla i movimenti verticali delle masse d'acqua;
- ✓ La Densità ( $\rho$ ) è uno dei parametri più importanti nello studio della dinamica degli oceani; Piccole differenze di densità in direzione orizzontale (causate ad esempio da piccole differenze nella  $T$  superficiale) possono produrre correnti molto forti.



- ✓ Negli oceani la Densità ( $\rho$ ) normalmente aumenta con la profondità;
- ✓ La Densità ( $\rho$ ) aumenta all'aumentare della salinità;
- ✓ La Densità ( $\rho$ ) aumenta al diminuire della temperatura;
- ✓ La Densità ( $\rho$ ) dell'oceano varia da  $1020 \text{ kg/m}^3$  a  $1030 \text{ kg/m}^3$ ;
- ✓ La Densità ( $\rho$ ) non è misurata, è calcolata (con un'accuratezza di 2 ppm) da misure in-situ di pressione, temperatura, e conducibilità usando l'Equazione di Stato dell'acqua di mare.

$\rho = \rho(T, S, p)$  *Equazione di stato dell'acqua di mare*

# Densità Potenziale ed Anomalia di Densità

Per semplificare, gli oceanografi spesso considerano solo le ultime 2 cifre della densità' (20-30 kg/m<sup>3</sup>), una quantità detta Anomalia della Densità' (density anomaly) o Sigma  $\sigma(S,T,p)$  ;

Anomalia di  
Densità'

$$\sigma(S,T,p) = \rho(S,T,p) - 1000 \text{ kg/m}^3$$

- ✓ I cambiamenti di pressione influenzano la  $T$  dell'acqua e quindi anche il calcolo della relativa  $\sigma$ ;
- ✓ Per questo si usa spesso la Densità Potenziale ( $\rho_\theta$ ) o l'Anomalia di Densità Potenziale ( $\sigma_\theta$ ), definita come la densità di una particella d'acqua portata adiabaticamente fino ad una pressione di riferimento (pari a 0) senza cambiamenti di salinità

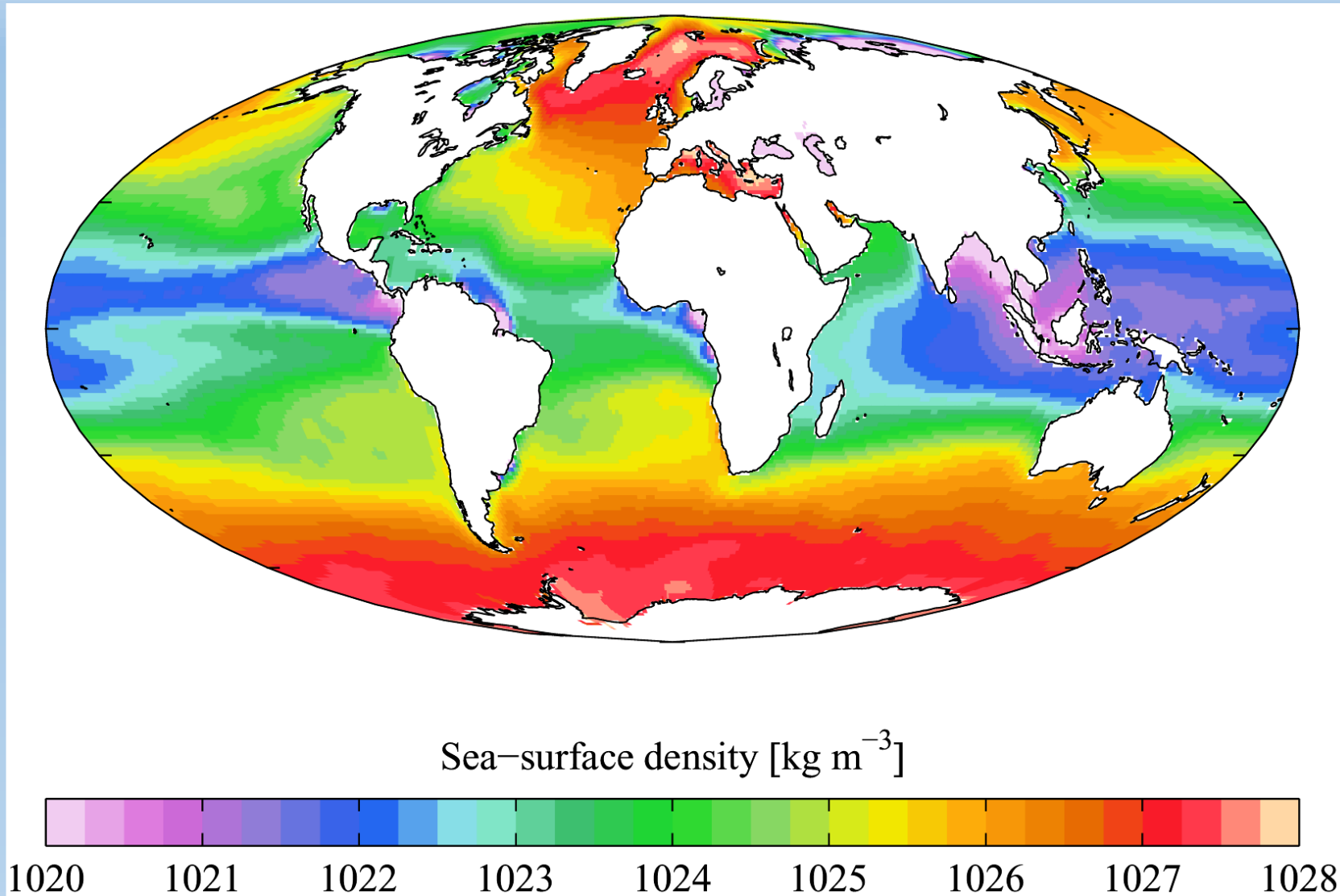
Densità'  
Potenziale

$$\rho_\theta = \rho(S,\theta,0)$$

Anomalia  
di Densità'  
Potenziale

$$\sigma_\theta = \sigma(S,\theta,0)$$

# Distribuzione superficiale di Densità

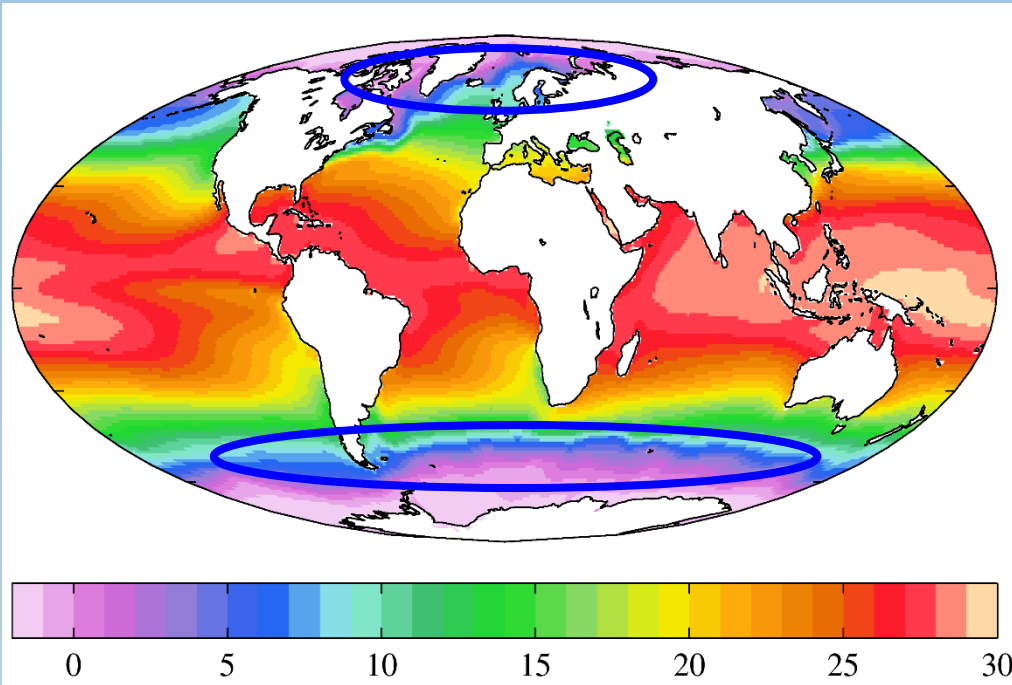


La densità delle acque superficiali:

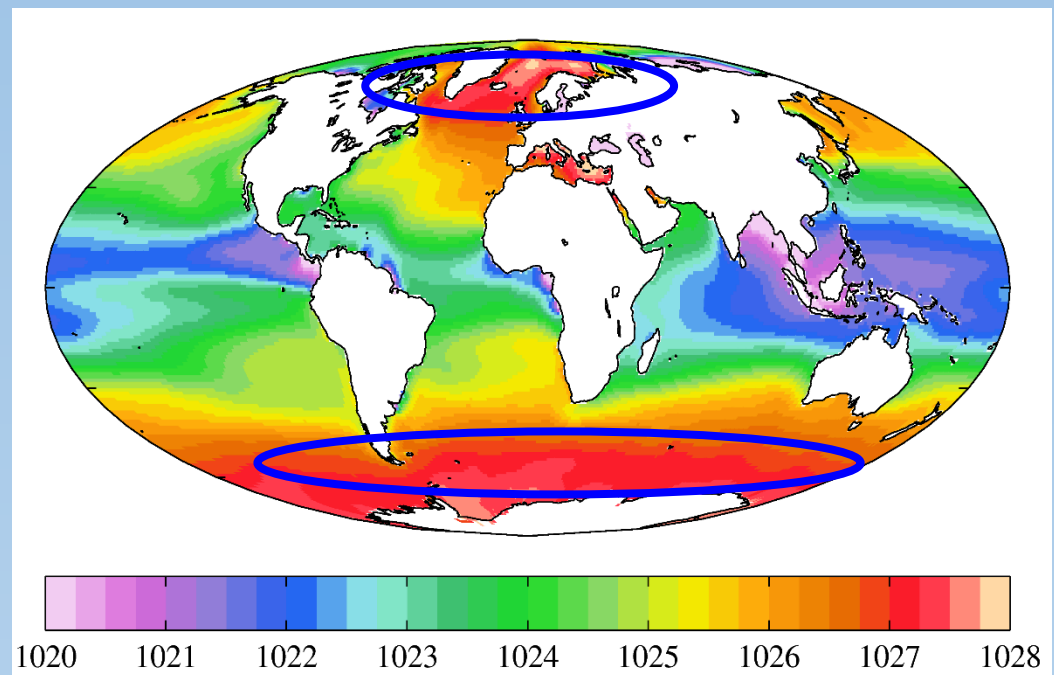
- ✓ E' massima nelle fredde regioni polari;
- ✓ Decresce andando dai poli verso l'Equatore;

