COMPUTATIONAL
CLIMATE & OCEAN GROUP
at UC Davis



L’IA per gli oceani e i sistemi marini

Comprendere meglio e rafforzare la resilienza

Maike Sonnewald

Scuola estiva Climate Change AI 2026

UCDAVIS

Panoramica

L’oceano fisico, chimico e biologico

Che cosa sta cambiando?

Riscaldamento, livello del mare, acidificazione, ondate di calore marine e i loro effetti a catena su plancton e pesca

Quali dati abbiamo per capire e prevedere l’oceano?

Osservazioni in situ, telerilevamento e modelli numerici, e le lacune di ciascuno

Perché l’AA?

Breve introduzione e panoramica

Casi di studio

pCO_2 da satellite, plancton antartico, attribuzione delle ondate di calore e circolazione dell’oceano Atlantico

Dovremmo chiamarlo pianeta Oceano?

L’oceano copre circa il 70% della superficie terrestre e contiene il 97% della sua acqua.

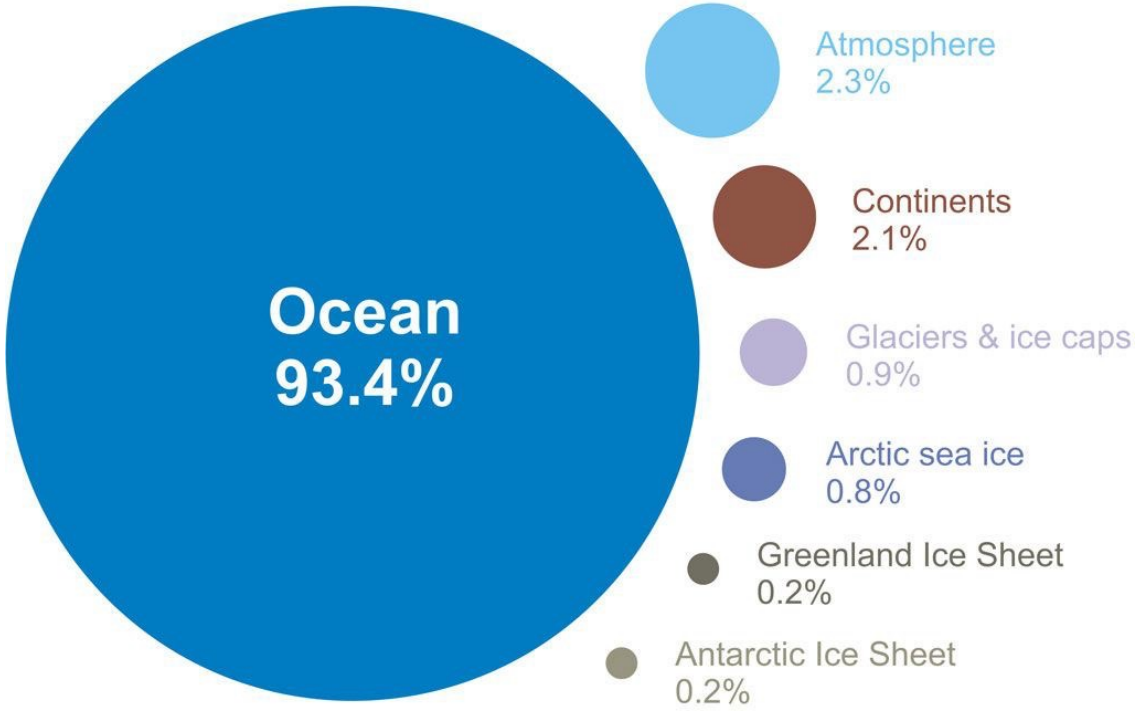


Quanta parte del calore aggiunto dall’uomo finisce nell’oceano?



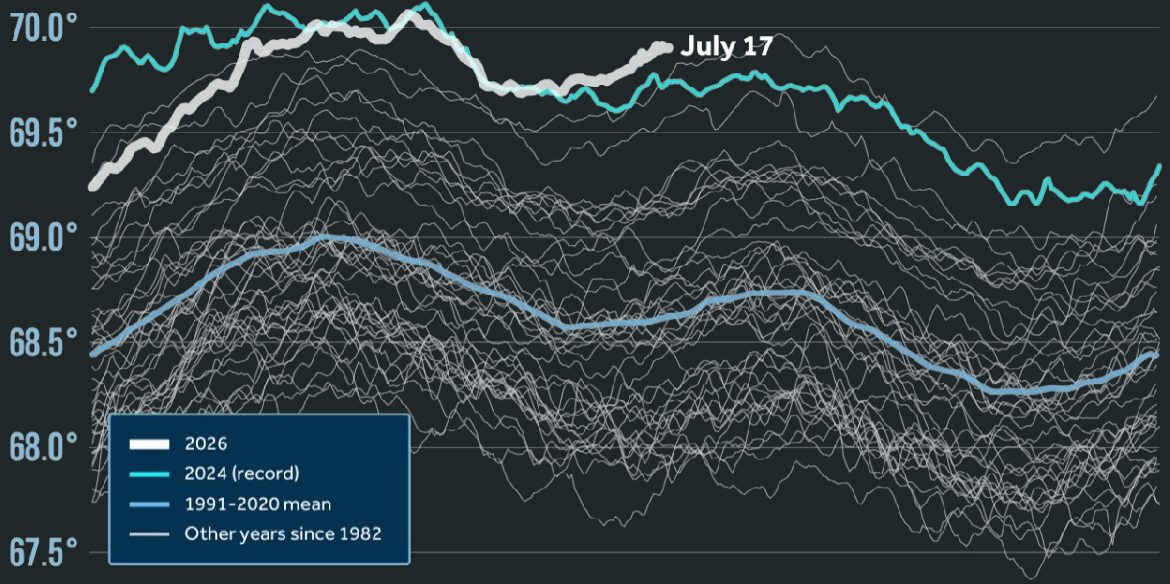
https://partici.fi/86456312

Where is global warming going?



http://skepticalscience.com/

Temperatura giornaliera della superficie dell'oceano globale (ºF)



Data for 2026 includes January 1 through July 17. Source: NOAA OISSTv2.1.

I servizi forniti dall’oceano



71%

of Earth’s surface is ocean



~90%

of global-warming heat is stored in the ocean



~25%

of our CO_2 emissions absorbed by the sea



50%+

of the oxygen you breathe made by ocean plankton

L’oceano ha bacini di dimensioni diverse

Il più piccolo: l’Artico, 5,4 milioni di miglia quadrate

Il più grande: il Pacifico, > 60 milioni di miglia quadrate

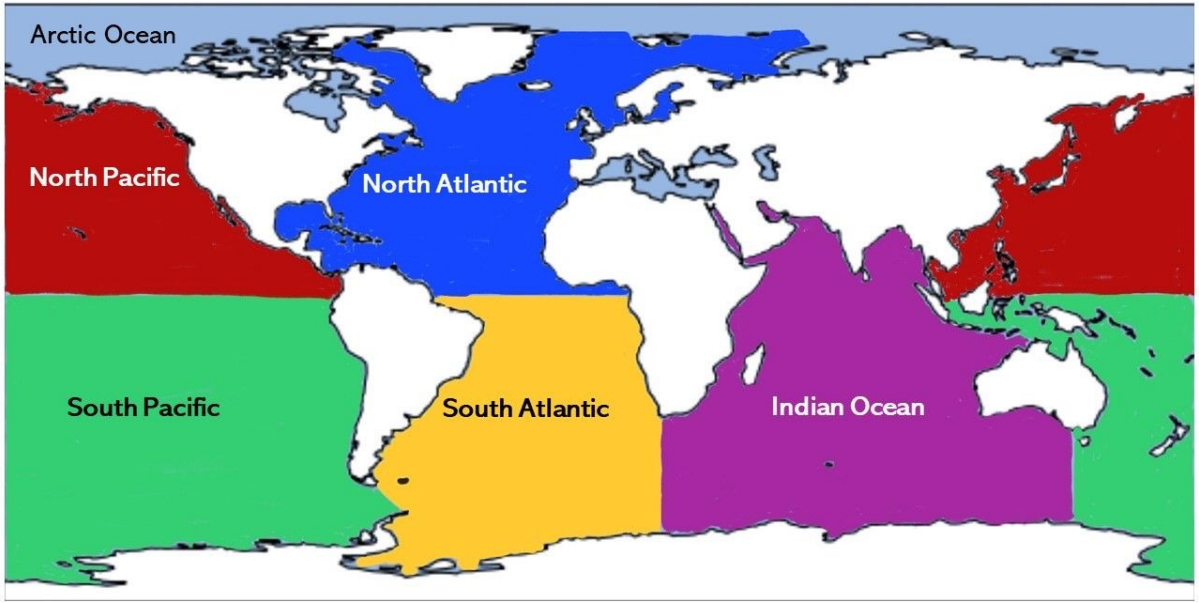
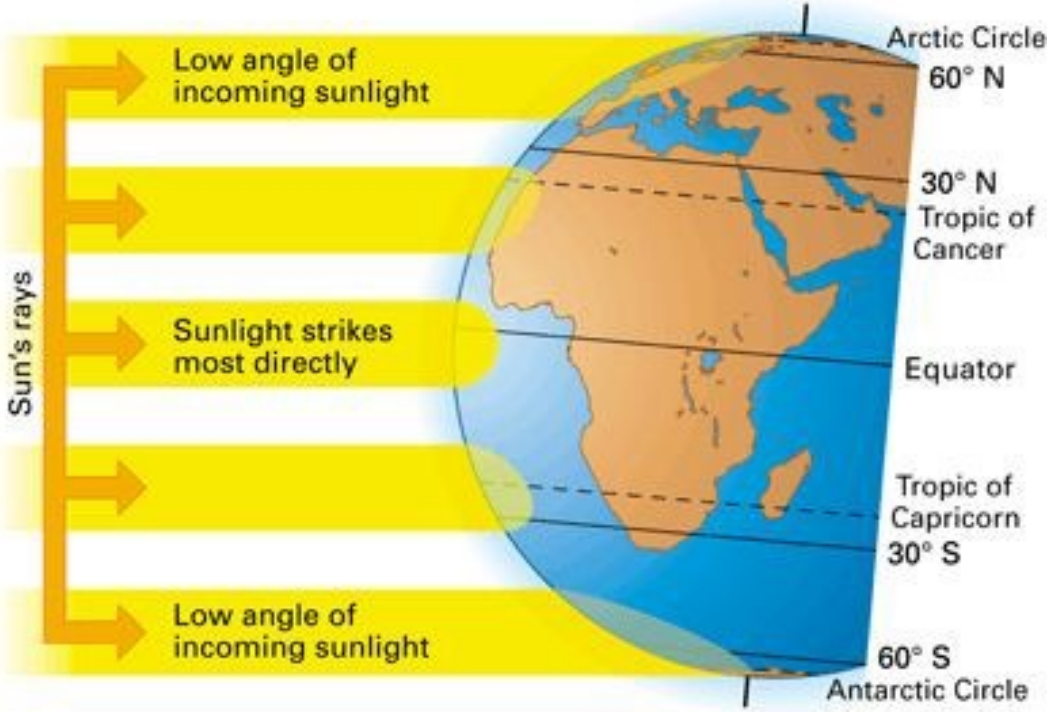


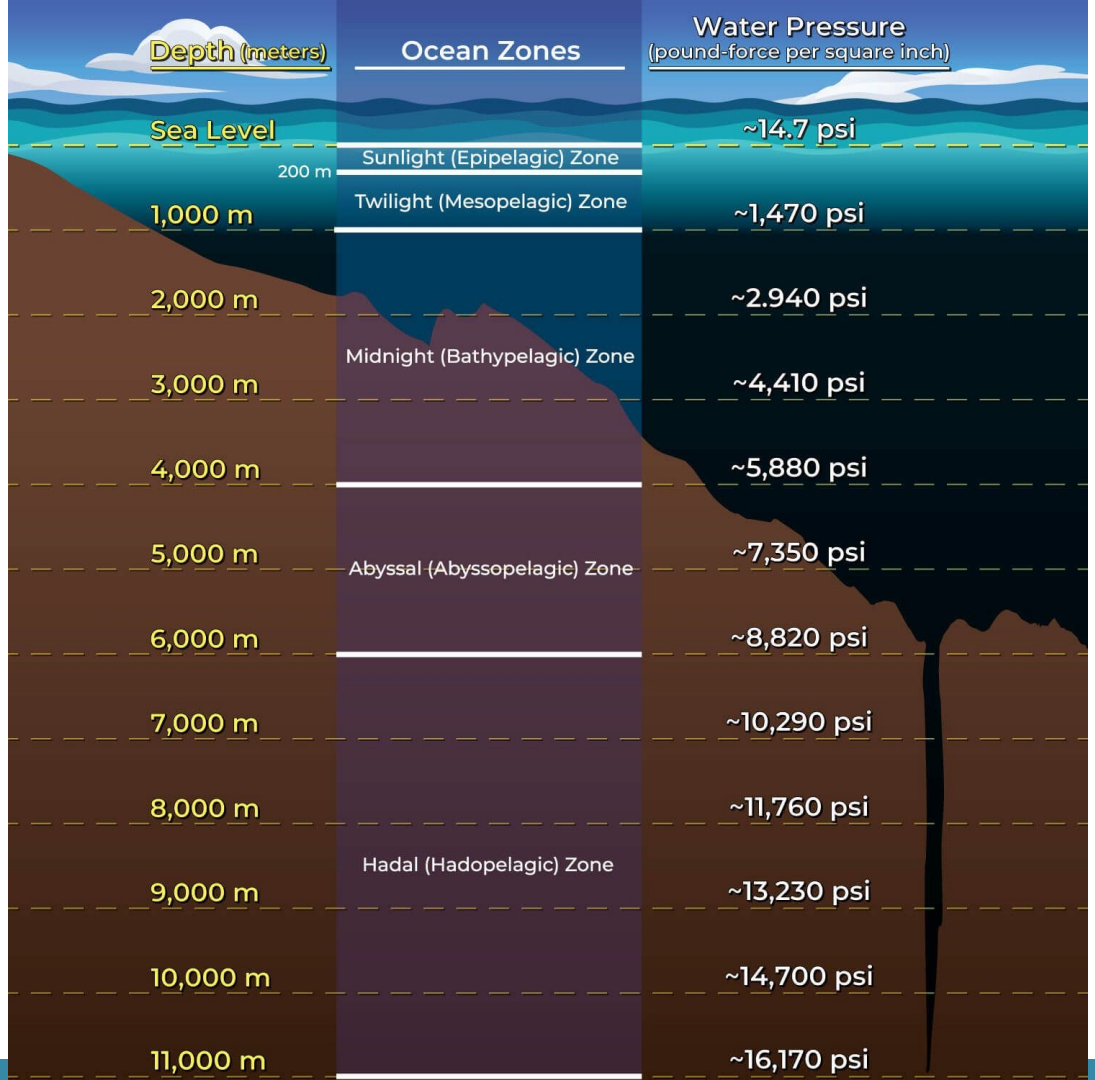
Immagine: wikipedia.com

Il riscaldamento disomogeneo ha un forte impatto



himaya.com

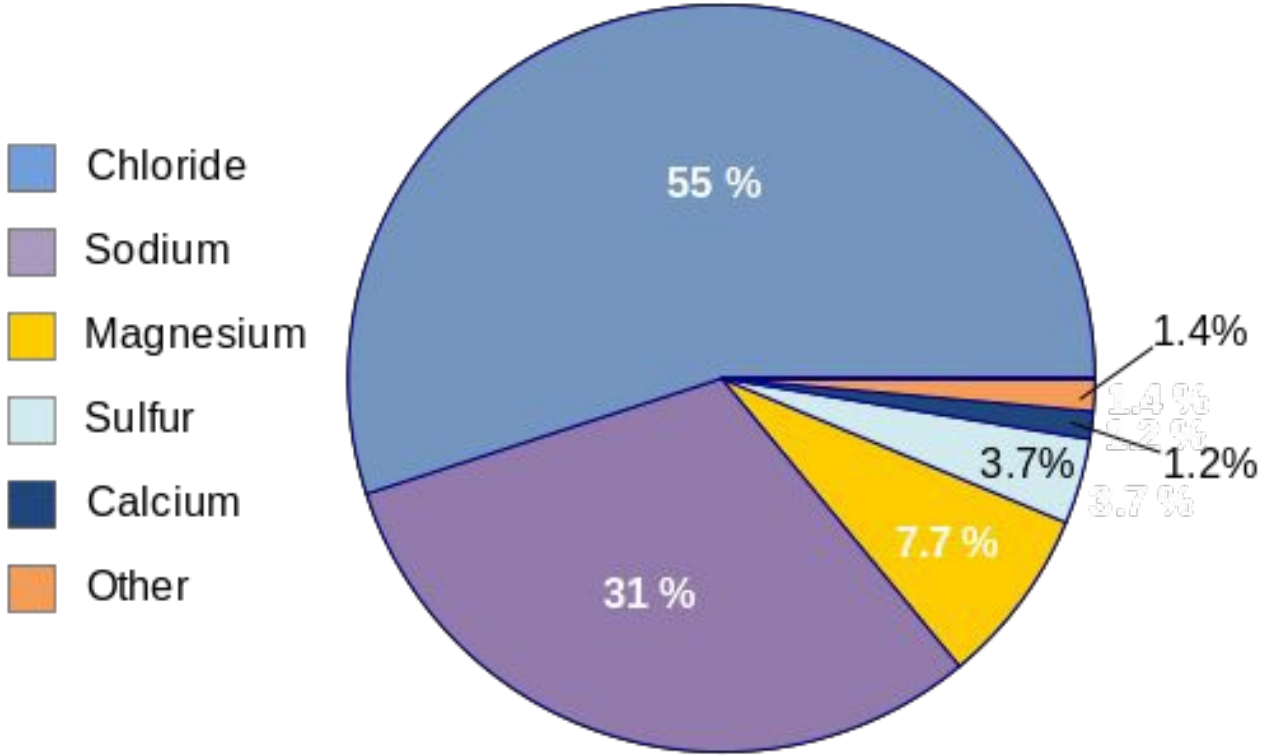
Luce



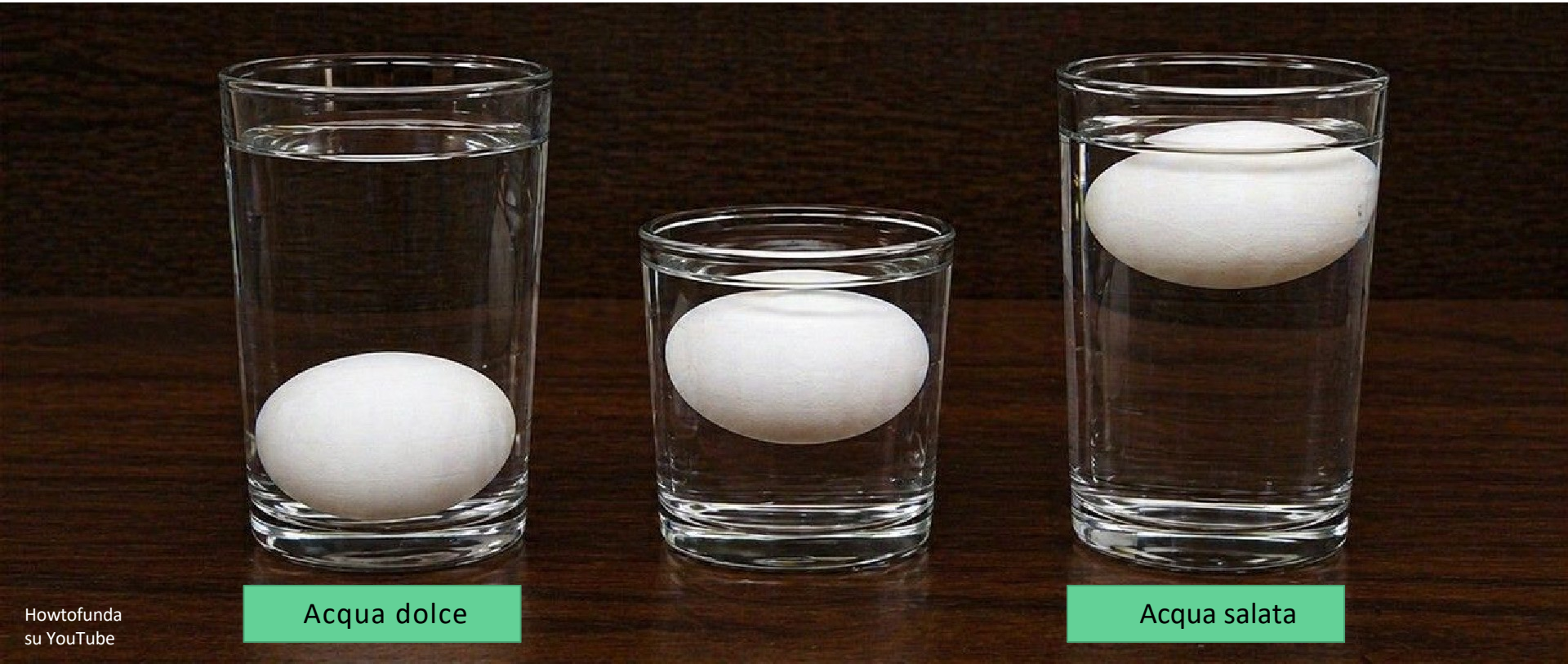
Pressione

surfertoday.com

L’acqua di mare è composta da acqua e altri composti

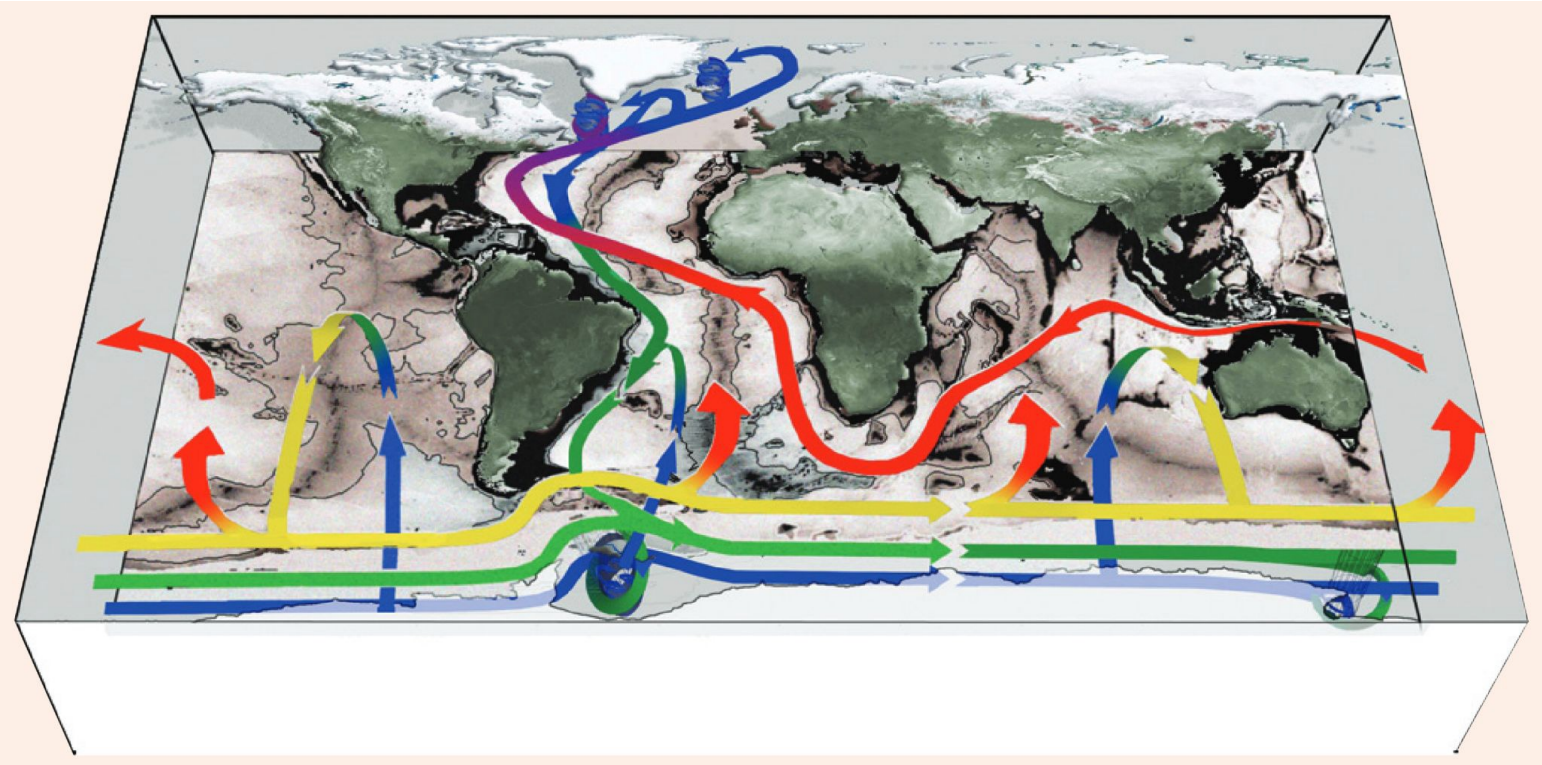


L’acqua salata è più densa dell’acqua dolce



Howtofunda
su YouTube

La circolazione oceanica è un fenomeno globale emergente

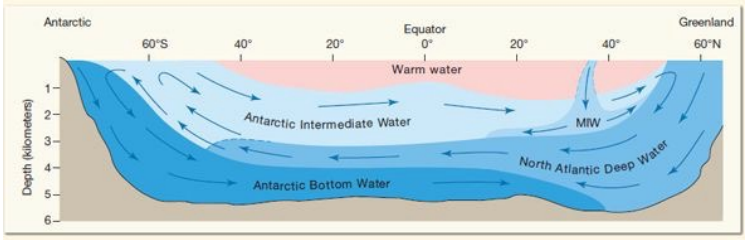


[Marshall & Speer, 2012]

Freddo

Caldo

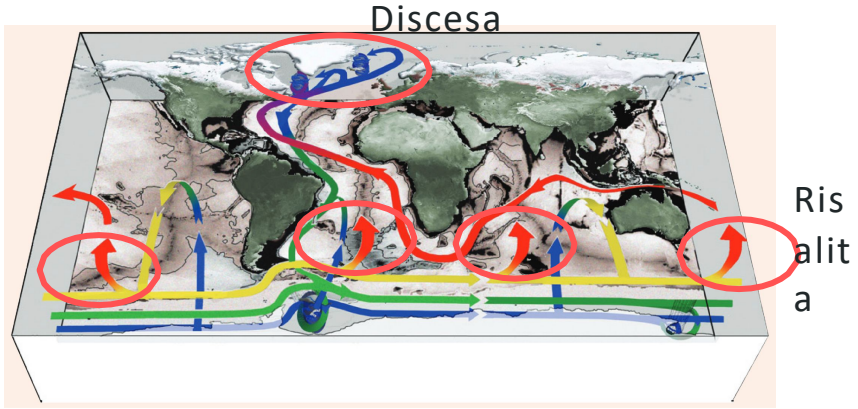
Un «nastro trasportatore» globale



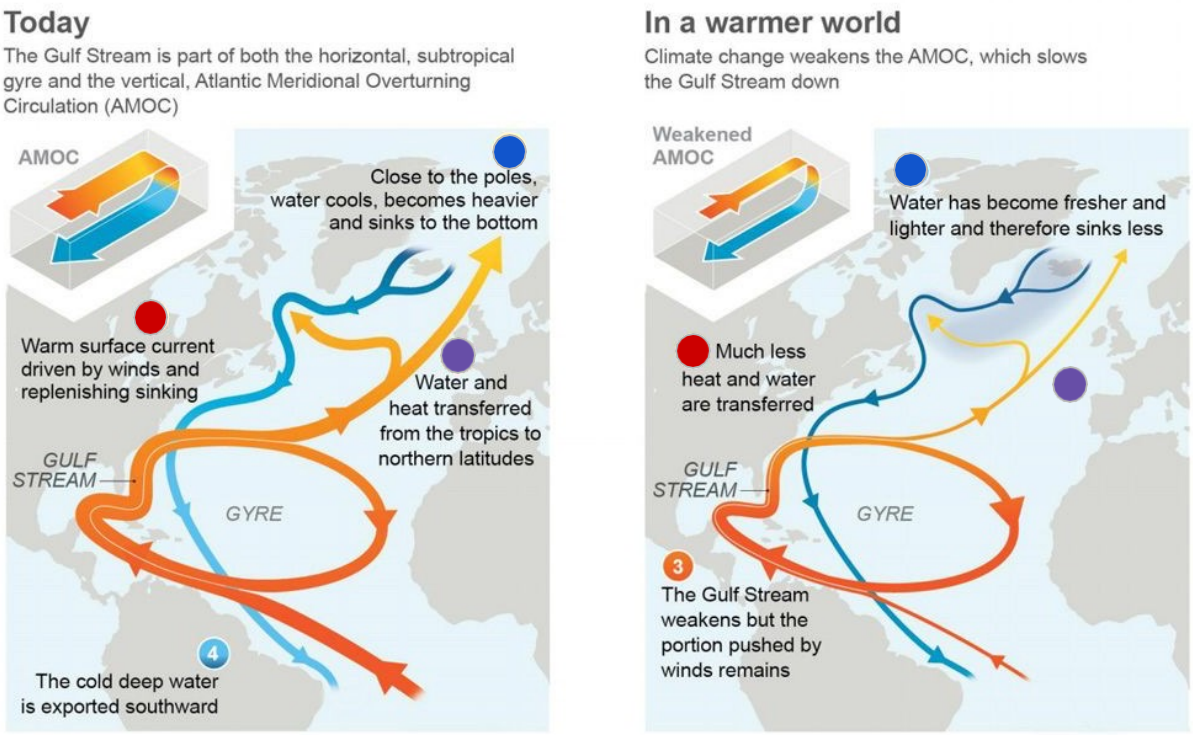
- Il riscaldamento/raffreddamento asimmetrico, insieme all'espulsione di salamoia durante la formazione del ghiaccio, crea la circolazione termoalina
- Detta «circolazione meridionale di ribaltamento»

