

Corso di Oceanografia Polare

6 CFU

48 Ore

SSD GEO/12

Docenti

Prof. Yuri Cotroneo

Prof. Pasquale Castagno

Cambiamento climatico e aree polari



L'atmosfera, l'Oceano, la Criosfera e la Biosfera sono le quattro componenti fondamentali del sistema climatico del nostro pianeta. Come abbiamo visto nell'arco di questo corso, le interazioni tra queste componenti sono tantissime e permettono che variazioni verificate in uno dei quattro comparti siano più o meno rapidamente trasferite agli altri.



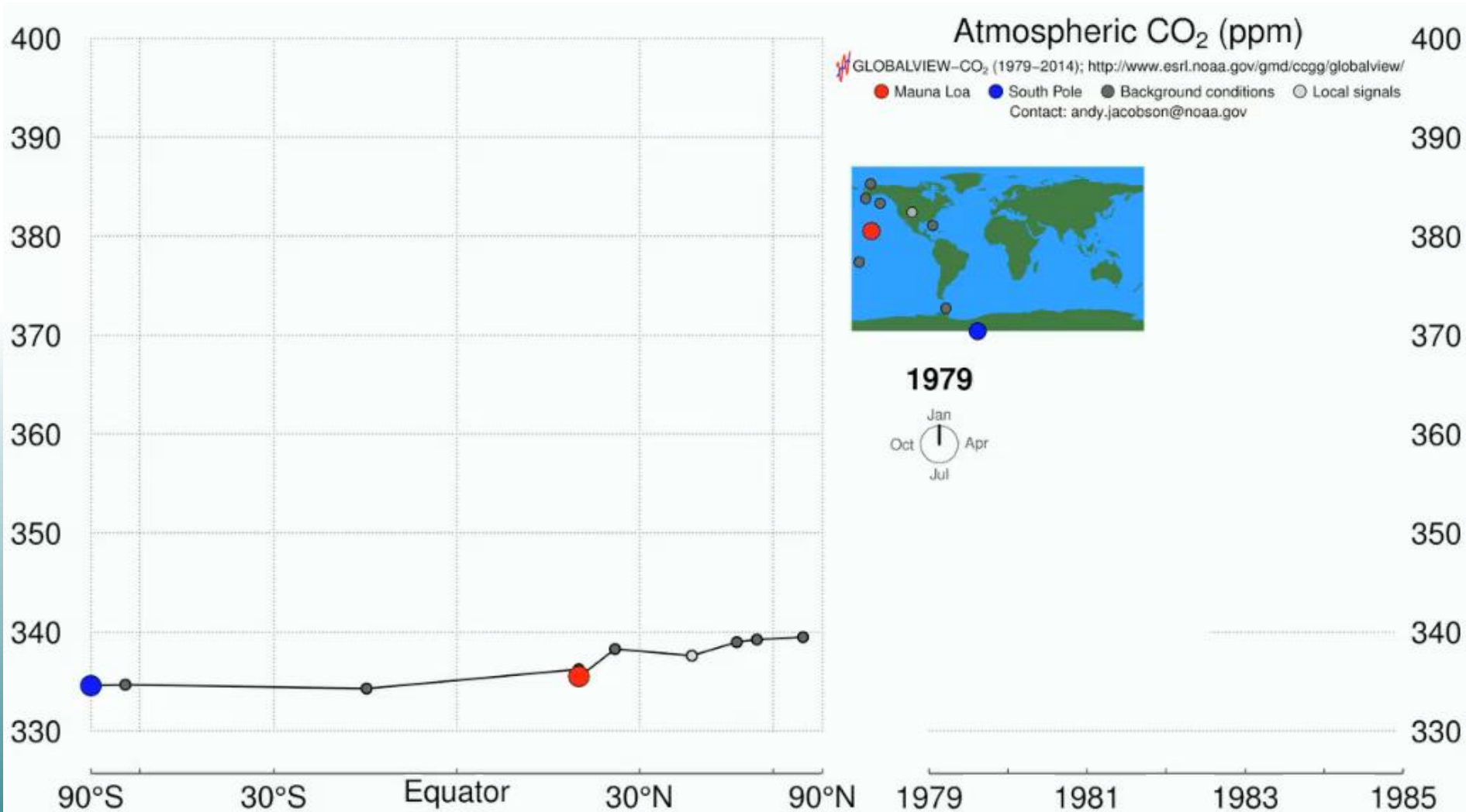
Per questo motivo è fondamentale che l'osservazione del cambiamento climatico a scala globale non si concentri solo sull'atmosfera, ma comprenda anche gli oceani e la criosfera.

Ipotizziamo di semplificare all'estremo i fattori che caratterizzano il cambiamento climatico e di ridurli a due:

L'aumento delle temperature medie in atmosfera

L'aumento della concentrazione di Anidride Carbonica in Atmosfera

Prendiamo per buona questa semplificazione sulla base della correlazione dimostrata tra concentrazione di CO₂ e temperatura media del pianeta



L'aumento delle temperature medie in atmosfera è sicuramente associabile ad

- **Aumento della temperatura media degli oceani**
- **Mutato ciclo stagionale di fusione e formazione dei ghiacci**
- **Innalzamento del livello dei mari**

L'aumento della concentrazione di Anidride Carbonica in Atmosfera è:

- Concausa dell'aumento della temperatura media in atmosfera e negli oceani**
- Responsabile di variazioni della composizione chimica degli oceani attraverso il processo di acidificazione.**

L' Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) è il principale organismo internazionale per la valutazione dei cambiamenti climatici.

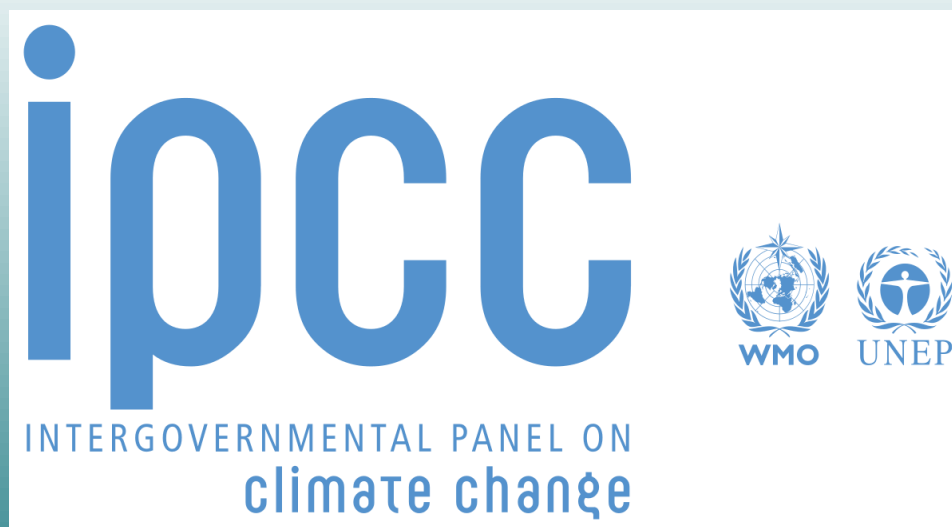
L'IPCC è stato istituito nel 1988 dalla World Meteorological Organization (WMO) e dallo United Nations Environment Programme (UNEP) allo scopo di fornire al mondo una visione chiara e scientificamente fondata dello stato attuale delle conoscenze sui cambiamenti climatici e sui loro potenziali impatti ambientali e socio-economici.

Nello stesso anno, l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite ha avallato l'azione di WMO e UNEP, istituendo l'IPCC.

L'IPCC è un organo intergovernativo aperto a tutti i Paesi membri delle Nazioni Unite e della WMO.

Attualmente, fanno parte dell'IPCC 195 Paesi.

I governi partecipano al processo di revisione e alle sessioni plenarie, dove sono prese le principali decisioni sui programmi di lavoro dell'IPCC, e dove vengono accettati, approvati e adottati i Rapporti.



The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate

A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

Edited by

Hans-Otto Pörtner

Working Group II Co-Chair

Debra C. Roberts

Working Group II Co-Chair

Valérie Masson-Delmotte

Working Group I Co-Chair

Panmao Zhai

Working Group I Co-Chair

Melinda Tignor

Head of WGII TSU

Elvira Poloczanska

Science Advisor to the WGII
Co-Chairs and TSU

Katja Mintenbeck

Director of Science

Andrés Alegría

Graphics Officer

Maike Nicolai

Communications Officer

Andrew Okem

Science Officer

Jan Petzold

Science Officer

Bardhyl Rama

Director of Operations

Nora M. Weyer

Science Officer

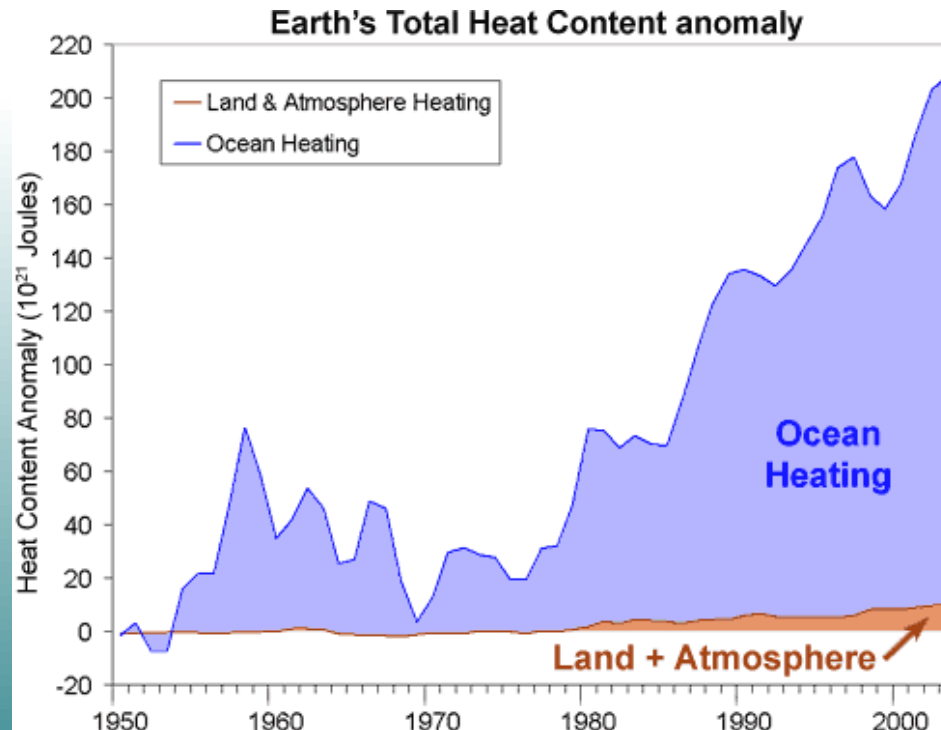
Working Group II Technical Support Unit

<https://www.ipcc.ch/srocc/>

OCEAN WARMING

Approximately 93% of excess heat energy trapped since the 1970s has been absorbed into the oceans, lessening atmospheric warming and leading to a variety of changes in ocean conditions, including sea level rise and ocean circulation.

This is the result of the high heat capacity of seawater relative to the atmosphere, the relative area of the ocean compared to the land, and the ocean circulation that enables the transport of heat into deep waters.



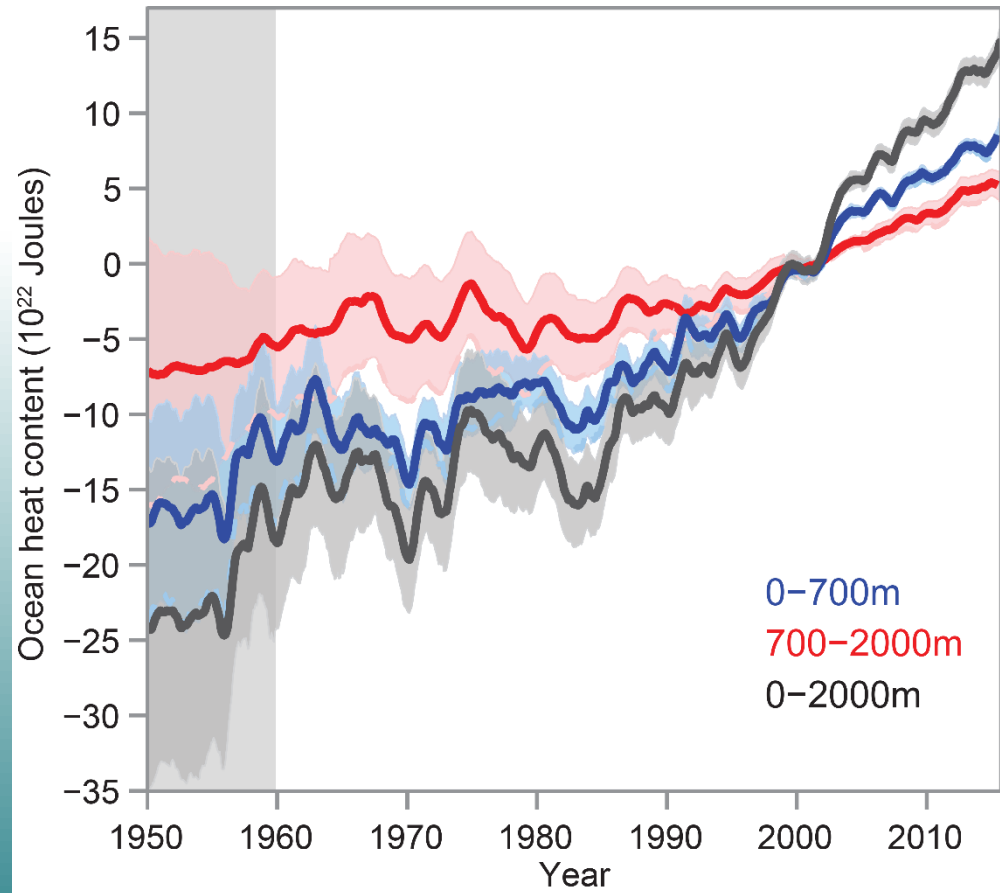
This large heat absorption by the oceans moderates the effects of increased anthropogenic greenhouse emissions on terrestrial climates

while altering the fundamental physical properties of the ocean and indirectly impacting chemical properties such as the biological pump through increased stratification.

Although upper ocean temperature varies over short- and medium timescales (for example, seasonal and regional patterns), there are clear long-term increases in surface temperature and ocean heat content over the past 65 years.

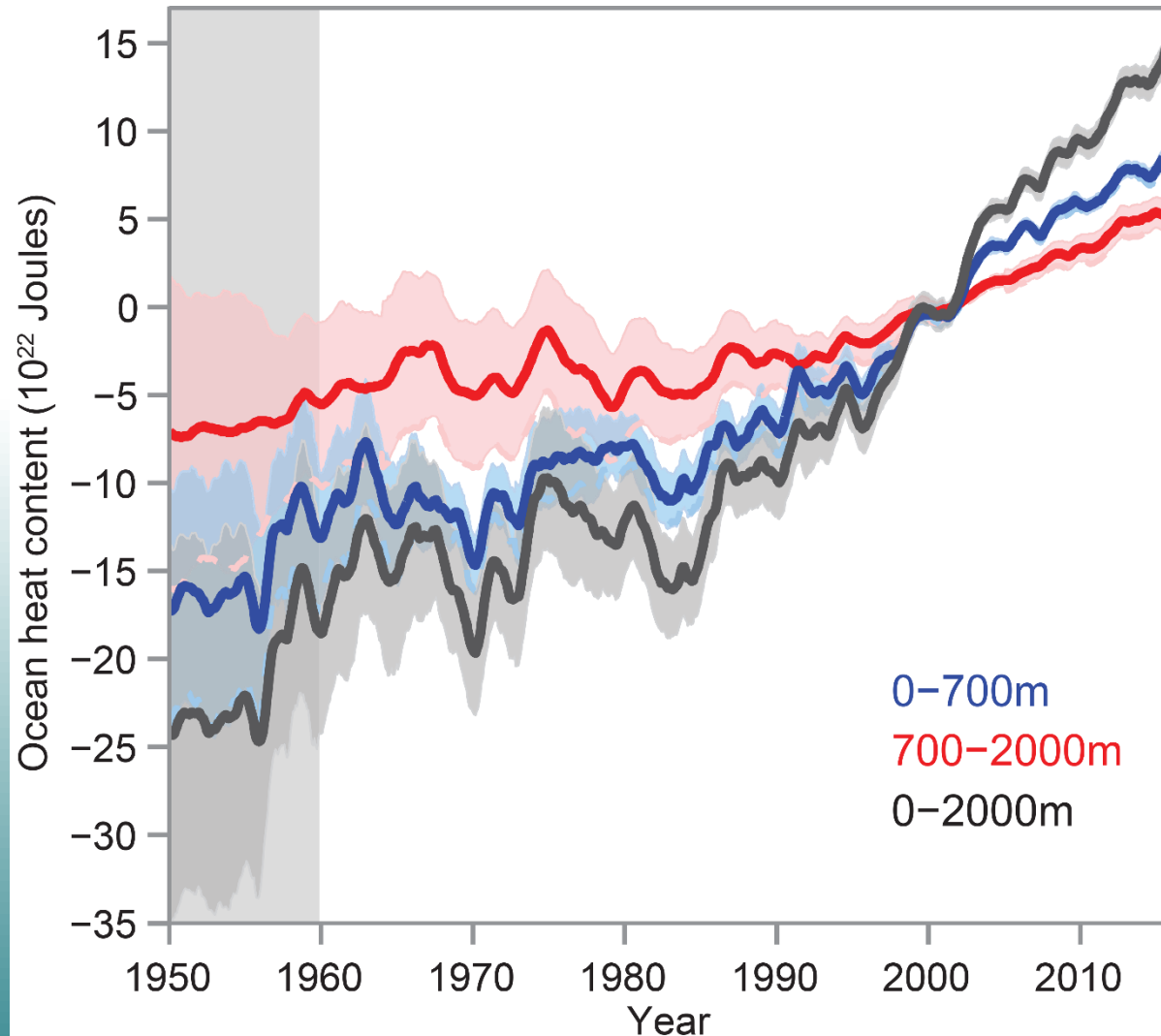
Ocean heat content (OHC) is an ideal variable to monitor changing climate as it is calculated using the entire water column, so ocean warming can be documented and compared between particular regions, ocean basins, and depths.