# Ocean Surface Density

Temperature (°C)



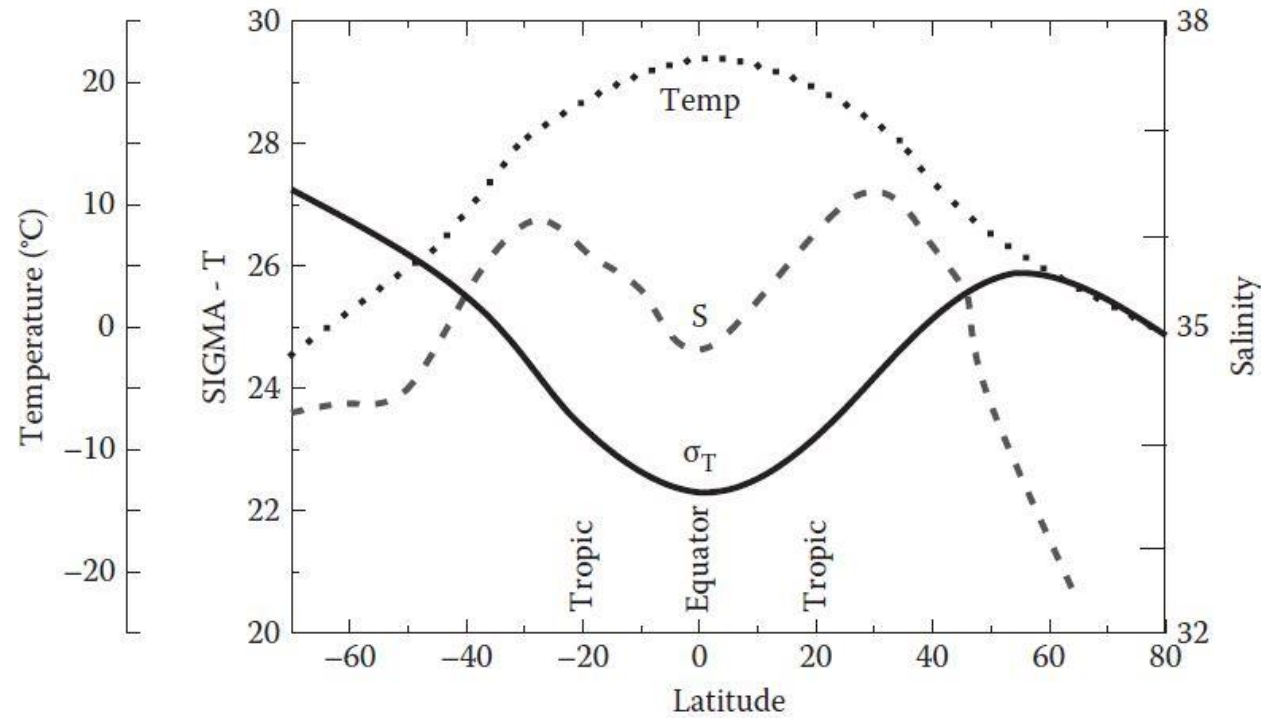
Sea-Surface Density (kg/m<sup>3</sup>)



Cold Temperature = High Density  
(Warm Temperature = Low Density)

# Ocean Surface Density

## 3.4. DENSITY

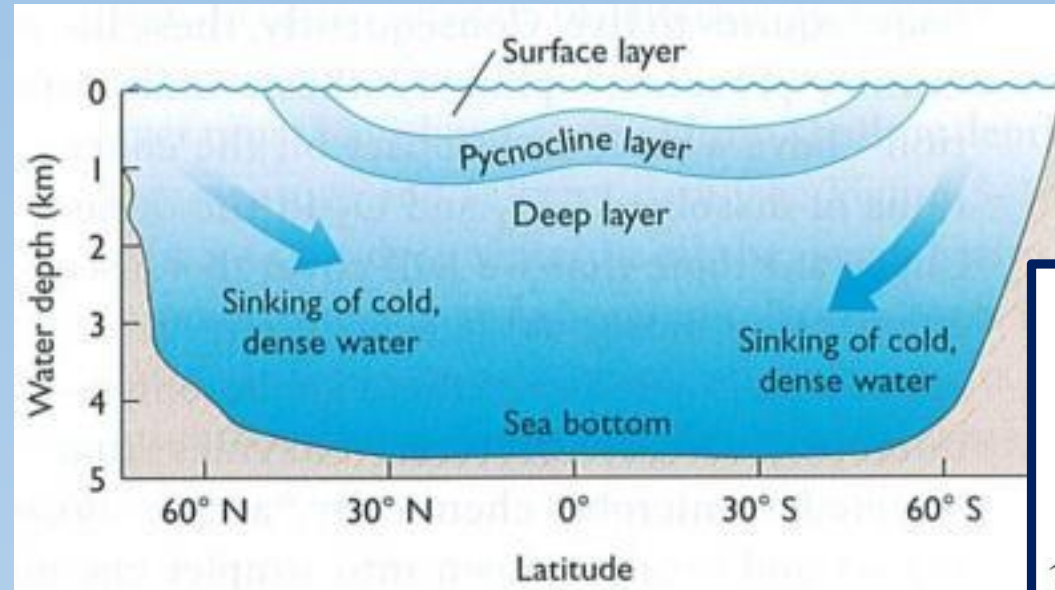
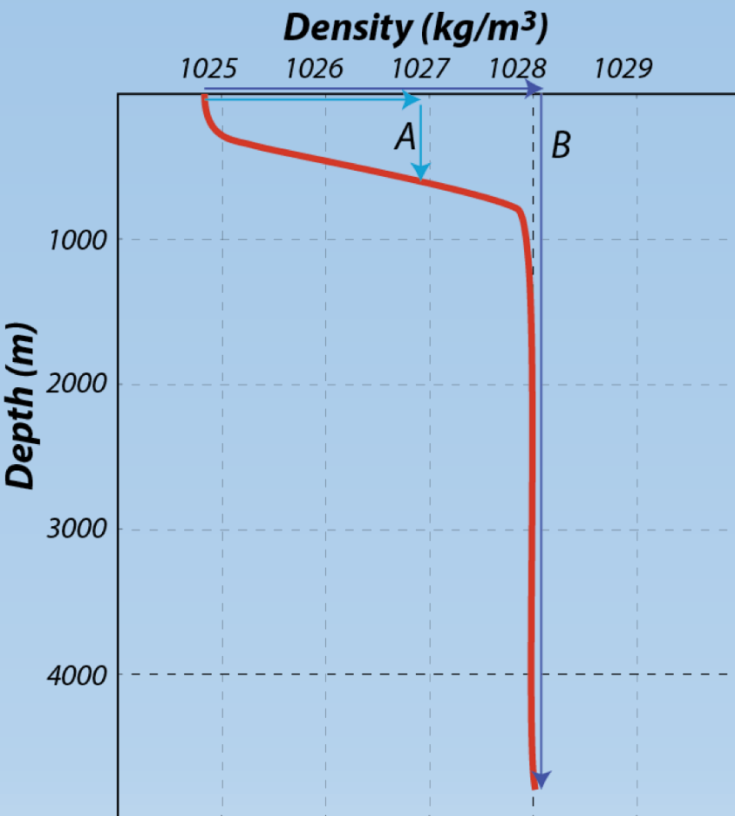


- La densità superficiale è maggiore nelle aree polari e diminuisce andando verso l'equatore;
- la densità è influenzata dalla combinazione di T ed S

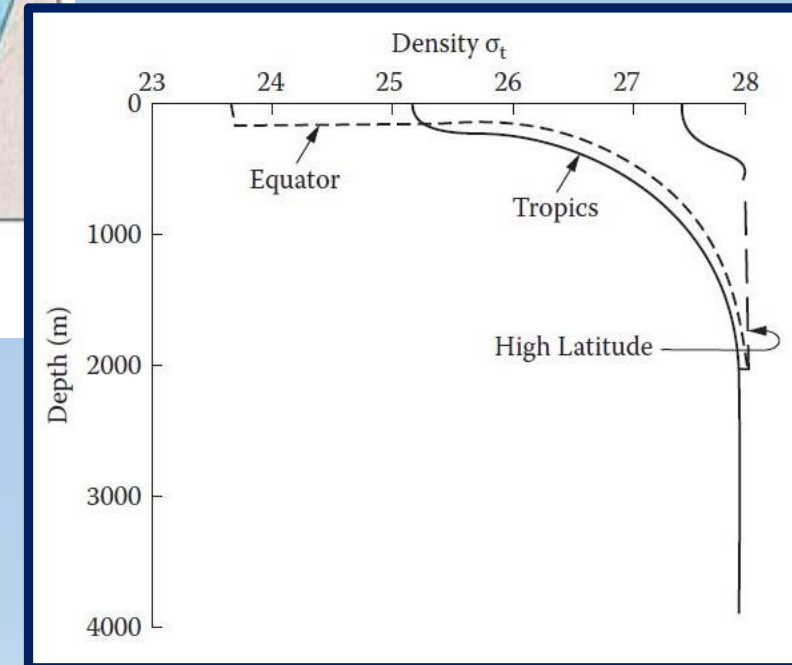
Comparison of sigma-T to temperature and salinity for ocean surface waters. (From Millero, F. J., *Chemical Oceanography*, 4th ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 2013, 15. With permission.)

# Distribuzione verticale di Densità

- ✓ La Densità ha valori minimi in superficie (Mixed Layer), dove le acque sono più calde;
- ✓ Sotto il Mixed Layer si trova il **PICNOCLINO**, dove la densità aumenta velocemente con la profondità; il **PICNOCLINO** coincide con il **TERMOCLINO**;
- ✓ Sotto il **PICNOCLINO**, la densità è più o meno costante e/o aumenta molto lentamente andando verso il fondo.