I cambiamenti della circolazione di ribaltamento hanno un forte impatto sul clima

- L'oceano è stratificato, con l'acqua più pesante/densa sul fondo
- Il forte raffreddamento e la formazione di ghiaccio ai poli creano acque molto dense



Le grandi correnti potrebbero cambiare in un clima più caldo: l'esempio della Corrente del Golfo

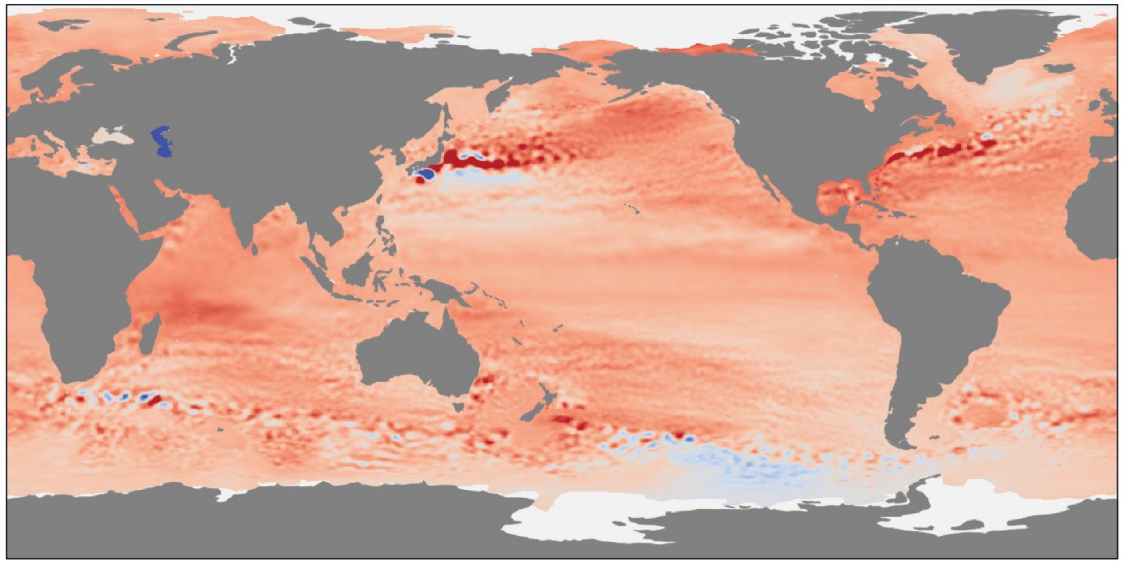


- La Corrente del Golfo si sposta a nord
- Il percorso dell'apporto di calore si sposta
- Acque meno dense/pesanti

Sesto Rapporto di valutazione dell'IPCC

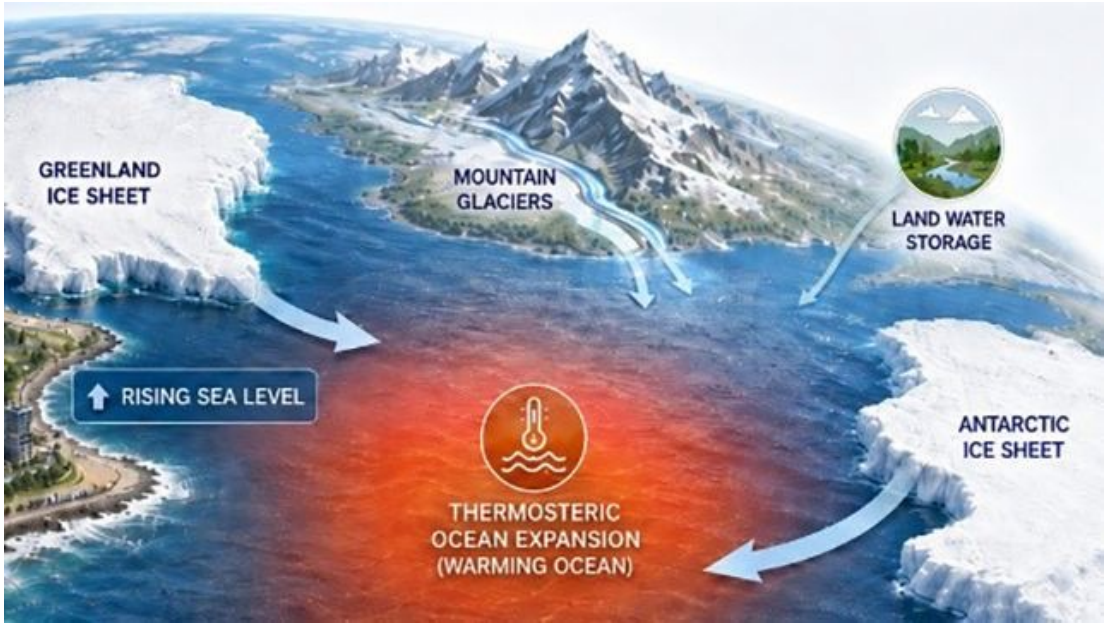
Sea level trends from February 1999 to May 2025

Data: CMEMS Ocean Monitoring Indicator based on C3S sea level product • Credit: C3S/ECMWF/CMEMS



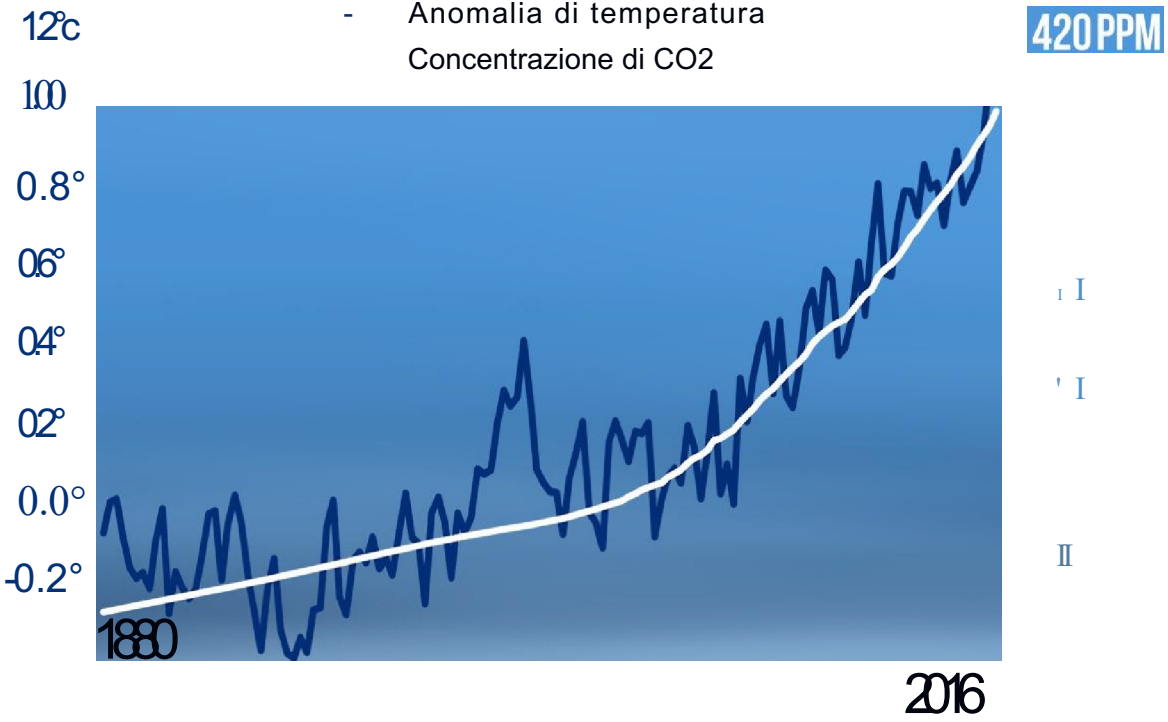
PROGRAMME OF THE EUROPEAN UNION
Copernicus Europe's eyes on Earth
Climate Change Service
IMPLEMENTED BY ECMWF

L’innalzamento del livello del mare ha diverse cause



sciencealert.com

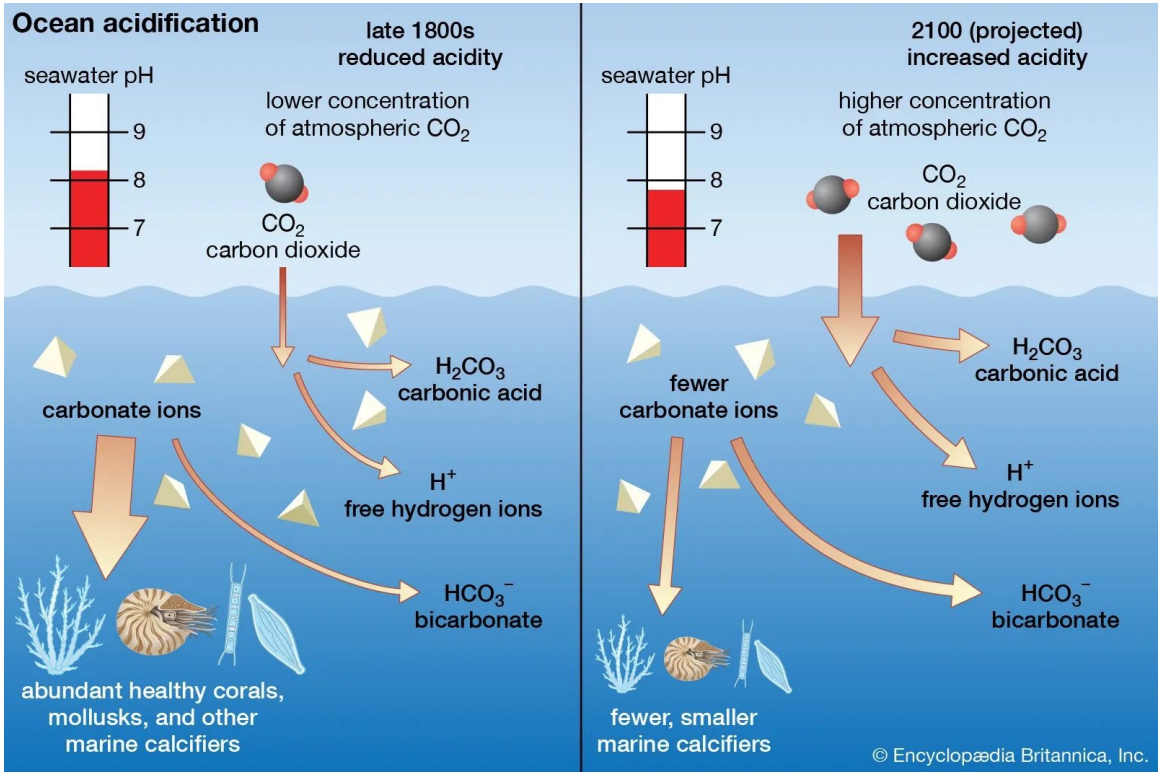
Temperatura globale e anidride carbonica



Global temperature data averaged and adjusted to early industrial baseline (1881-1910).
Source: NASA GISS, NOAA NCEI, ESRL

CLIMATE CENTRAL

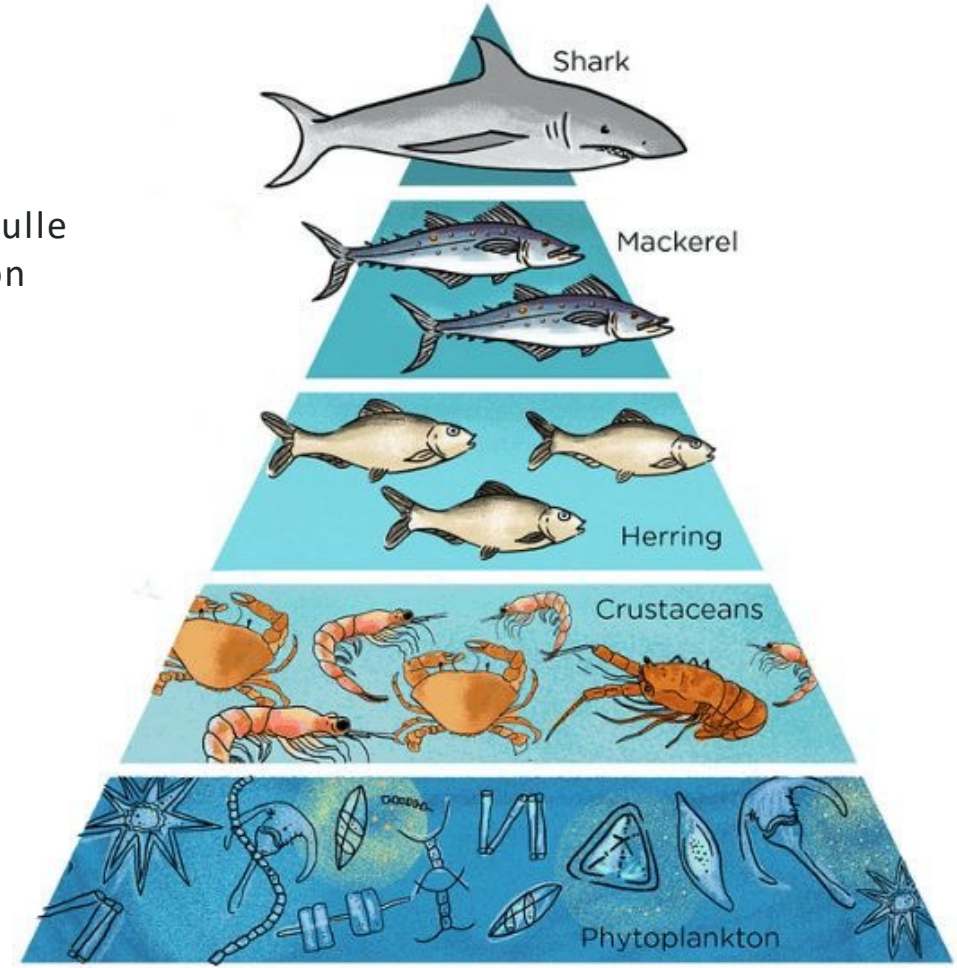
I cambiamenti climatici renderanno l'oceano più acido



britanica.com

La vita marina

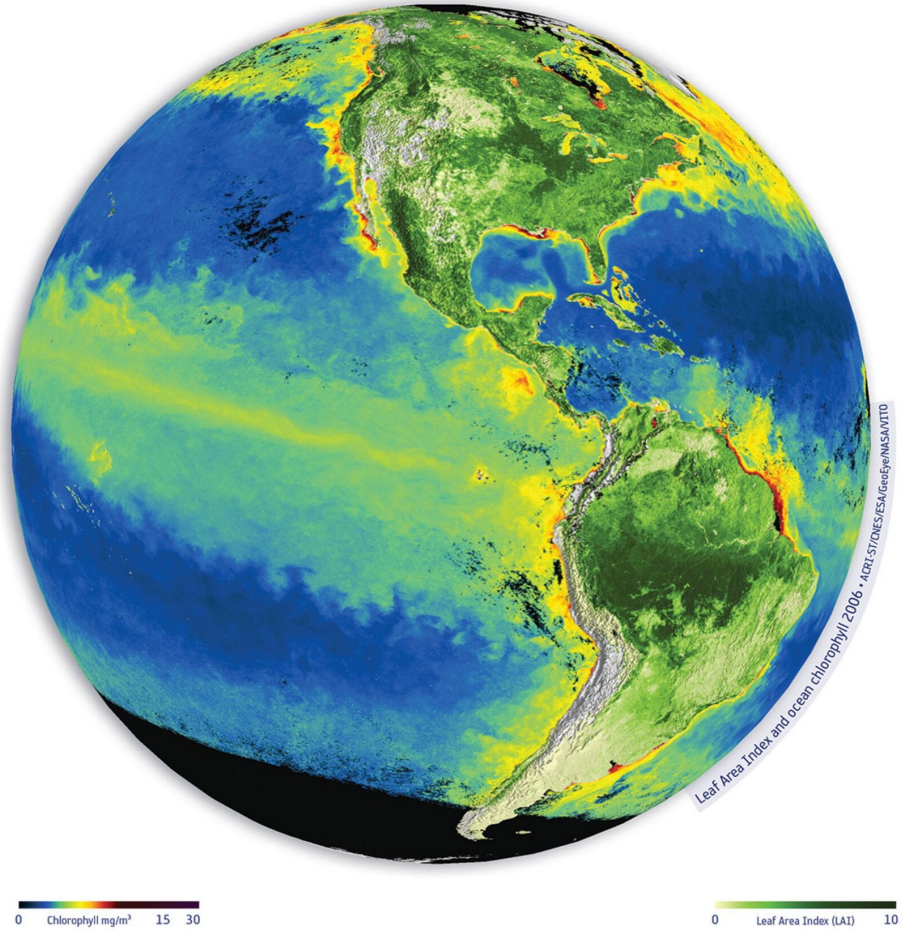
La rete trofica poggia sulle «piante» oceaniche, con specie molto diverse ai livelli superiori



ocean.org

La base: il plancton

Come le piante terrestri, il plancton produce clorofilla e ha bisogno di luce e nutrienti per crescere; ne esistono molti tipi



La base: il plancton

La moltitudine di tipi copre diversi ordini di grandezza e occupa «nicchie» diverse, espresse ad esempio in ciò di cui hanno bisogno per prosperare:

Alcuni costruiscono gusci, altri producono da sé i propri nutrienti!

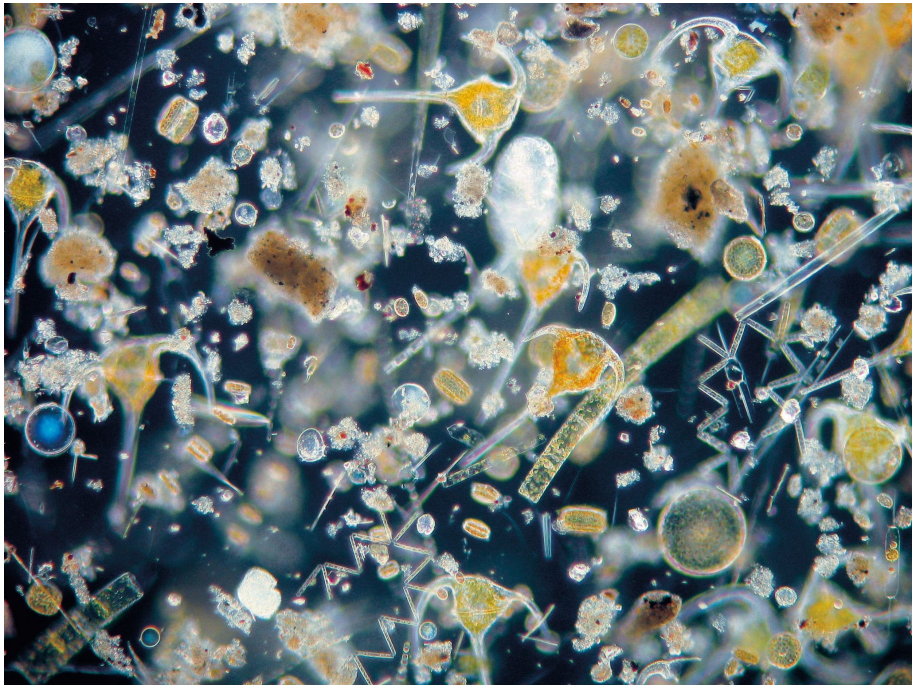
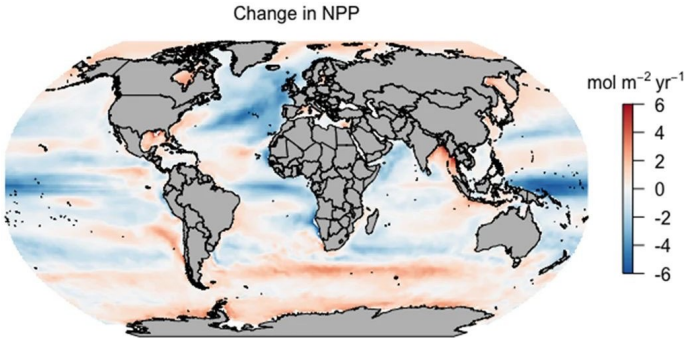


Foto: Annegret Stuhr, GEOMAR

La base: il plancton

Si prevede che la produzione primaria netta (NPP) cambi drasticamente



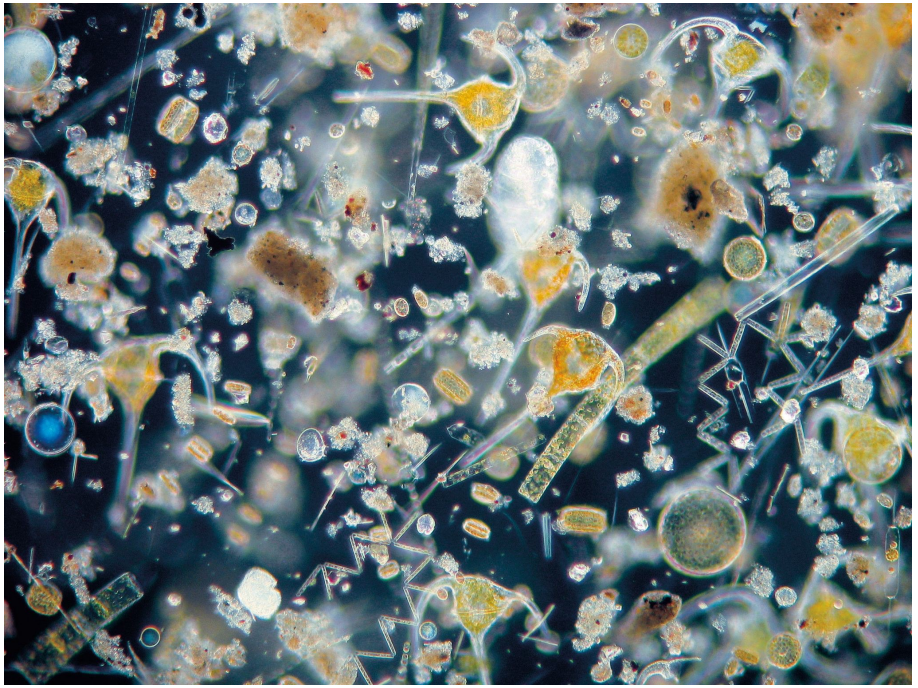


Foto: Annegret Stuhr, GEOMAR

Ratnarajah et al., 2023

La base: lo zooplancton

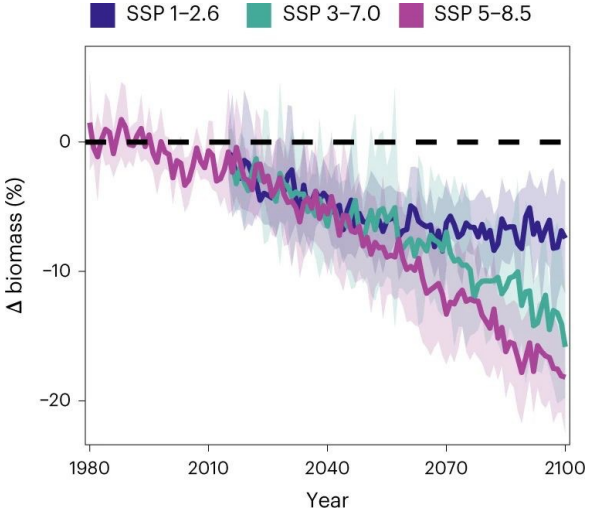
Questi organismi microscopici che «pascolano» altro plancton variano molto anche per dimensioni e forma



Tyler Rohr http://communities.springernature.com/

Pesca e conservazione

I pesci dipendono dallo zooplancton per nutrirsi



Heneghan et al., 2023

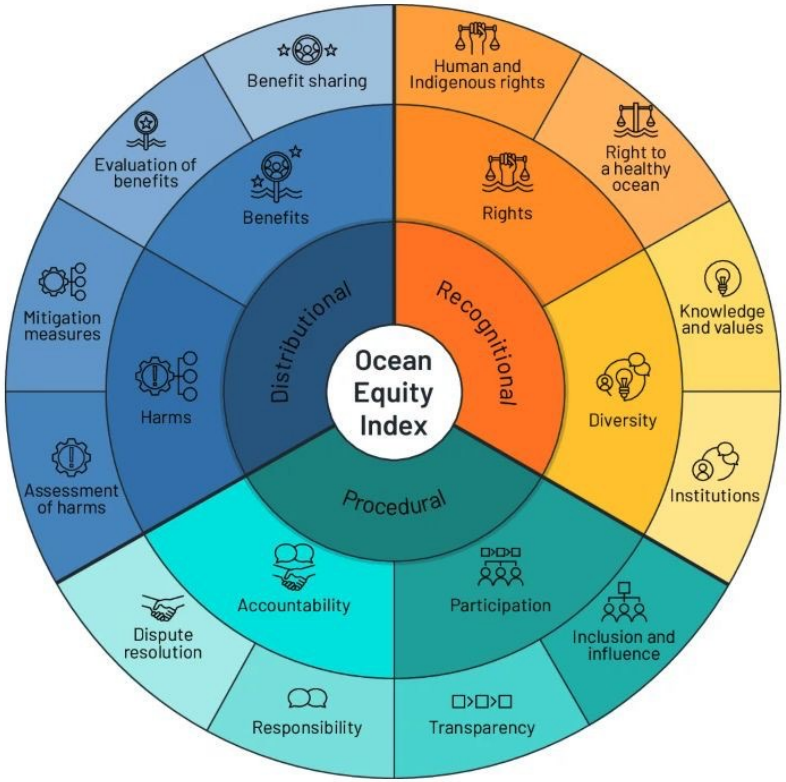


400 tonnellate di sugarello catturate da un peschereccio cileno a circuizione. Foto via Wikimedia Commons.

Equità e portatori di interesse

Chi porta il rischio? Chi ne beneficia?