However, for years prior to the 1970s, estimates of ocean uptake are confined to the upper ocean (up to 700 m) due to sparse spatial and temporal coverage and limited vertical capabilities of many of the instruments in use.

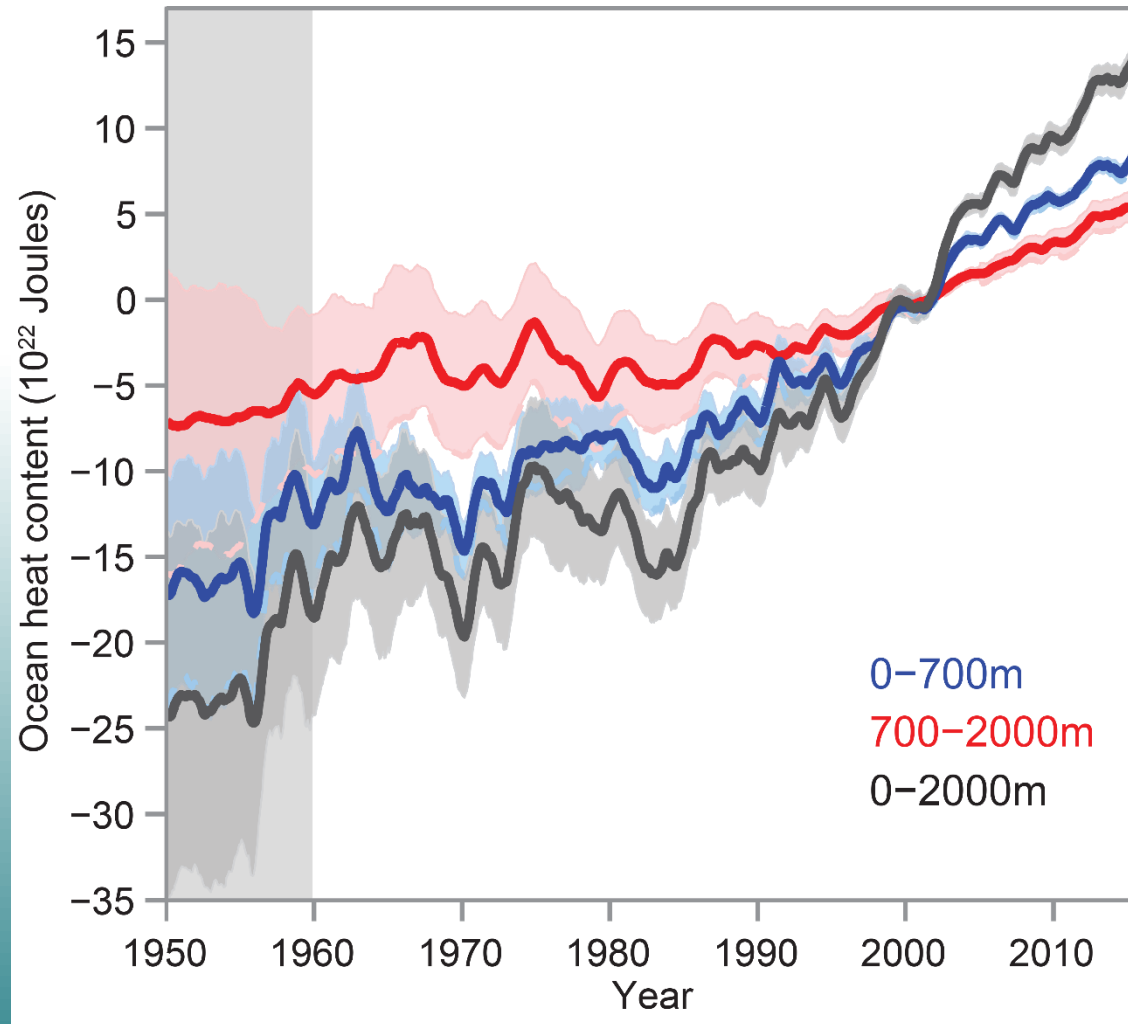


OHC estimates are improved for time periods after 1970 with increased sampling coverage and depth.

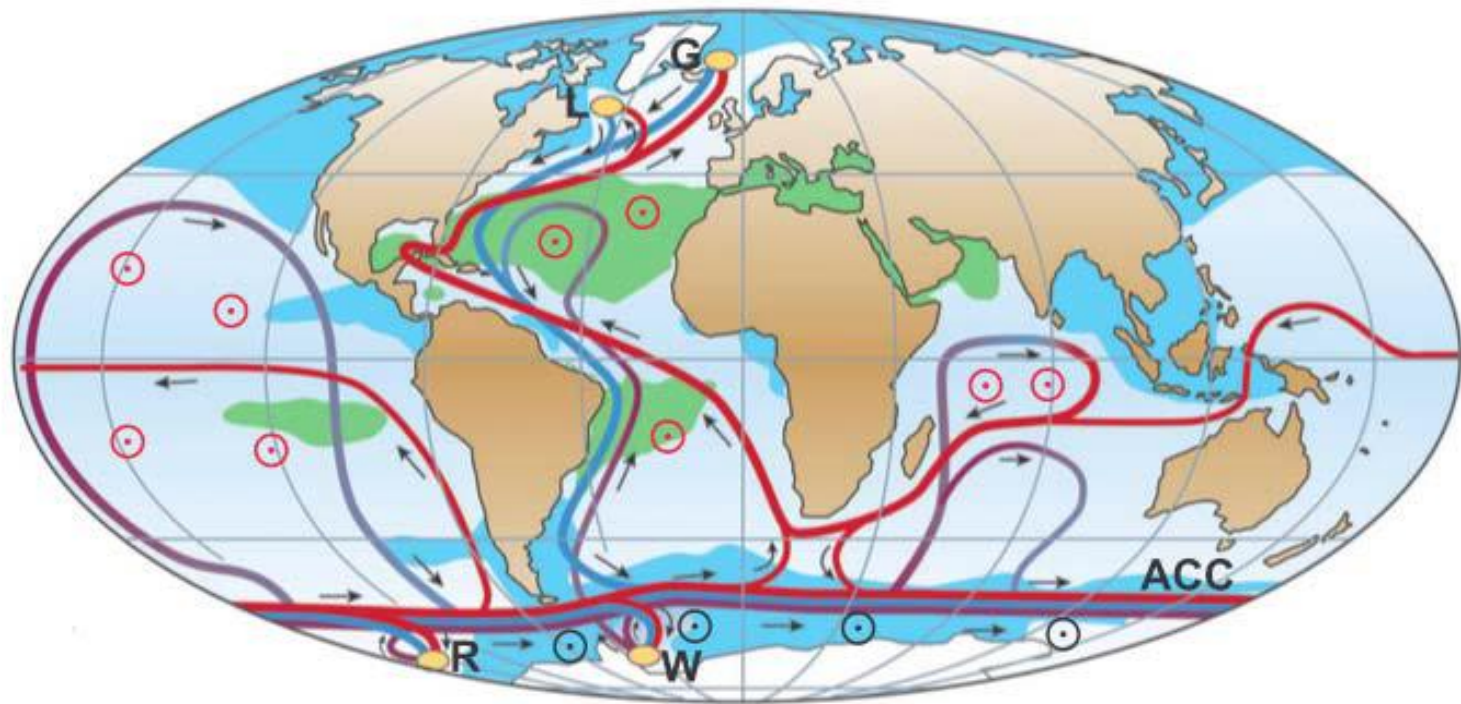
Estimates of OHC have been calculated going back to the 1950s using averages over longer time intervals (i.e., decadal or 5-year intervals) to compensate for sparse data distributions, allowing for clear long-term trends to emerge.



Robust ocean warming occurs in the upper 700 m and is slow to penetrate into the deep ocean. However, the 700–2,000 m depths constitute an increasing portion of the total ocean energy budget as compared to the surface ocean. The role of the deep ocean (below 2,000 m) in ocean heat uptake remains uncertain, both in the magnitude but also the sign of the uptake. ,



Penetration of surface waters to the deep ocean is a slow process, which means that while it takes only about a decade for near-surface temperatures to respond to increased heat energy, the deep ocean will continue to warm, and as a result sea levels will rise for centuries to millennia even if all further emissions cease.

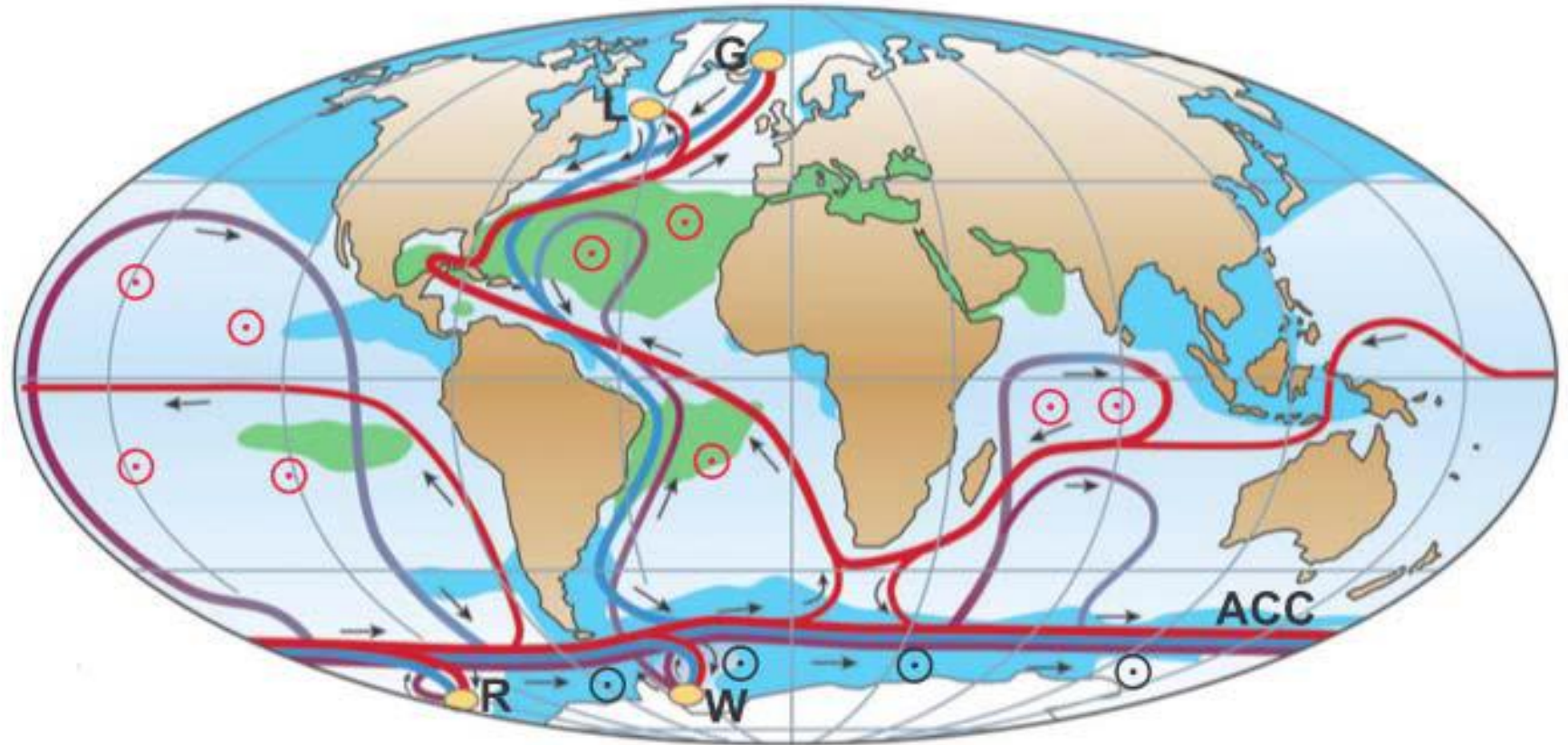


- Surface flow
- Deep flow
- Bottom flow
- Deep Water Formation

- ⊙ Wind-driven upwelling
- ⊙ Mixing-driven upwelling
- Salinity > 36 ‰
- Salinity < 34 ‰

- L Labrador Sea
- G Greenland Sea
- W Weddell Sea
- R Ross Sea

The transport of heat to the deep ocean is likely linked to the strength of the Atlantic Meridional Overturning Circulation, where the Atlantic and Southern Ocean accounts for the dominant portion of total OHC change at the 700–2,000 m depth.