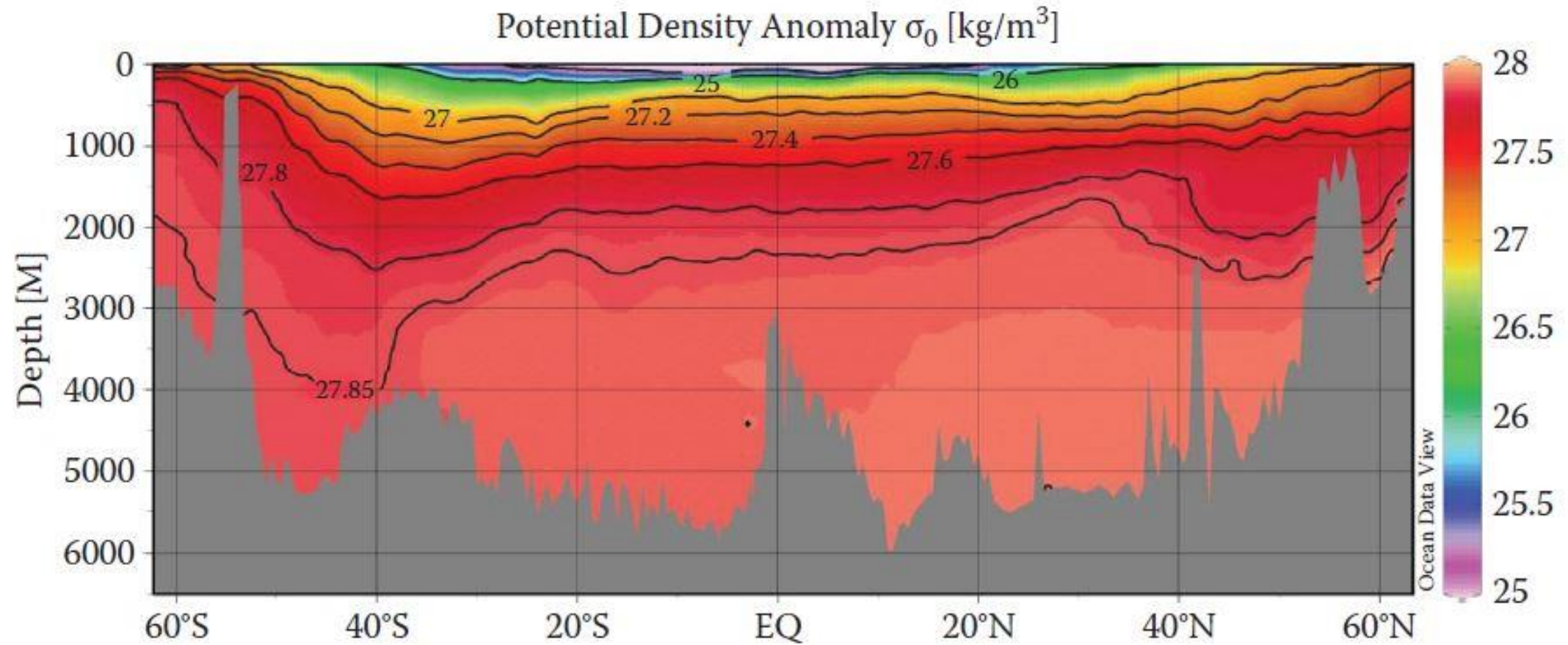


- ✓ Il **PICNOCLINO**, così come il **TERMOCLINO**, è più pronunciato nelle zone tropicali e temperate rispetto a quelle polari



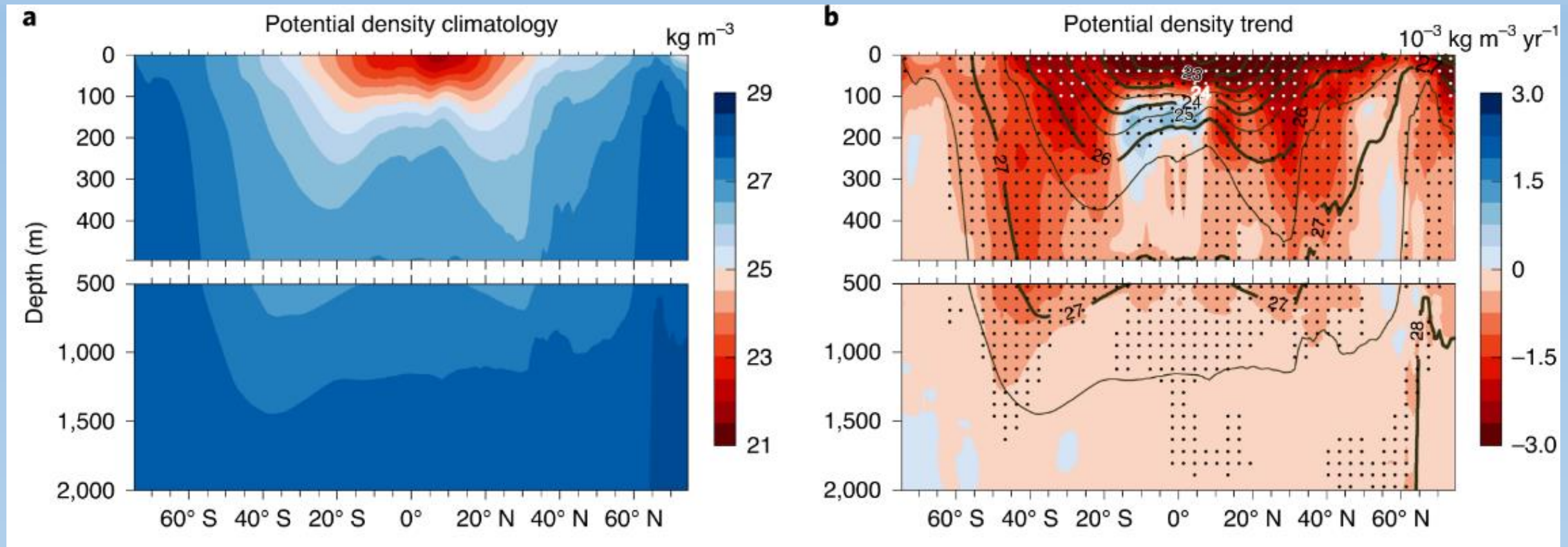
# Distribuzione vertical di Densità

## Oceano Atlantico



# Distribuzione verticale di Densità

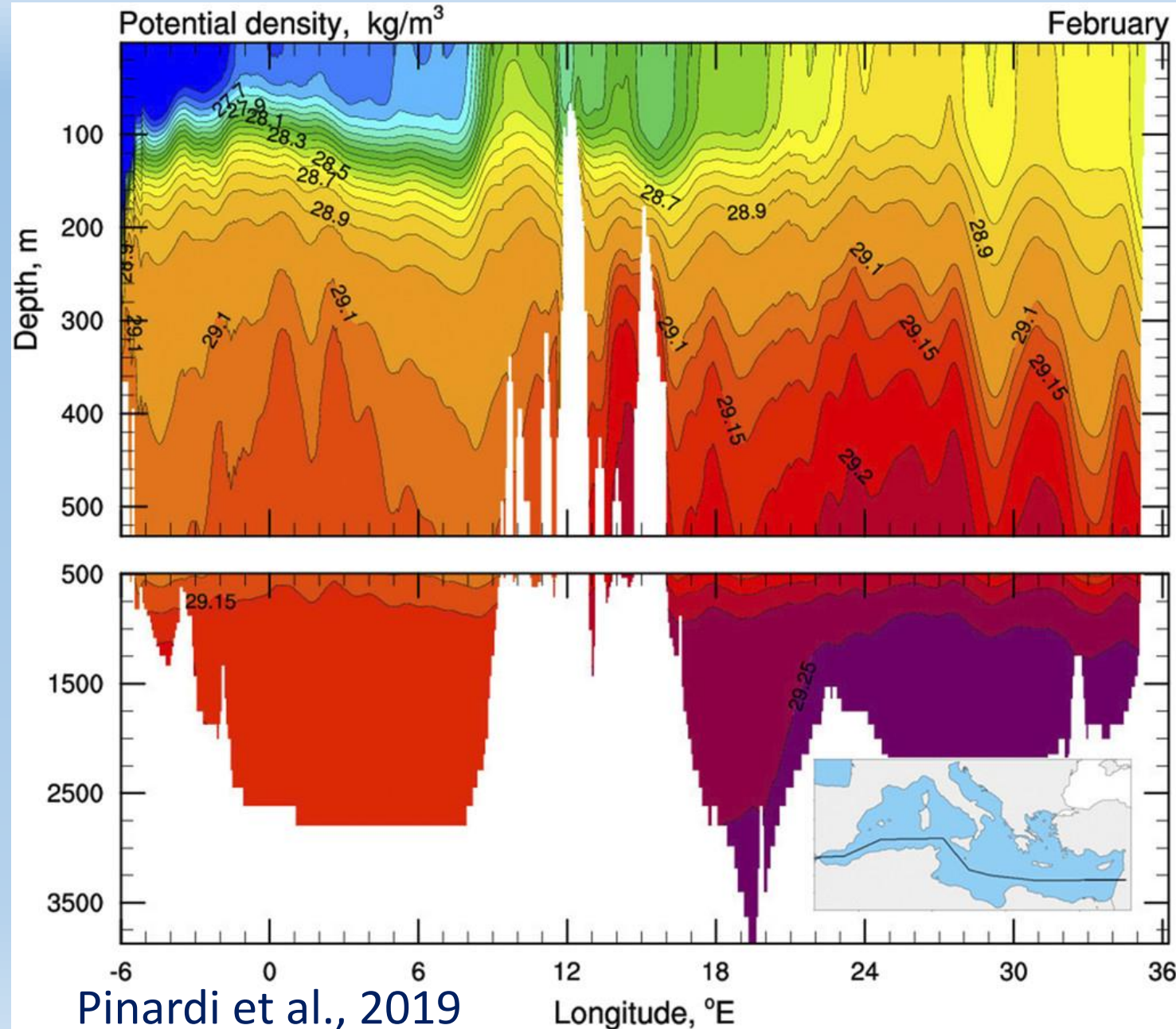
Climatological mean and long-term trends for global ocean potential density over 1960-2018



Li et al., 2020

- La densità potenziale è minore in superficie ed aumenta con la profondità;
- Il trend indica una diminuzione di densità dal 1960, principalmente correlata ai cambiamenti delle temperature.