Alcune comunità sono più vulnerabili di altre, ad esempio quelle degli Stati costieri bassi o quelle che vivono di pesca, e possono non avere i mezzi per adattarsi



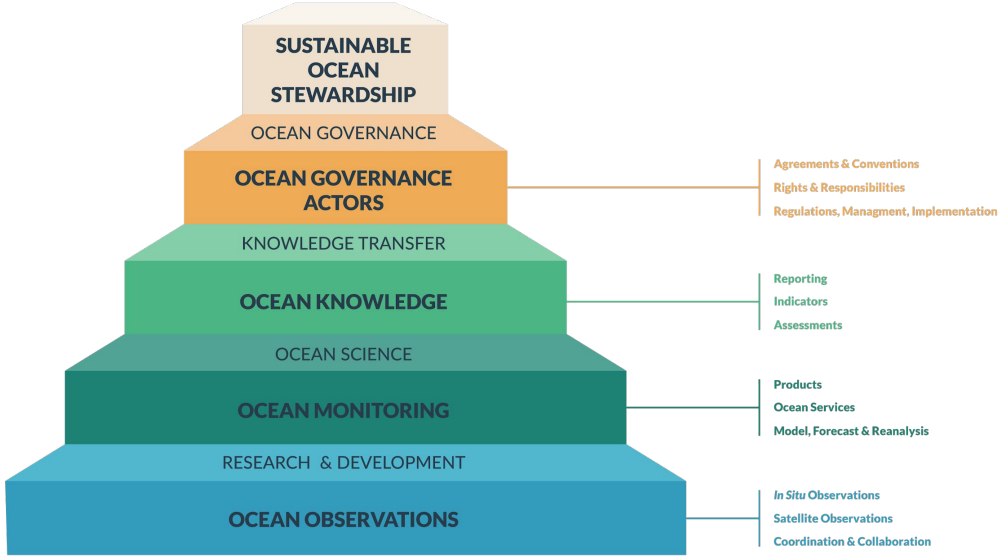
Blythe et al., 2026

Risorse e governance dell'oceano

Le risorse oceaniche comprendono molte attività: pesca, turismo, trasporto marittimo e tutela ambientale

La maggior parte dei governi ha politiche proprie, accanto ad alcuni organismi regionali e globali e a leggi che regolano le acque internazionali

Esistono iniziative globali per la conservazione dell'oceano, come l'obiettivo «30x30» di proteggere il 30% delle terre e degli oceani entro il 2030

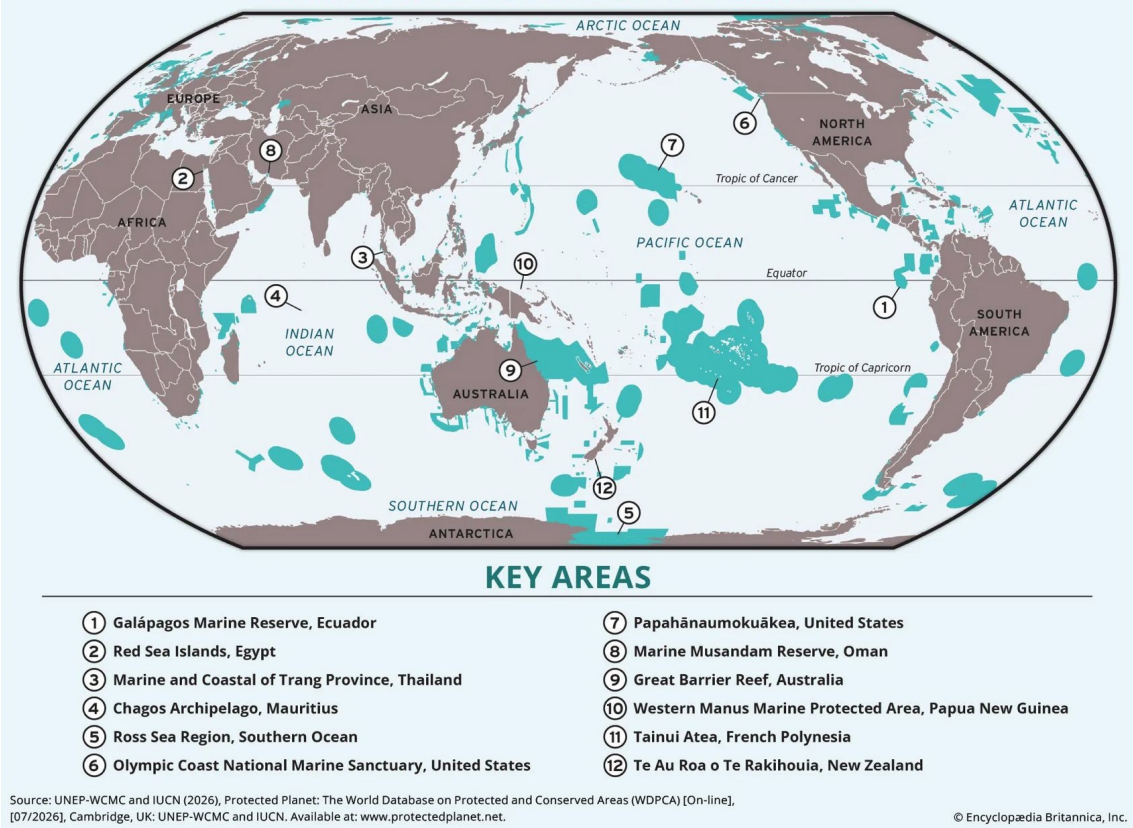


marine.copernicus.eu

2. Secondo voi, quanta parte dell’oceano è oggi un’area marina protetta in grado di tutelare la biodiversità?

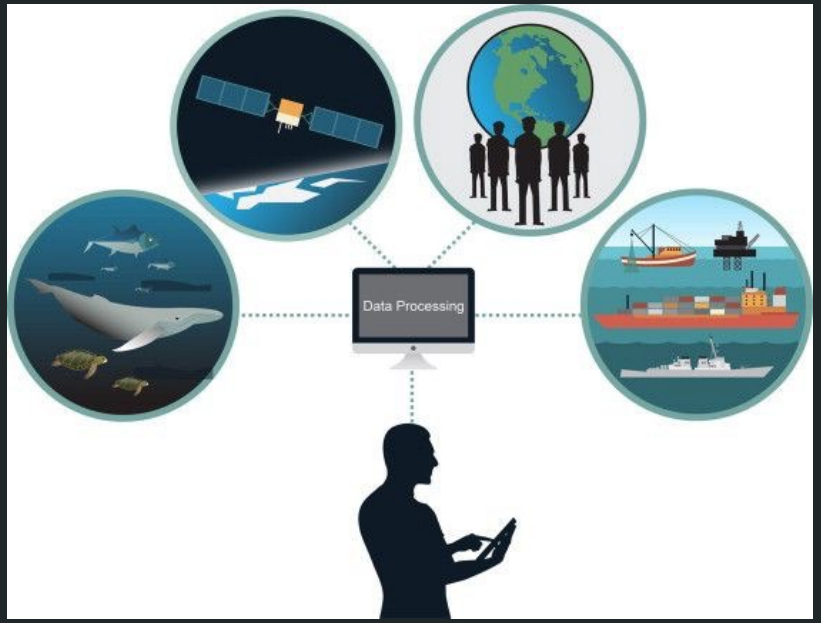
https://partici.fi/86456312

Aree marine protette



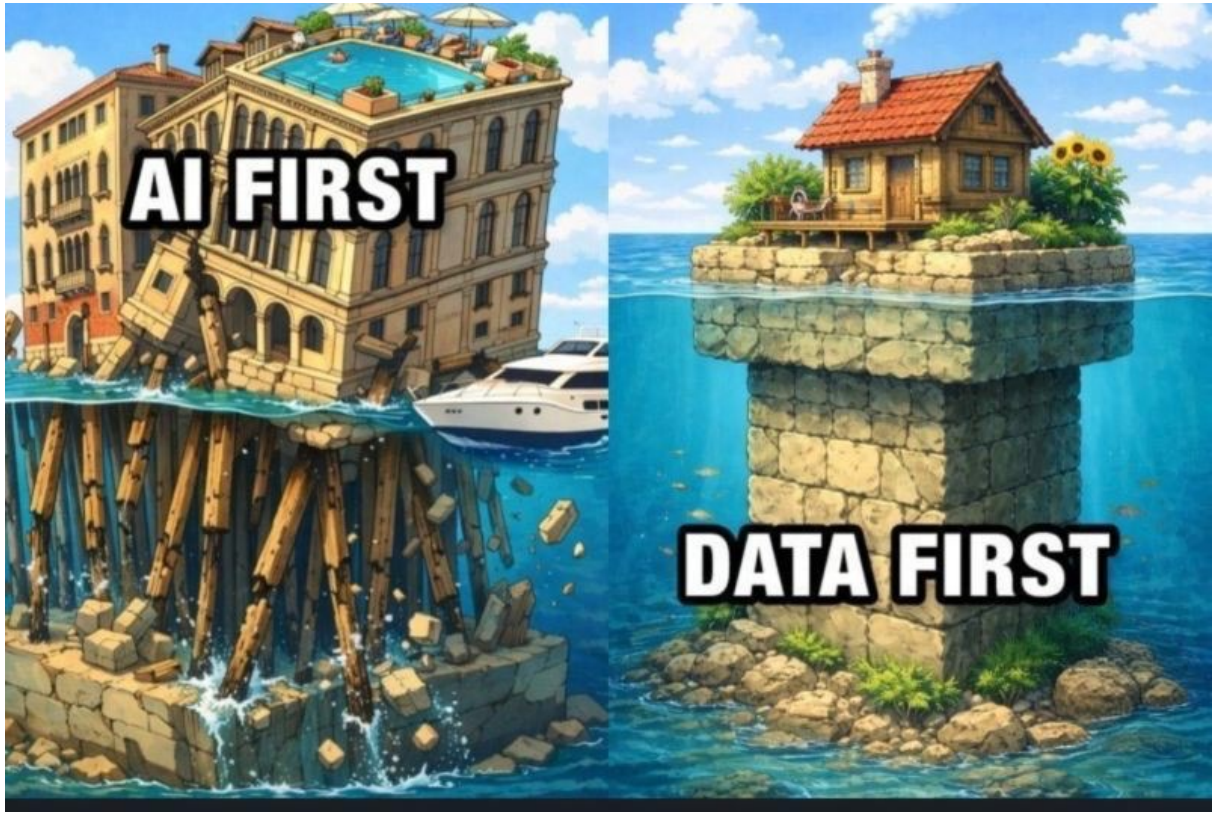
Rivoluzione o problema dei dati?

Siamo ricchi di dati e poveri di comprensione, o poveri di dati e ricchi di comprensione?



Maxwell et al., 2015

La nostra IA vale quanto i nostri dati

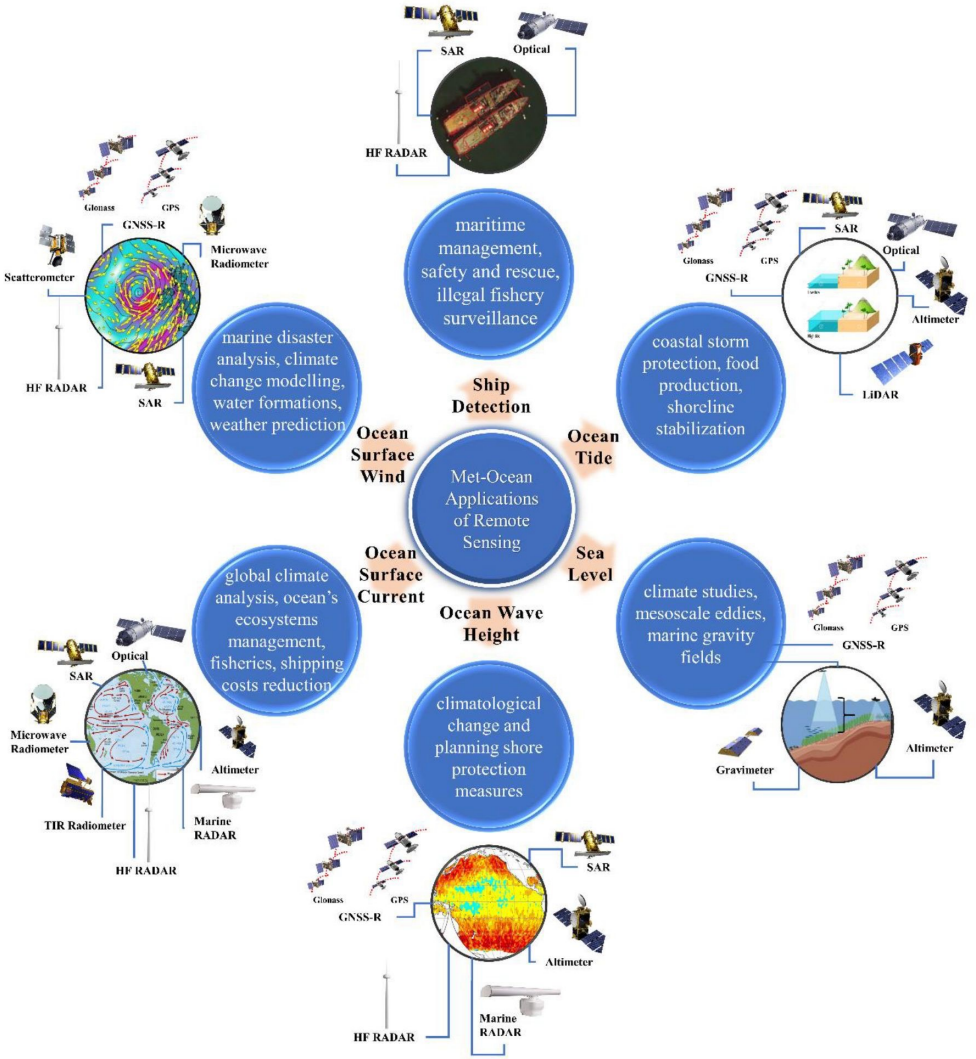


linkedin.com

Osservazioni: raccolte «in situ»

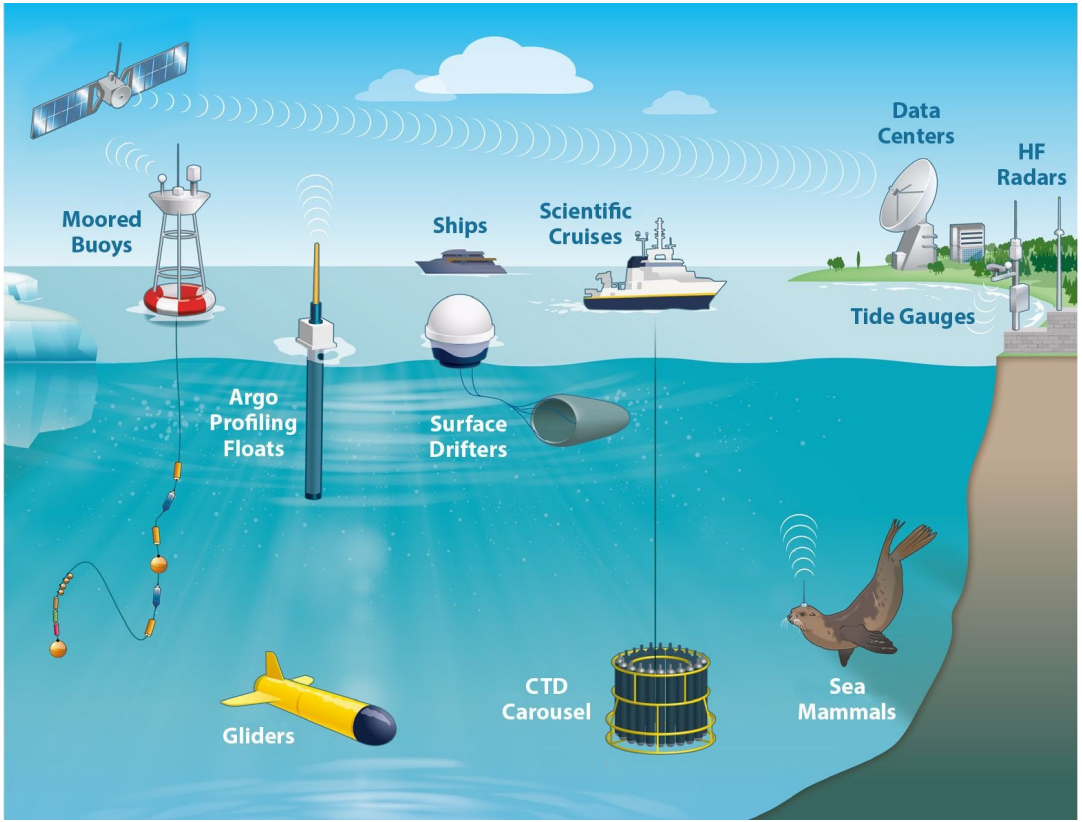


Osservazioni: telerilevamento



Amani et al., 2022

Osservazioni: una rete globale



Le osservazioni possono avere un piccolo aiuto…

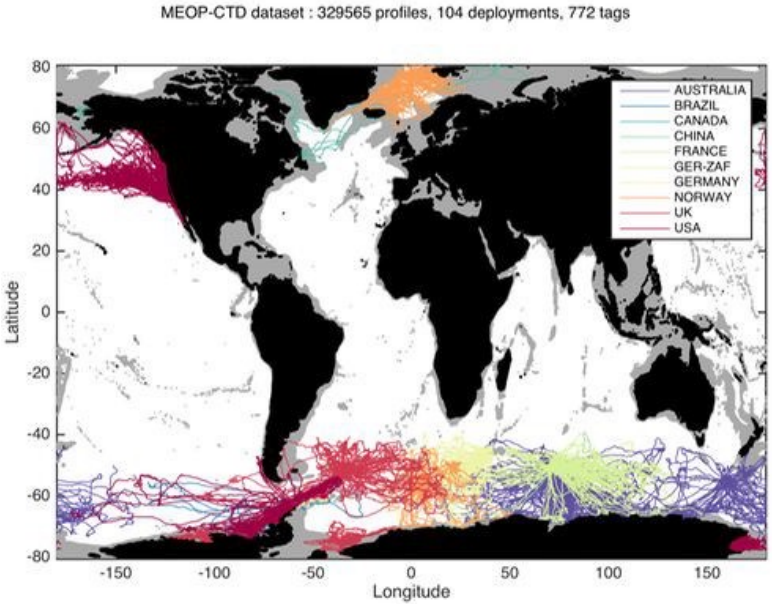
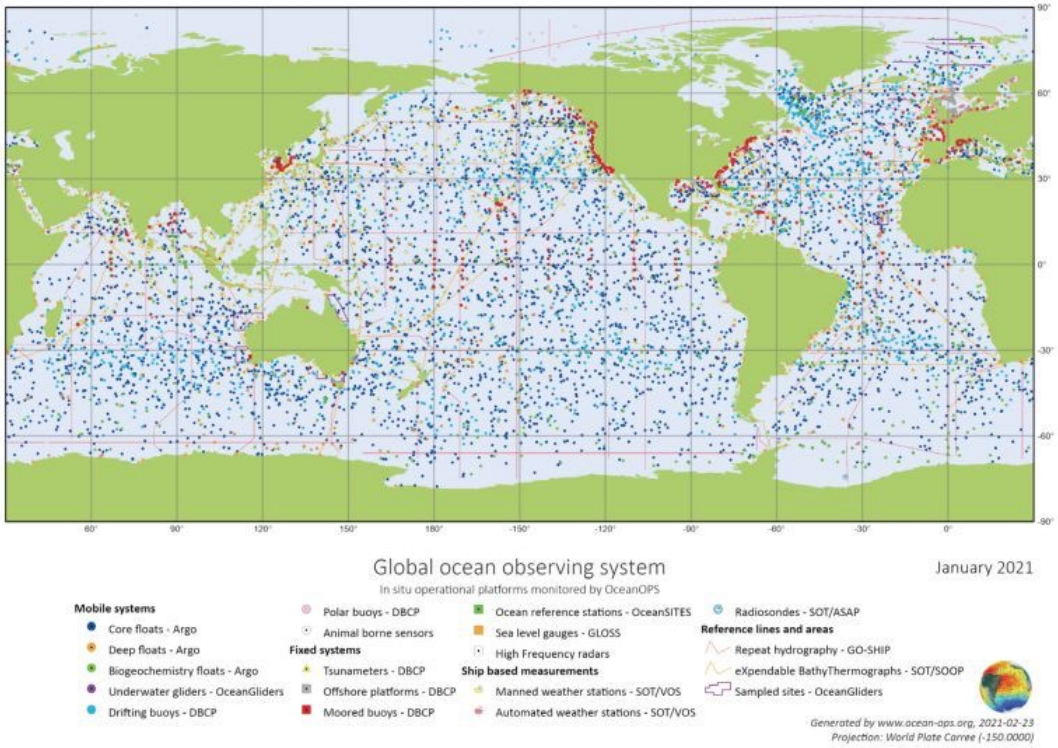


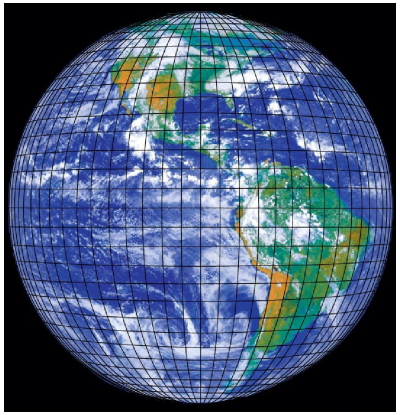


Foto: D. Costa

Equità nelle osservazioni?

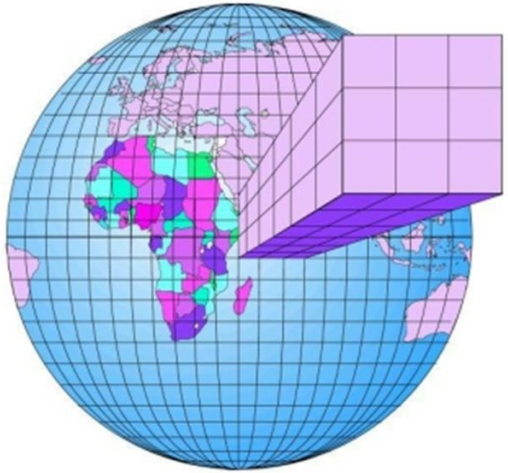


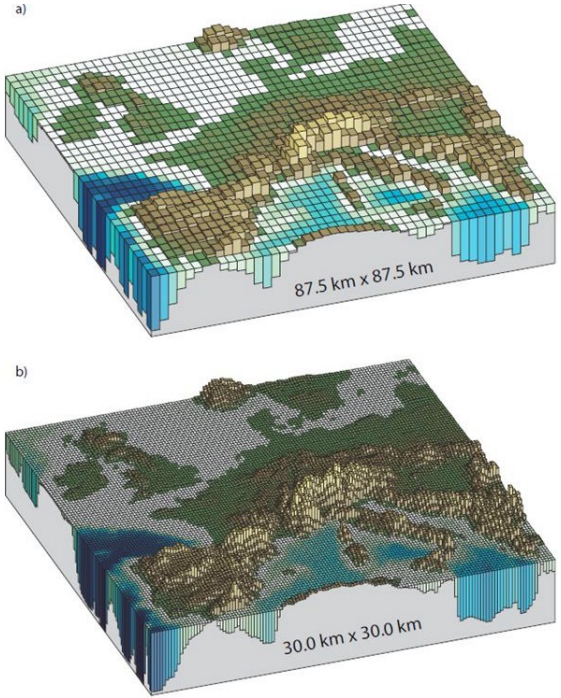
Modelli numerici



Le griglie si estendono verso il basso, nel suolo e negli oceani.

Come in televisione, una risoluzione più alta significa più realismo





Modelli numerici: equazioni primitive

Navier-Stokes + equazione di stato: fluido sottile in rotazione su una sfera

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho_o}\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_m\frac{\partial u}{\partial z}\right) + F_u, \quad \text{Momentum (u component)}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z} + fu = -\frac{1}{\rho_o}\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_m\frac{\partial v}{\partial z}\right) + F_v \quad \text{Momentum (v component)}$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g, \quad \text{density}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad \text{continuity}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u\frac{\partial \theta}{\partial x} + v\frac{\partial \theta}{\partial y} + w\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K_h\frac{\partial \theta}{\partial z}\right) + F_\theta, \quad \text{Advection of temperature}$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} + u\frac{\partial s}{\partial x} + v\frac{\partial s}{\partial y} + w\frac{\partial s}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K_h\frac{\partial s}{\partial z}\right) + F_s, \quad \text{Advection of salinity}$$

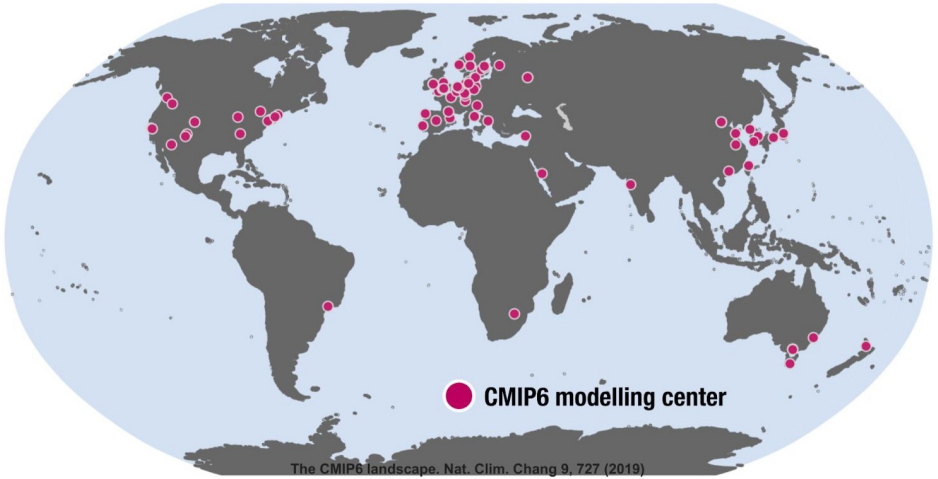
$$\rho = \rho(\theta, s), \quad \text{Density as a function of S and T}$$

Il Coupled Model Intercomparison Project (CMIP)

WCRP CMIP6
World Climate Research Programme

I centri di modellazione collaborano a livello globale per eseguire e condividere esperimenti su come

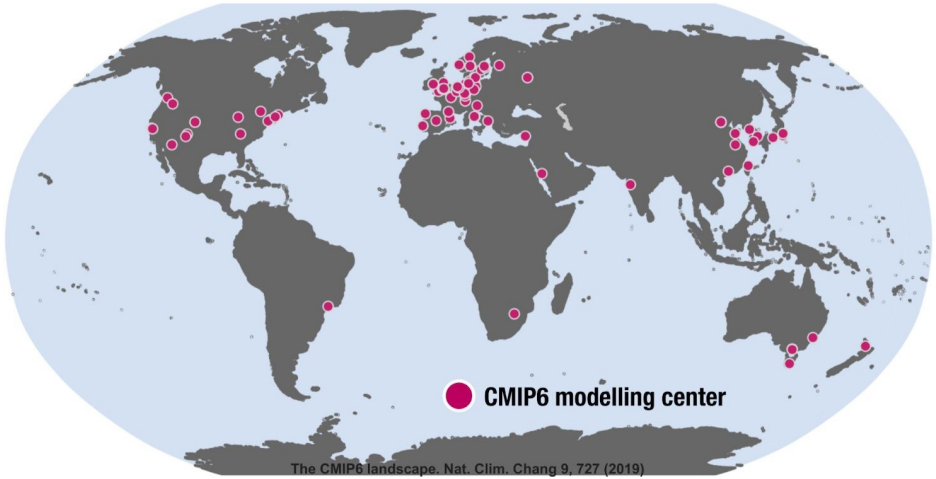
le azioni delle società influenzeranno il clima



Equità nello sviluppo dei modelli e nella condivisione dei dati?