- Surface flow
- Deep flow
- Bottom flow
- Deep Water Formation

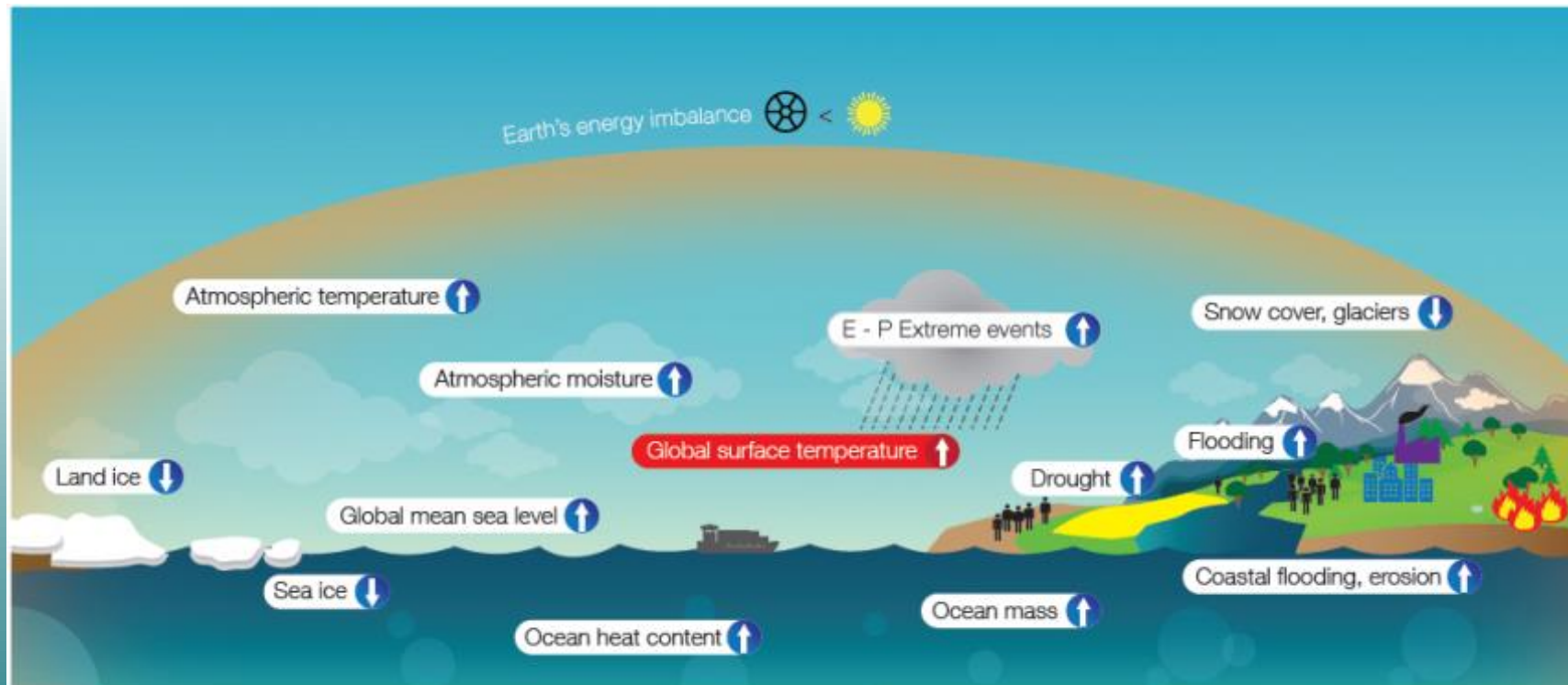
- ⊙ Wind-driven upwelling
- ⊙ Mixing-driven upwelling
- Salinity > 36 ‰
- Salinity < 34 ‰

- L Labrador Sea
- G Greenland Sea
- W Weddell Sea
- R Ross Sea

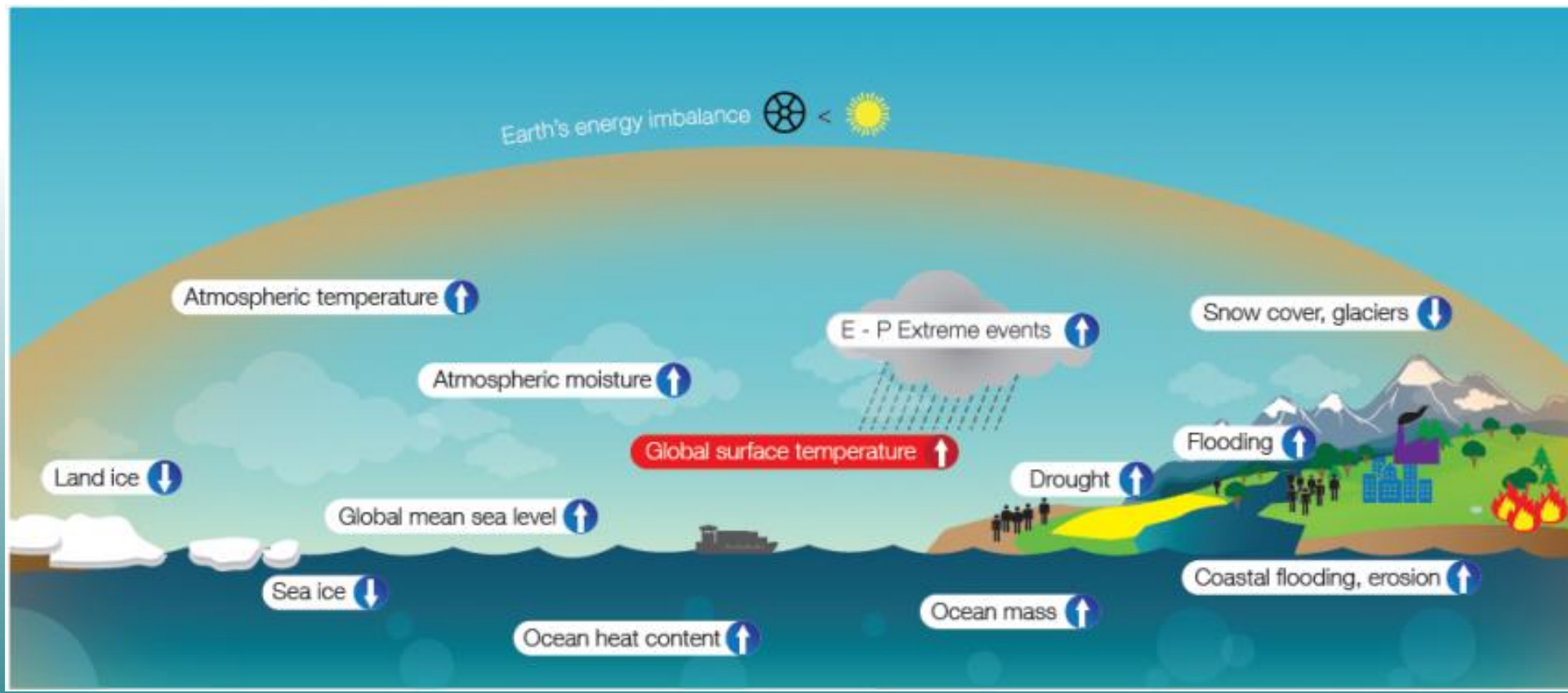
Ocean Heat Feedback

The residual heat not taken up by the oceans increases land surface temperatures (approximately 3%) and atmospheric temperatures (approximately 1%), and melts both land and sea ice (approximately 3%), leading to sea level rise.

The meltwater from land and sea ice amplifies further subsurface ocean warming and ice shelf melting, primarily due to increased thermal stratification, which reduces the ocean's efficiency in transporting heat to deep waters.

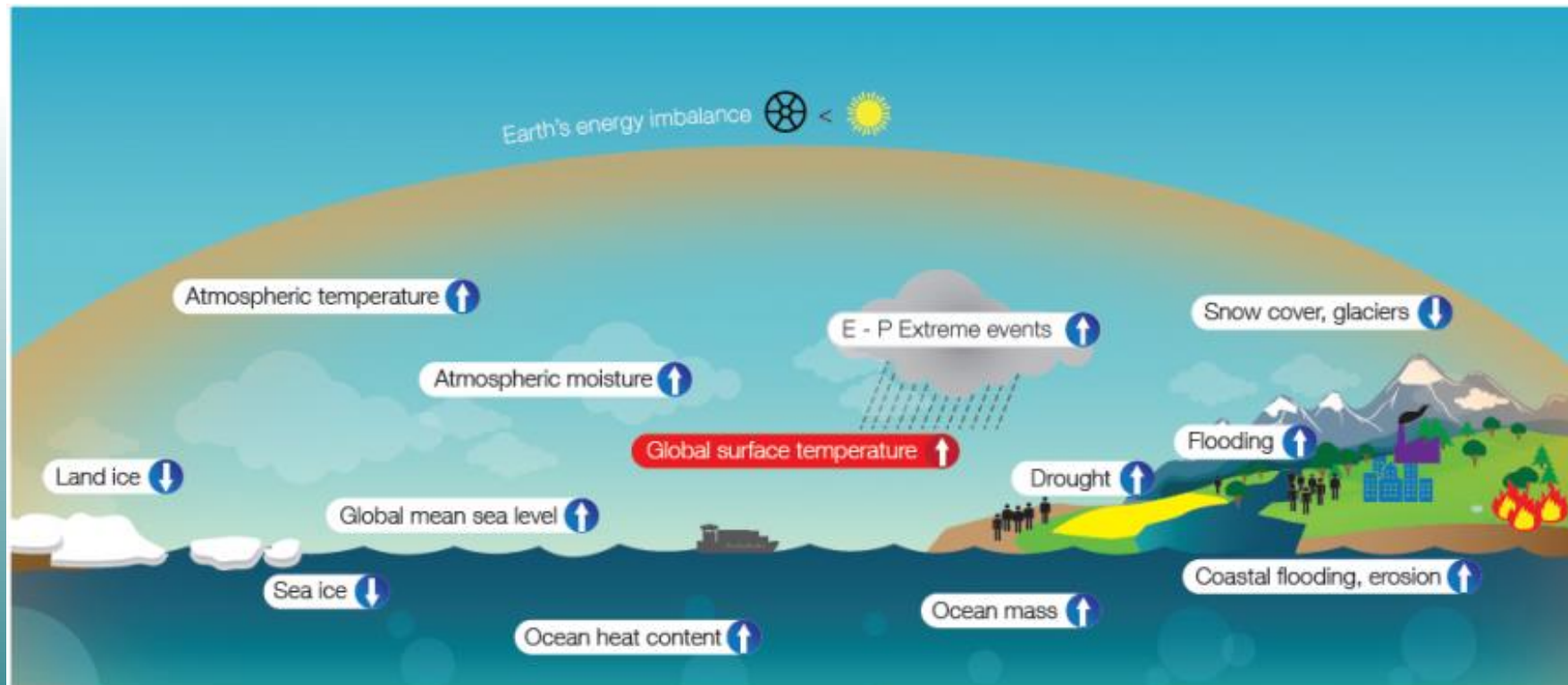


Surface ocean stratification has increased by about 4% during the period 1971–2010 due to thermal heating and freshening from increased freshwater inputs (precipitation and evaporation changes and land and sea ice melting).



The increase of ocean stratification will contribute to further feedback of ocean warming and, indirectly, mean sea level. In addition, increases the retreat of the polar ice sheets, and reductions of the convective mixing at higher latitudes that transports heat to the deep ocean through the Atlantic Meridional Overturning Circulation.

Ocean heat uptake therefore represents an important feedback that will have a significant influence on future shifts in climate.

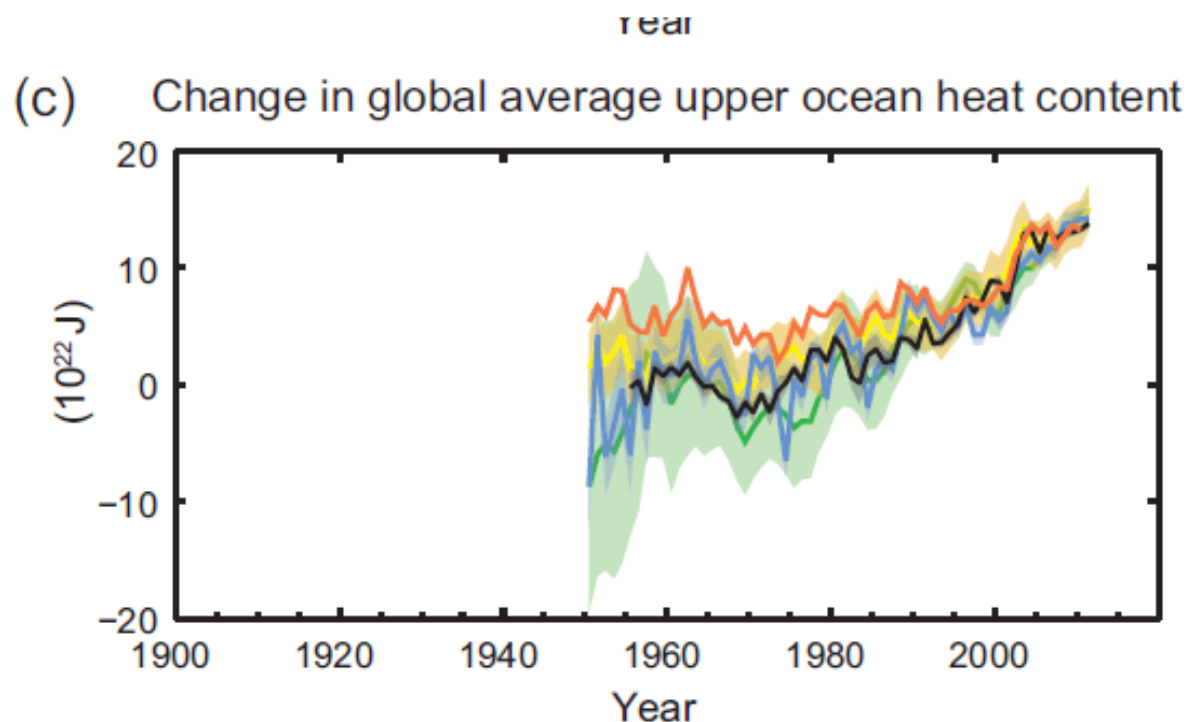


OCEANI

STATO ATTUALE

IPCC

Il riscaldamento degli oceani domina l'aumento di energia immagazzinata nel sistema climatico, ed è responsabile di più del 90% dell'energia accumulata tra il 1971 e il 2010 (confidenza alta). È virtualmente certo che l'oceano superficiale (0-700 m) si sia riscaldato tra il 1971 e il 2010, ed è probabile che si sia riscaldato tra il 1870 e il 1971.



Su scala globale, il riscaldamento degli oceani è maggiore vicino alla superficie, e i 75 m superiori si sono riscaldati di 0.11 [0.09-0.13] °C per decennio nel periodo 1971-2010.

Dal 1957 al 2009 è probabile che l'oceano si sia riscaldato tra i 700 e i 2000 metri.

Per il periodo che va dal 1992 al 2005 sono disponibili sufficienti osservazioni per una valutazione globale del cambiamento di temperatura al di sotto dei 2000 m.

È probabile che in questo periodo non ci siano stati trend significativi per le temperature osservate tra i 2000 e i 3000 m.

È probabile che in questo periodo l'oceano si sia riscaldato a partire dai 3000 m fino ad arrivare al fondo marino, con il maggior riscaldamento osservato nell'Oceano Meridionale o Antartico.

Più del 60% dell'incremento netto di energia del sistema climatico si è accumulato nell'oceano superficiale (0-700 m) nel corso del periodo di 40 anni, relativamente ben indagato, che va dal 1971 al 2010, mentre circa il 30% è immagazzinato nell'oceano al di sotto dei 700 m.

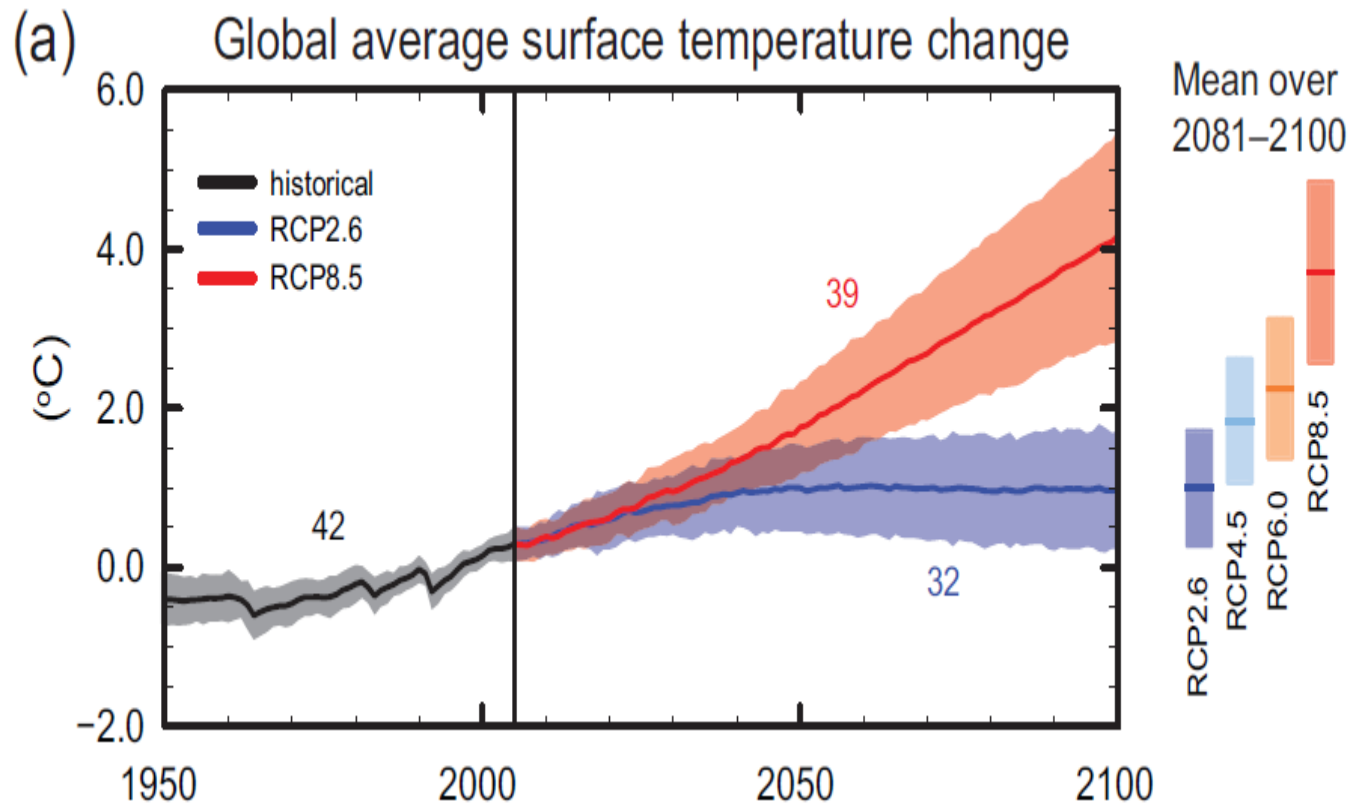
IPCC Proiezioni future

Scenari:

The **RCP2.6** emission and concentration pathway is representative of the literature on **mitigation scenarios aiming to limit the increase of global mean temperature to 2°C**.