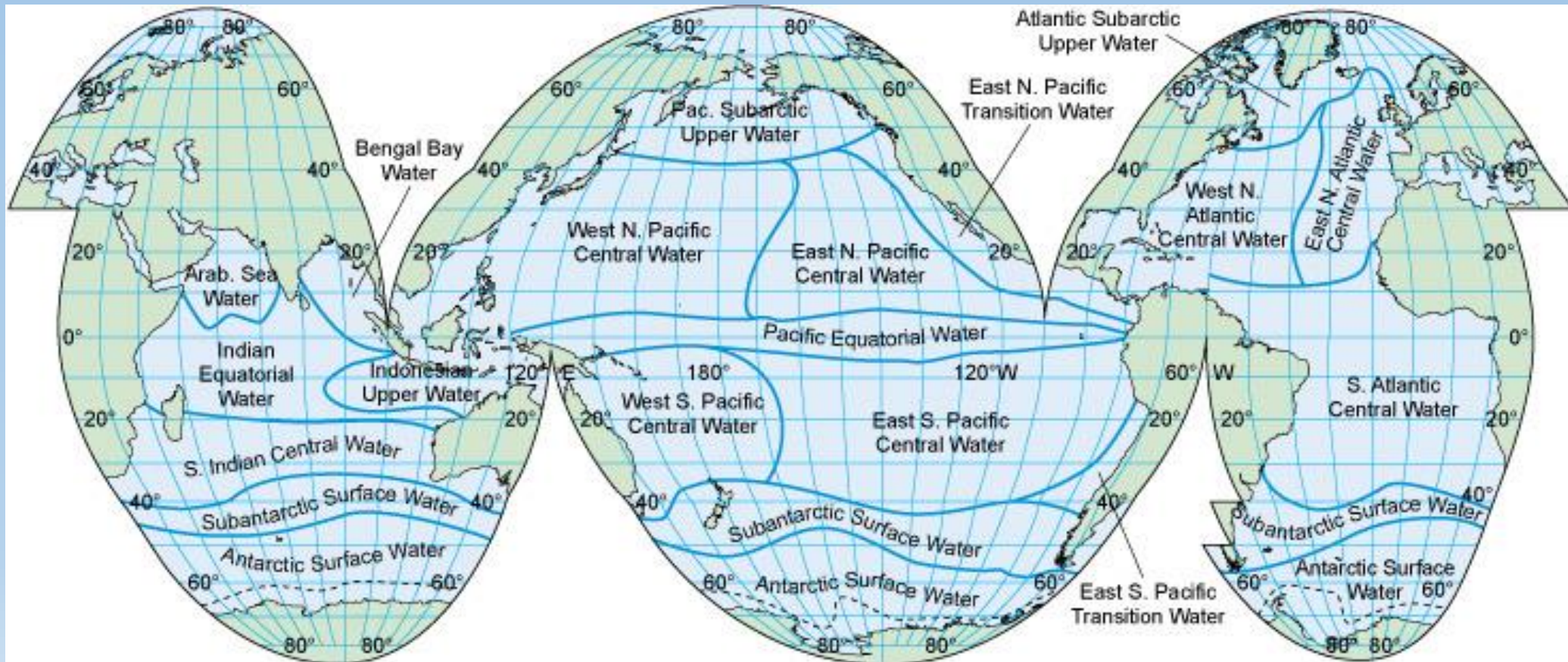
# Distribuzione verticale di Densità: Mediterraneo



- La densità potenziale del Mediterraneo è in generale più alta di quella dell'oceano globale;
- Le acque di origine atlantica (AW – Atlantic Water) a ovest di 6°E hanno  $\sigma_\theta < 27,3 \text{ kg m}^{-3}$ ;
- Le acque più dense ( $\sigma_\theta > 29,2 \text{ kg m}^{-3}$ ) sono immagazzinate nelle pianure abissali del Mediterraneo orientale;

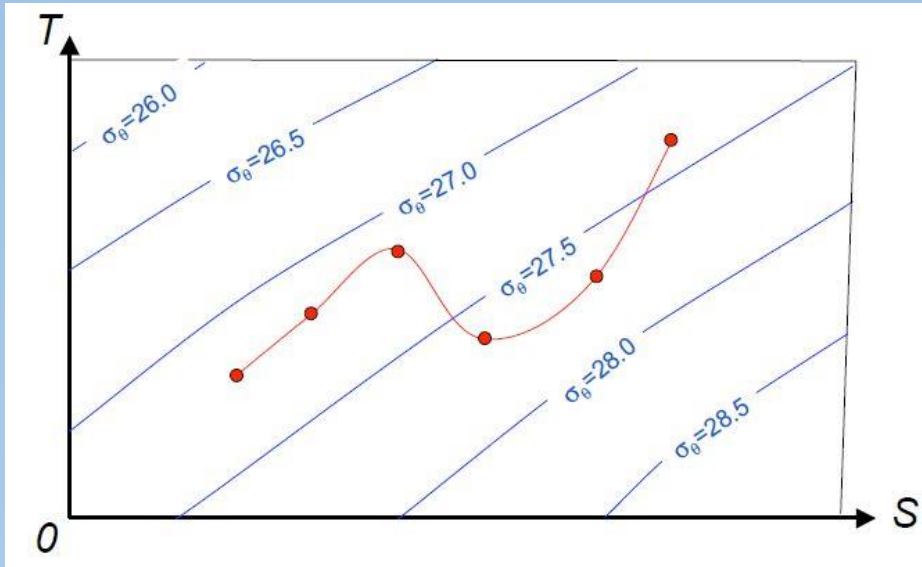
# Masse d'acqua

- Le **masse d'acqua (Water Masses)** degli oceani sono dei corpi d'acqua identificabili in termini di densità, con un'origine comune e con proprietà fisiche ben distinte rispetto alle acque circostanti;
- si muovono orizzontalmente e verticalmente e sono definite in base alle loro caratteristiche di **temperatura, salinità e densità** che possono essere usate per tracciare i loro movimenti;

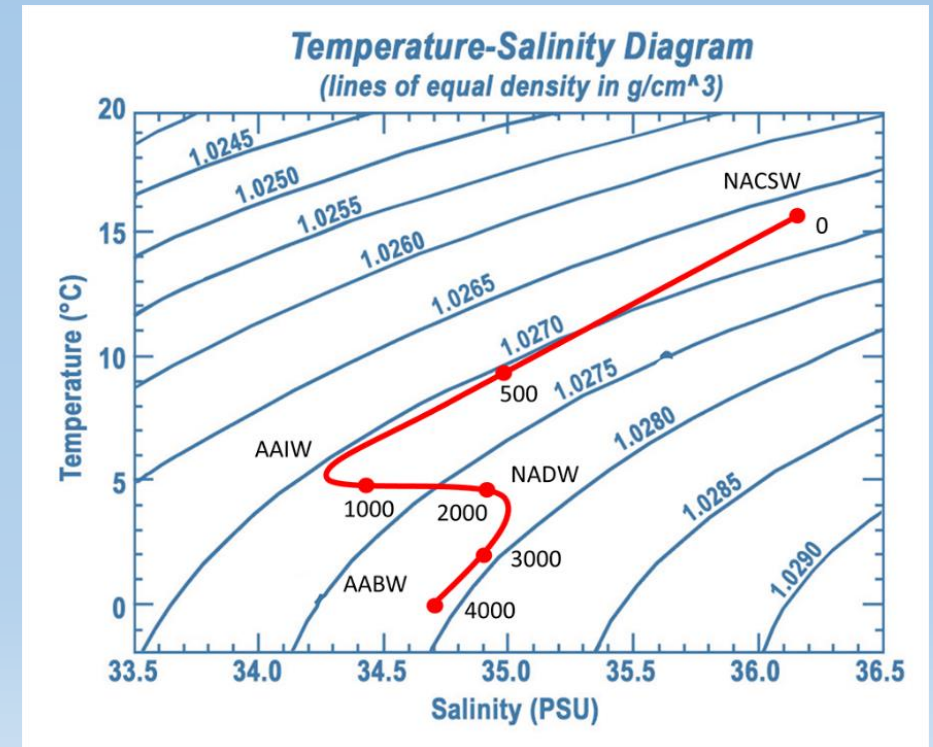
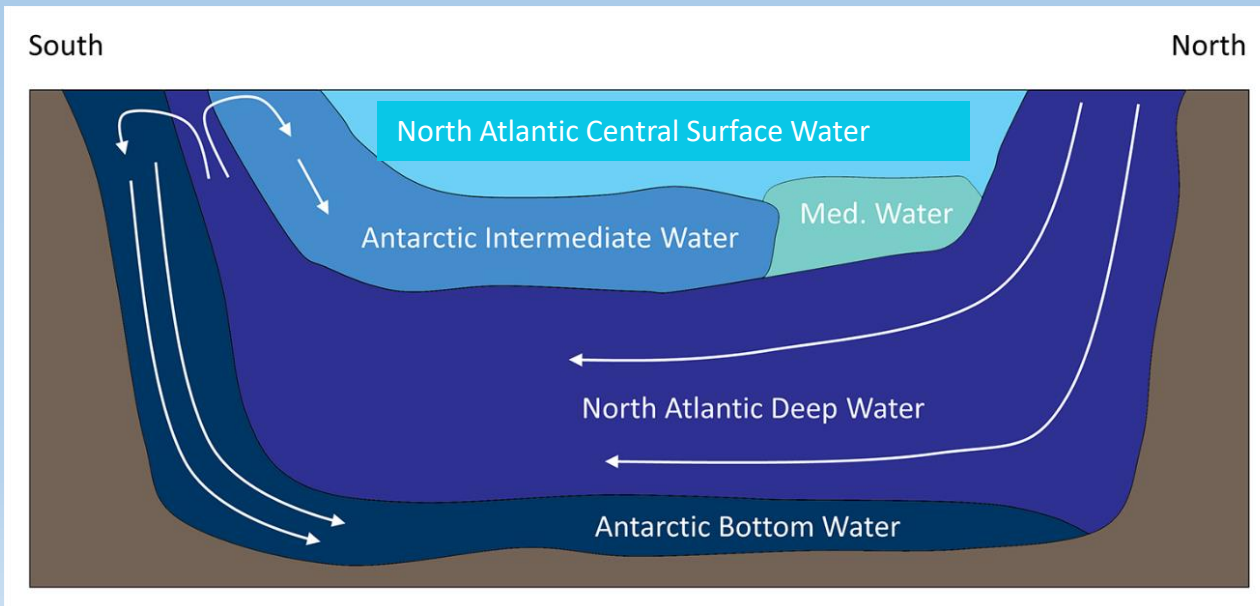