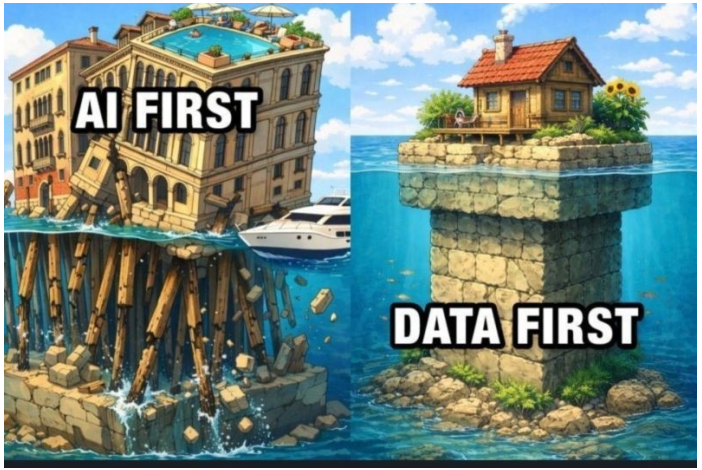
Pochi modelli sono sviluppati nell'emisfero australe, quindi la conoscenza di queste aree può essere colta meno bene

Solo una parte dei dati può davvero essere condivisa, quindi i dati per capire, ad esempio, perché l'oceano sta cambiando sono difficili da ottenere



Sostenere la raccolta di dati è vitale

È allettante concentrarsi solo sull'IA, ma continuare a sostenere il miglioramento dei dati su cui si basa l'IA è cruciale



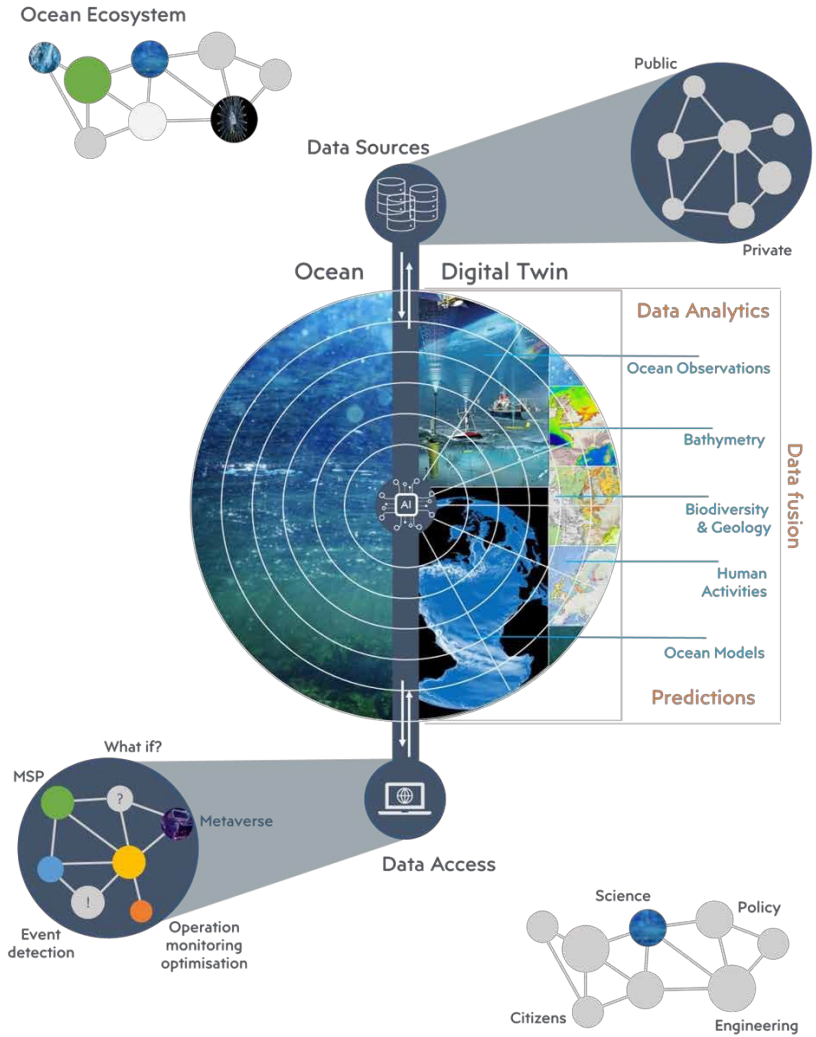
Creare dataset con una rappresentazione equilibrata di luoghi e sviluppatori può migliorare l'equità

Pausa: che cosa ritenete più importante proteggere nell'oceano?

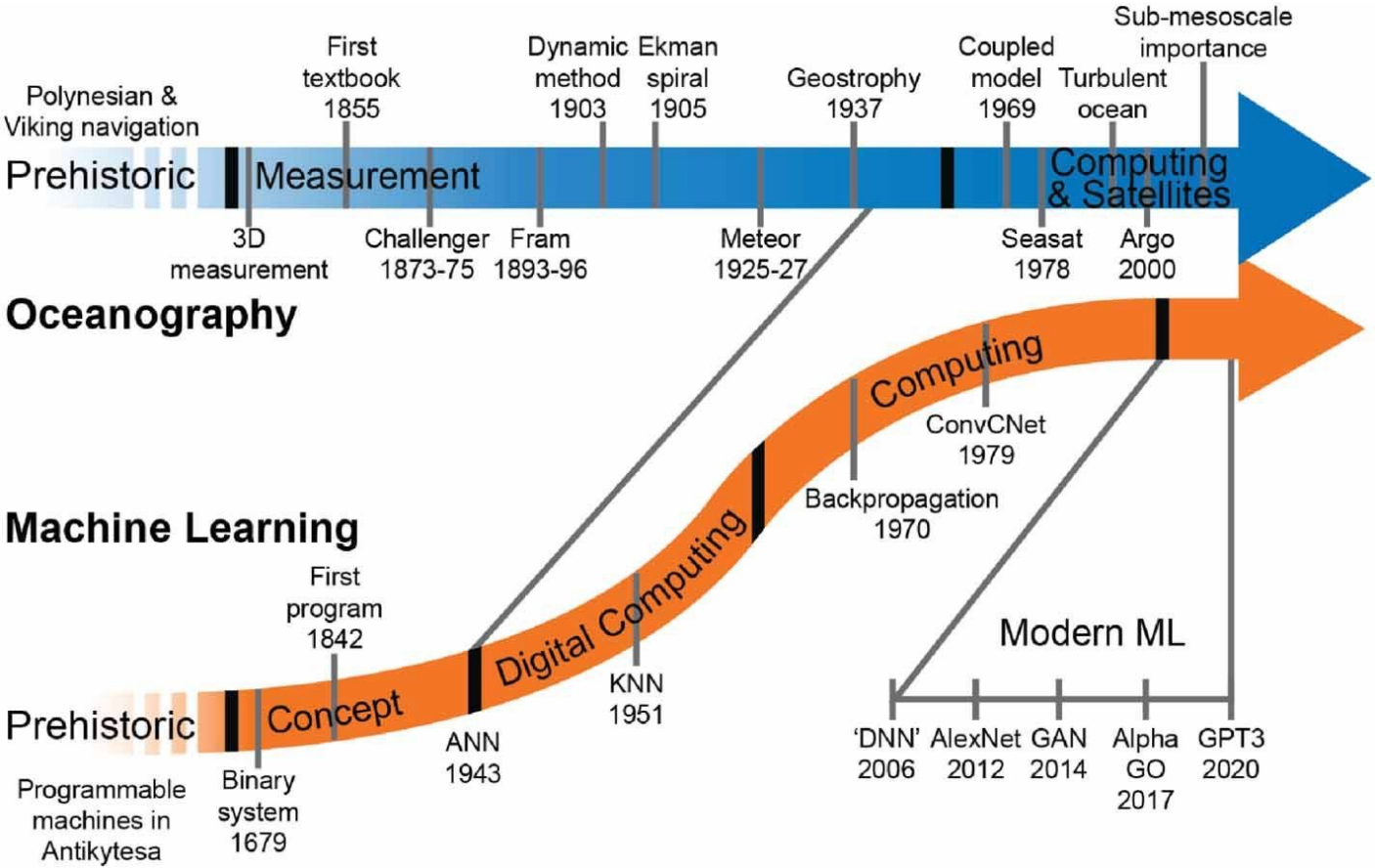
https://partici.fi/86456312

L’IA per gli oceani e le scienze marine

Come possiamo imparare e contribuire a rafforzare la resilienza



Bronner, Sonnewald and Visbeck, 2023



Sonnewald et al., 2021

L’AA: il tassello mancante?

Troppo semplice:
Le descrizioni teoriche tendono a essere troppo semplificate

Troppo difficile:
Dedurre principi di base dai soli dati è estremamente difficile

Il ponte: l’AA



Sonnewald et al., 2021

L’AA in oceanografia



- Observation operators
- Gap filling
- Error detection and bias correction
- Synthesis of observations
- In situ feature detection

- Learn equations and boundary conditions
- Unsupervised learning to understand dynamics and causality
- Learn process interactions
- Learn sub-grid-scale representation of models

- Learn low-order models
- In situ updates of boundary conditions
- Speed-up simulations via emulation and preconditioning
- Compare models against observations
- Uncertainty quantification

- Data assimilation
- Error correction
- Down-scaling
- Understand climate response
- Improve signal-to-noise
- In situ alarm systems

- Alarm systems
- Climate mitigation
- Route planning
- Oil spilling
- Flooding

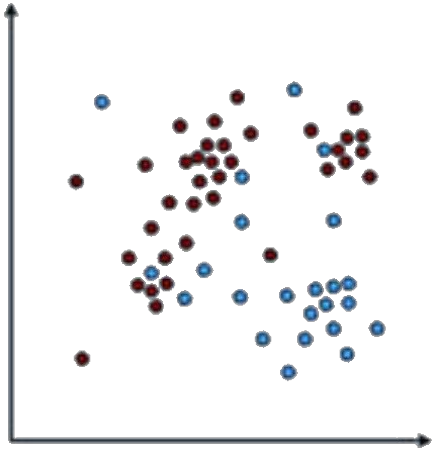
Sonnewald et al., 2021

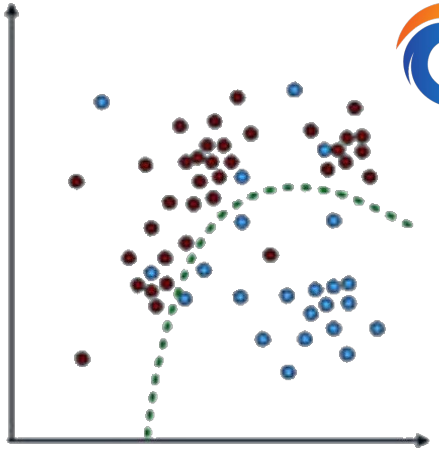
Supervised

-Labeled data

-Decision boundary

Supervisionato, non supervisionato

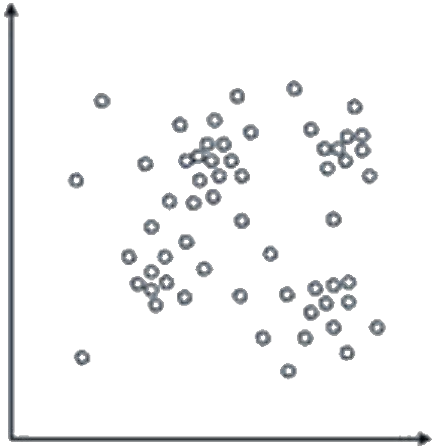


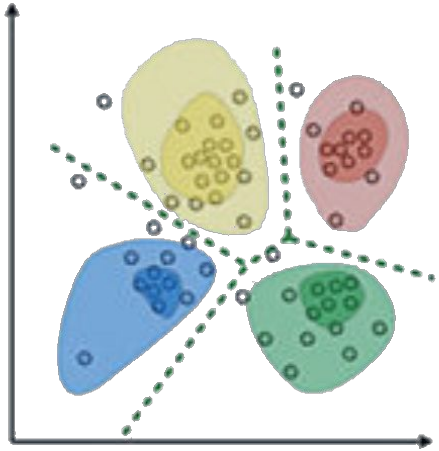


Unsupervised

-No labels

-Identify structures





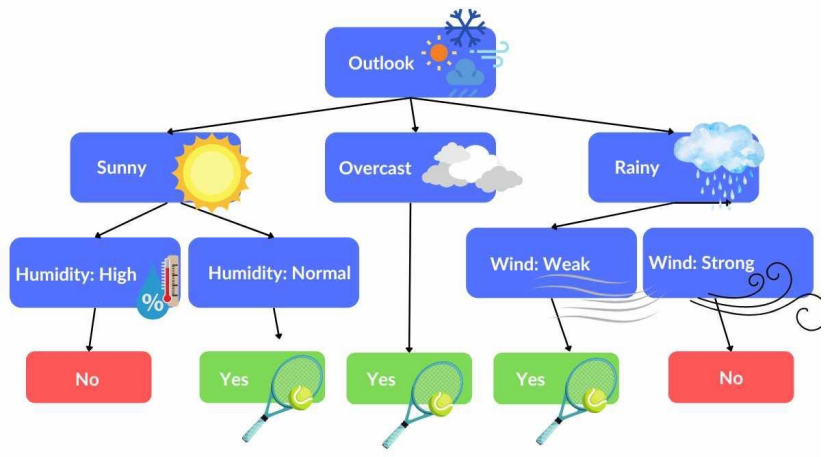
Training data

Resulting model

Langs et al., 2018

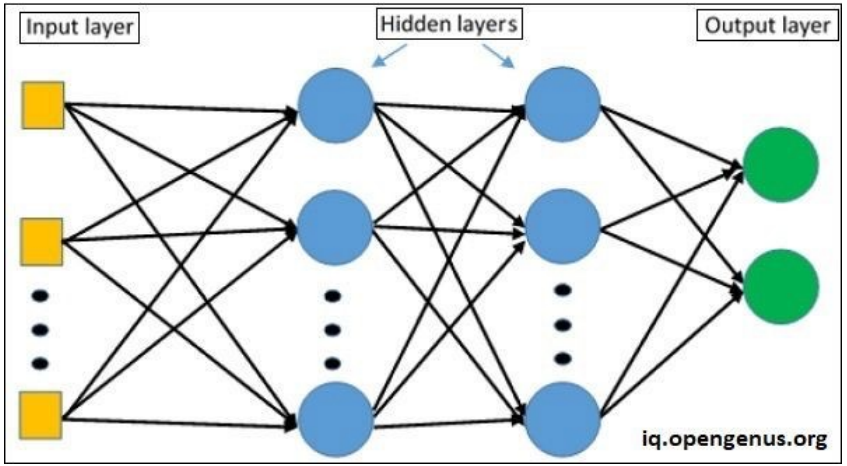
Due metodi di AA supervisionato

Foreste casuali



spotIntelligence.com

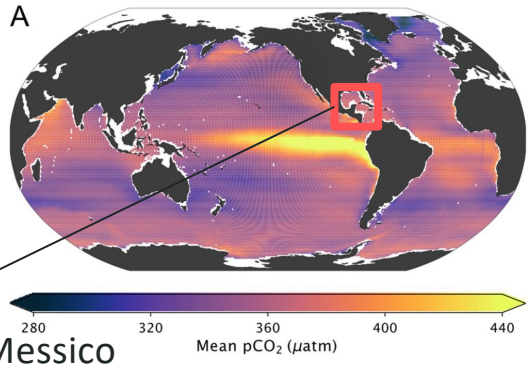
Reti neurali



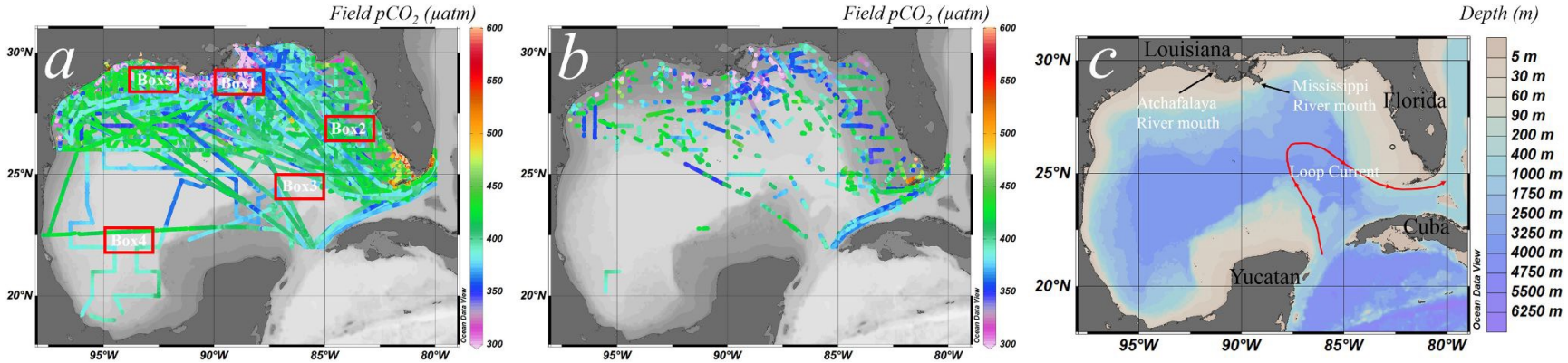
L'AA per monitorare, in superficie, il pCO_2

Misurare la CO_2 richiede un grande impegno

Non esiste una funzione nota tra un'altra variabile predittiva e il pCO2 superficiale



Golfo del Messico



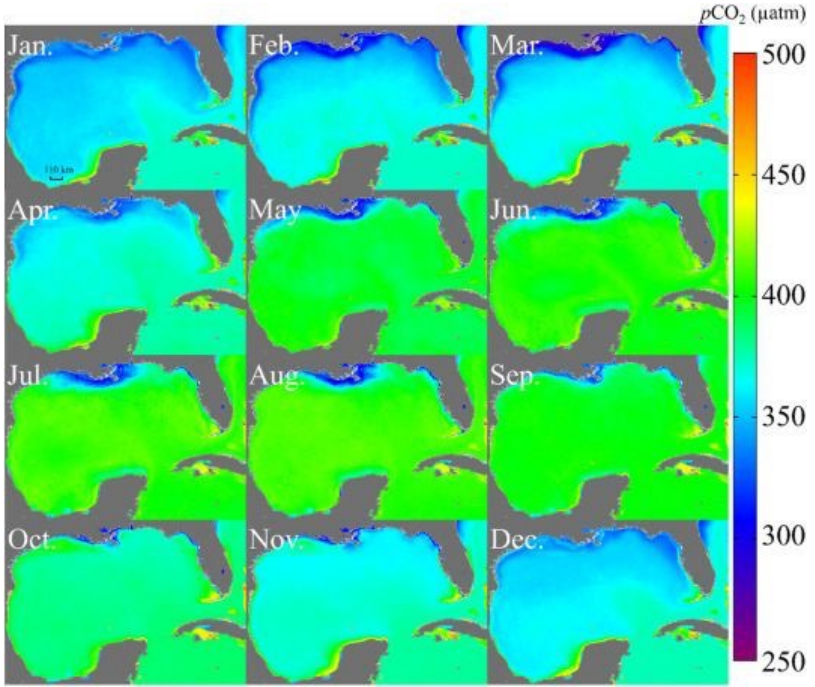
Chen et al,. 2019

L’AA per monitorare, in superficie, il pCO_2

Misurare la CO_2 richiede un grande impegno

Non esiste una funzione nota tra un’altra variabile predittiva e il pCO2 superficiale

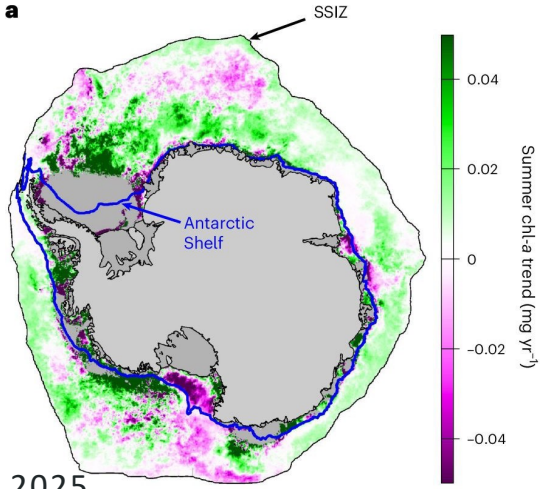
Chen et al., 2019 hanno usato una foresta casuale per far prevedere il pCO2 ai satelliti

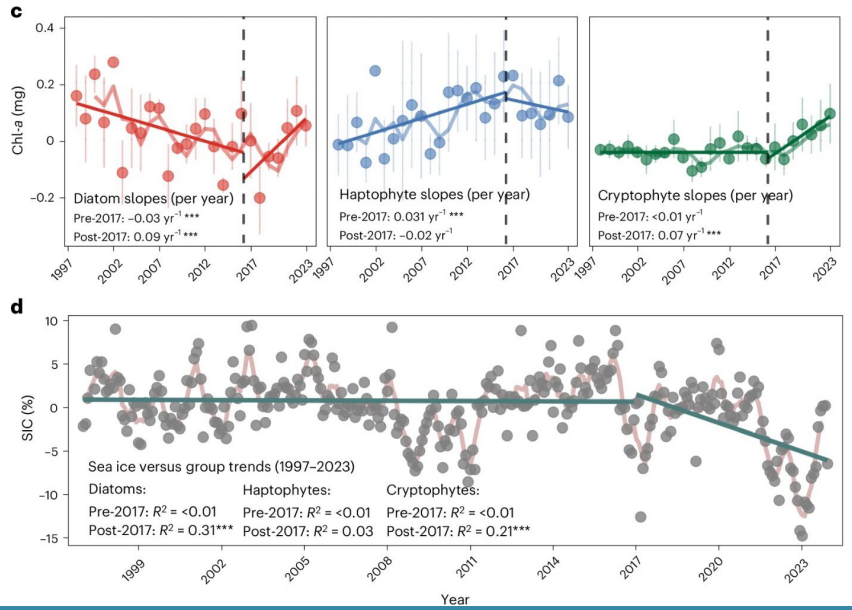


L’AA per monitorare il plancton antartico

Il fitoplancton è fondamentale per la rete trofica marina antartica e il sequestro del carbonio, ma i cambiamenti a lungo termine della sua composizione sono poco compresi

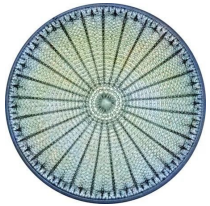
Hayward et al., 2025 hanno usato foreste casuali per mostrare come la composizione delle comunità sia cambiata con il ghiaccio marino





Hayward et al., 2025

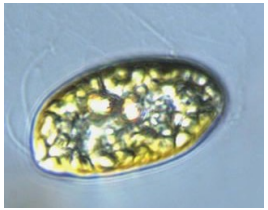
L’AA per monitorare il plancton antartico



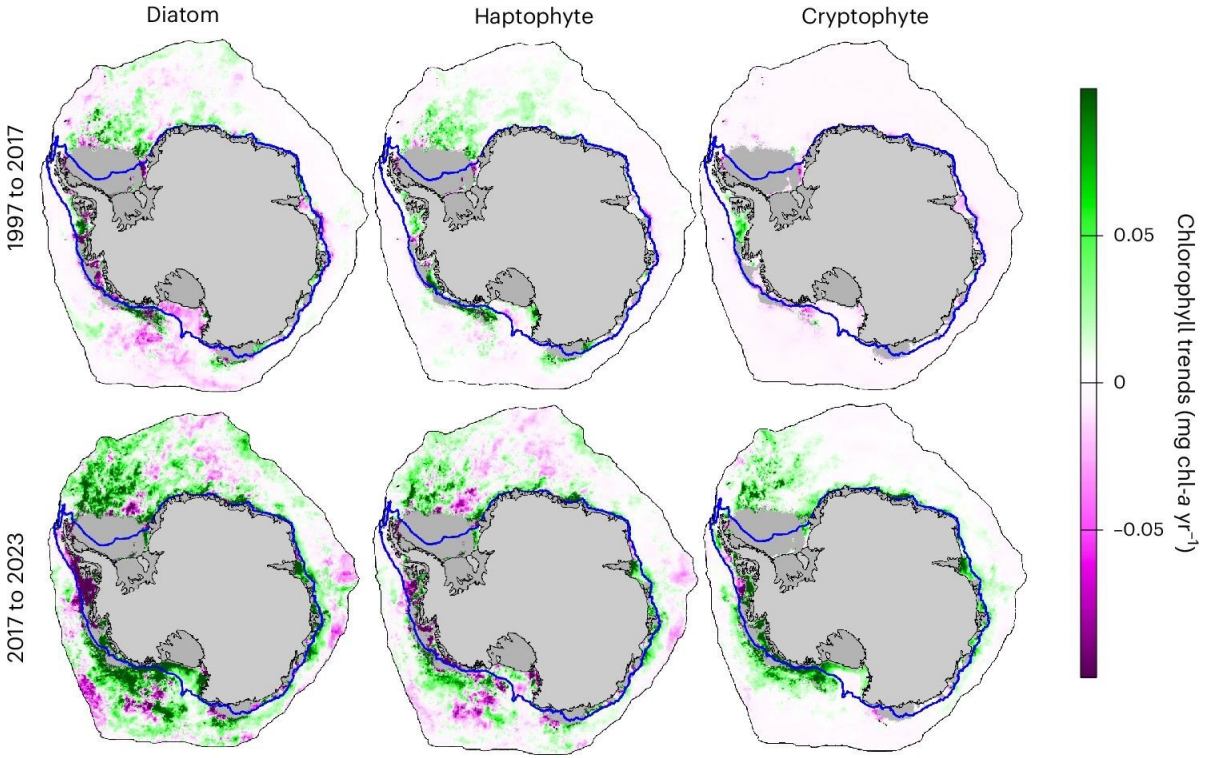
Diatomee



Aptofite



Criptofite

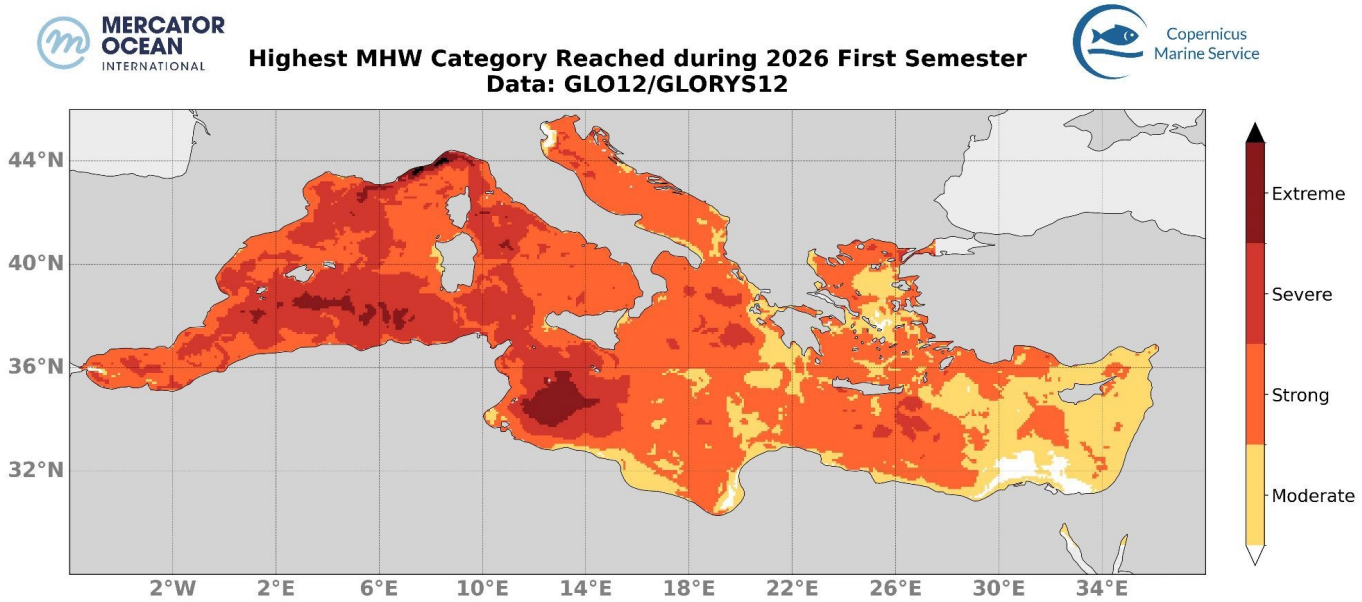


R. Graves, Wikipedia.com, J Oyandomari

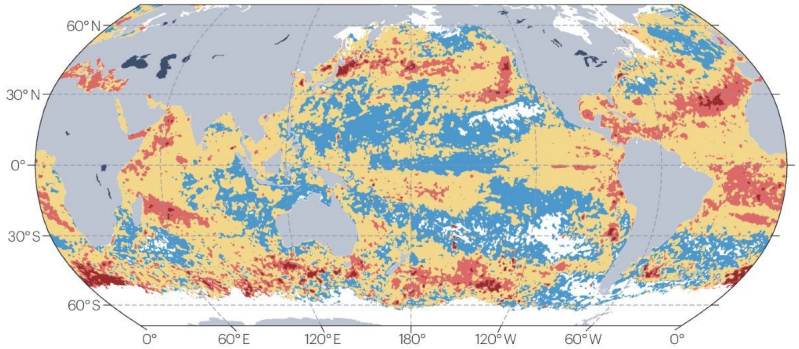
3: Quanta parte della superficie del Mediterraneo ha subito un’ondata di calore nel primo semestre 2026?