The **RCP8.5 high-emissions scenario** is frequently referred to as “**business as usual**”, suggesting that is a likely outcome if society does not make concerted efforts to cut greenhouse gas emissions

Scenari futuri



Dipende dalle concentrazioni di CO₂ che immetteremo nell'atmosfera:

- **421 ppm - RCP2.6 (mitigation scenario)**
- **936 ppm - RCP8.5 (very high greenhouse gas emissions)**

IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

A livello globale, l'oceano continuerà a riscaldarsi nel corso del XXI secolo.

Il calore penetrerà dalla superficie fin nell'oceano profondo e influenzerà la circolazione oceanica.

Il più forte riscaldamento degli oceani è previsto per l'oceano superficiale nelle regioni tropicali e sub-tropicali dell'emisfero settentrionale. A maggiore profondità il riscaldamento sarà più pronunciato nell'Oceano Meridionale o Antartico

È molto probabile che la circolazione termoalina nell'Atlantico si attenuerà nel corso del XXI secolo.

Sulla base degli scenari considerati, è molto improbabile che nel XXI secolo AMOC vada incontro a una transizione improvvisa e repentina, o perfino a un collasso. C'è confidenza bassa nel valutare l'evoluzione di AMOC oltre il XXI secolo, a causa del numero limitato di analisi e dei risultati incerti. Tuttavia, un collasso dopo il XXI secolo, per effetto di un riscaldamento intenso e prolungato, non può essere escluso.

L'oceano, che assorbe oltre il 90% del calore in eccesso nel sistema climatico, si sta riscaldando senza sosta dal 1970. Questo riscaldamento è dovuto alle attività umane ed avviene a tutte le profondità. Il tasso di **riscaldamento degli oceani è più che raddoppiato** dal 1993 (nello strato tra la superficie e 2000 m di profondità).

Gli scenari futuri mostrano un oceano sottoposto a riscaldamento per tutto il XXI secolo, con perdita di ghiaccio marino artico, perdita di ossigeno, maggiore acidificazione, ondate di calore marine sempre più frequenti e un indebolimento della circolazione meridionale dell'Atlantico.

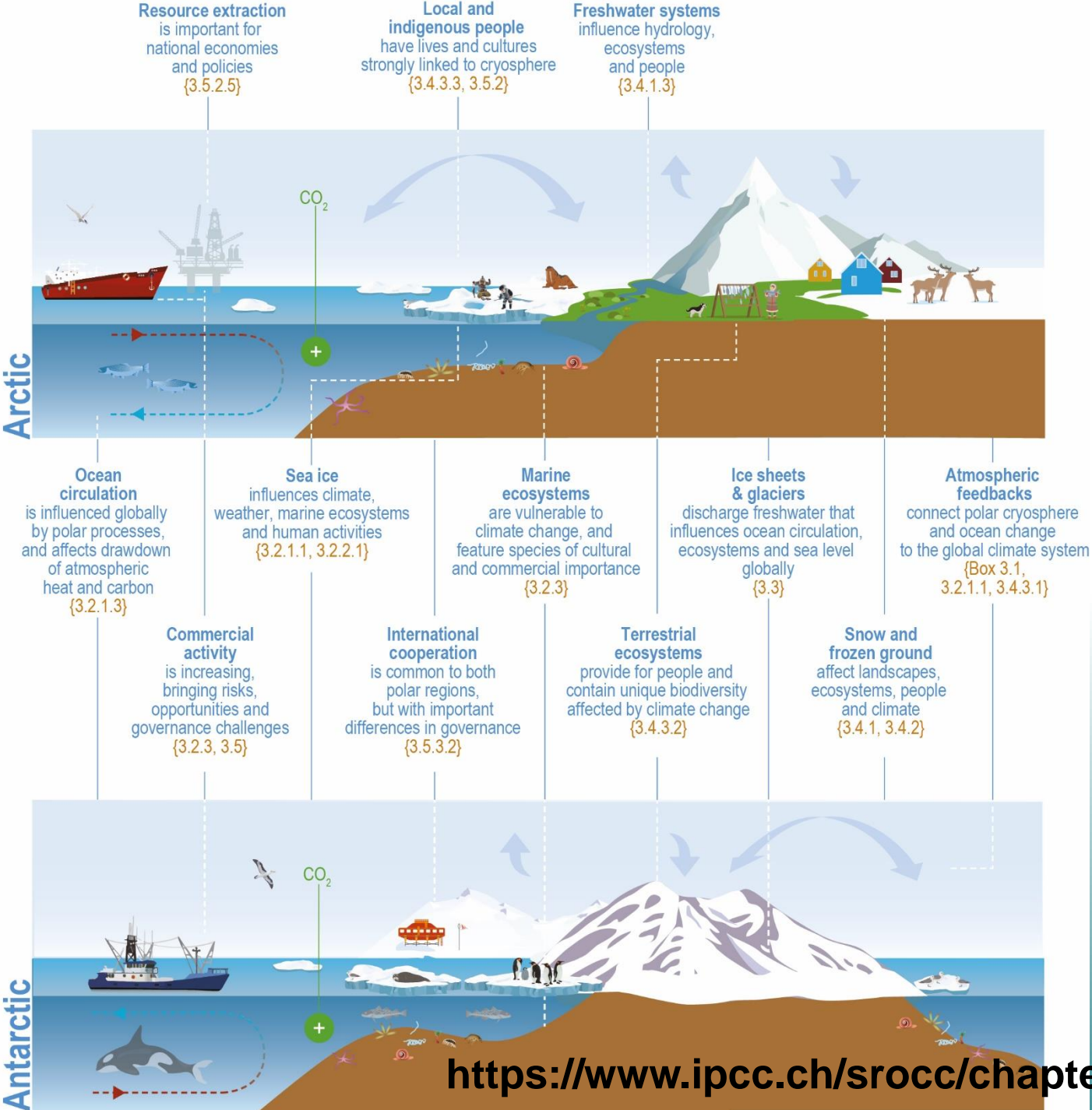
- In assenza di misure per la riduzione delle emissioni questi cambiamenti procederanno nella seconda metà del secolo a ritmo e intensità più elevati.

Modifiche in salinità

È molto probabile che a partire dagli anni '50 le regioni ad alta salinità, in cui predomina l'evaporazione, siano diventate più saline, mentre le regioni con bassi livelli di salinità, in cui predominano le precipitazioni, siano diventate più dolci.

Queste tendenze regionali della salinità degli oceani forniscono la prova indiretta del fatto che i fenomeni di evaporazione e precipitazione al di sopra degli oceani sono cambiati (confidenza media).

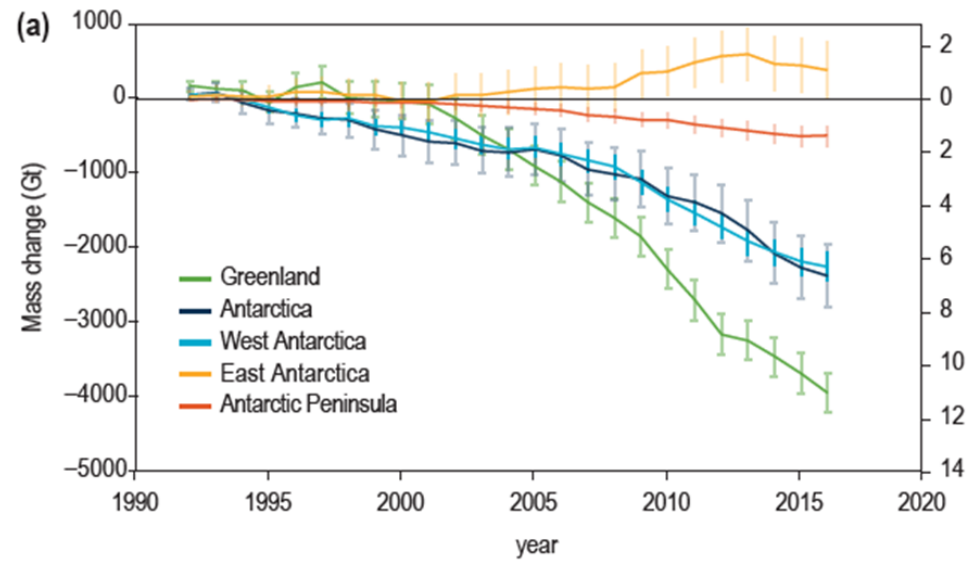
CRIOSFERA

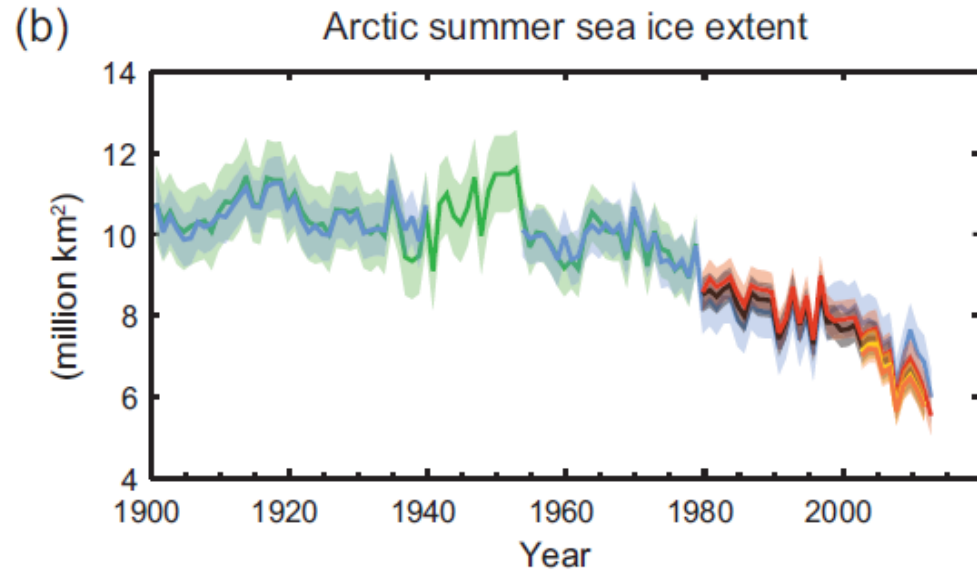


Schematic of some of the key features and mechanisms by which the cryosphere and ocean in the polar regions influence climate, ecological and social systems

È probabile che il tasso medio di perdita di ghiaccio dalla calotta glaciale della Groenlandia sia considerevolmente aumentato,

È probabile che il tasso medio di perdita di ghiaccio dalla calotta antartica sia aumentato





L'estensione annuale media del ghiaccio marino artico è diminuita nel periodo 1979-2012

La riduzione media per decennio dell'estensione del ghiaccio marino artico è stata più rapida in estate

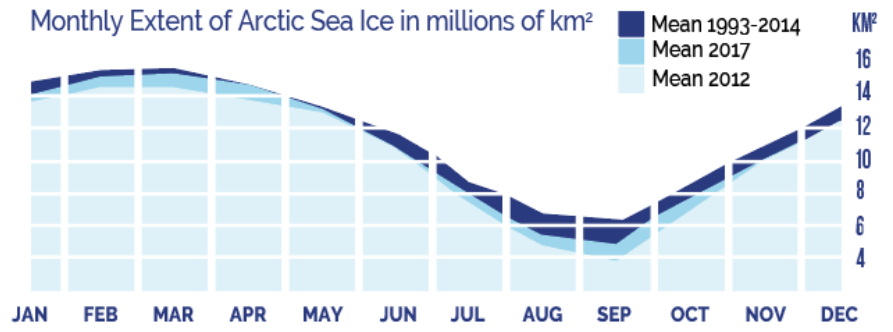
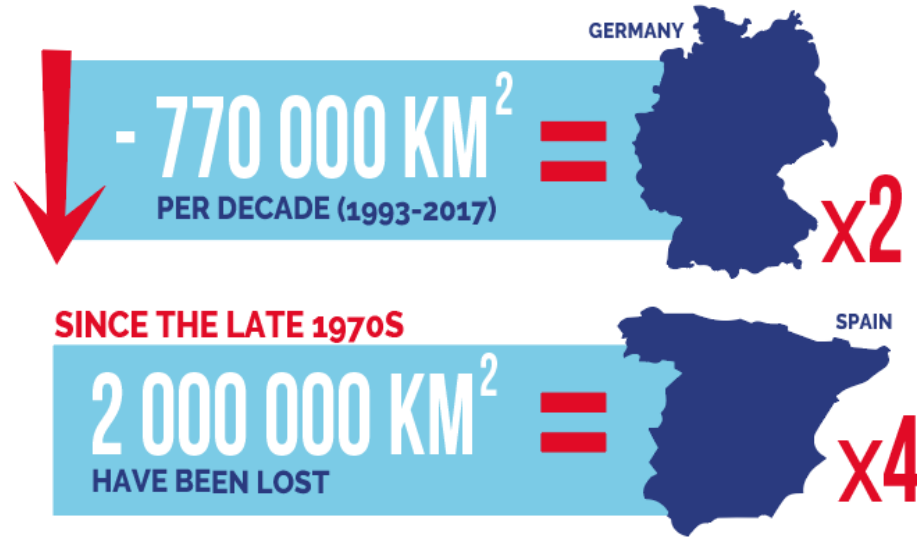
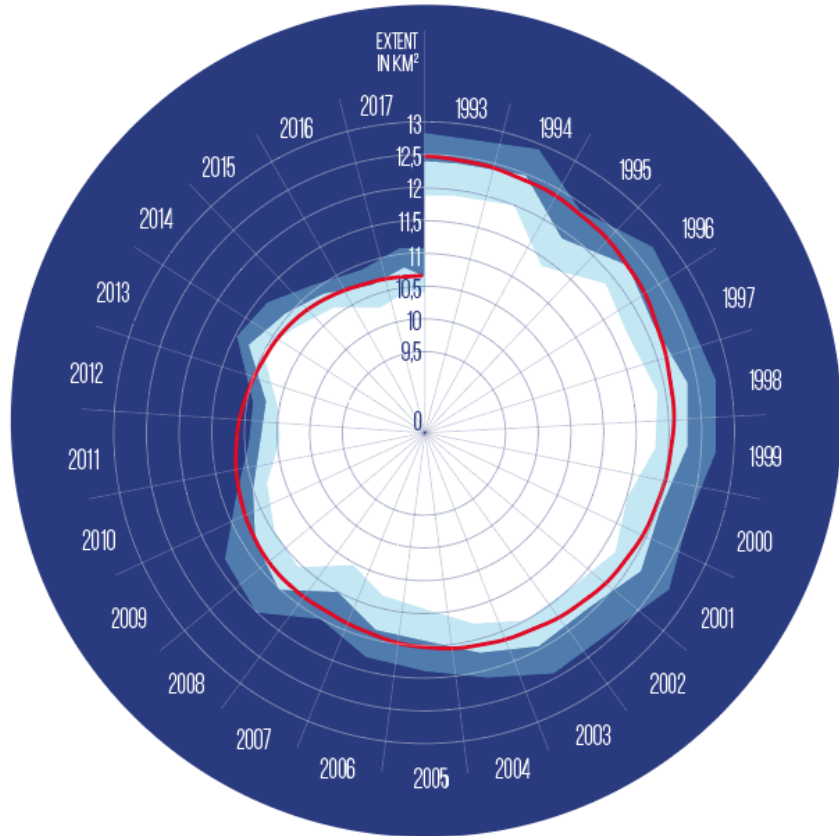
l'estensione spaziale è diminuita in tutte le stagioni, e in ogni decennio successivo dal 1979

negli ultimi trent'anni il ritirarsi del ghiaccio marino artico in estate sia stato senza precedenti e che le temperature superficiali marine siano state anormalmente alte almeno rispetto agli ultimi 1450 anni.