# Diagrammi T-S

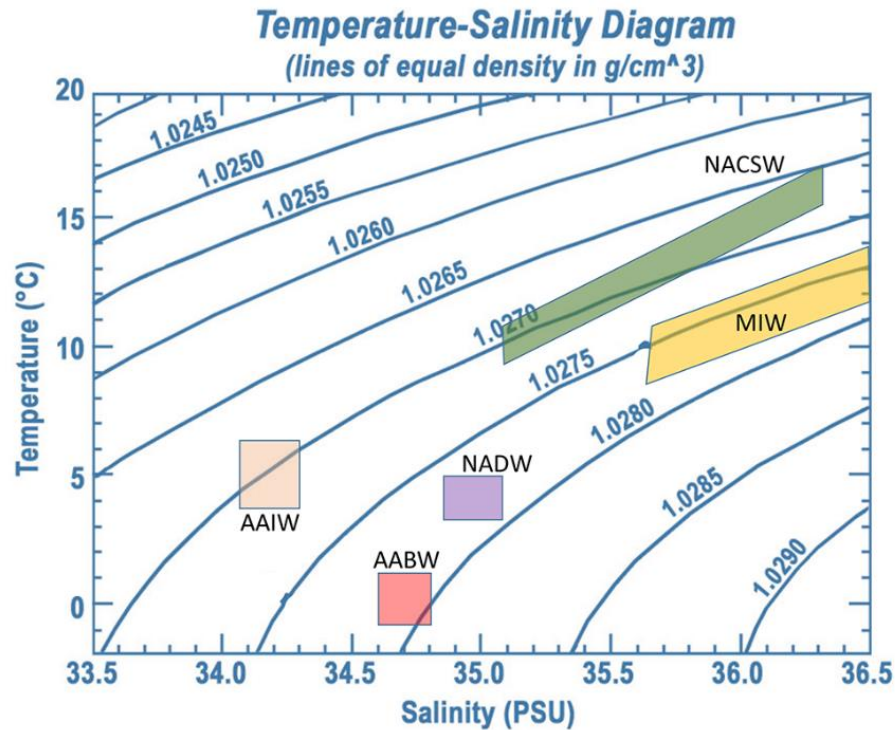
- I diagrammi T-S si utilizzano per identificare le diverse **masse d'acqua (Water Masses)**



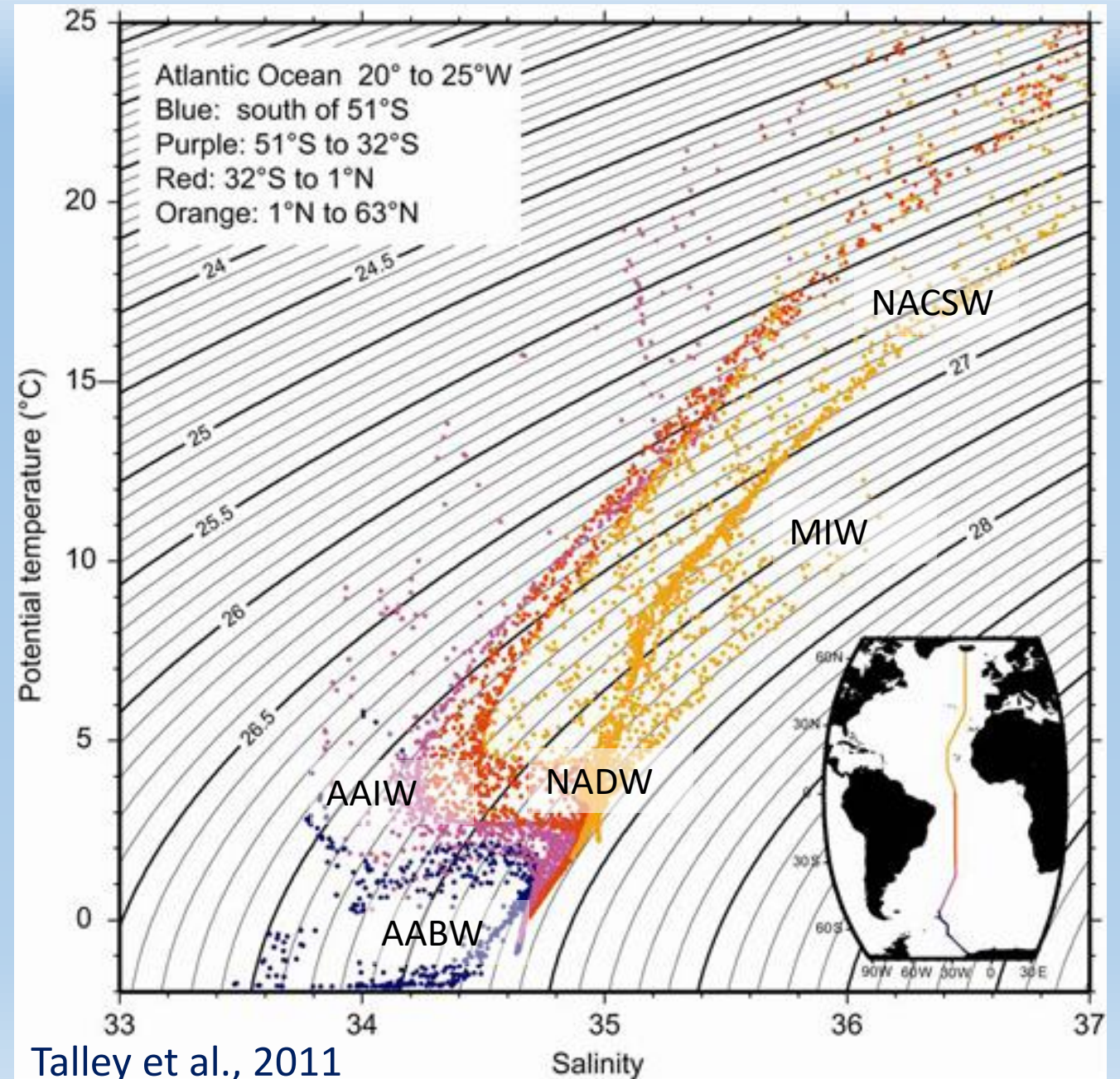
- I valori di salinità si trovano sull'asse x (o delle ascisse) e quelli di temperatura sull'asse y (o delle ordinate);
- I profili trasversali (contour) sono le **isopiche** linee ad uguale densità (o ad uguale anomalia di densità potenziale  $\sigma_\theta$ ).



# Diagrammi T-S: Oceano Atlantico



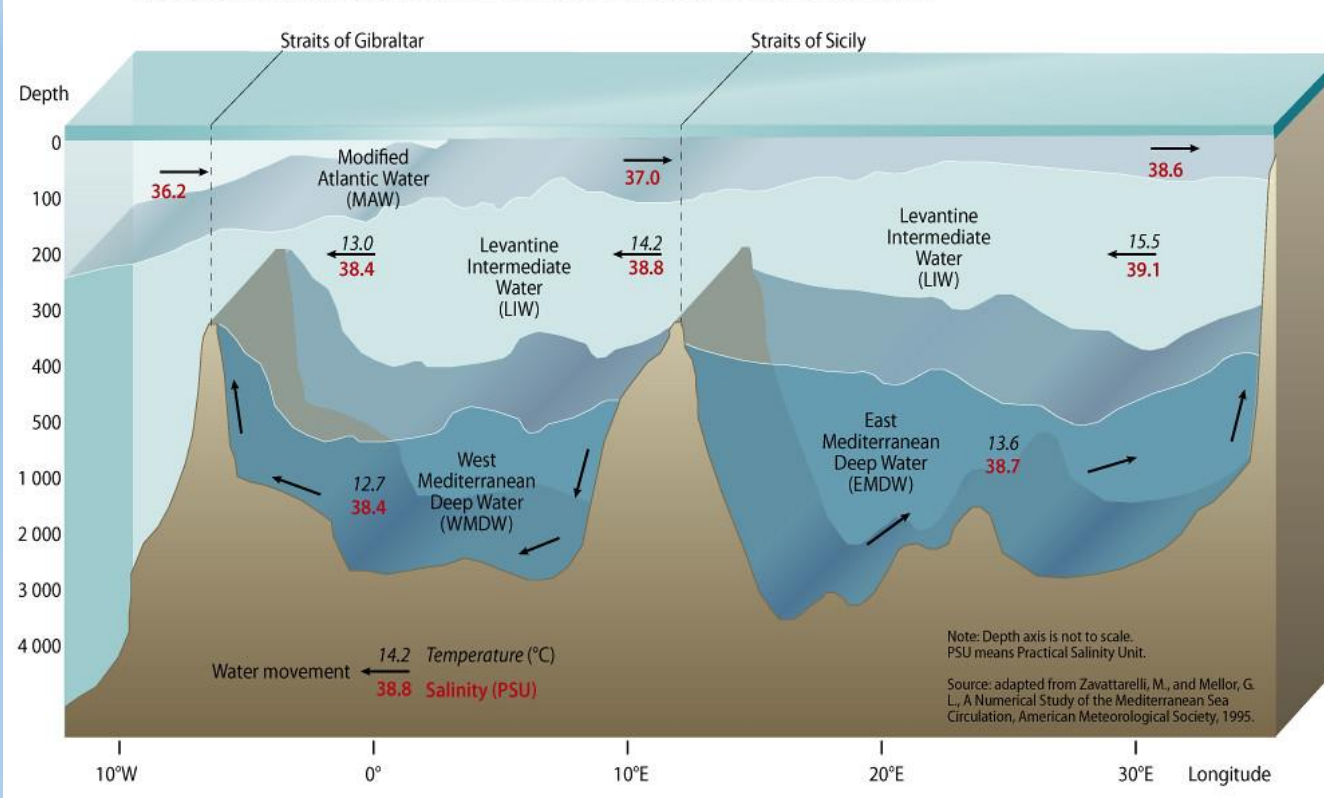
Characteristic ranges of temperature and salinity for the major Atlantic water masses; North Atlantic Central Surface Water (**NACSW**), Mediterranean Intermediate Water (**MIW**), Antarctic Intermediate Water (**AAIW**), North Atlantic Deep Water (**NADW**), and Antarctic Bottom Water (**AABW**).