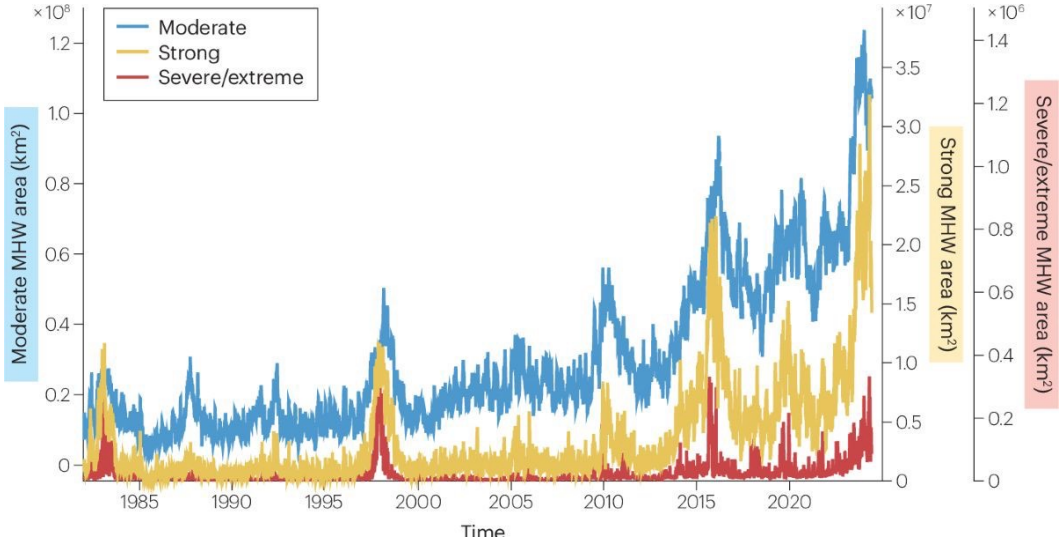
https://partici.fi/86456312

Quanta parte della superficie del Mediterraneo ha subito un’ondata di calore nel primo semestre 2026?



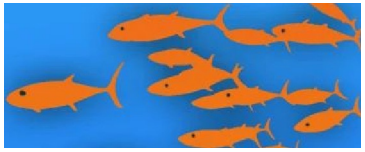
Le ondate di calore marine diventano più frequenti e intense



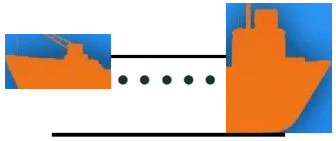


Wernberg et al., 2025

IMPATTI DEL RISCALDAMENTO MARINO



SPOSTANO GLI AREALI DELLE SPECIE



IMPATTI ECONOMICI SULLA PESCA

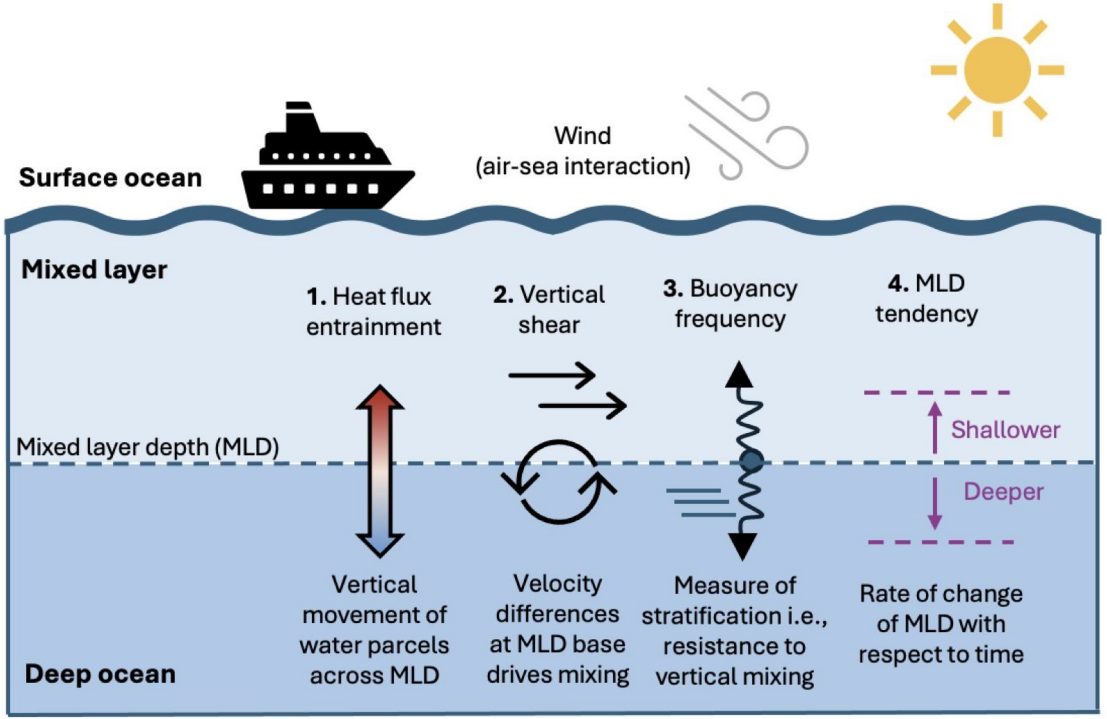
RAFFORZANO TEMPESTE E URAGANI TROPICALI



BLEACHES CORAL

CLIMATE CENTRAL

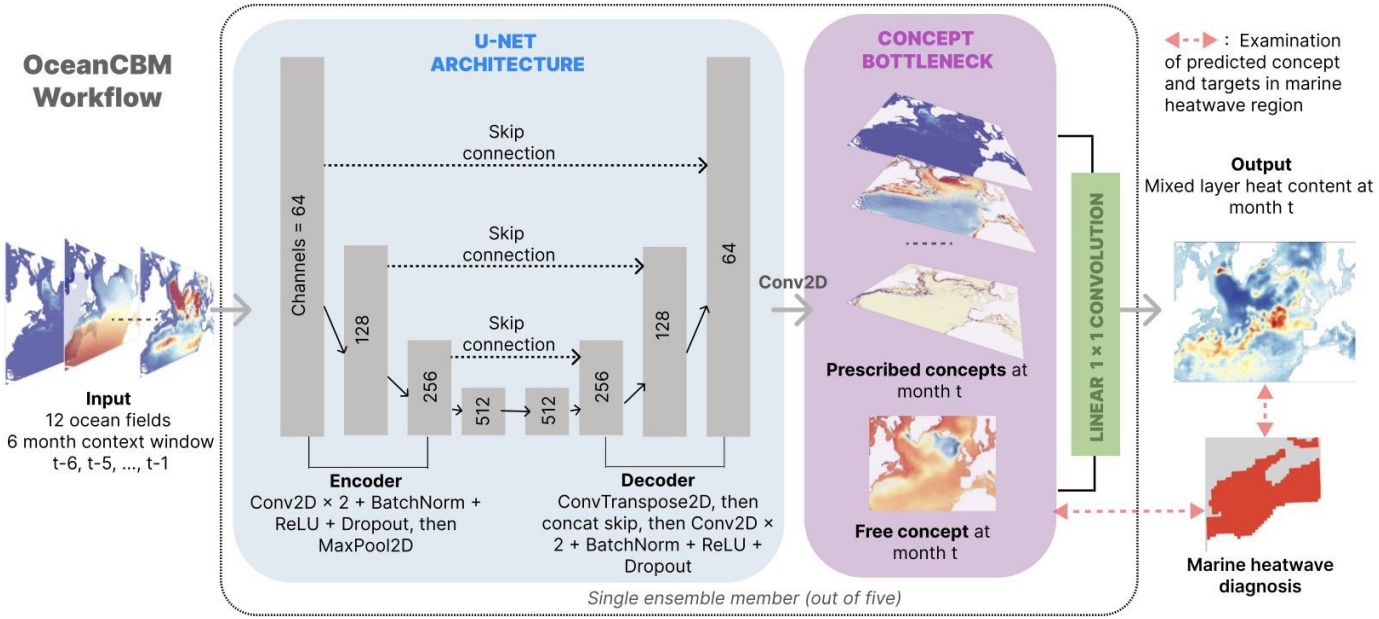
L’AA per la previsione e l’attribuzione delle ondate di calore marine



Suri et al., 2026

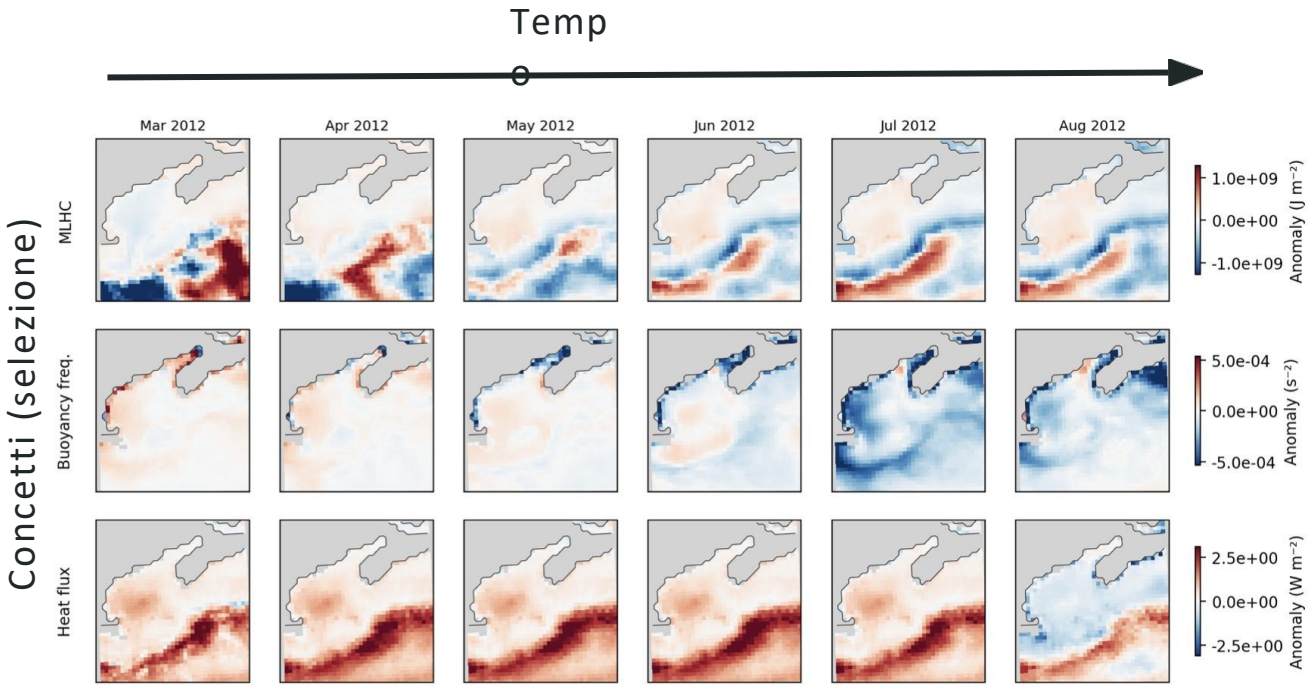
L’AA per la previsione e l’attribuzione delle ondate di calore marine

Prevedere il contenuto di calore dello strato rimescolato lasciando che la rete scelga ciò che conta

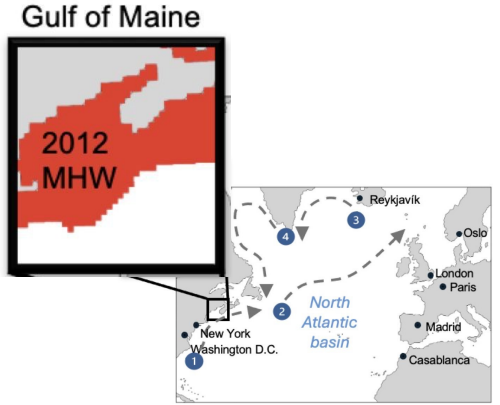


Suri et al., 2026

L’AA per la previsione e l’attribuzione delle ondate di calore marine

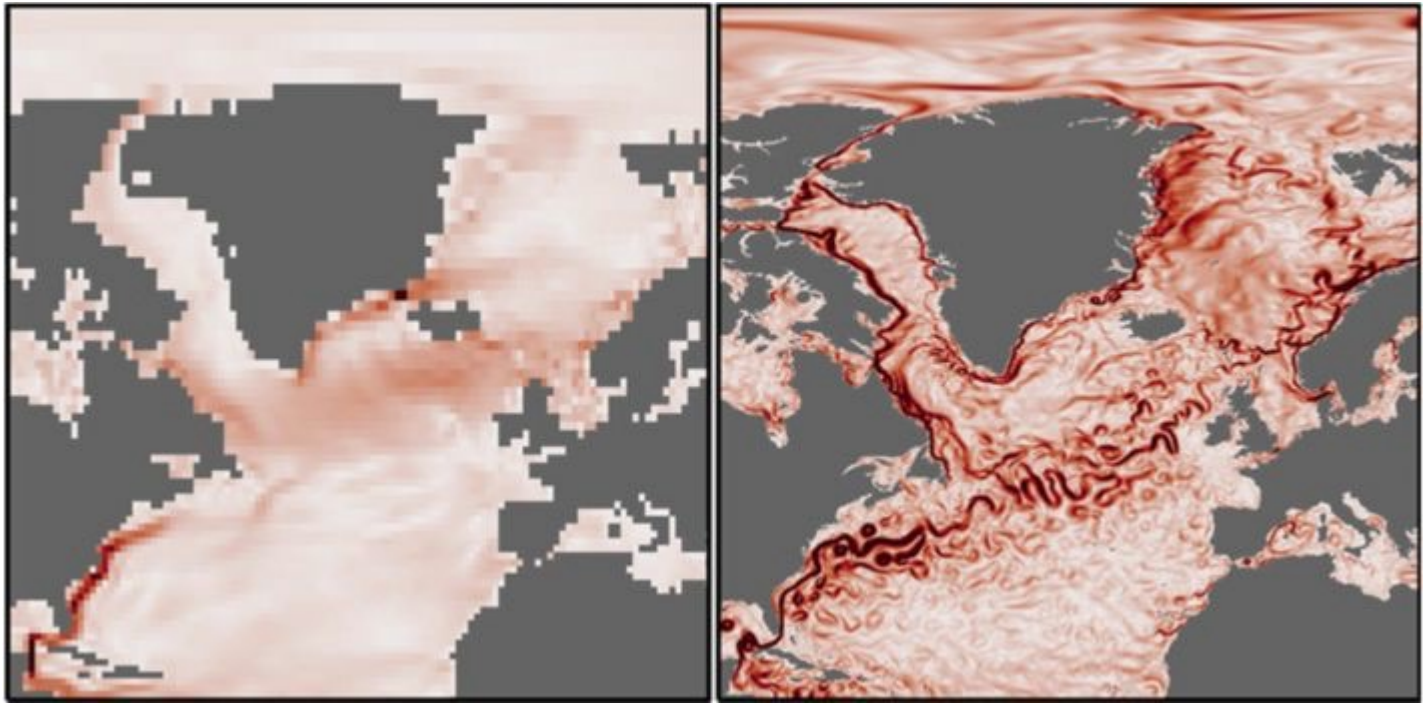


Suri et al., 2026



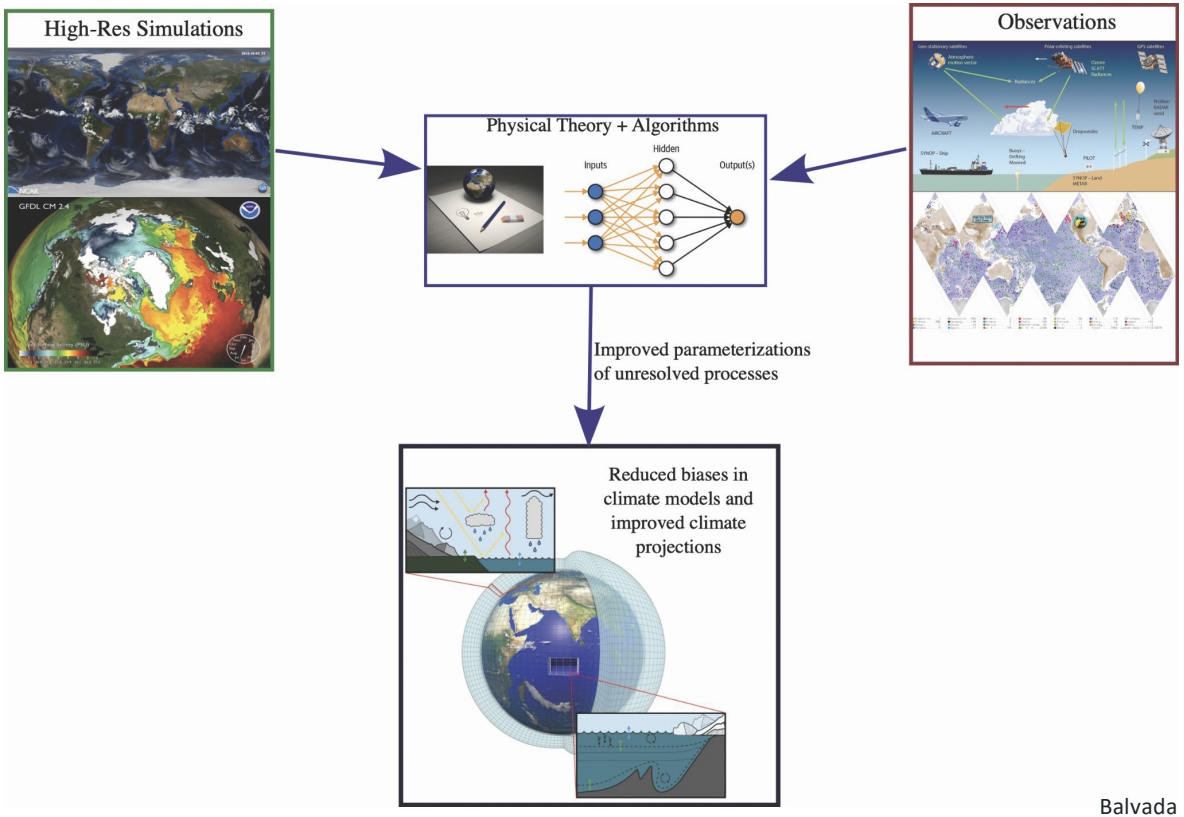
Conclusione:
L’apporto di calore atmosferico che ha riscaldato lo strato rimescolato
+
l’aumento della stratificazione ha intrappolato il calore vicino alla superficie

L’AA per la parametrizzazione dei modelli oceanici



fyfluiddynamics.com

L’AA per la parametrizzazione dei modelli oceanici



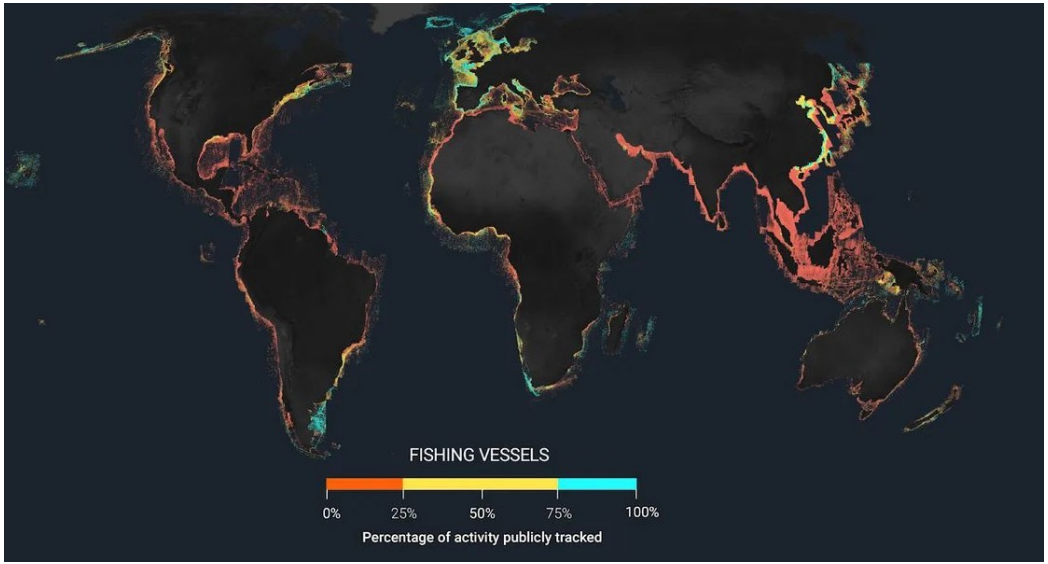
Balvada and Zanna, 2022

L’AA per la gestione della pesca

Global Fishing Watch fornisce una mappa quasi in tempo reale della pesca industriale per contrastare le attività illegali

Usano dati di tracciamento delle navi e l’IA

I dati disponibili danno ad esempio posizione, velocità e rotta, ma non l’intenzione. L’IA classifica il tipo di nave (peschereccio a strascico, palangaro, a circuizione) e deduce se è in transito o in pesca



L’AA per la gestione della pesca: Una nota su chi ne beneficia

Global Fishing Watch fa emergere le attività illegali, ma la capacità di controllo è distribuita in modo disomogeneo

Rilevare senza capacità di intervenire può spostare l’onere dove le capacità sono minori



Circolazione oceanica e clima: approfondimento

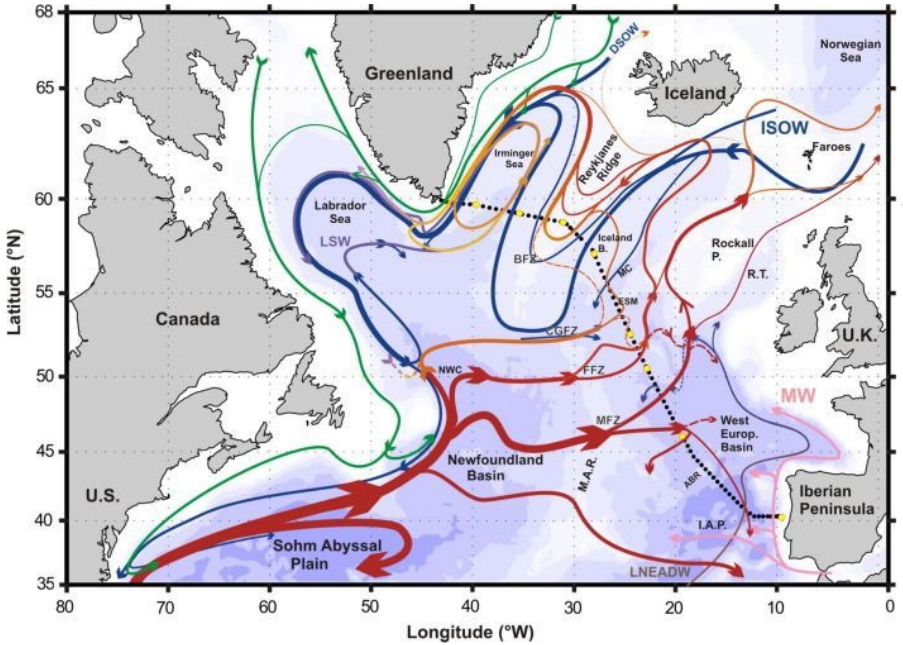
Circolazione meridionale di ribaltamento atlantica (AMOC):

- Trasporto di calore verso l'Europa
- Configurazioni atmosferiche
- Siccità
- Livello del mare sulla costa orientale degli USA
- Uragani



L'Islanda ha classificato il rischio di un arresto dell'AMOC come minaccia alla sicurezza nazionale

L’AA per capire il cambiamento dell’AMOC nel CMIP



Valutata con una metrica semplicistica: la portata a 26ºN

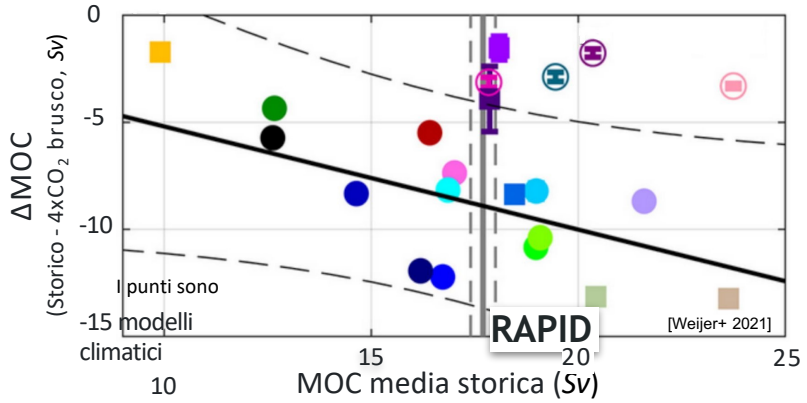
Un solo numero per descrivere correnti complesse?

Daniault et al., 2016

Al CMIP mancano dati per capire il cambiamento

- Le metriche aggregate sono comuni
  - Ad es.: la metrica della circolazione meridionale di ribaltamento atlantica (AMOC)
- Misura l'intensità e il trasporto di volume dell'AMOC
- Segue la velocità con cui l'acqua calda va verso nord e quella fredda torna verso sud
- Trasporto di volume delle correnti: misurato con profondità, velocità, temperatura e salinità dell'oceano
  - Posizione delle schiere: monitoraggio lungo le latitudini 26,5°N (RAPID), 34,5°S (SAMBA) e nelle regioni subpolari.

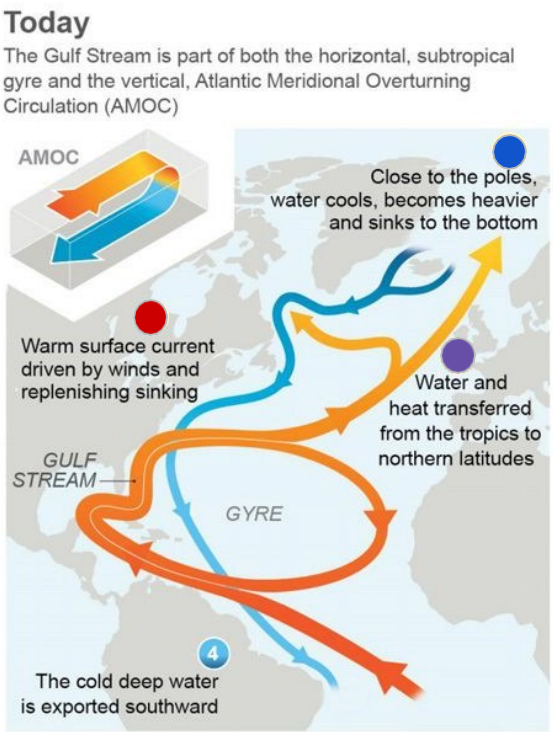
Variazione dell'AMOC tra oggi e un futuro con 4xCO_2 brusco

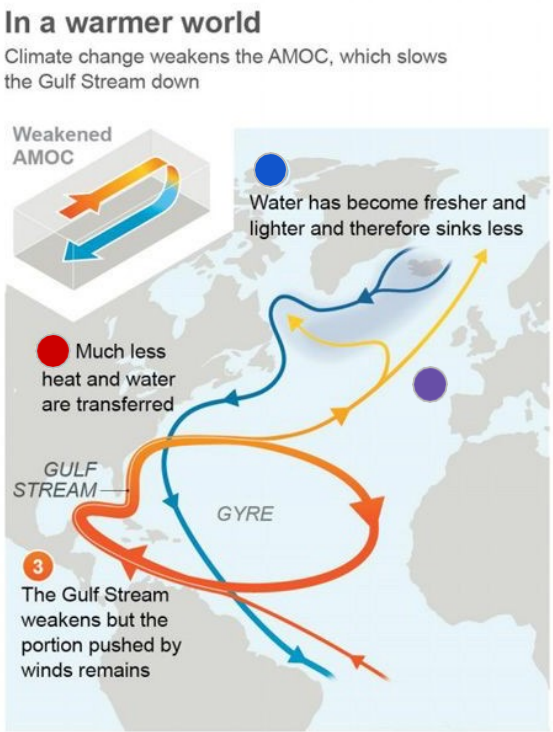


1Sv = 10^6 m^3/s

La Corrente del Golfo si fermerà con i cambiamenti climatici?