SEA ICE EXTENT THE ARCTIC

Extent of Arctic Sea Ice 1993-2017
in millions of km²

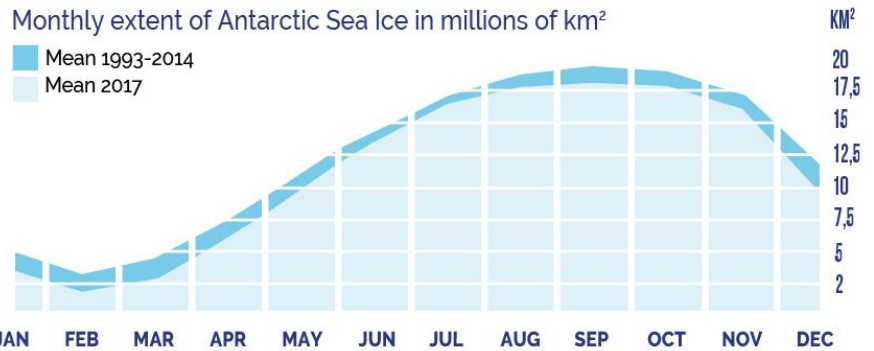
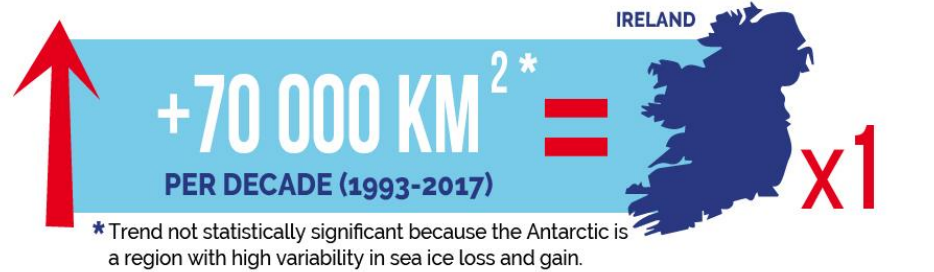
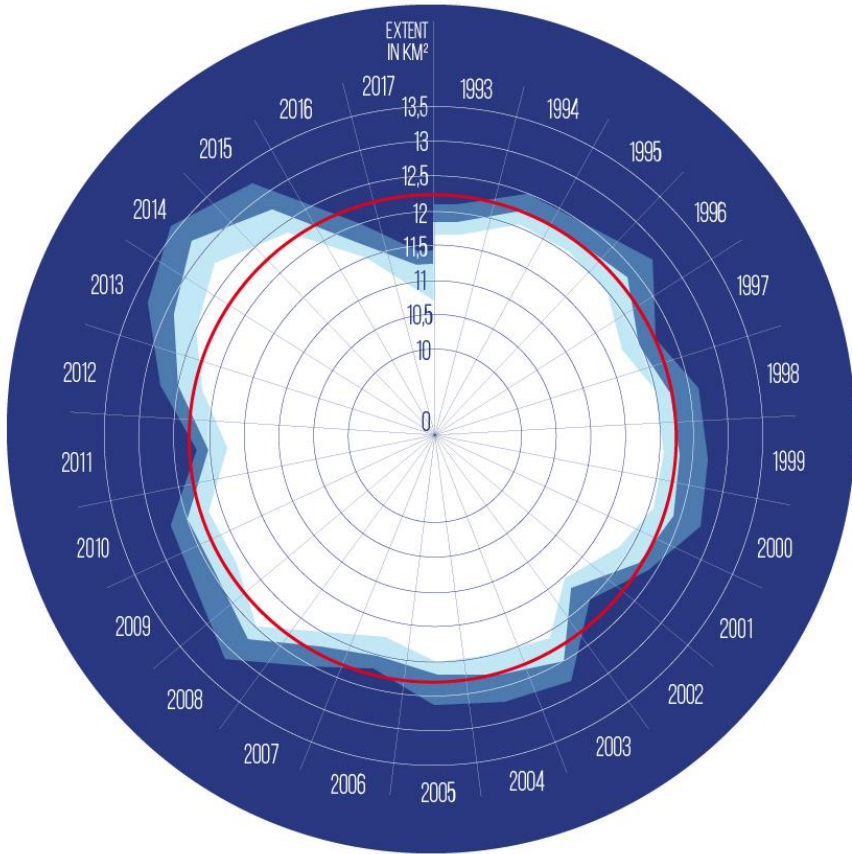
Sea ice extent expressed in millions of km²
Trend of change in sea ice extent



SEA ICE EXTENT THE ANTARCTIC

Extent of Antarctic Sea Ice 1993-2017
in millions of km²

Sea ice extent expressed in millions of km²
Trend of change in sea ice extent



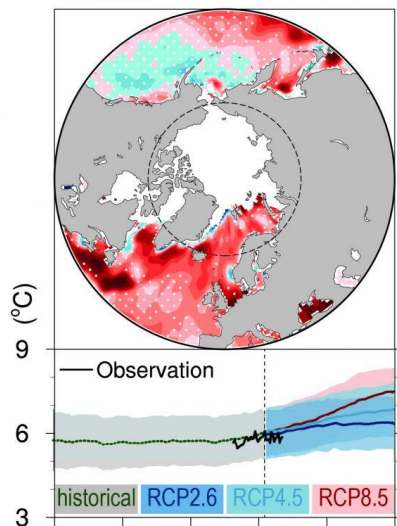
C'è confidenza alta che le temperature del permafrost siano cresciute in molte regioni fin dai primi anni '80. Il riscaldamento osservato è stato fino a 3°C in alcune zone dell'Alaska settentrionale



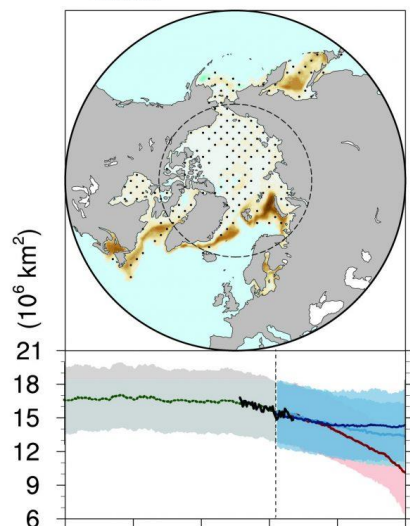
È molto probabile che la copertura di ghiaccio marino artico continui a ridursi e ad assottigliarsi, e che la copertura nevosa in primavera dell'emisfero settentrionale diminuisca nel corso del XXI secolo, all'aumentare della temperatura superficiale media globale. Il volume globale dei ghiacciai diminuirà ulteriormente.

(a) March SST trend

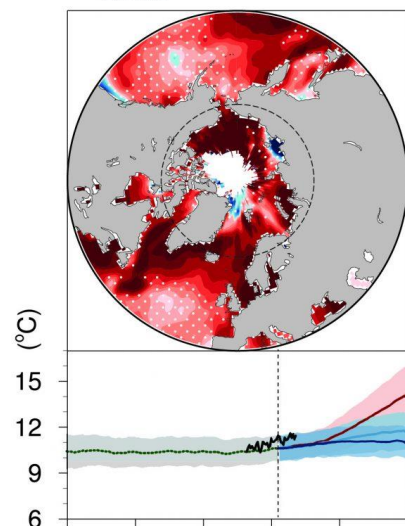
Arctic

**(b) March sea ice trend**

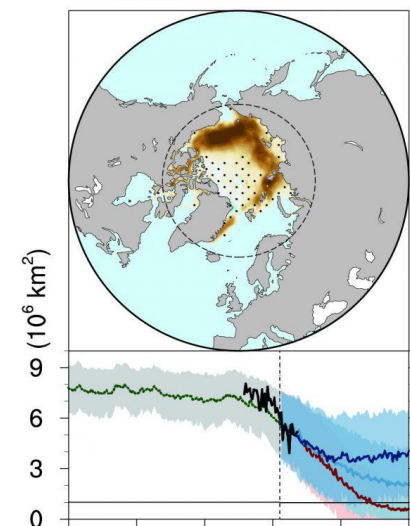
Arctic

**(c) September SST trend**

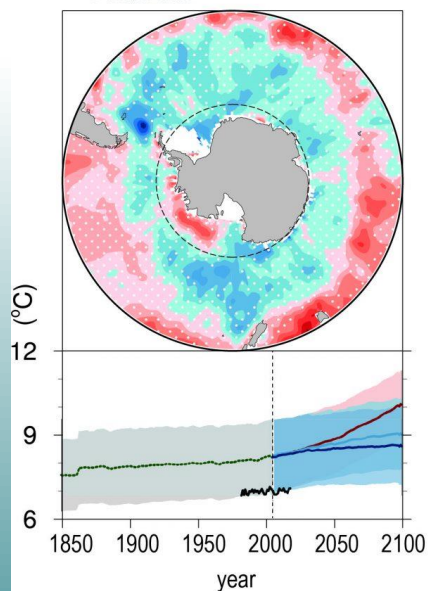
Arctic

**(d) September sea ice trend**

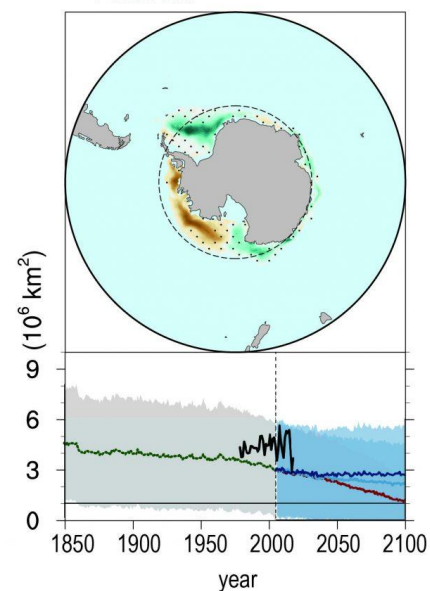
Arctic

**(e) March SST trend**

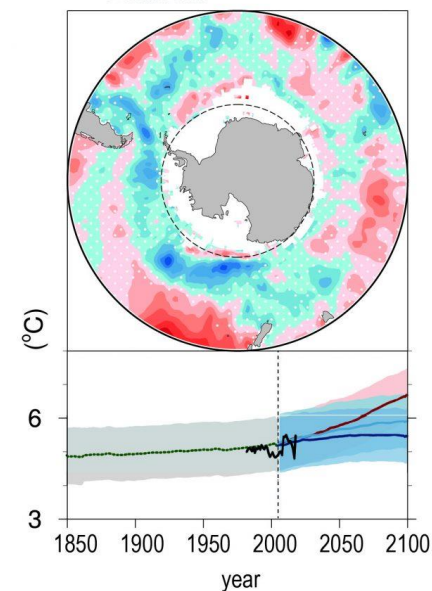
Antarctic

**(f) March sea ice trend**

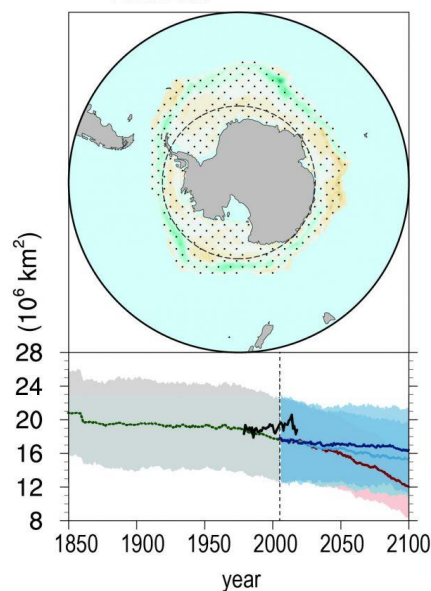
Antarctic

**(g) September SST trend**

Antarctic

**(h) September sea ice trend**

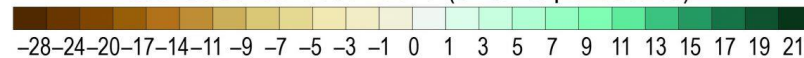
Antarctic

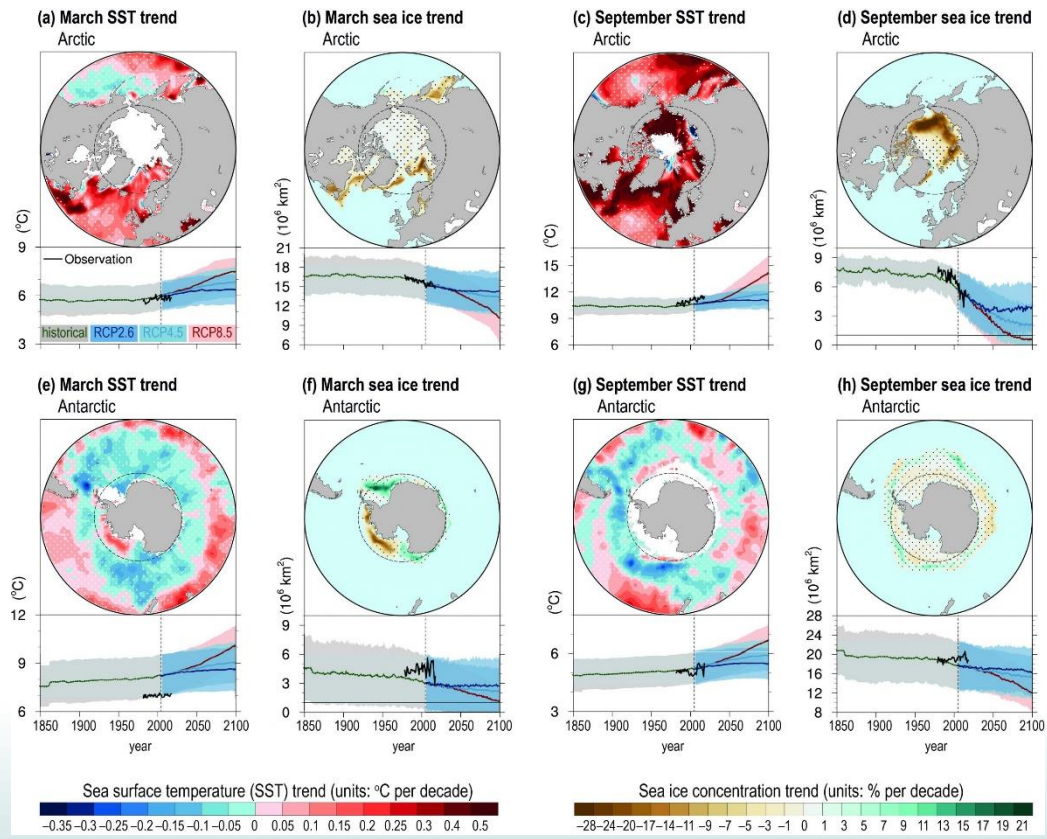


Sea surface temperature (SST) trend (units: °C per decade)



Sea ice concentration trend (units: % per decade)





Maps of linear trends (in $^{\circ}\text{C}$ per decade) of Arctic (a, c) and Antarctic (e, g) sea surface temperature (SST) for 1982–2017 in March (a, e) and September (c, g). (b, d, f, h) same as (a, c, e, g), but for the linear trends of sea ice concentration (in % per decade). Stippled regions indicate the trends that are statistically insignificant. Dashed circles indicate the Arctic/Antarctic Circle. Beneath each map of linear trend shows the time series of SST (area-averaged north of 40°N /south of 40°S) or sea ice extent in the northern/southern hemisphere. Black, green, blue, orange, and red curves indicate observations, Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) historical simulation, Representative Concentration Pathway (RCP)2.6, RCP4.5, and RCP8.5 projections respectively; shading indicates \pm standard deviation of multi-models. SST trend was calculated from Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature data set (Version 1, HadISST1; Rayner, 2003). Sea ice concentration trend was calculated from the NOAA/NSIDC Climate Data Record of Passive Microwave Sea Ice Concentration, Version 3 (<https://nsidc.org/data/g02202>). The time series of observed SST are averages of HadISST1 and NOAA Optimum Interpolation SST dataset (version 2; Reynolds et al., 2002). The time series of observed sea ice extent are the averages of HadISST, the NOAA/NSIDC Climate Data Record of Passive Microwave Sea Ice Concentration, and the Global sea ice concentration reprocessing dataset from EUMETSAT (http://osisaf.met.no/p/ice/ice_conc_reprocessed.html).

Sea level Terminology

IPCC 2019:
The Ocean and
Cryosphere in a
Changing Climate

Sea level: time average height of the sea surface (eliminating short duration fluctuations like waves, surges and tides).

Global mean sea level (GMSL) rise: increase in the volume of ocean water caused by **warmer water having a lower density**, and by the increase in mass caused by **loss of land ice or a net loss in terrestrial water reservoirs**.

In addition

mass changes due to the redistribution of water on the Earth's surface and deformation of the lithosphere leads to a change in the Earth's rotation and gravitational field, producing distinct spatial patterns in regional sea level change.