Talley et al., 2011

# Diagrammi T-S: Mediterraneo

**Mediterranean Sea water masses: vertical distribution**



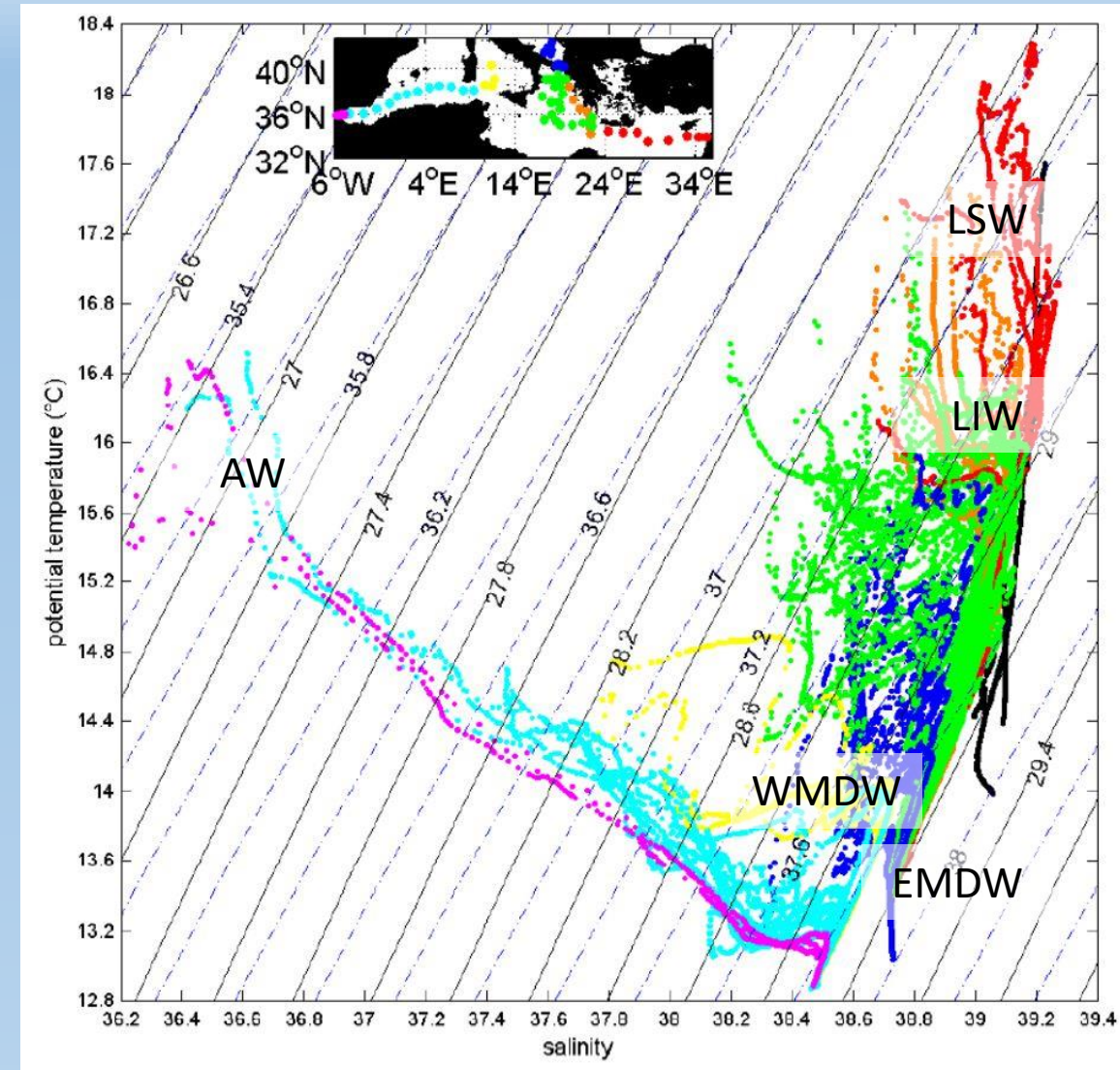
AW – Atlantic Water

LSW – Levantine Surface Water

LIW – Levantine Intermediate Water

WMDW – Western Mediterranean Deep Water

EMDW – Eastern Mediterranean Deep Water

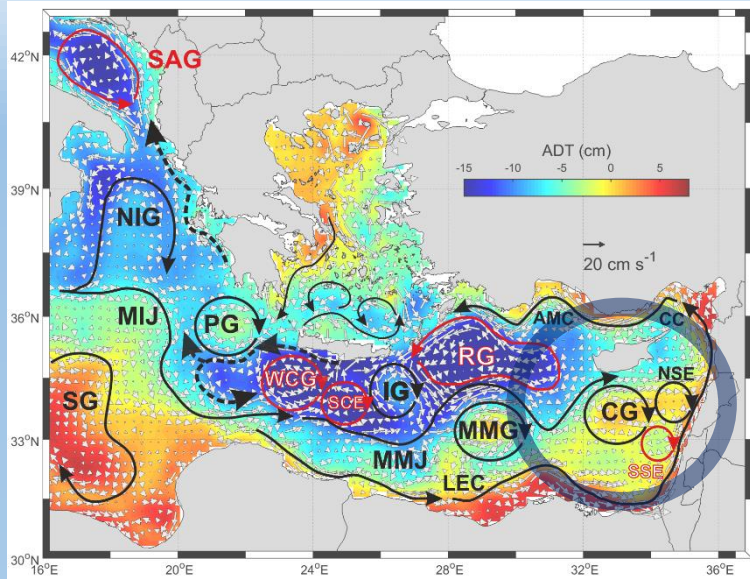


Hainbucher et al., 2013

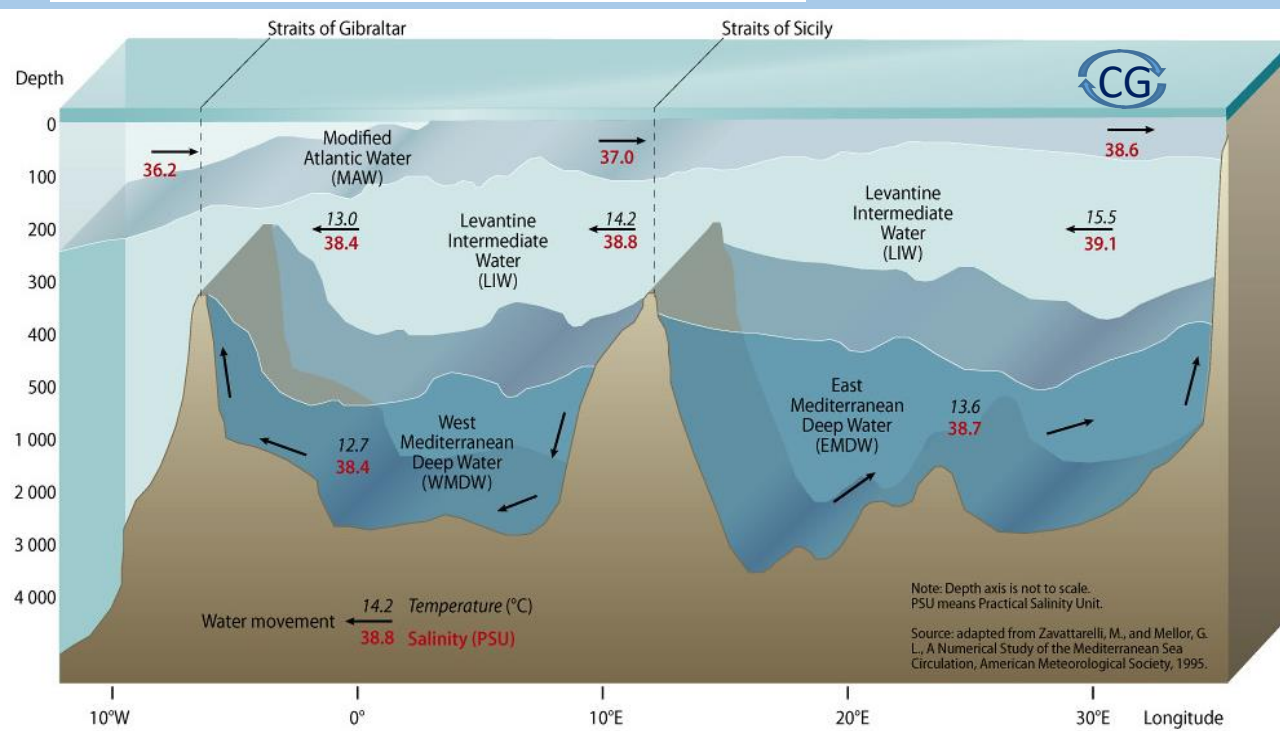
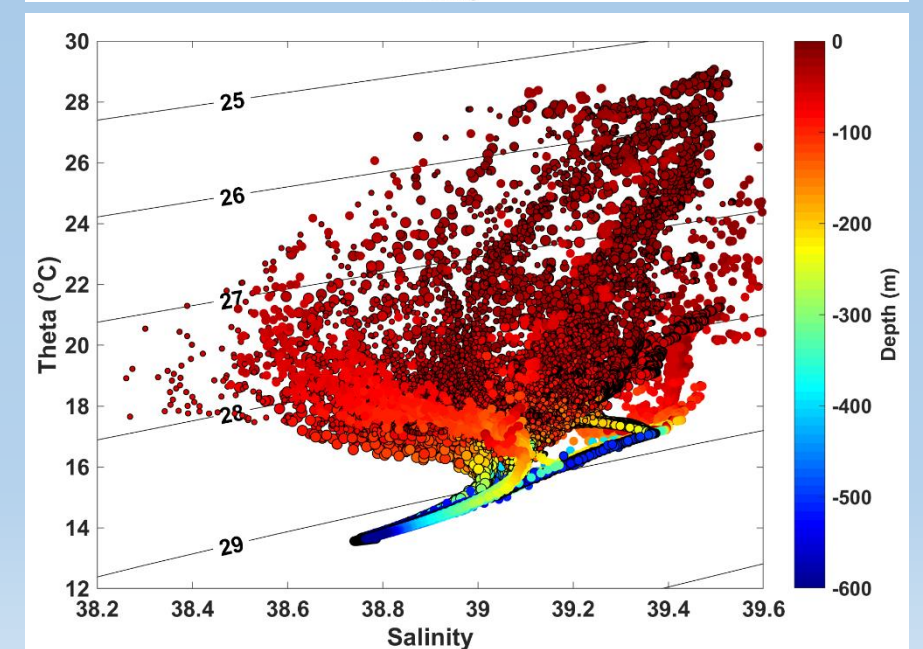
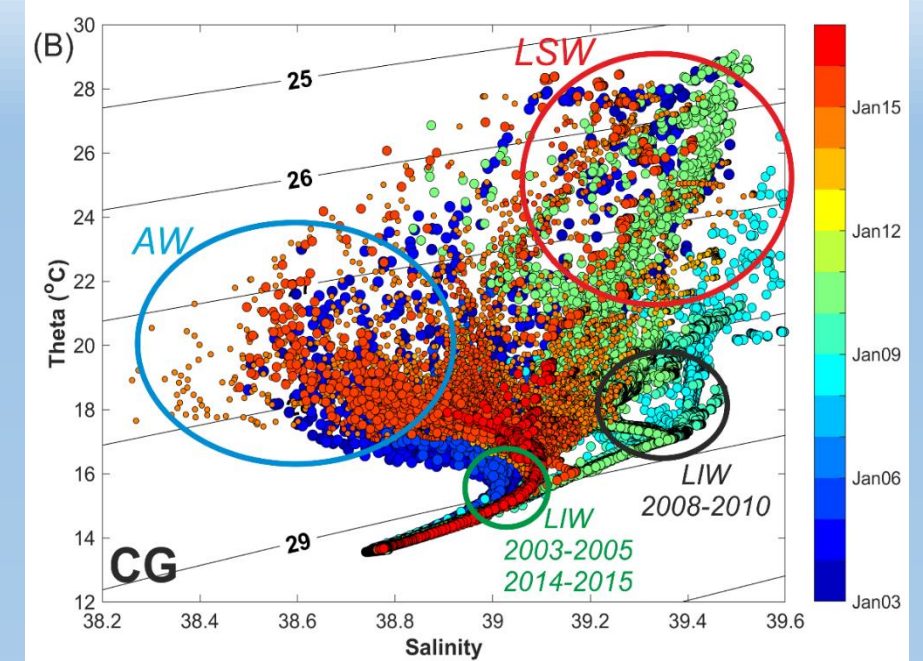
April – June 2011; From 50 m depth to the bottom