Vediamo impronte del cambiamento nella dinamica

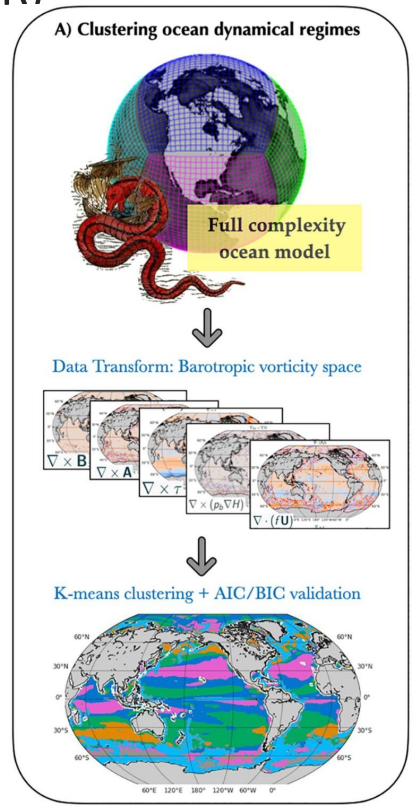


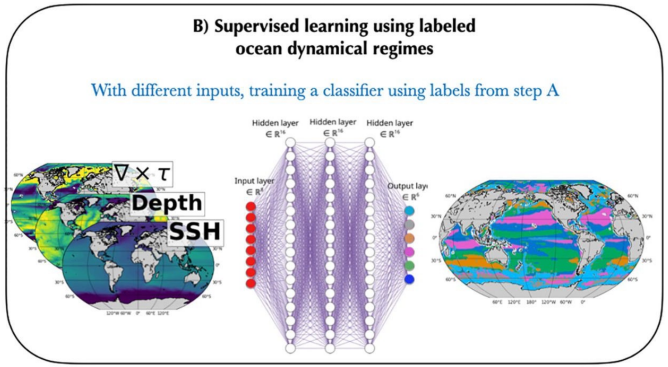


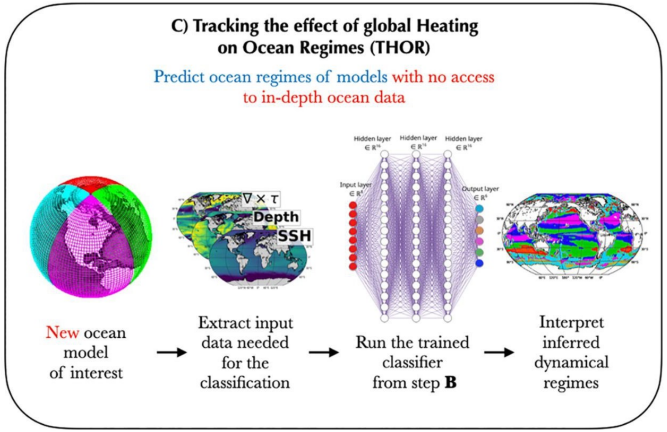
- La Corrente del Golfo si sposta a nord
- Il percorso dell'apporto di calore si sposta
- Acque meno dense/pesanti

Adattato dall'AR5 dell'IPCC

Metodo: monitorare il riscaldamento globale con i regimi oceanici (THOR)







Dedurre il dettaglio delle correnti dai pochi dati disponibili

Calcolo equo: open source e HPC nel cloud

GitHub maikejulie/DNN4Cli

FAIR

AWS

Sonnewald and Lguensat, 2021, ***JAMES***

Sonnewald, et al., 2021, ***International Conference on Machine Learning (ICML)* workshop paper spotlight**

Gille […], **Sonnewald** et al., 2018, **Open Code Policy for NASA Space Science, white paper**

ç

Gestire la complessità dei fluidi nei modelli climatici

Componente oceanica a piena complessità



Trasformazione e simbolica



Quadro dello spazio delle equazioni fondamentali

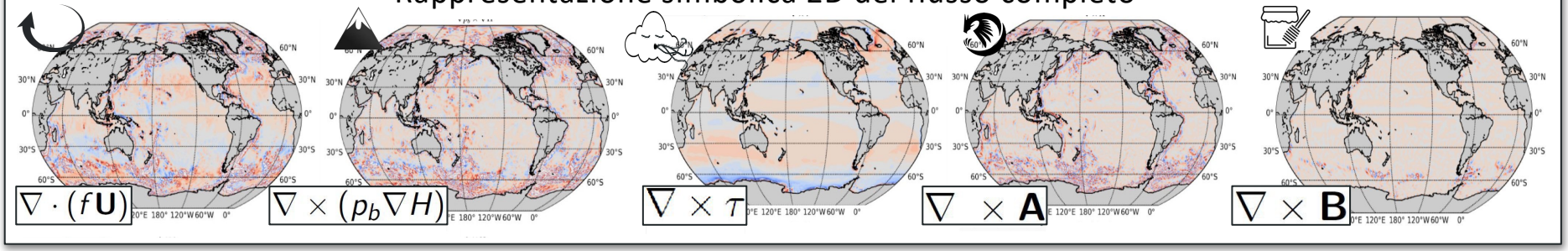
(Equazione della vorticità barotropica)

Advection — Wind and Bottom Stress — Lateral Viscosity

$$0 = \nabla \cdot (f\mathbf{U}) - \nabla \times (p_b \nabla H) + \nabla \times \tau - \nabla \times \mathbf{A} + \nabla \times \mathbf{B}$$

Bottom Pressure Torque — Non-linear Torque

Rappresentazione simbolica 2D del flusso completo



[SWH 2019 ESS]

Gestire la complessità dei fluidi nei modelli climatici

Componente oceanica a piena complessità



Trasformazione e simbolica



Quadro dello spazio delle equazioni fondamentali

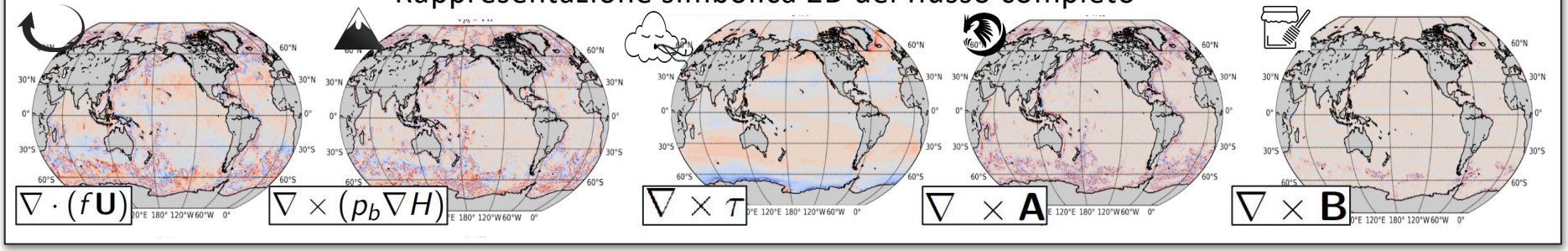
(Equazione della vorticità barotropica)

Advection — Wind and Bottom Stress — Lateral Viscosity

$$0 = \nabla \cdot (f\mathbf{U}) - \nabla \times (p_b \nabla H) + \nabla \times \tau - \nabla \times \mathbf{A} + \nabla \times \mathbf{B}$$

Bottom Pressure Torque — Non-linear Torque

Rappresentazione simbolica 2D del flusso completo



[SWH 2019 ESS]

Gestire la complessità dei fluidi nei modelli climatici

Componente oceanica a piena complessità



Trasformazione e simbolica



Quadro dello spazio delle equazioni fondamentali

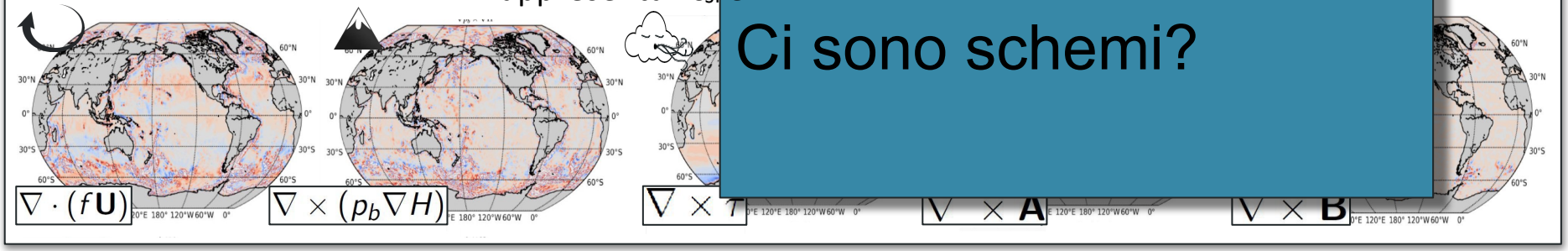
(Equazione della vorticità barotropica)

Advection — Wind and Bottom Stress — Lateral Viscosity

$$0 = \nabla \cdot (f\mathbf{U}) - \nabla \times (p_b \nabla H) + \nabla \times \tau - \nabla \times \mathbf{A} + \nabla \times \mathbf{B}$$

Bottom Pressure Torque — Non-linear Torque

Rappresentazione



Ci sono schemi?

[SWH 2019 ESS]

Gestire la complessità dei fluidi nei modelli climatici

Componente oceanica a piena complessità



Trasformazione e simbolica



Quadro dello spazio delle equazioni fondamentali

(Equazione della vorticità barotropica)

Advection — Wind and Bottom Stress — Lateral Viscosity

$$0 = \nabla \cdot (f\mathbf{U}) - \nabla \times (p_b \nabla H) + \nabla \times \tau - \nabla \times \mathbf{A} + \nabla \times \mathbf{B}$$

Bottom Pressure Torque — Non-linear Torque

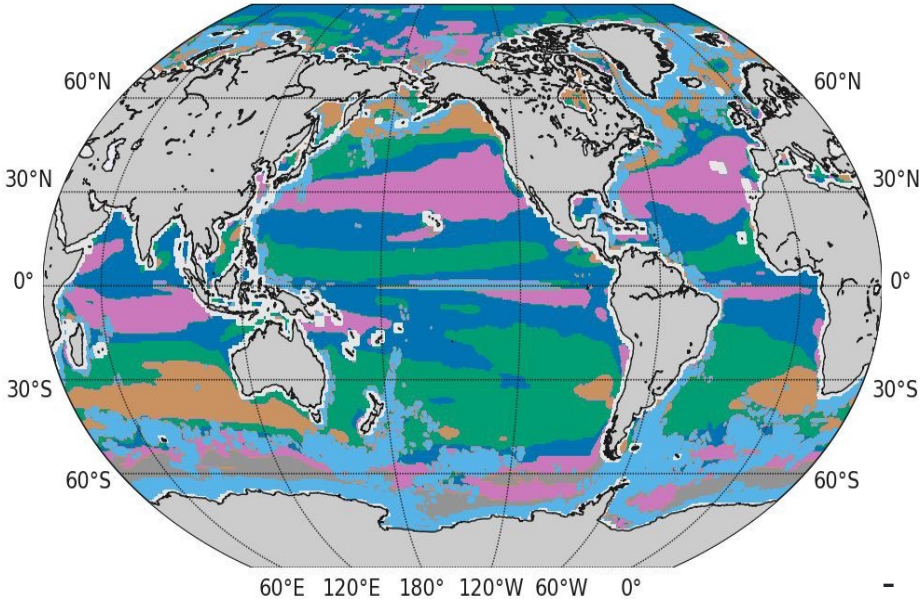
Rappresentazione si

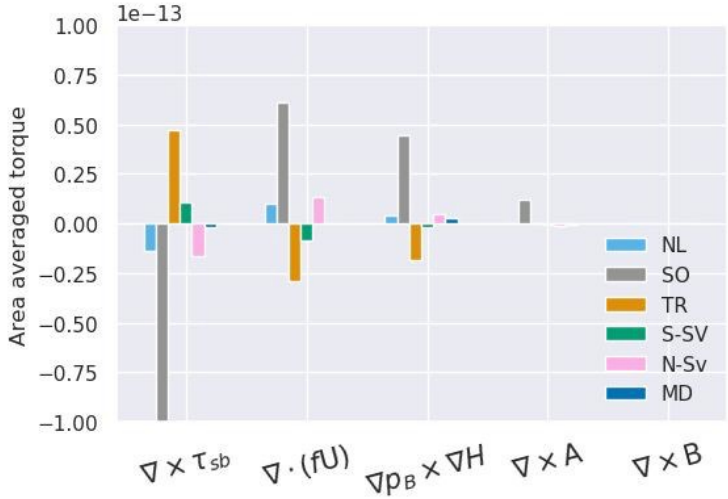


Ci sono schemi?

Usare il clustering

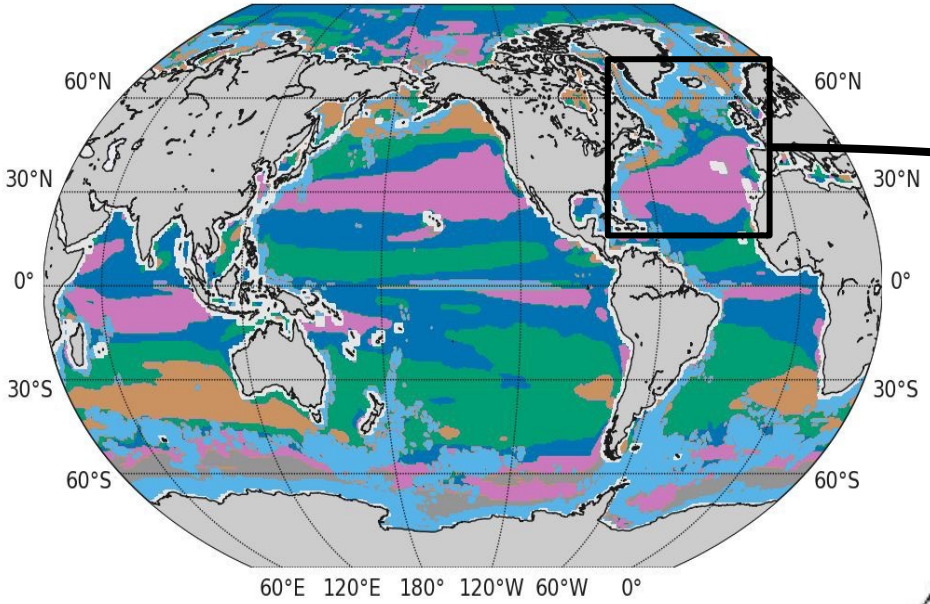
[SWH **2019 ESS**]





- Emergono regioni coerenti
- I regimi indicano l'equilibrio dei termini dell'equazione

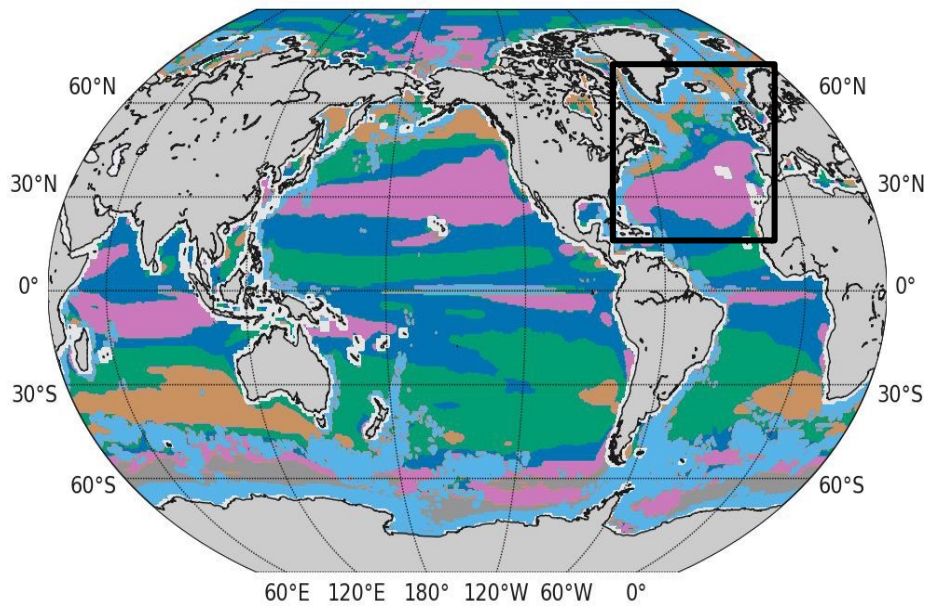
NL - Non lineare	**SO - Oceano Australe**	**TR - Transizionale**
S-SV - Sverdrupiano EA	**N-SV - Sverdrupiano EB**	**MD - Dominato dalla quantità di moto**

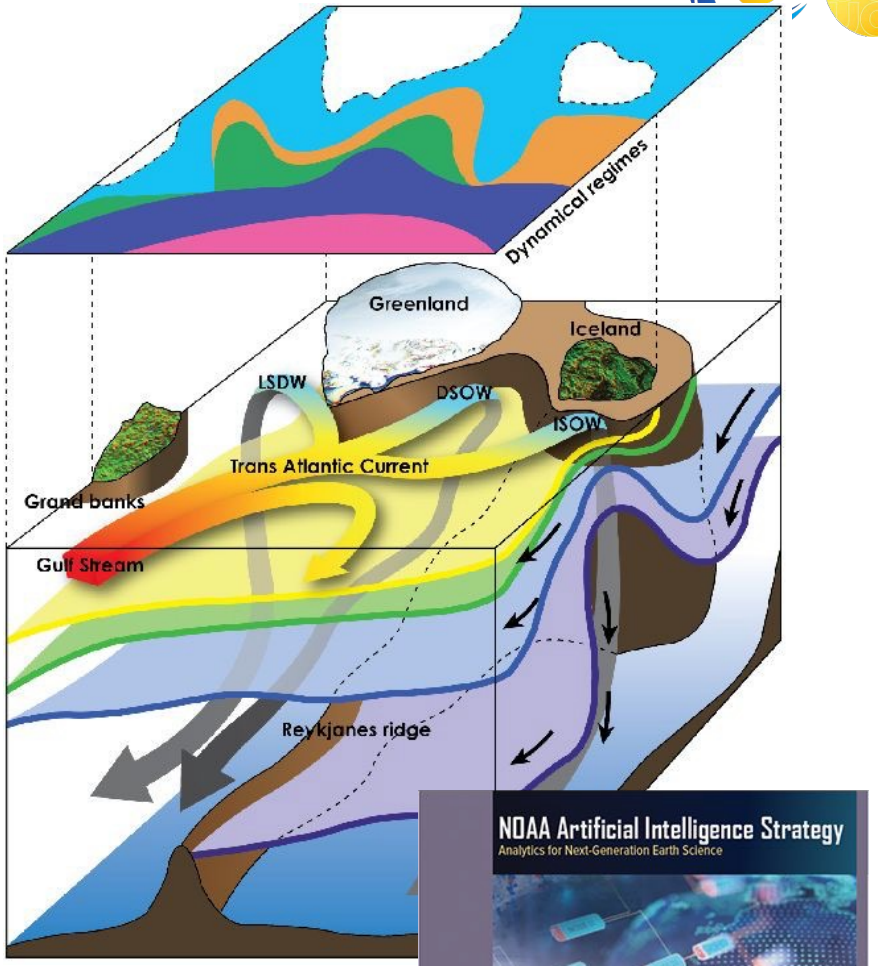






Nuove conoscenze: Sonnewald, Reeve & Lguensat, 2023 Principale: Sonnewald, Wunsch & Heimbach, 2019,
Formalismo: Kaiser, Sanches, Sonnewald & Livrenco, 2022

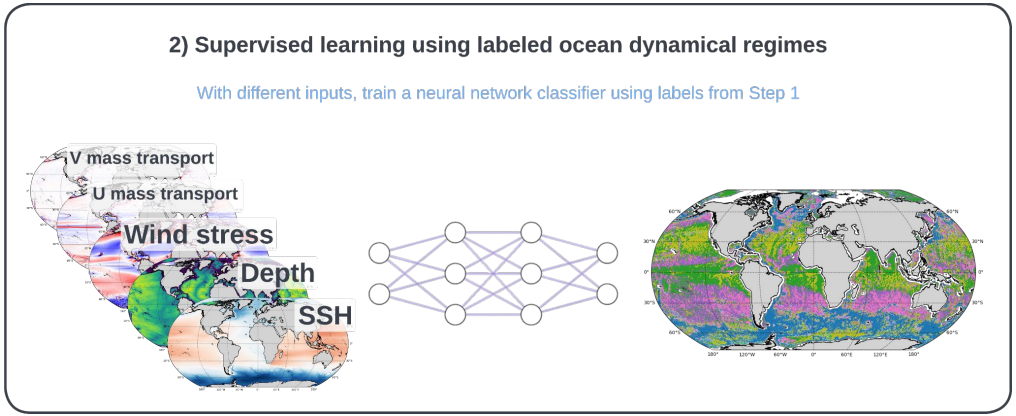




I regimi rivelano strutture oceaniche 3D legate, ad esempio, al trasporto di calore

- Correnti calde portate a nord (rosso)
- Raffreddamento attraversando il bacino (giallo)
- Sprofondamento in profondità (grigio)

Apprendere i regimi da campi disponibili

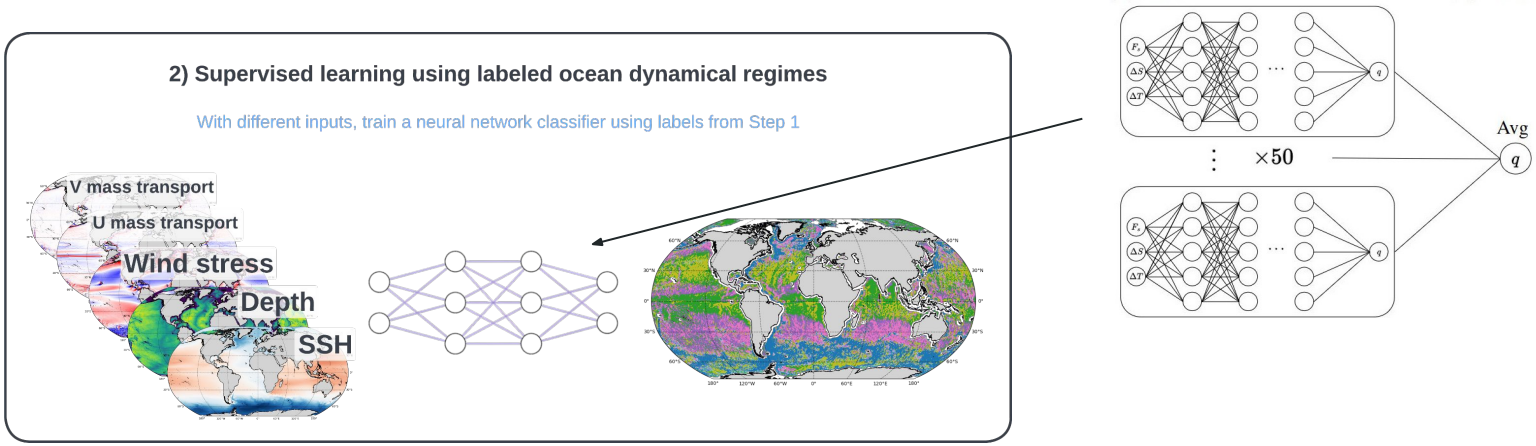


- Input: «parole» approssimative
  - Altezza della superficie del mare (ZOS) + gradienti x/y
  - Profondità (altezza della colonna) + gradienti x/y
  - Rotore dello sforzo del vento ($\nabla \times \tau$)
  - Trasporto di massa mensile integrato in profondità (umo_2d + vmo_2d)
  - Parametro di Coriolis (f)

- Le etichette forniscono il «contesto»: 6 regimi dinamici
- Deep ensemble (50 MLP) per quantificare l'incertezza
- Applicazione di tecniche di IA spiegabile

Sonnewald, Reeve & Lguensat, in stampa, Nature Comm. Earth and Env. Principale: Sonnewald, Wunsch & Heimbach, 2019, ESS.
Formalismo: Kaiser, Sanches, Sonnewald & Livrenco, 2022 Eng Appl AI

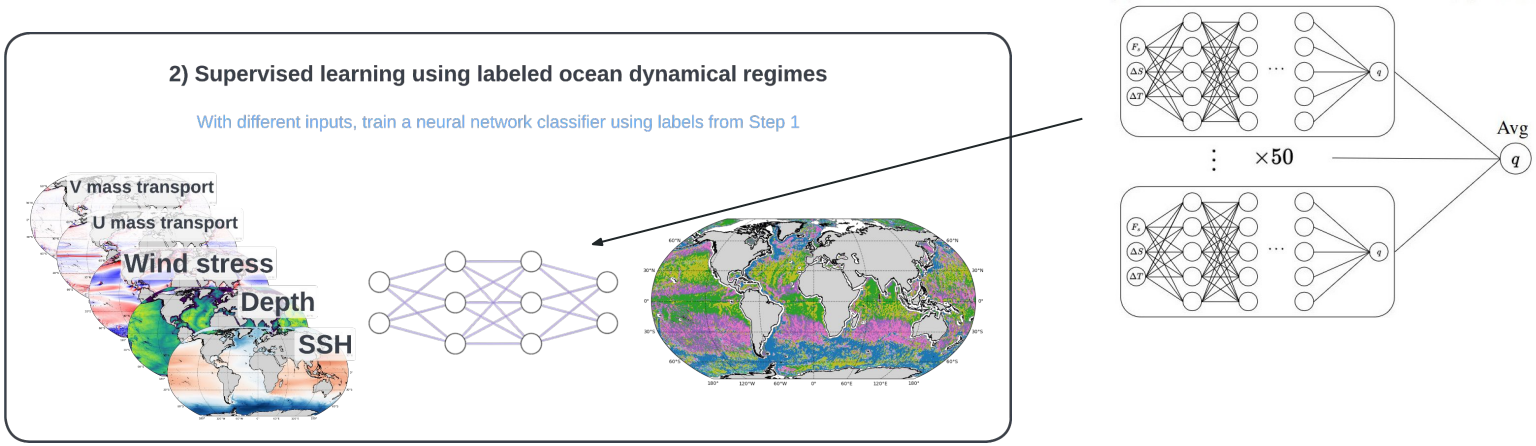
Apprendere i regimi da campi disponibili



- Input: «parole» approssimative
  - Altezza della superficie del mare (ZOS) + gradienti x/y
  - Profondità (altezza della colonna) + gradienti x/y
  - Rotore dello sforzo del vento ($\nabla \times \tau$)
  - Trasporto di massa mensile integrato in profondità (umo_2d + vmo_2d)
  - Parametro di Coriolis (f)

- Le etichette forniscono il «contesto»: 6 regimi dinamici
- Deep ensemble (50 MLP) per quantificare l'incertezza
- Applicazione di tecniche di IA spiegabile

Apprendere i regimi da campi disponibili



- **Input disponibili nel CMIP:**
  - Altezza della superficie del mare (ZOS)
  - Profondità (altezza della colonna)
  - Rotore dello sforzo del vento ($\nabla \times \tau$)
  - Trasporto di massa mensile integrato in profondità
  - Parametro di Coriolis (f)