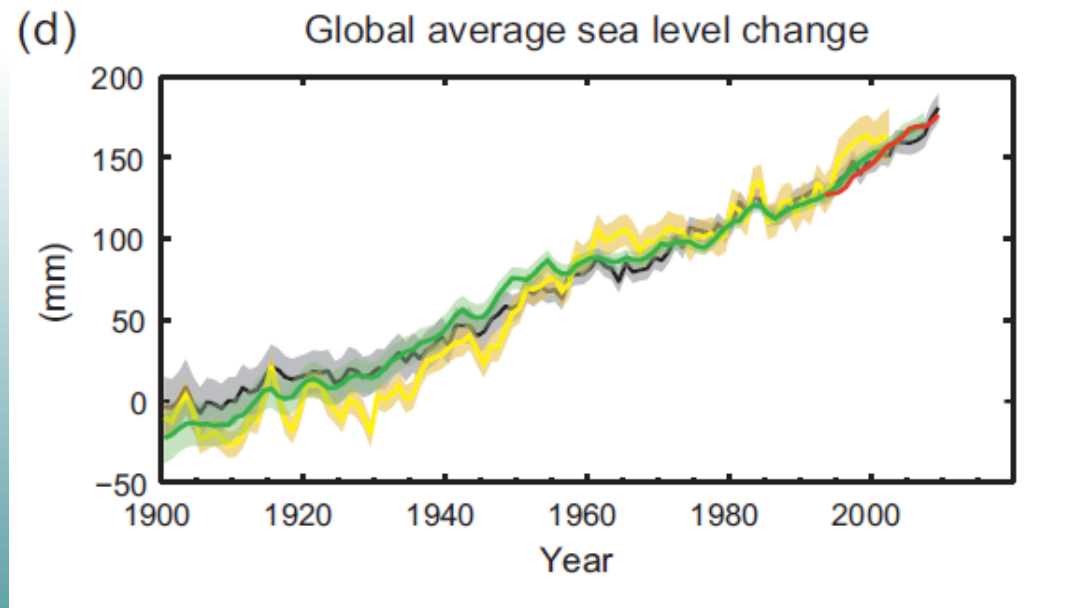
Solid Earth may cause sea level changes due to tectonics, mantle dynamics or glacial isostatic adjustment: these processes cause vertical land motion (VLM) and sea surface height changes at coastlines.

Relative Sea Level change: defined as the change in the difference in elevation between the land and the sea surface at a specific time and location (Farrell and Clark, 1976).

Sea level is an important variable that affects coastal ecosystems. Global sea level rose rapidly at the end of the last glaciation, as glaciers and the polar ice sheets thinned and melted at their fringes.

Il tasso di innalzamento del livello del mare dalla metà del XIX secolo è stato più grande del tasso medio dei 2000 anni precedenti

Nel periodo 1901-2010, il livello globale medio del mare è cresciuto di 0,19 m



I dati proxy e strumentali del livello del mare indicano una transizione fra la fine del XIX secolo e gli inizi del XX secolo da tassi medi di innalzamento relativamente bassi durante i due millenni precedenti, a tassi più alti di innalzamento.

Dai primi anni '70, la perdita di massa dei ghiacciai e l'espansione termica degli oceani rendono conto insieme di circa il 75% di innalzamento del livello globale medio marino osservato, coerente con la somma dei contributi osservati dell'espansione termica oceanica causata dal riscaldamento, dei cambiamenti dei ghiacciai, delle calotte glaciali in Groenlandia e in Antartide e delle variazioni dei depositi di acqua nelle terre emerse

Il livello medio globale del mare continuerà ad aumentare nel corso del XXI secolo. In tutti gli scenari RCP, il tasso di innalzamento del livello del mare molto probabilmente supererà quello osservato nel periodo 1971-2010 per effetto dell'aumento del riscaldamento degli oceani e dell'incremento della perdita di massa dai ghiacciai e dalle calotte glaciali.

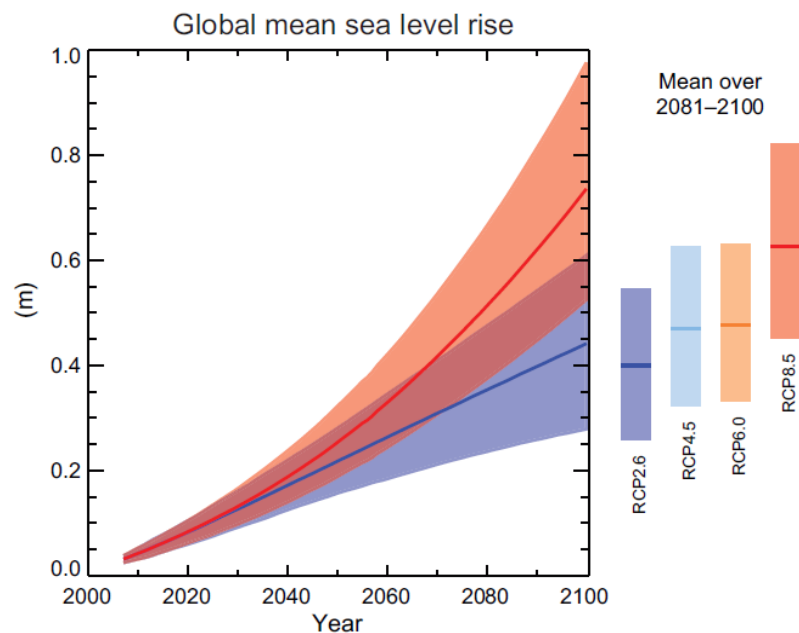


Figura SPM.9 | Proiezioni dell'innalzamento del livello medio globale del mare nel corso del XXI secolo rispetto al periodo 1986-2005 dalla combinazione dell'insieme dei modelli CMIP5 con i modelli di processo, per gli scenari RCP2.6 e RCP8.5. L'intervallo *probabile* stimato è indicato con una banda ombreggiata. Gli intervalli *probabili* valutati per la media del periodo 2081-2100 per tutti gli scenari RCP sono rappresentati da barre verticali colorate, con il corrispondente valore mediano raffigurato da una linea orizzontale. Per ulteriori dettagli tecnici vedi il Materiale Supplementare del Riassunto Tecnico (Tabella 13.5, Figure 13.10 e 13.11; Figure TS.21 e TS.22)

GHIACCIO E LIVELLO DEL MARE

Il livello del mare è cresciuto senza precedenti nel corso dell'ultimo secolo e sta accelerando (+3,6 mm all'anno nel periodo 2006 - 2015) a causa dello scioglimento dei ghiacci della Groenlandia e della calotta polare dell'Antartide, e dell'espansione termica dell'oceano causata dal suo riscaldamento.

Innalzamento del livello del mare e frequenza degli eventi estremi ad esso correlati

+84 cm
Nel 2100 rispetto alla media 1986 - 2005

Scenario ad **alta emissione**

+43 cm
Nel 2100 rispetto alla media 1986 - 2005

Scenario a **bassa emissione**

+15 cm

Oggi

2100

Ghiacciai: le riduzioni di massa fino al 36% tra il 2015 e il 2100

Per le Alpi europee, si prevede che i ghiacciai scompaiono in gran parte entro il 2100.



Diminuzione dello spessore della neve in quasi tutte le regioni

fino al 90%

Scenario ad **alta emissione**

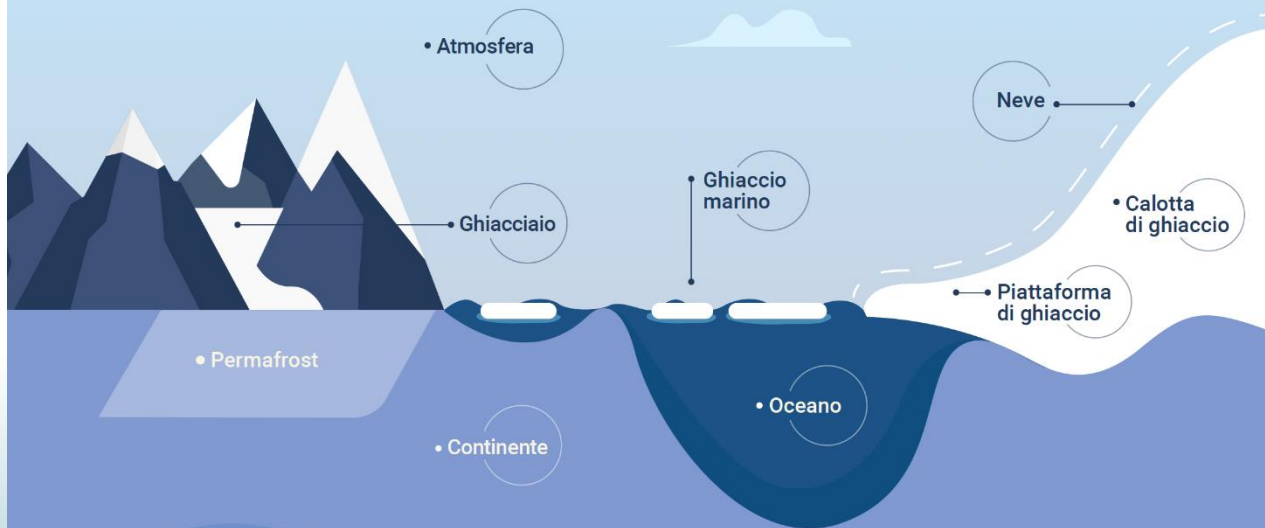
fino al 40%

Scenario a **bassa emissione**

In tutti gli scenari lo spessore della neve diminuisce ed è atteso un **incremento dello scongelamento** e del degrado del permafrost.

OCEANO E CRIOSFERA IN UN CLIMA CHE CAMBIA

Con il termine **criosfera** si indicano tutte le regioni e aree del pianeta in cui l'acqua ha forma solida, compresi i mari, i laghi, i fiumi, superfici innevate, ghiacciai, calotte polari e il suolo ghiacciato (permafrost). I cambiamenti nella criosfera comprendono il ritiro dei ghiacciai, la perdita di ghiaccio continentale in **Groenlandia e in Antartide**, la diminuzione del ghiaccio marino e della copertura nevosa.



2006
2015



430 miliardi di tonnellate all'anno

La massa di ghiaccio persa da **Groenlandia e Antartide**

2006
2015



+ 3,6 mm

Ritmo annuale con cui è cresciuto il livello medio del mare

2007
2016



+ 0,3 °C

La temperatura del permafrost è aumentata a livelli record

Sea level changes

Global Mean Sea Level

(from tide gauges and altimetry observations) increased from:

- **1.4 mm yr⁻¹** over the period **1901–1990**
- **2.1 mm yr⁻¹** over the period **1970–2015**
- **3.2 mm yr⁻¹** over the period **1993–2015**
- **3.6 mm yr⁻¹** over the period **2006–2015** (high confidence).

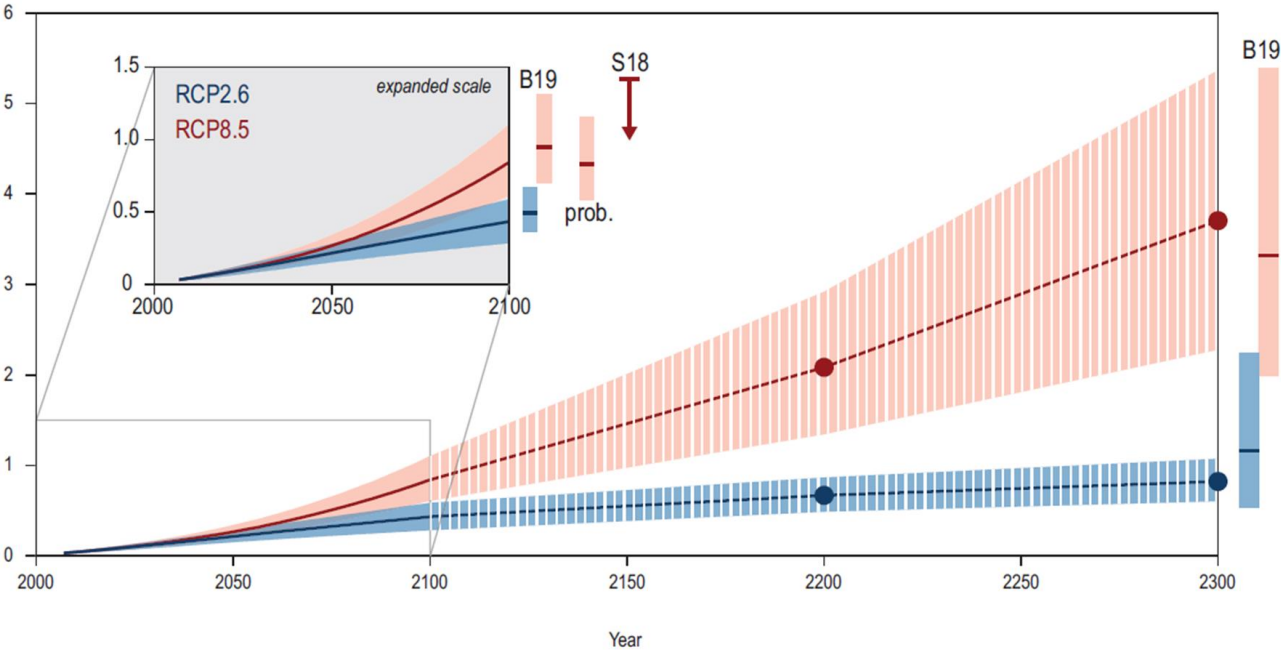


Figure 4.2 | Projected sea level rise (SLR) until 2300. The inset shows an assessment of the *likely* range of the projections for RCP2.6 and RCP8.5 up to 2100 (*medium confidence*). Projections for longer time scales are highly uncertain but a range is provided (4.2.3.6; *low confidence*). For context, results are shown from other estimation approaches in 2100 and 2300. The two sets of two bars labelled B19 are from an expert elicitation for the Antarctic component (Bamber et al., 2019), and reflect the *likely* range for a 2°C and 5°C temperature warming (*low confidence*; details section 4.2.3.3.1). The bar labelled “prob.” indicates the *likely* range of a set of probabilistic projections (4.2.3.2). The arrow indicated by S18 shows the result of an extensive sensitivity experiment with a numerical model for the Antarctic Ice Sheet (AIS) combined, like the results from B19 and “prob.”, with results from Church et al. (2013) for the other components of SLR. S18 also shows the *likely* range.

The dominant cause of GMSL rise since 1970 is anthropogenic forcing (high confidence).