# Diagrammi T-S: Mediterraneo

Menna et al., 2021

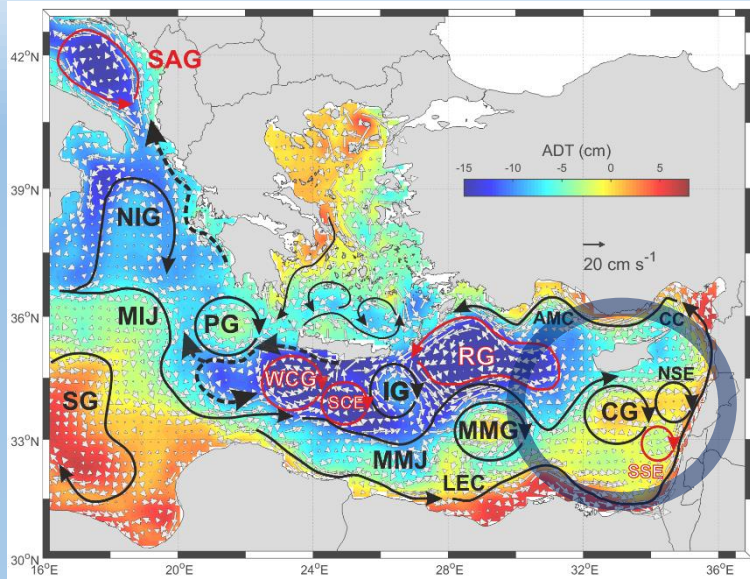


Argo float data in the Cyprus Gyre  
0-600 m

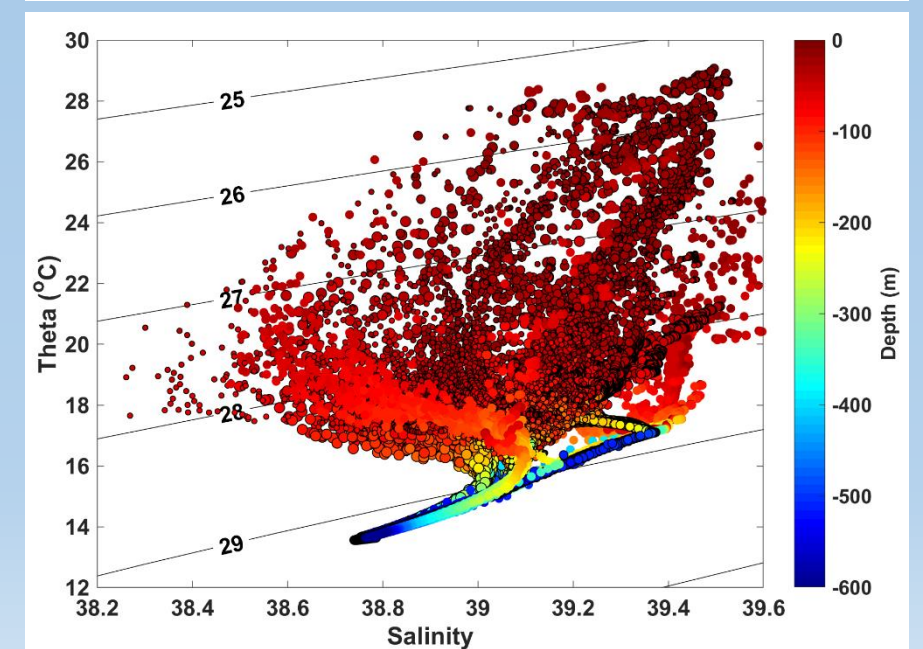
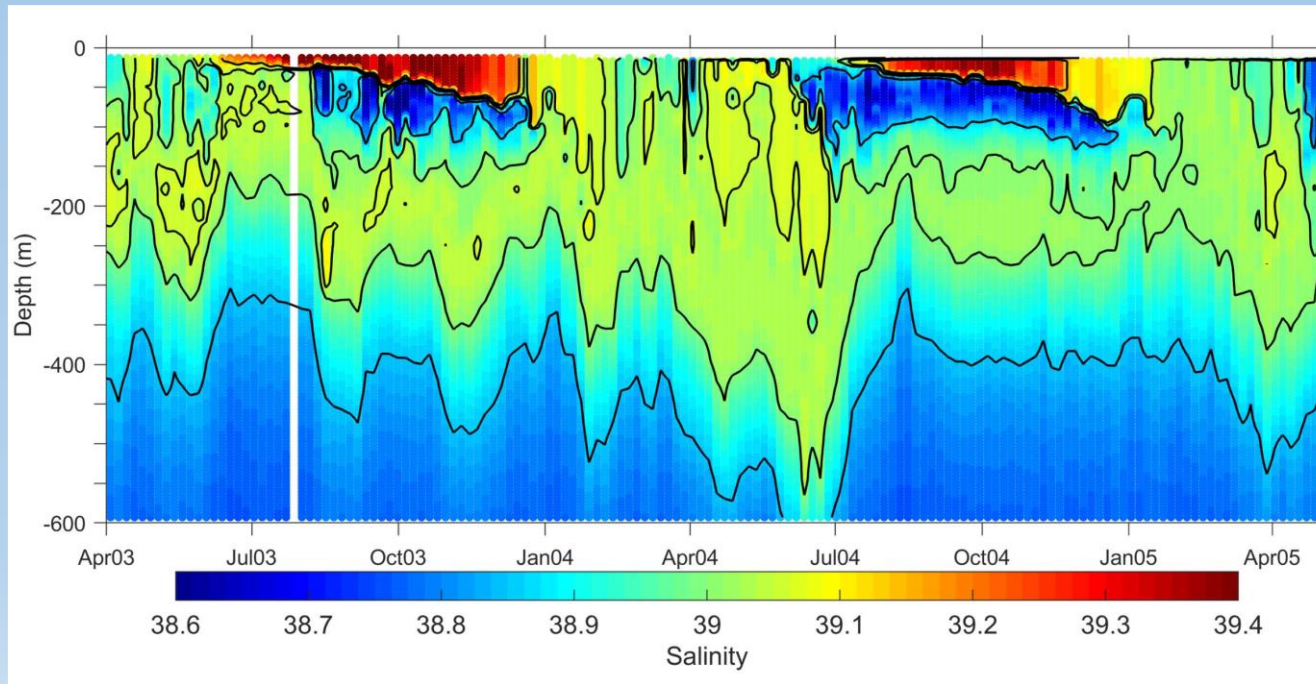
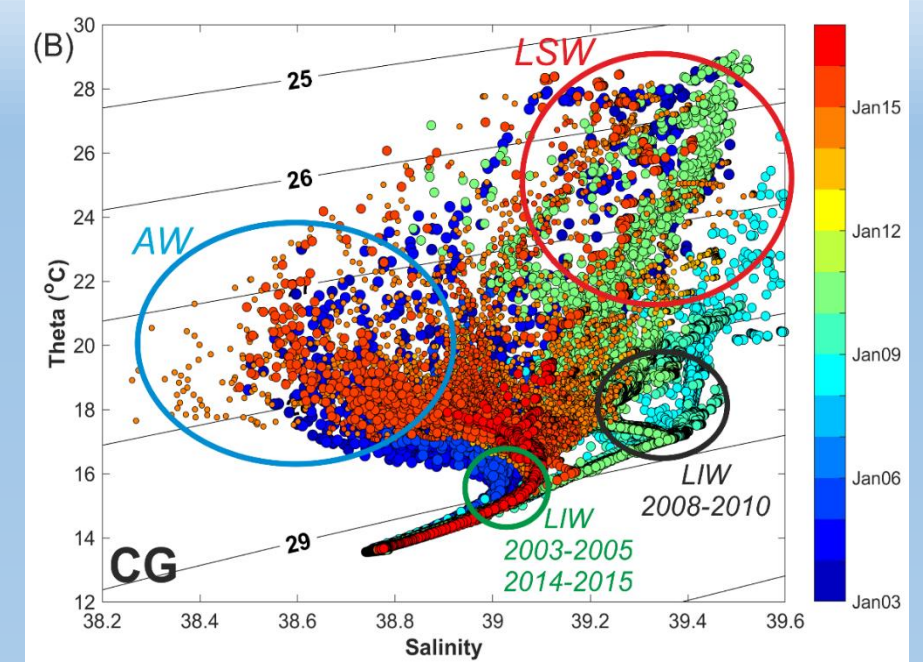