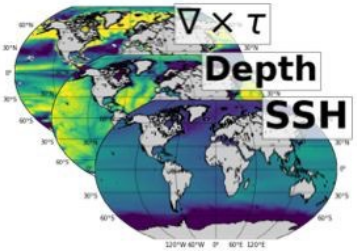
- **Modello di AA:**
  - Deep ensemble (50 MLP) per quantificare l'incertezza
  - Applicazione di tecniche di IA spiegabile

Applicare a diversi scenari climatici per capire i cambiamenti

THOR: regimi in un modello mai visto

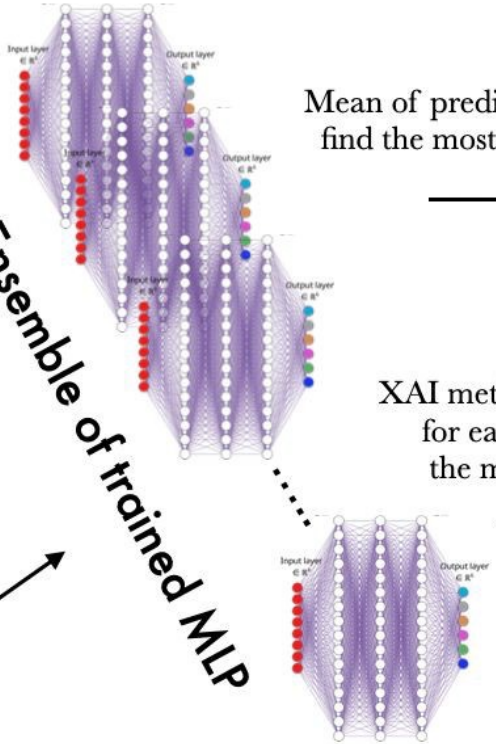


Ocean model of interest



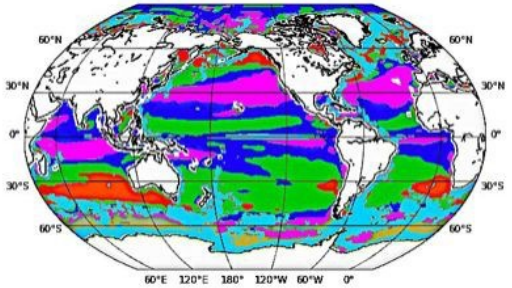
Extract input data needed by the classifier

Ensemble of trained MLP



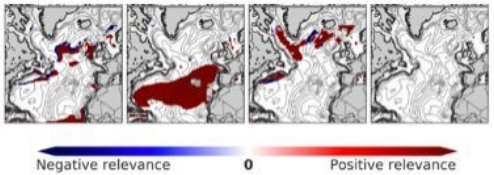
Mean of predictions is used to find the most probable class

Classification
Predict dynamical regimes in unseen data

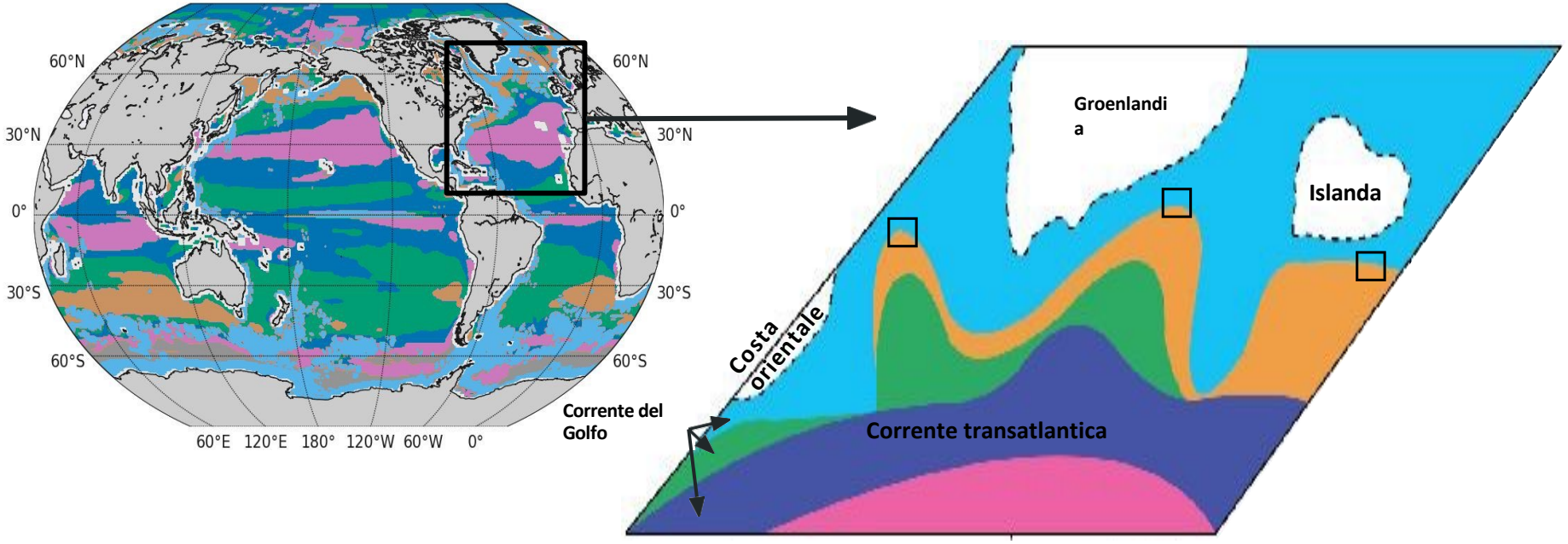


XAI method (ex: LRP) is used for each MLP to obtain the mean of relevances

Explainability
Attribute predictive skill to input features

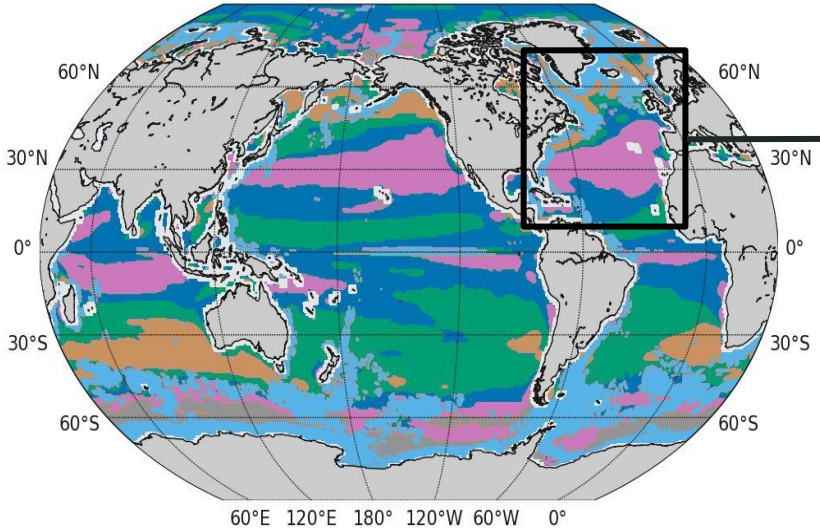


THOR: diagnosticare i processi dell'AMOC



□ = acqua densa in superficie

THOR: diagnosticare i processi dell'AMOC

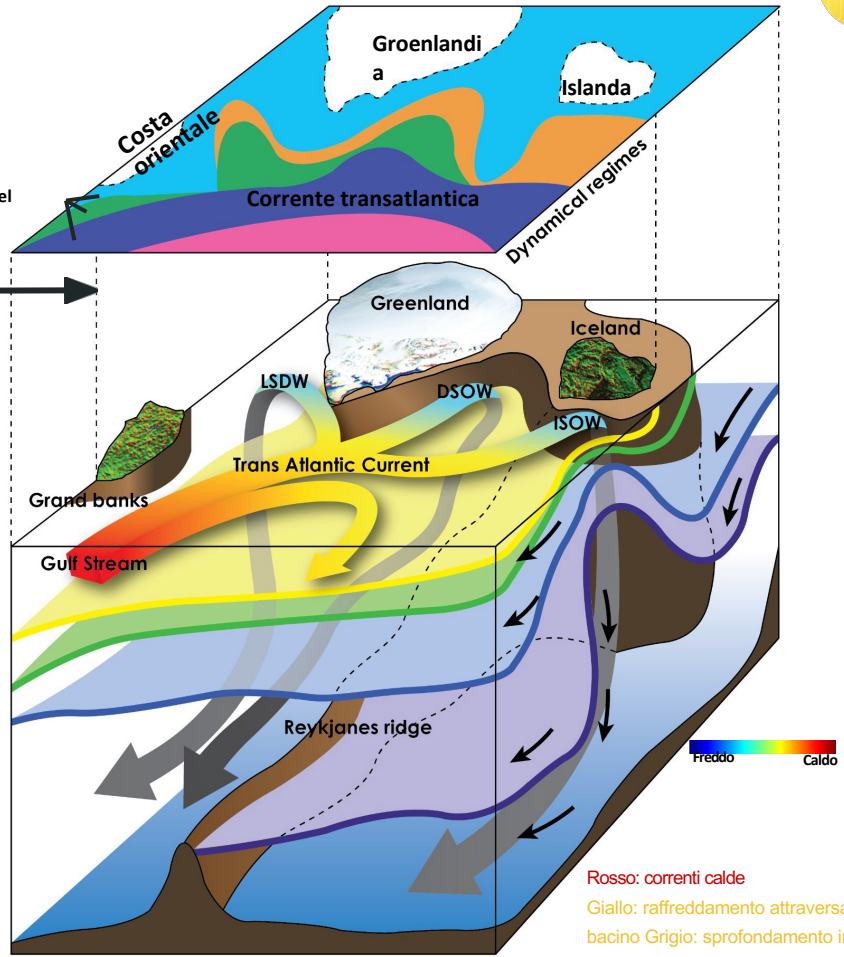


THOR applicato ai modelli CMIP

Diagnosticare i processi per accelerare la taratura e la parametrizzazione dei modelli

GFDL e IPDL

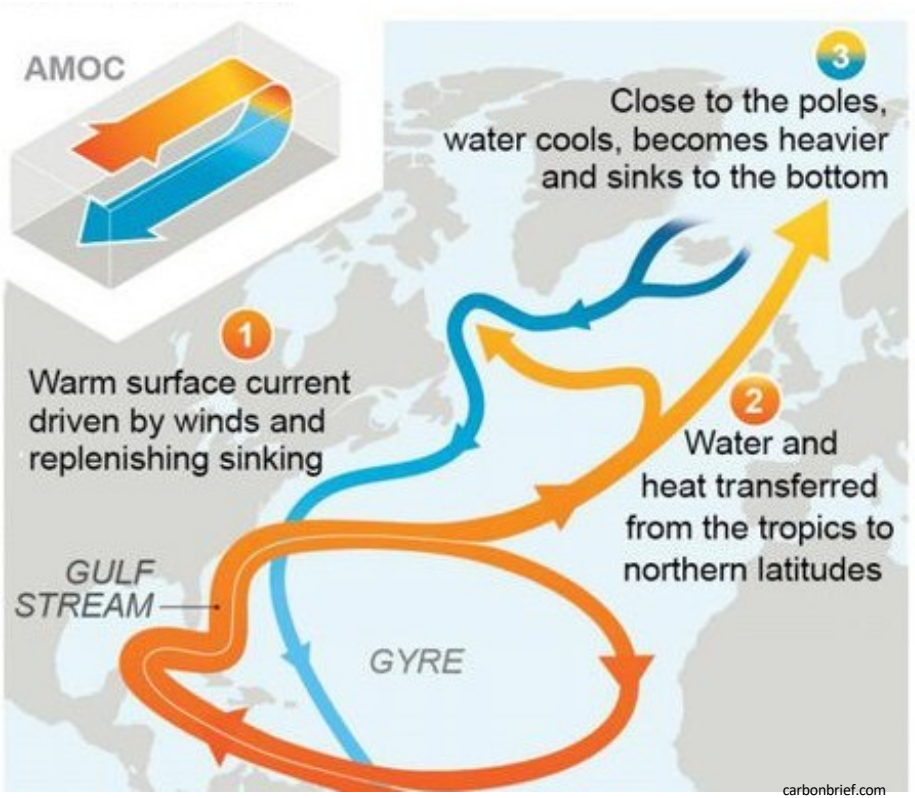




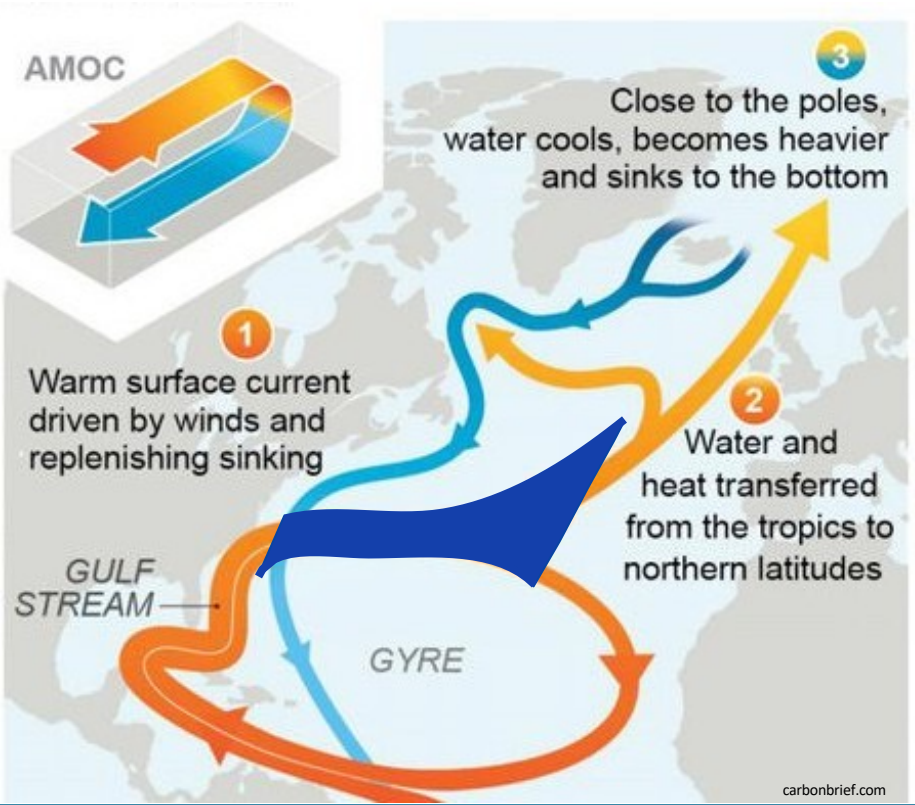
Rosso: correnti calde

Giallo: raffreddamento attraversando il bacino Grigio: sprofondamento in profondità

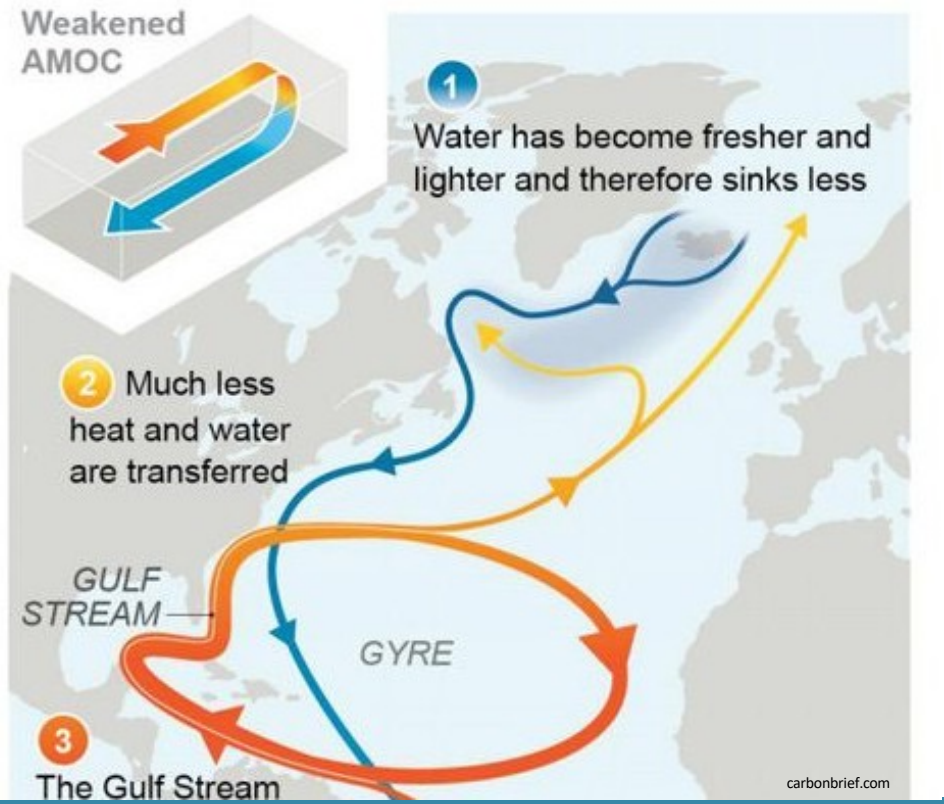
Come si indebolirà la circolazione di ribaltamento?



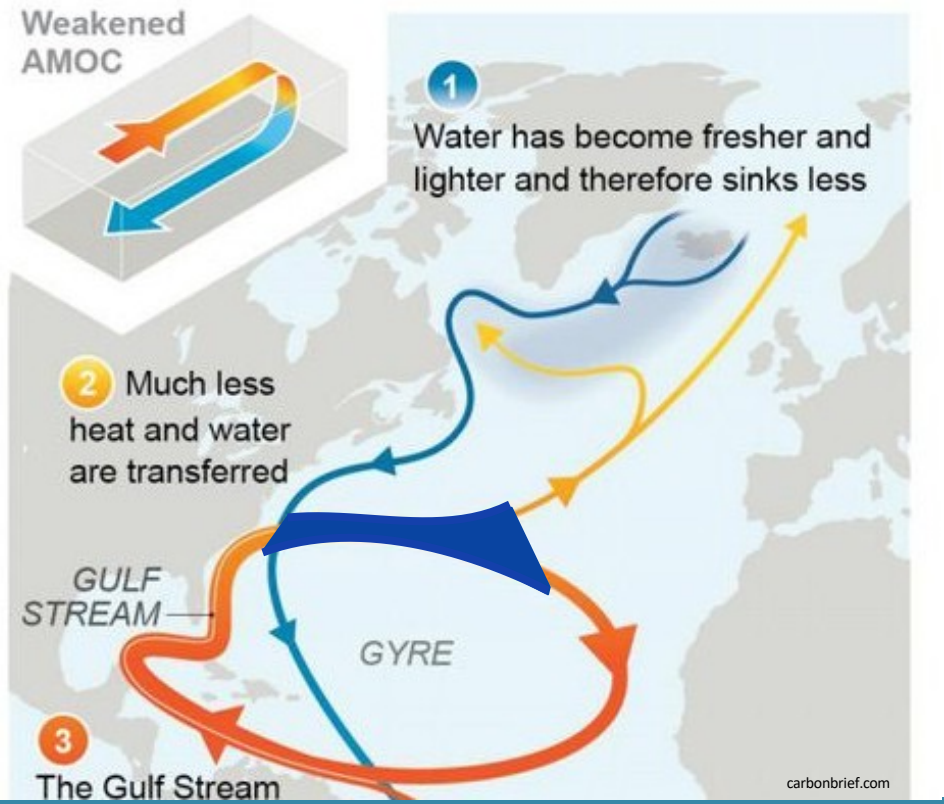
Come si indebolirà la circolazione di ribaltamento?



Come si indebolirà la circolazione di ribaltamento?



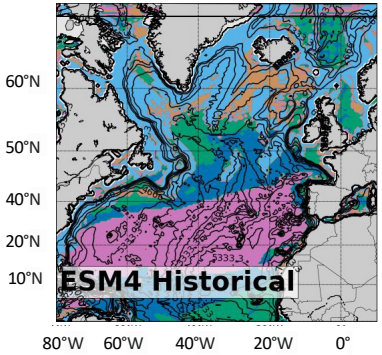
Come si indebolirà la circolazione di ribaltamento?



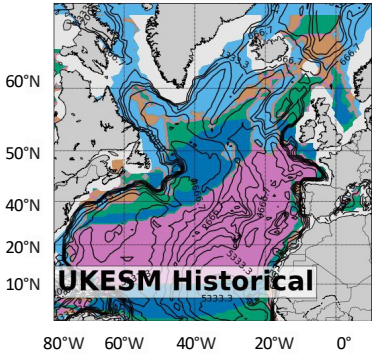
THOR: processi con quadruplicazione brusca della CO_2

Gli scenari «storici» si somigliano, ma quelli futuri rivelano differenze

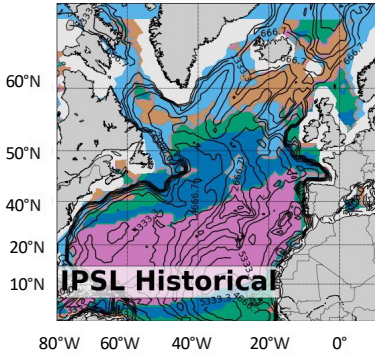
GFDL ESM4

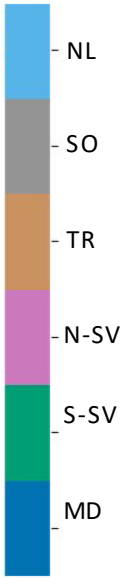


UKESM



IPSL



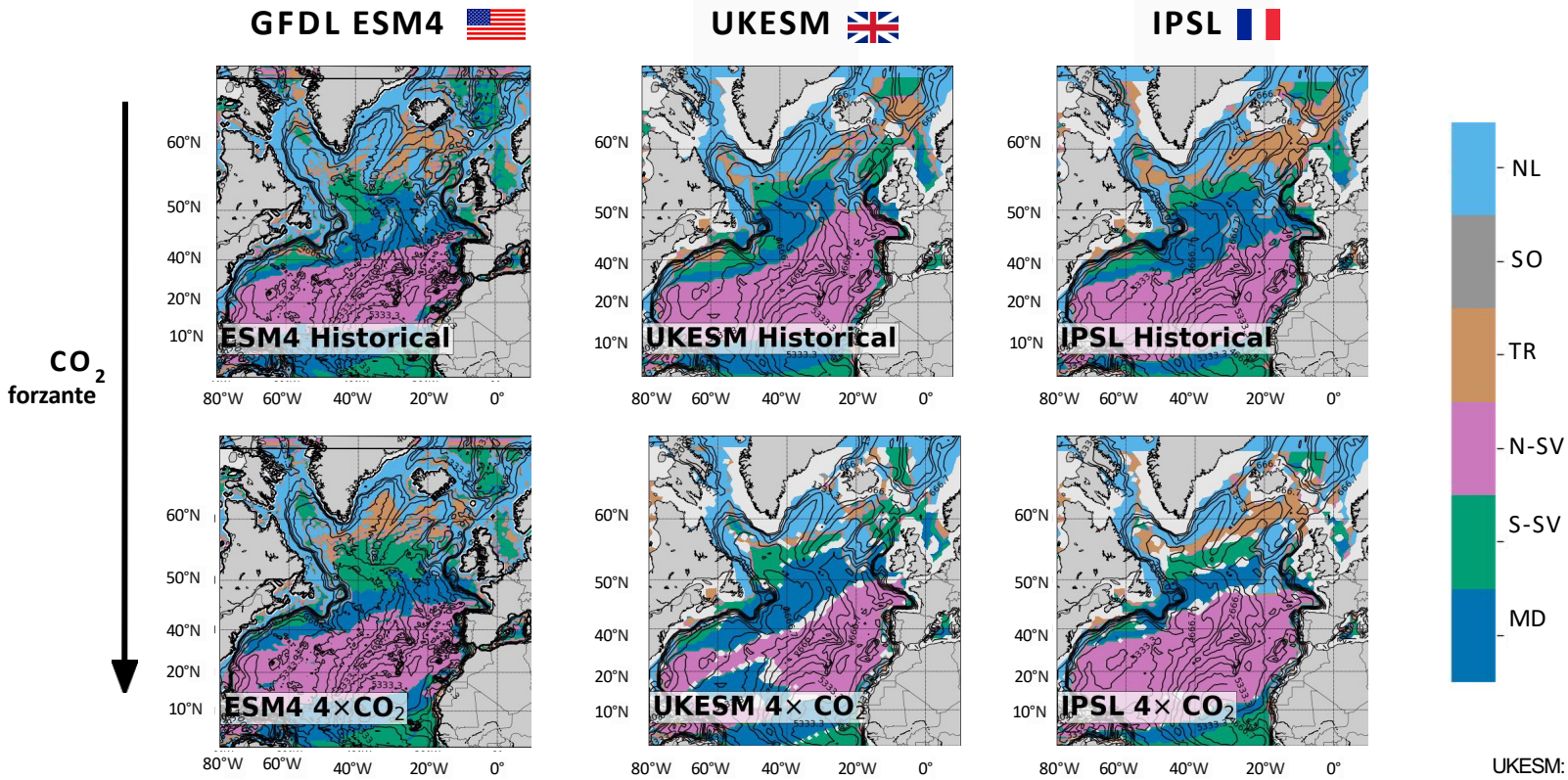


[SL 2021 **JAMES**]

UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

THOR: processi con quadruplicazione brusca della CO_2

Gli scenari «storici» si somigliano, ma quelli futuri rivelano differenze

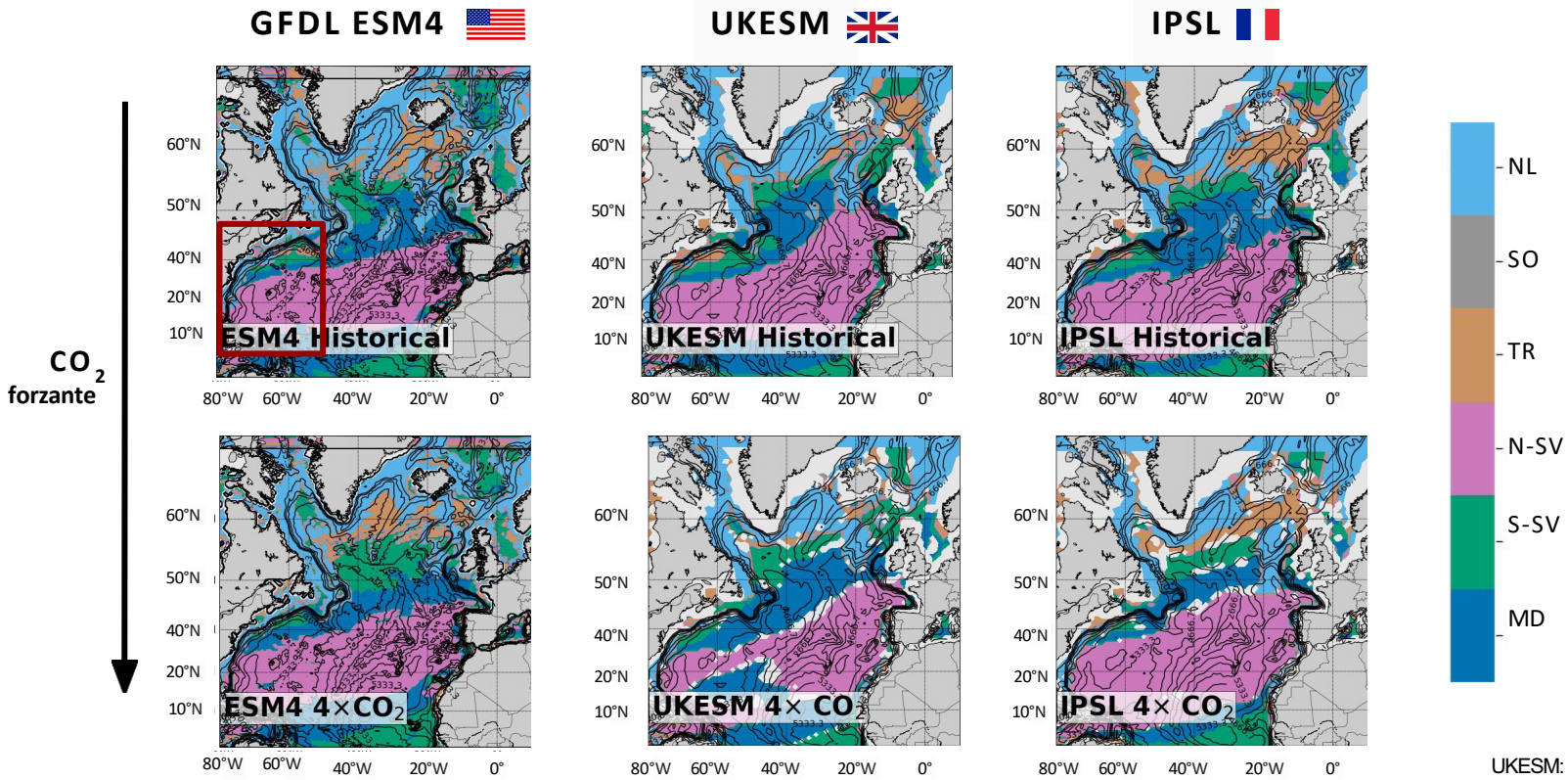


UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

[SL 2021 **JAMES**]