Sea level changes

Sea level rate

- past century $\sim 1\text{--}2 \text{ mm yr}^{-1}$ in most regions
- today $\sim 3\text{--}4 \text{ mm yr}^{-1}$
- future (end of the century) $\sim 1\text{--}2 \text{ mm yr}^{-1}$ at the under RCP2.6

■ 0.24 m (0.17–0.32 m, likely range) under RCP2.6

■ 0.32 m (0.23–0.40 m, likely range) under RCP8.5

medium confidence

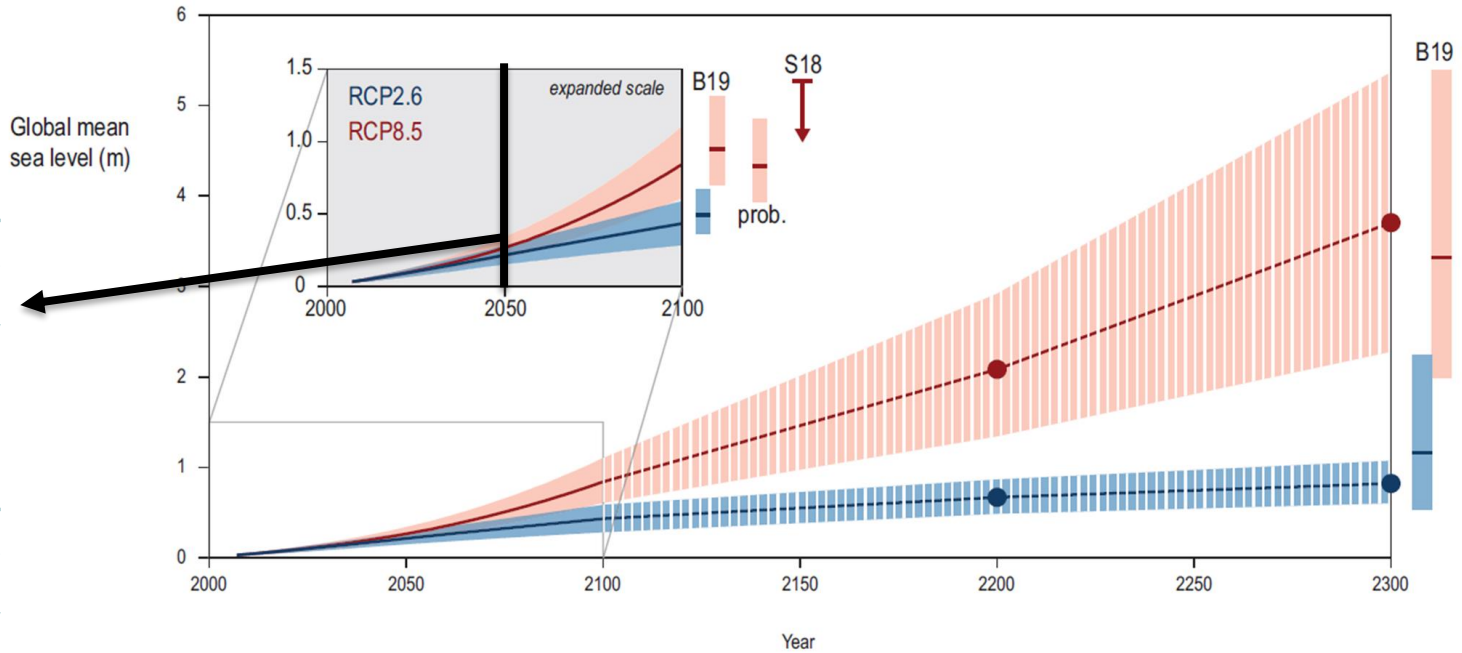
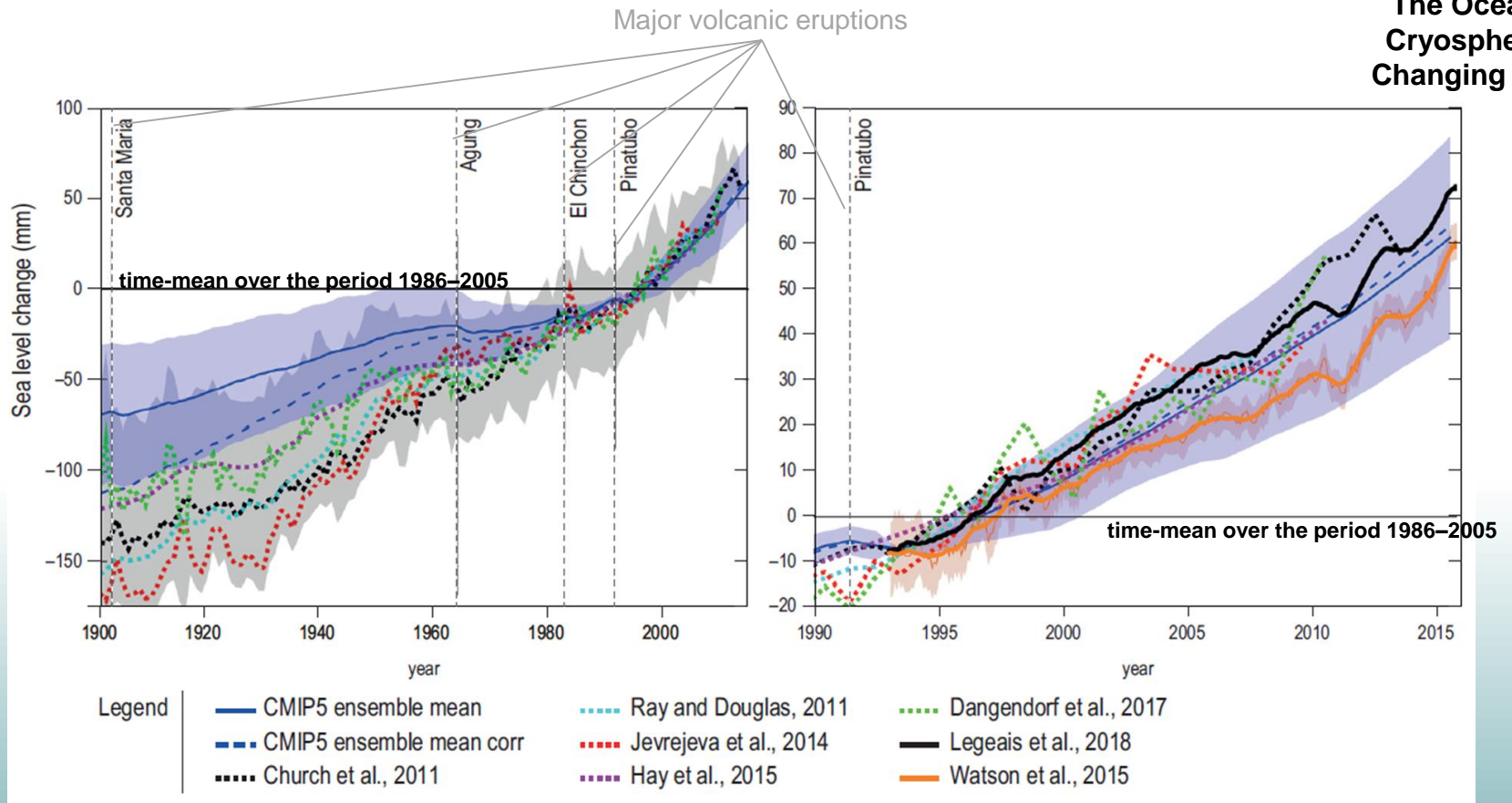


Figure 4.2 | Projected sea level rise (SLR) until 2300. The inset shows an assessment of the *likely* range of the projections for RCP2.6 and RCP8.5 up to 2100 (*medium confidence*). Projections for longer time scales are highly uncertain but a range is provided (4.2.3.6; *low confidence*). For context, results are shown from other estimation approaches in 2100 and 2300. The two sets of two bars labelled B19 are from an expert elicitation for the Antarctic component (Bamber et al., 2019), and reflect the *likely* range for a 2°C and 5°C temperature warming (*low confidence*; details section 4.2.3.3.1). The bar labelled “prob.” indicates the *likely* range of a set of probabilistic projections (4.2.3.2). The arrow indicated by S18 shows the result of an extensive sensitivity experiment with a numerical model for the Antarctic Ice Sheet (AIS) combined, like the results from B19 and “prob.”, with results from Church et al. (2013) for the other components of SLR. S18 also shows the *likely* range.



Simulated (by coupled climate models) and **observed** (satellite altimetry observations and tide gauge) **global mean sea level change** (GMSL) since 1901 (a) and since 1993 (b)

Ocean acidification affects marine life

Coastal and marine ecosystems are under tremendous stress from climate change. Ocean acidification, paired up with other climate impacts like warming waters, deoxygenation, melting ice, and coastal erosion, pose real threats to the survival of many marine species.

Ocean acidification is particularly detrimental to species that build their skeletons and shells from calcium carbonate (like clams, mussels, crabs, phytoplankton, and corals), and that constitute the bottom of the food chain. Acidification reduces the availability of carbonate ions in ocean water, which provide the building blocks these organisms need to make their shells and skeletons, significantly reducing the chances for their offspring to survive.

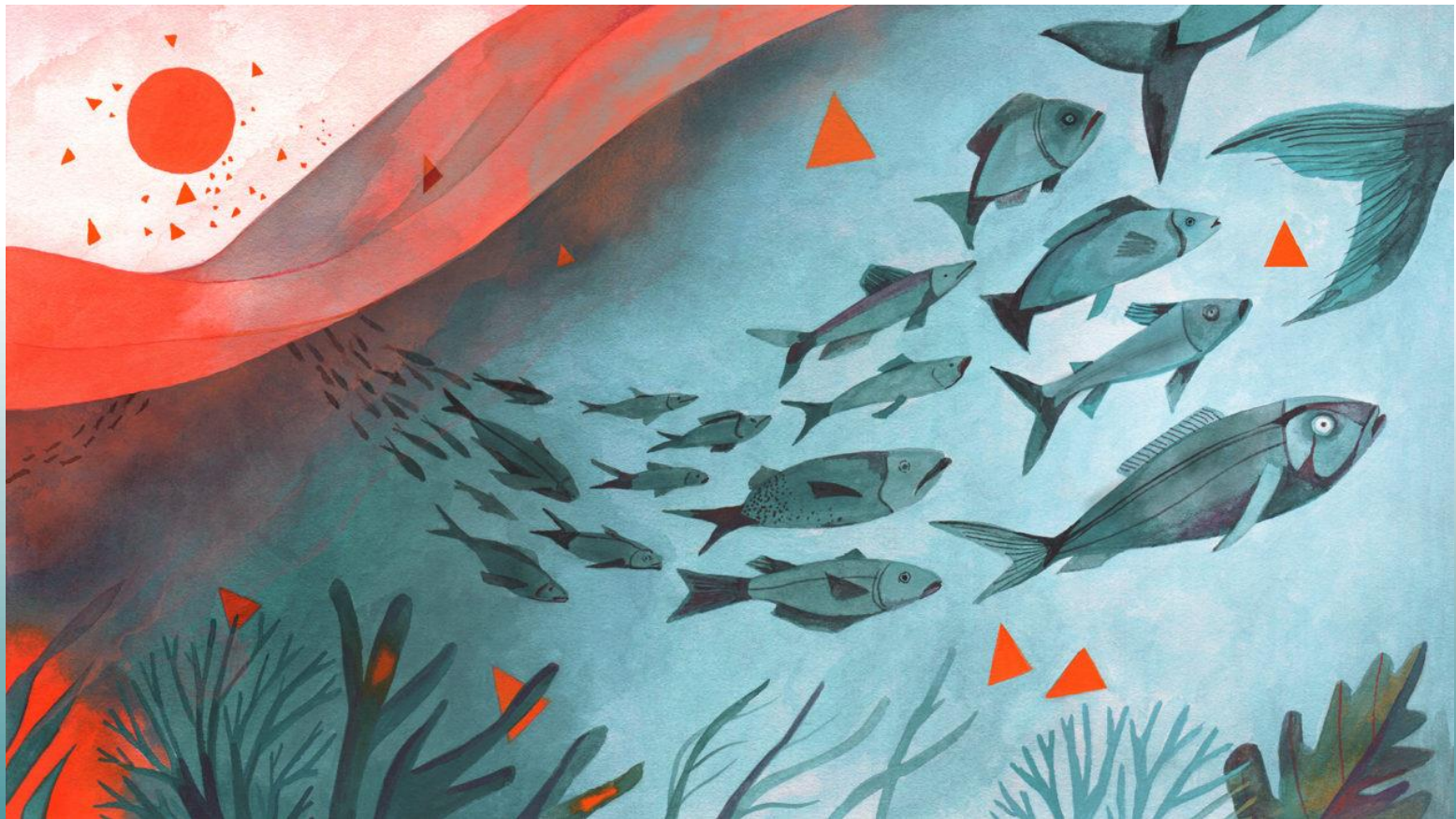
In the presence of other climate stressors, ocean acidification makes it harder for species to bounce back. Take the problem of coral bleaching, for example. Corals maintain a mutualistic relationship with photosynthetic algae living in their tissue: corals provide shelter for the algae and each provide the other with nutrients necessary for their survival. But when water temperatures get too high, corals expel these algae, leaving them more vulnerable to disease and less able to maintain and build their skeletal structure.



Ocean acidification hinders the ability of corals to recover from these bleaching events because it reduces the amount of calcium carbonate available that corals need to grow back to health. A report by the Intergovernmental Panel on Climate Change finds that 99 percent of the world's warm-water coral reefs could disappear if global average temperatures rise 2°C or more above pre-industrial levels.



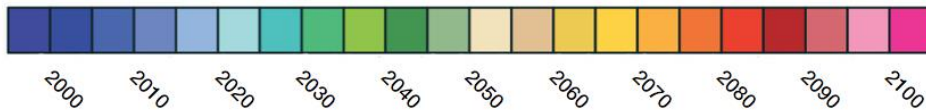
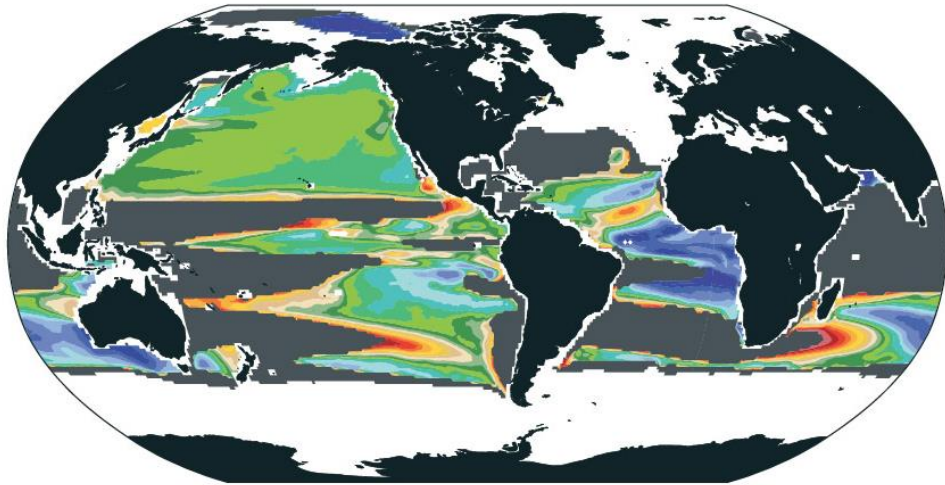
Il riscaldamento del mare e la riduzione dei ghiacci contribuiscono alla migrazione di specie animali verso latitudini e altitudini più elevate, in condizioni che, a causa di limiti e barriere ambientali, possono aumentare la probabilità di estinzione.



L'aumento della stratificazione dell'oceano causato dai cambiamenti climatici ne riduce il contenuto di ossigeno aumentando il rischio di episodi di ipossia e anossia (deficienze di ossigeno nell'organismo) e diminuendo la disponibilità di nutrienti.

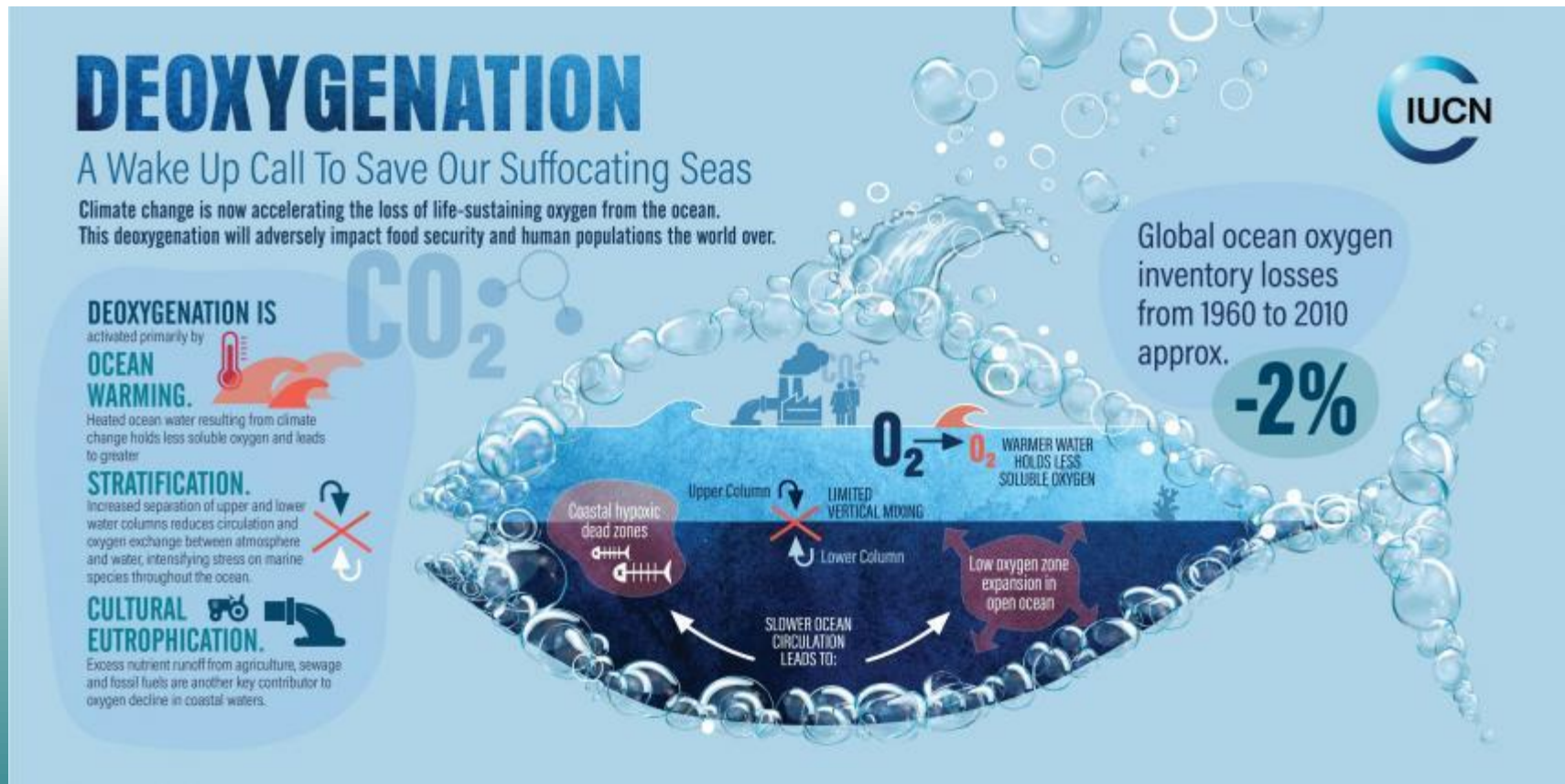
Oxygen loss in the oceans

Timeframe when ocean deoxygenation due to climate change is expected to become detectable



Gli effetti diretti e indiretti dei cambiamenti climatici causano una riduzione del potenziale di pesca a livello globale

Riscaldamento, perdita di ossigeno, acidificazione e riduzione del flusso di materiale organico dalla superficie ai sedimenti aggraverà la bio-erosione e la dissoluzione dei componenti non-vivi delle comunità coralline in acque fredde.