# Diagrammi T-S: Mediterraneo

Menna et al., 2021



Argo float data in the Cyprus Gyre  
0-600 m

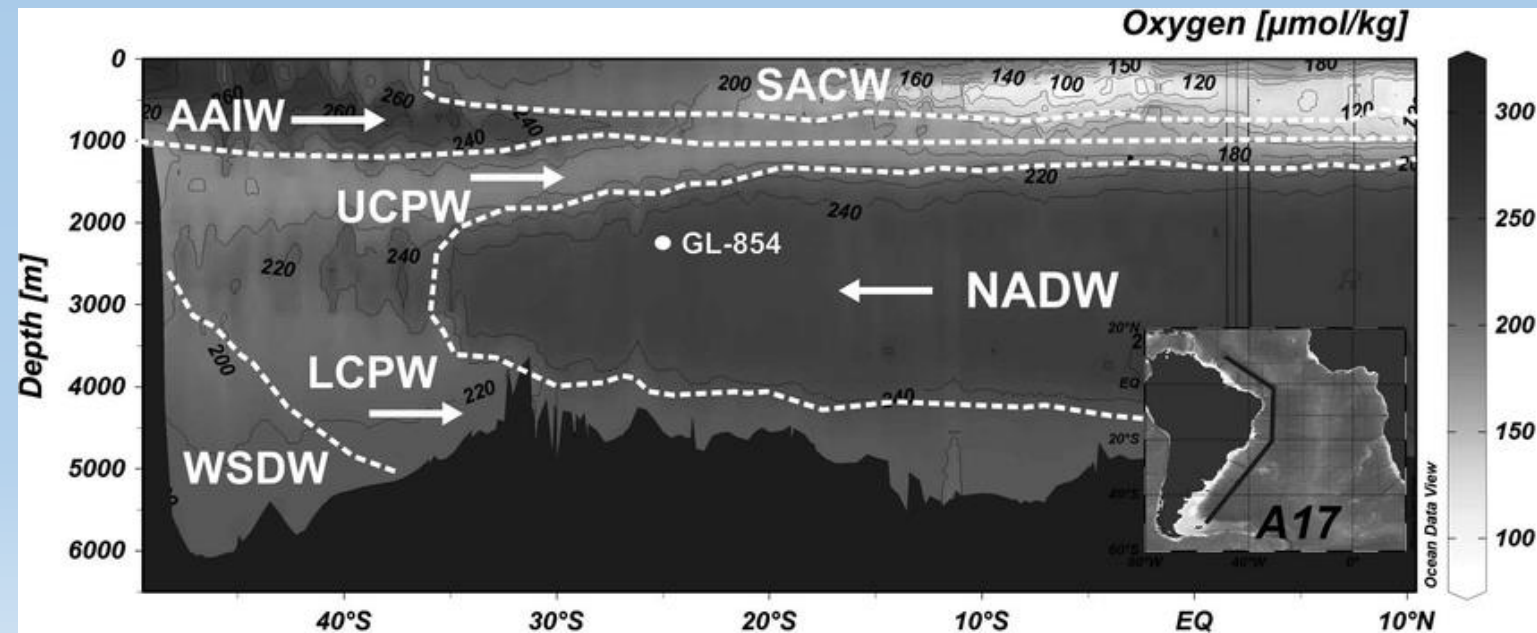
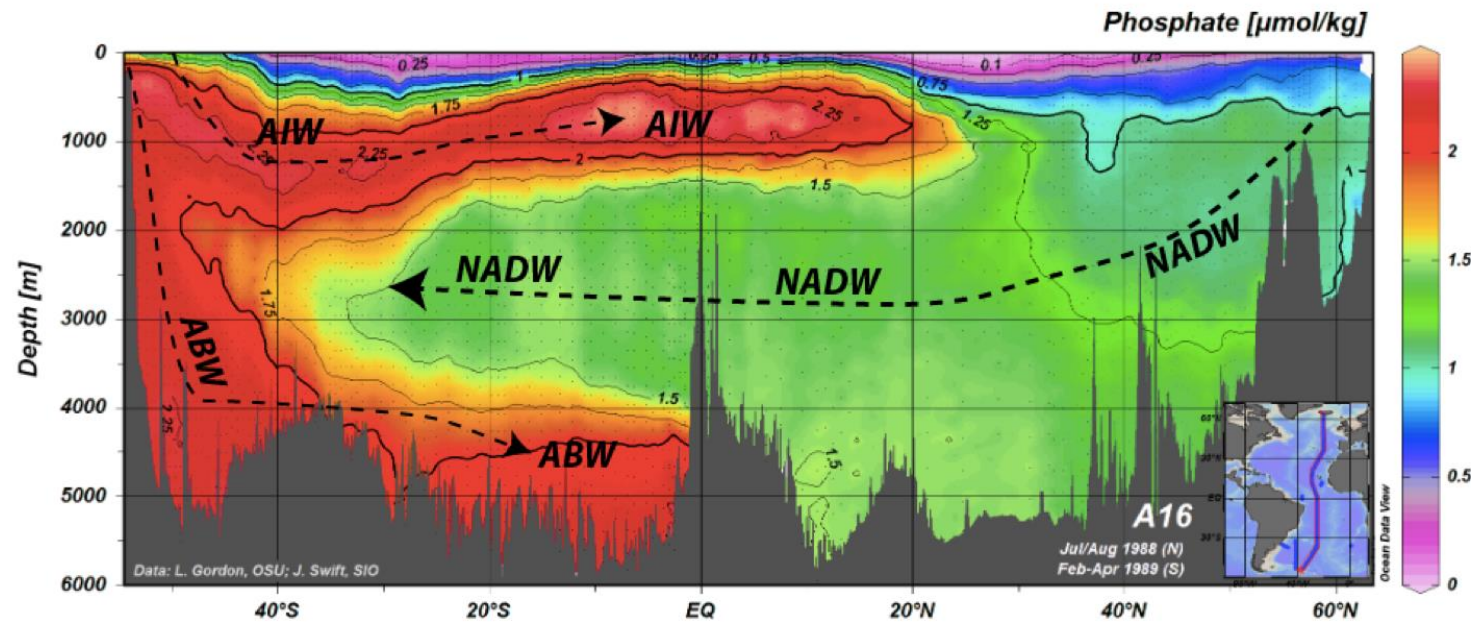


# Diagrammi T-S: proprietà conservative

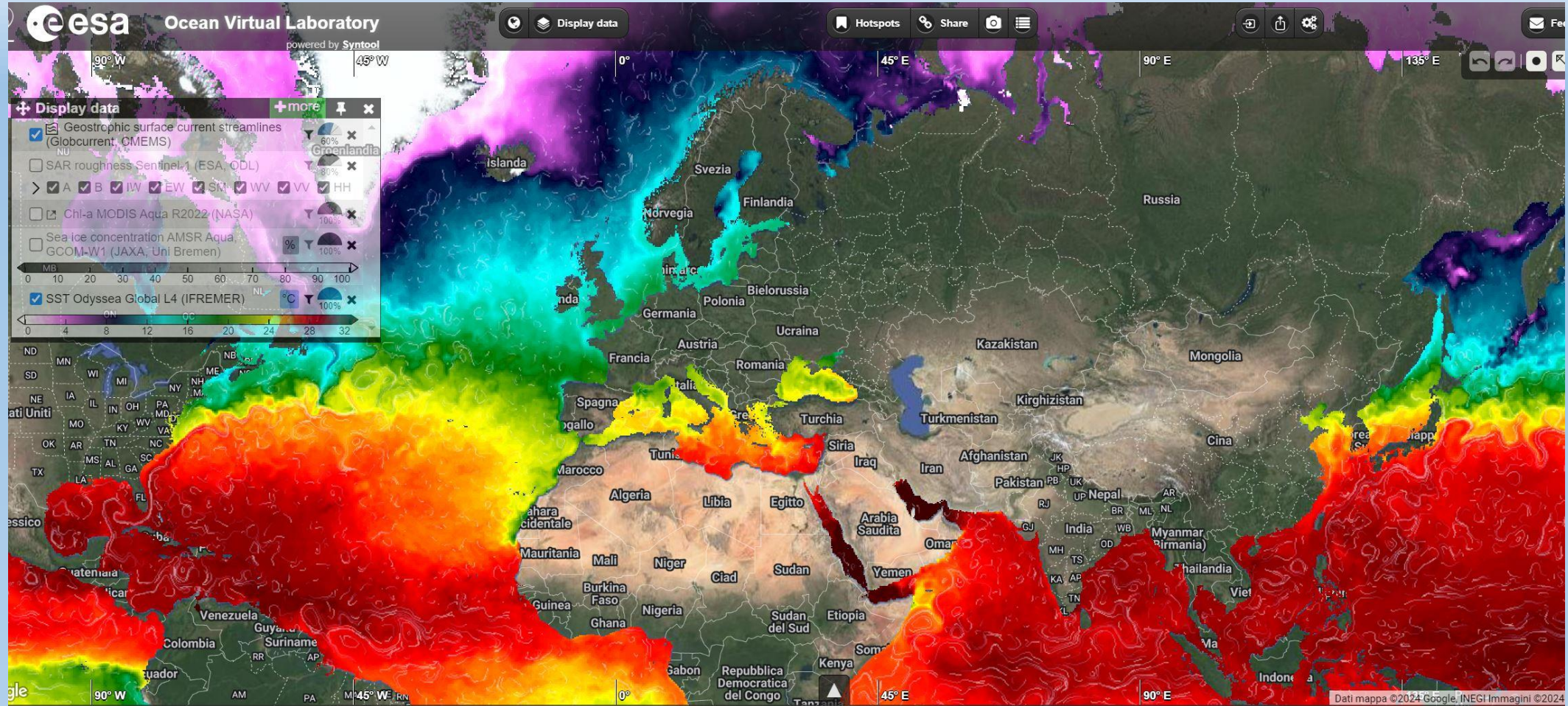
I diagrammi T-S si utilizzano per identificare le diverse masse d'acqua (Water Masses):

- ✓ Le **T** e le **S** sono proprietà facili da misurare;
  - ✓ Quando le masse d'acqua non sono più in contatto con l'atmosfera (non sono nel mixed layer), **T** ed **S** possono cambiare solo attraverso il mixing con altre masse d'acqua con differenti caratteristiche di T ed S;
  - ✓ per questo motivo si dicono **proprietà conservative**, cioè che cambiano solo in particolari condizioni (mixing con altre masse d'acqua).
- 
- ✓ Le masse d'acqua possono essere identificate anche grazie a proprietà chimiche e biologiche (es. contenuto di ossigeno disciolto e nutrienti);
  - ✓ Queste proprietà possono cambiare anche per processi differenti dal mixing (processi biologici) e per questo vengono dette **proprietà non conservative**.

# Proprietà non conservative



# Ocean Virtual Lab



[https://ovl.oceandatalab.com/?date=2024-10-01T12:00:00&timespan=1d&extent=-12518368.541664\\_-2846961.7438381\\_20884001.318083\\_12787773.767549&center=4182816.3882095\\_4970406.0118553&zoom=3&products=3857\\_SAR\\_roughness!3857\\_GlobCurrent\\_CMEMS\\_geostrophic\\_streamline!3857\\_AMSR\\_sea\\_ice\\_concentration!3857\\_GIBS\\_MODIS\\_Aqua\\_L2\\_Chlorophyll\\_A!3857\\_ODYSSEA\\_SST&opacity=80\\_60\\_100\\_100\\_100&stackLevel=100.02\\_120.07\\_40.03\\_50.21\\_30.02&filter=+A,+B,+IW,+EW,+SM,+WV,+VV,+HH&selection=01001](https://ovl.oceandatalab.com/?date=2024-10-01T12:00:00&timespan=1d&extent=-12518368.541664_-2846961.7438381_20884001.318083_12787773.767549&center=4182816.3882095_4970406.0118553&zoom=3&products=3857_SAR_roughness!3857_GlobCurrent_CMEMS_geostrophic_streamline!3857_AMSR_sea_ice_concentration!3857_GIBS_MODIS_Aqua_L2_Chlorophyll_A!3857_ODYSSEA_SST&opacity=80_60_100_100_100&stackLevel=100.02_120.07_40.03_50.21_30.02&filter=+A,+B,+IW,+EW,+SM,+WV,+VV,+HH&selection=01001)