THOR: processi con quadruplicazione brusca della CO_2

Gli scenari «storici» si somigliano, ma quelli futuri rivelano differenze

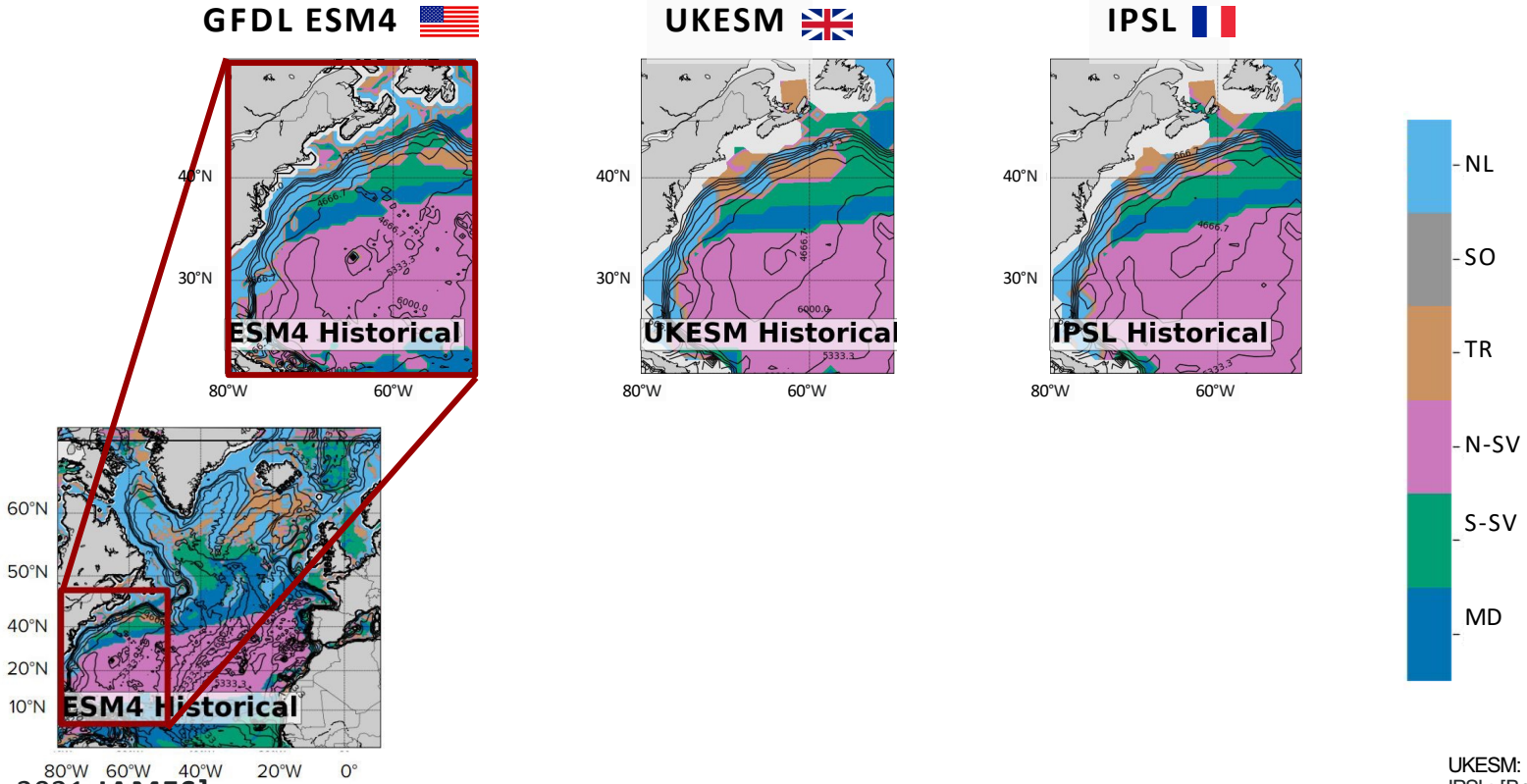


[SL 2021 **JAMES**]

UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

THOR: processi con quadruplicazione brusca della CO_2

Gli scenari «storici» si somigliano, ma quelli futuri rivelano differenze

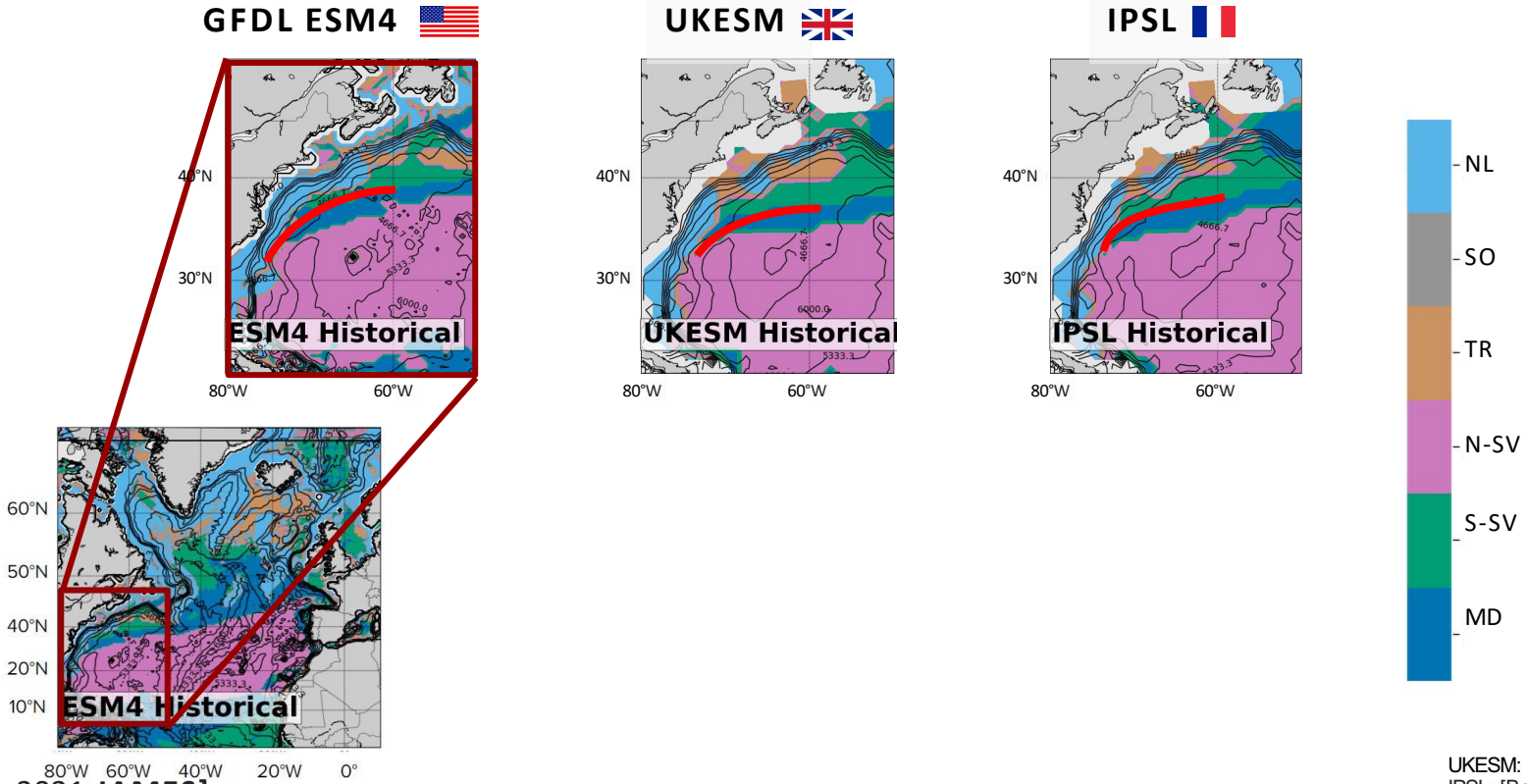


[SL 2021 JAMES]

UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

THOR: processi con quadruplicazione brusca della CO_2

Gli scenari «storici» si somigliano, ma quelli futuri rivelano differenze

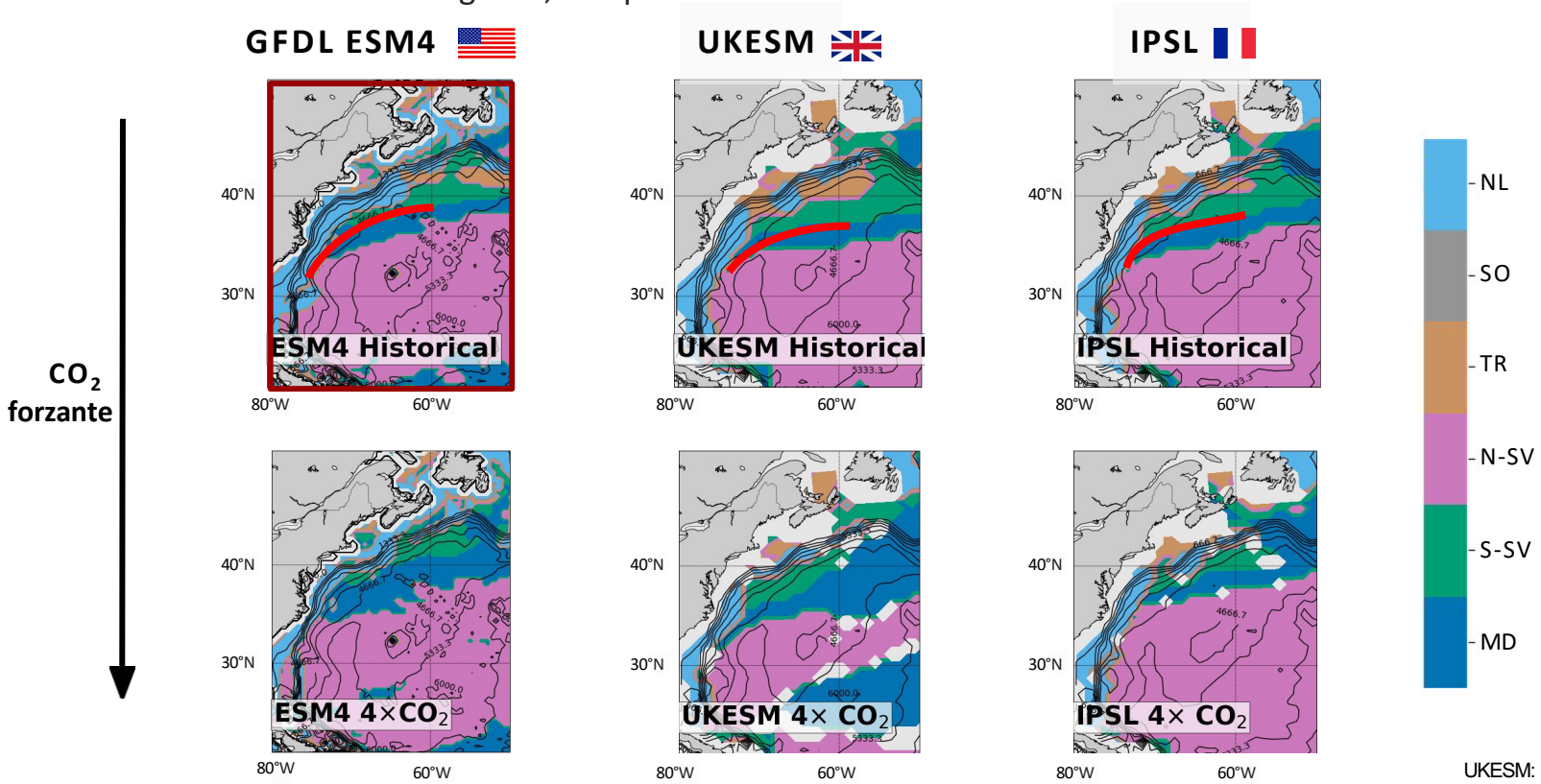


[SL 2021 JAMES]

UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

THOR: processi con quadruplicazione brusca della CO_2

Gli scenari «storici» si somigliano, ma quelli futuri rivelano differenze



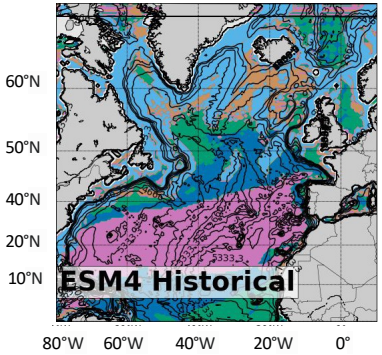
UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

[SL 2021 **JAMES**]

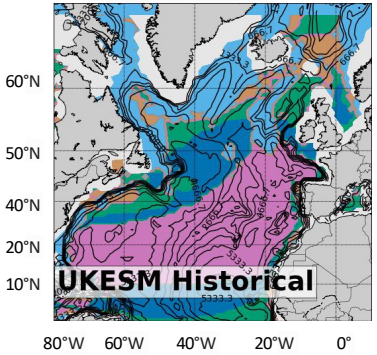
THOR: processi con quadruplicazione brusca della CO_2

Gli scenari «storici» si somigliano, ma quelli futuri rivelano differenze

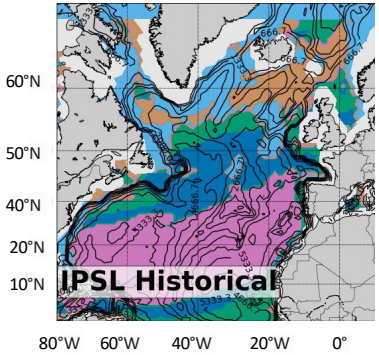
GFDL ESM4

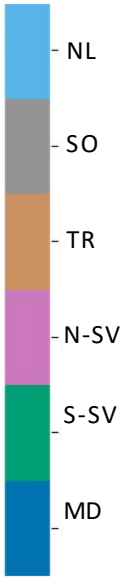


UKESM



IPSL





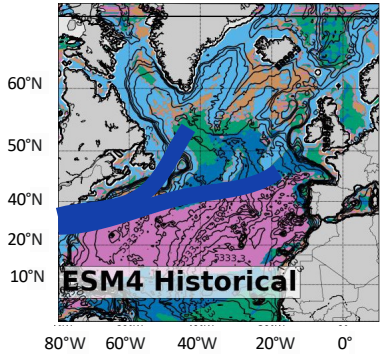
[SL 2021 **JAMES**]

UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

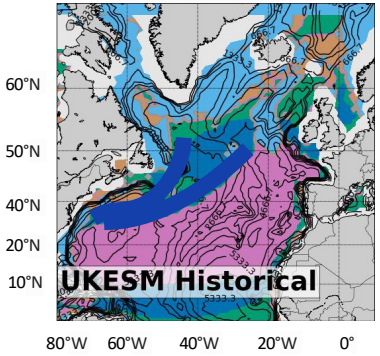
THOR: processi con quadruplicazione brusca della CO_2

Gli scenari «storici» si somigliano, ma quelli futuri rivelano differenze

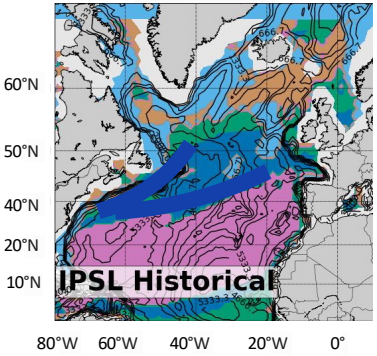
GFDL ESM4

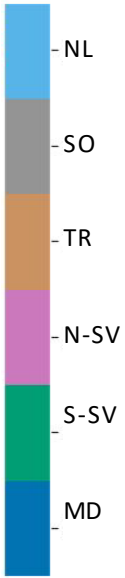


UKESM



IPSL



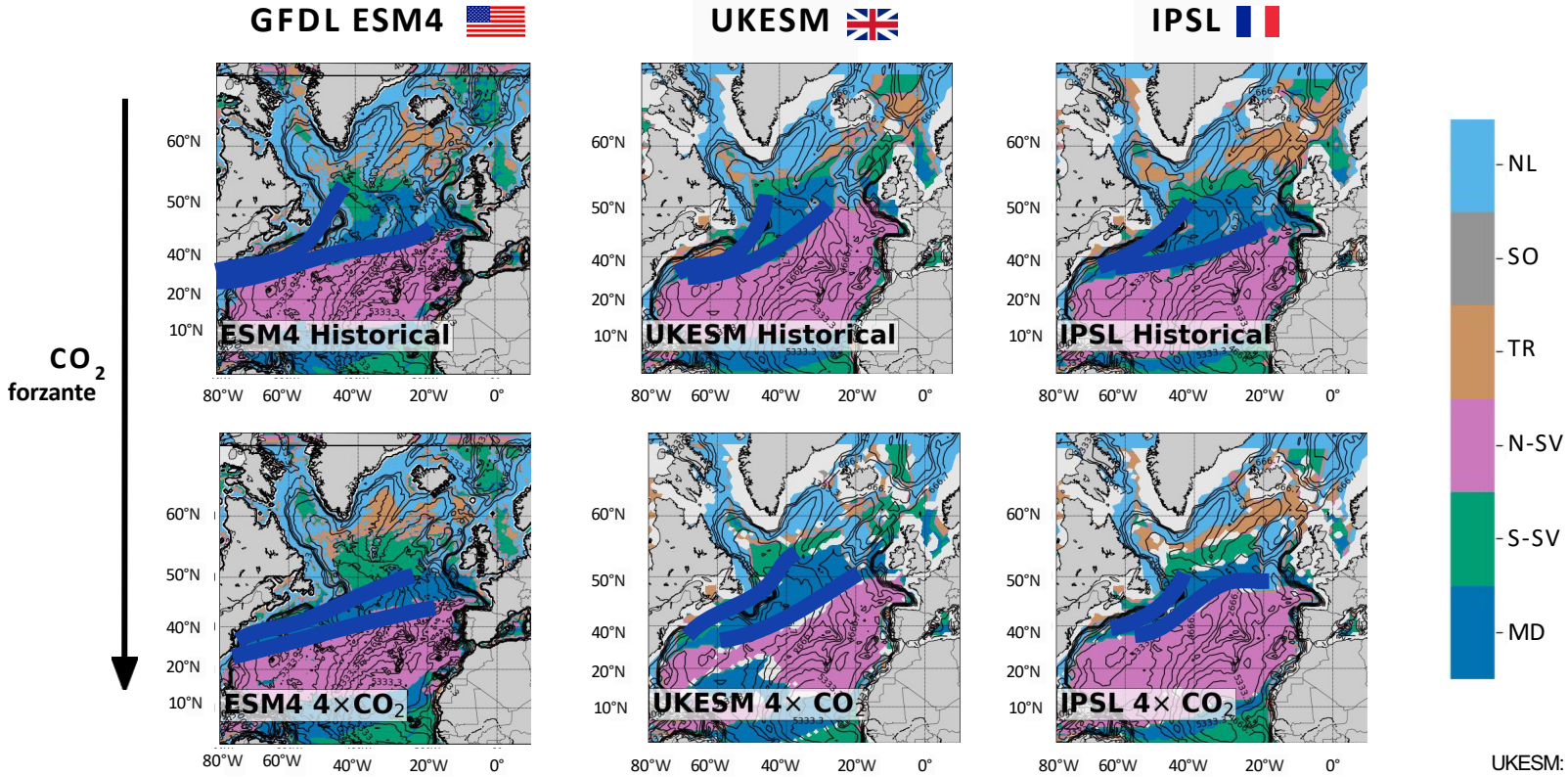


[SL 2021 **JAMES**]

UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

THOR: processi con quadruplicazione brusca della CO_2

Gli scenari «storici» si somigliano, ma quelli futuri rivelano differenze

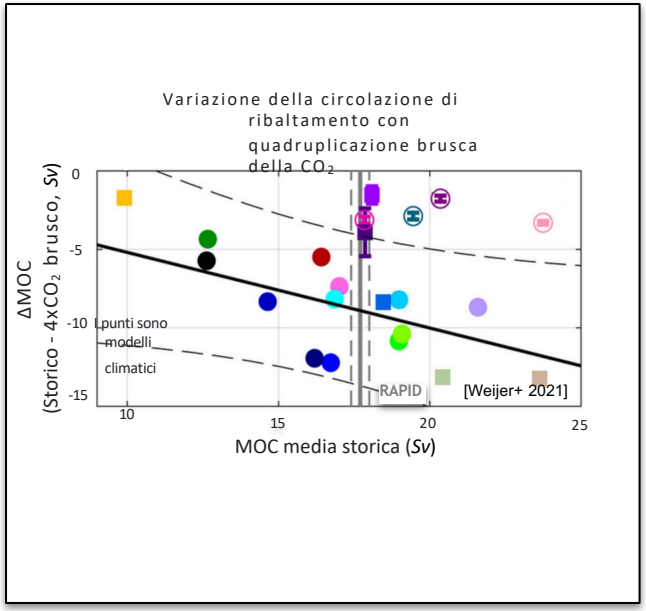


UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

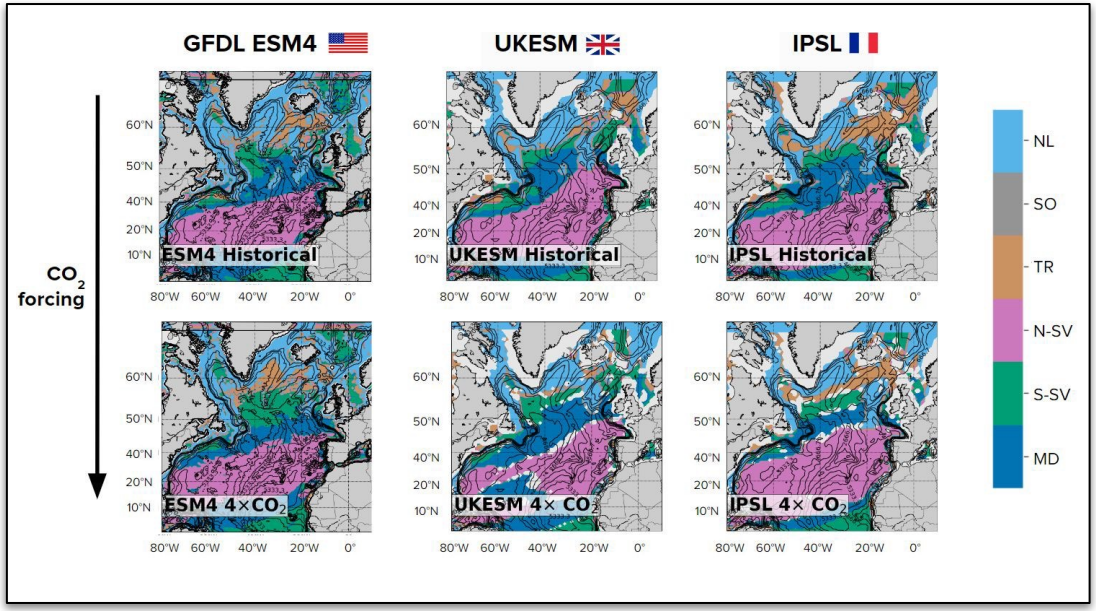
[SL 2021 **JAMES**]

Un metodo nettamente migliore

Precedente



Nuovo metodo da SL 2021 JAMES



Dataset

Oceano fisico:
Global Ocean Observing Systems (GOOS): https://www.ocean-ops.org/goosreport/
Copernicus Marine (CMEMS) per rianalisi, dati satellitari e previsioni:
https://marine.copernicus.eu/ Dati dei modelli climatici CMIP6: https://esgf.github.io/

Biogeochimica ed ecosistemi oceanici:
Surface Ocean CO2 Atlas (SOCAT): https://socat.info/
NASA OceanColor e PACE: https://pace.gsfc.nasa.gov/
Dati sulla biodiversità marina: Ocean Biodiversity Information System (OBIS):
https://obis.org/ Presenza delle specie: Global Biodiversity Information Facility (GBIF):
https://www.gbif.org/

Pressioni umane:
Global Fishing Watch (API aperta): https://globalfishingwatch.org/
Allen Coral Atlas: https://www.allencoralatlas.org/

Regioni polari: MEOP: http://www.meop.net/ (le foche!)

Strumenti

Modello di IA oceanica Samudra:
https://m2lines.github.io/Samudra/docs/

Per usare i dati, il toolbox Python Pangeo: https://pangeo.io/

Risorse di calcolo:
Google Colab:
https://colab.research.google.com/ Copernicus
WEkEO: https://wekeo.copernicus.eu/

Problemi aperti appassionanti (e grandi!)

Mari costieri e di piattaforma, dove modelli e satelliti funzionano peggio:
Batimetria complessa, apporti fluviali e maree complicano le cose. Downscaling ed emulazione per il rischio costiero.

Estrapolazione verso stati climatici futuri:
Un modello addestrato sull'oceano storico e interrogato su un mondo a $4\times CO_2$ estrapola per costruzione. THOR e OceanCBM lavorano su questo.

Parametrizzazioni di sottogriglia nei modelli:
Schemi di AA che sembrano buoni offline e poi derivano o divergono online. Settore molto attivo.

Interpretabilità meccanicisticamente valida:
OceanCBM è un tentativo; il problema generale resta molto aperto.

Piccola pesca:
Un rilevamento che non dipenda dalla trasmissione volontaria dei segnali da parte delle navi.

Fusione multimodale:
Colore dell'oceano + in situ + acustica + eDNA per la composizione delle comunità.

Come partecipare!

Ricercatori e studenti:
Partecipate ai convegni: Ocean Sciences Meeting, EGU/AGU, Climate Informatics e i workshop CCAI a NeurIPS/ICML/ICLR
Contribuite ai codici, ad es. THOR (l'approccio a regimi si estende ad altri bacini e variabili) o Samudra. Ce ne sono molti!

ONG e governi:
Il percorso di riconoscimento del Decennio delle Nazioni Unite per l'oceano, il GOOS e le sue alleanze regionali (IOGOOS, GOOS Africa), l'ODIS della COI-UNESCO e il programma di partenariato di Global Fishing Watch

Finanziatori:
I finanziamenti per la ricerca su oceano e clima vengono tagliati dove tradizionalmente erano garantiti. Tutta la ricerca è importante, ma vanno sostenute soprattutto le serie temporali di lungo periodo, le infrastrutture di osservazione nel Sud globale e il rafforzamento delle capacità

L’IA per gli oceani e i sistemi marini

L’oceano nel sistema climatico

97% dell’acqua, 90% del calore in eccesso, ~25% della nostra CO_2, > 50% dell’ossigeno

Fisica semplice, con schemi complessi emergenti

I contrasti di densità generano una circolazione di ribaltamento di portata globale

Le conseguenze di un clima che cambia

Riscaldamento, acidificazione e ondate di calore colpiscono produzione primaria, zooplancton e pesca

Ricchi di dati e poveri di comprensione, o il contrario?

Osservazioni, satelliti e modelli coprono ciascuno solo una parte del problema

L’AA è il ponte, non la destinazione!

GORDON AND BETTY MOORE FOUNDATION

NSF

NOAA