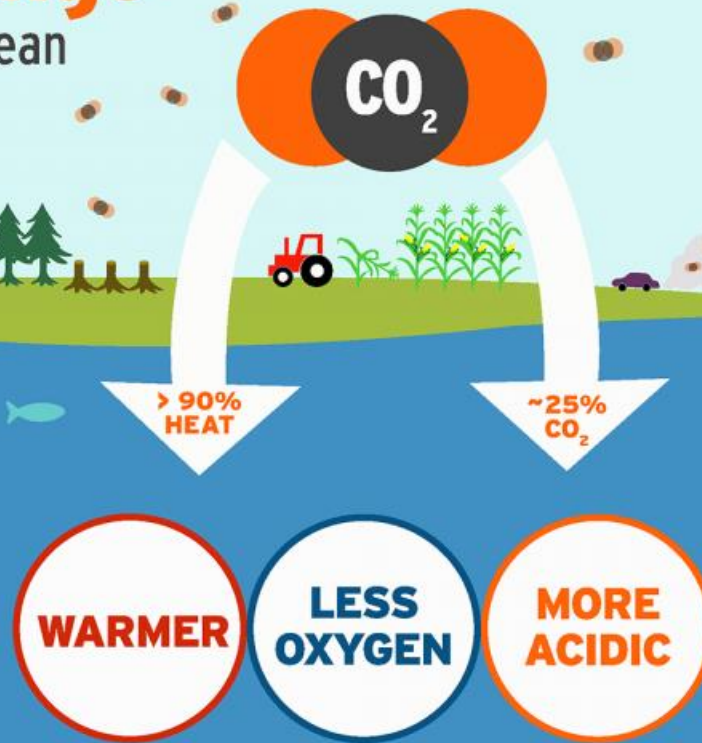
Tutti gli ecosistemi costieri, nello scenario con più alte concentrazioni di gas serra, sono sottoposti ad elevato rischio di severi impatti per quanto riguarda la biodiversità, la loro struttura e la loro funzione.

La vegetazione costiera protegge la costa dall'erosione, contribuisce all'assorbimento del carbonio e costituisce l'habitat naturale per la fauna locale. Nel corso del XX secolo, il 50% delle zone umide costiere è andato perso a causa degli effetti combinati prodotti dalla pressione antropica, cambiamenti climatici, innalzamento del livello del mare, aumento degli eventi estremi.

Climate Change

A triple threat for the ocean

Burning fossil fuels, deforestation and industrial agriculture release carbon dioxide (CO₂) and other heat-trapping gases into our atmosphere, causing our planet to warm. The ocean has buffered us from the worst impacts of climate change by absorbing more than 90 percent of this excess heat and about 25 percent of the CO₂, but at the cost of causing significant harm to marine ecosystems.



SEA LEVEL

Sea level rise is accelerating, flooding coastal communities and drowning wetland habitats.



BLEACHING

Warm-water coral reefs (marine biodiversity hotspots) could be lost if the planet warms by 2°C (3.6°F).



TOXIC ALGAE

Larger and more frequent blooms are making fish, birds, marine mammals and people sick.



HABITATS

Lower oxygen levels are suffocating some marine animals and shrinking their habitats.



ACIDIFICATION

More acidic water harms animals that build shells, such as corals, clams, and oysters.

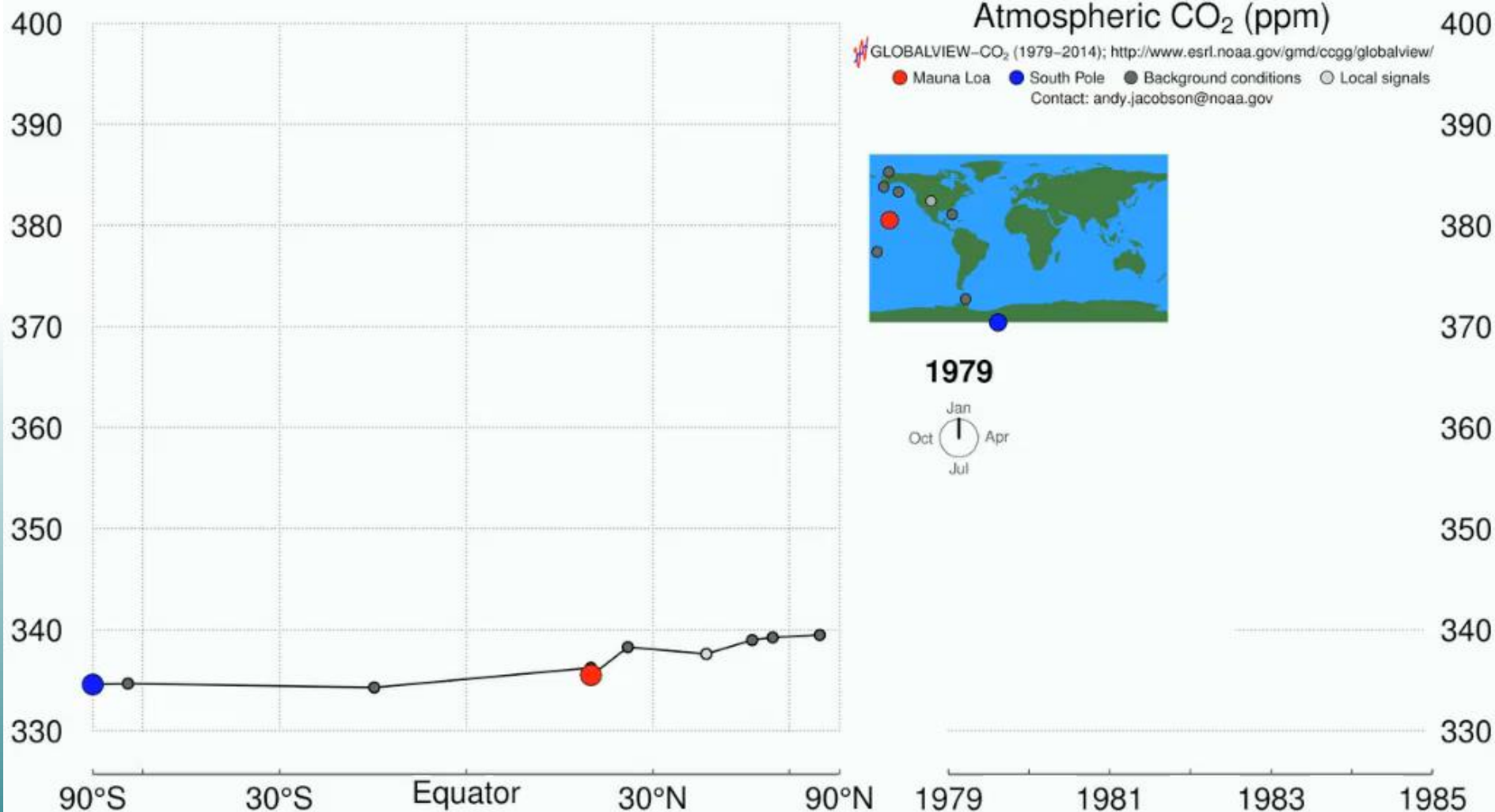


FISHERIES

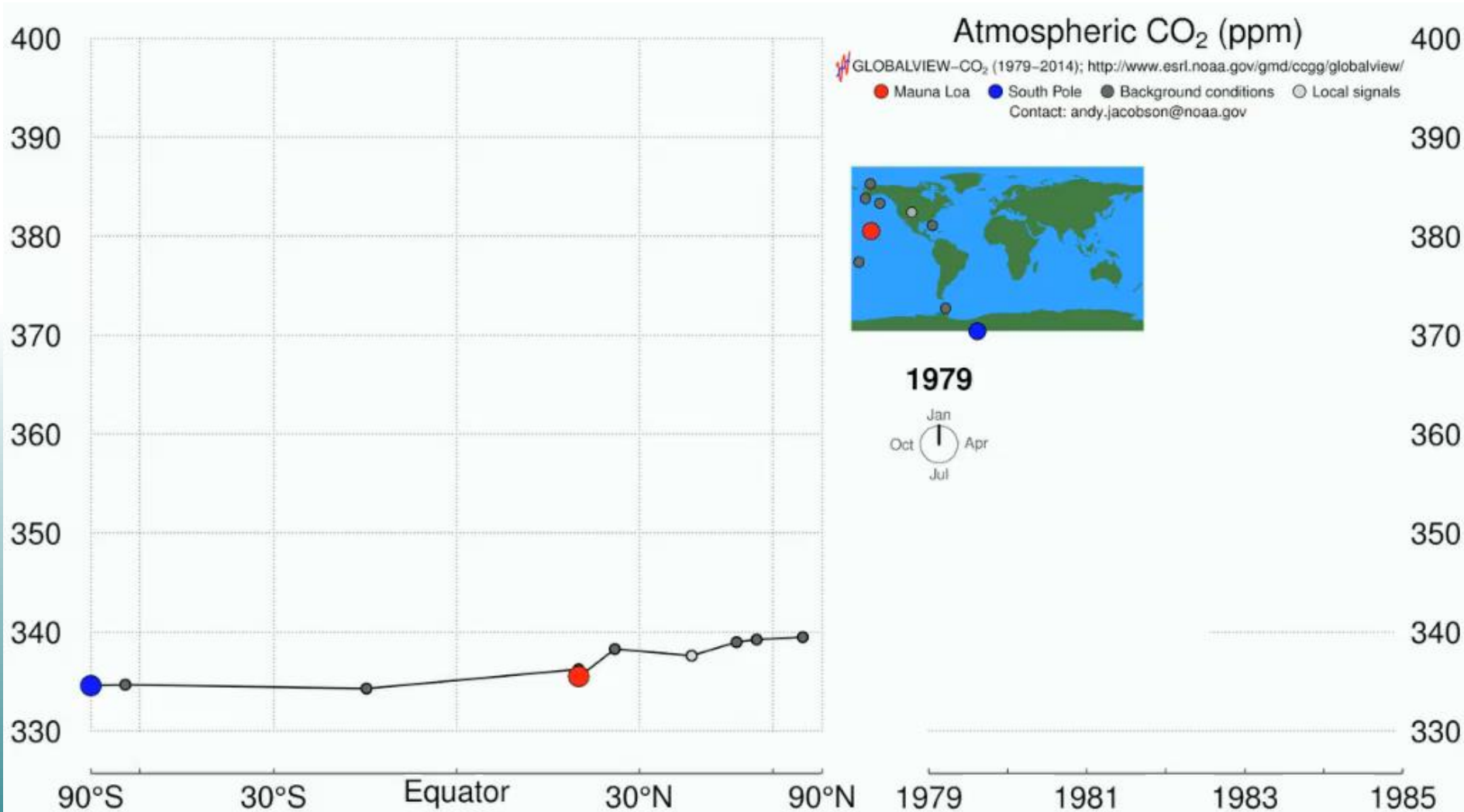
Disruptions in fisheries affect the marine food web, local livelihoods, and global food security.

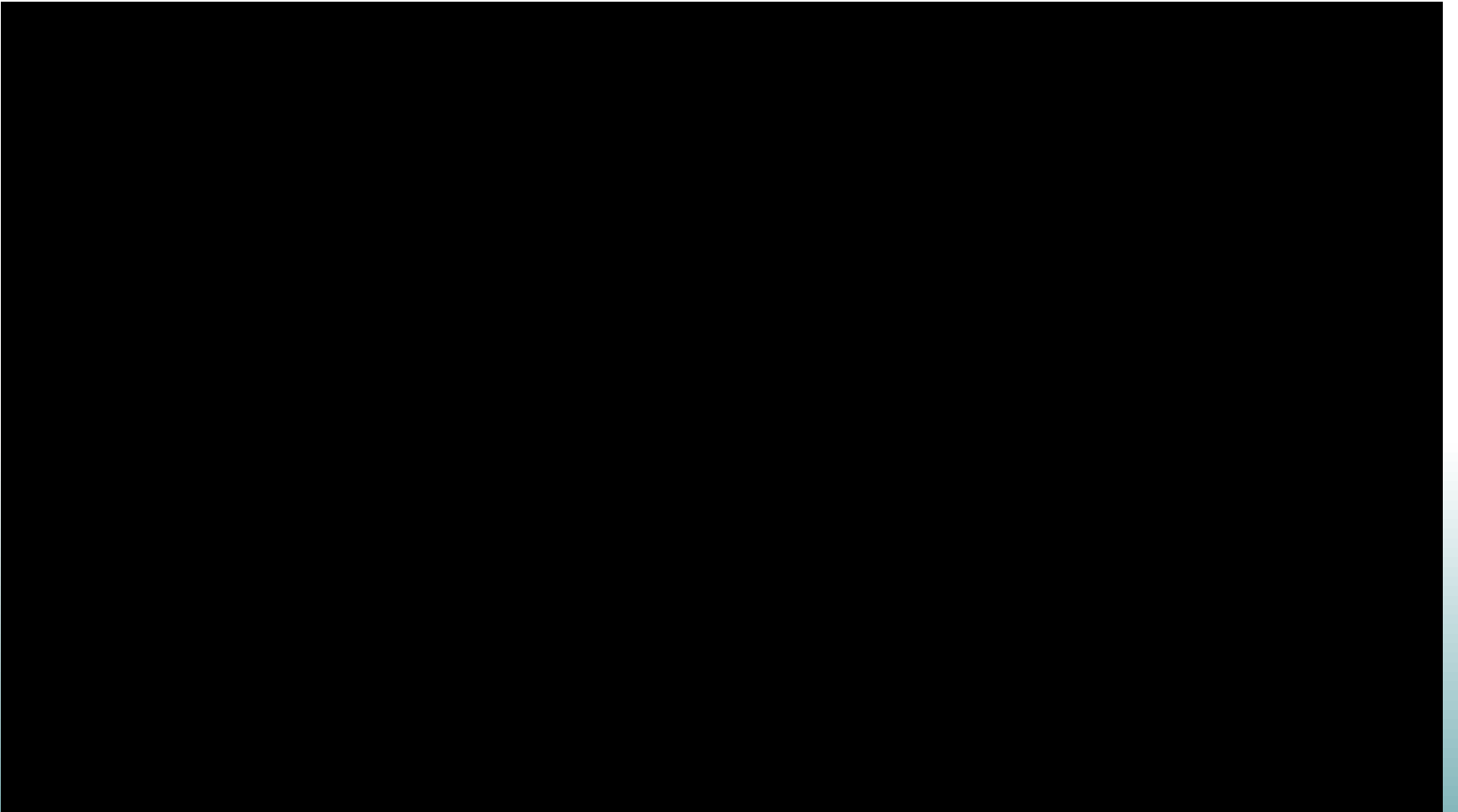
Ora guardiamo questo grafico con una prospettiva diversa.

Le oscillazioni che vediamo durante gli anni sono principalmente concentrate nell'emisfero Settentrionale, mentre quello Meridionale è molto meno variabile



Uno dei meccanismi che origina questa variabilità è la Biosfera dell'Emisfero Settentrionale.





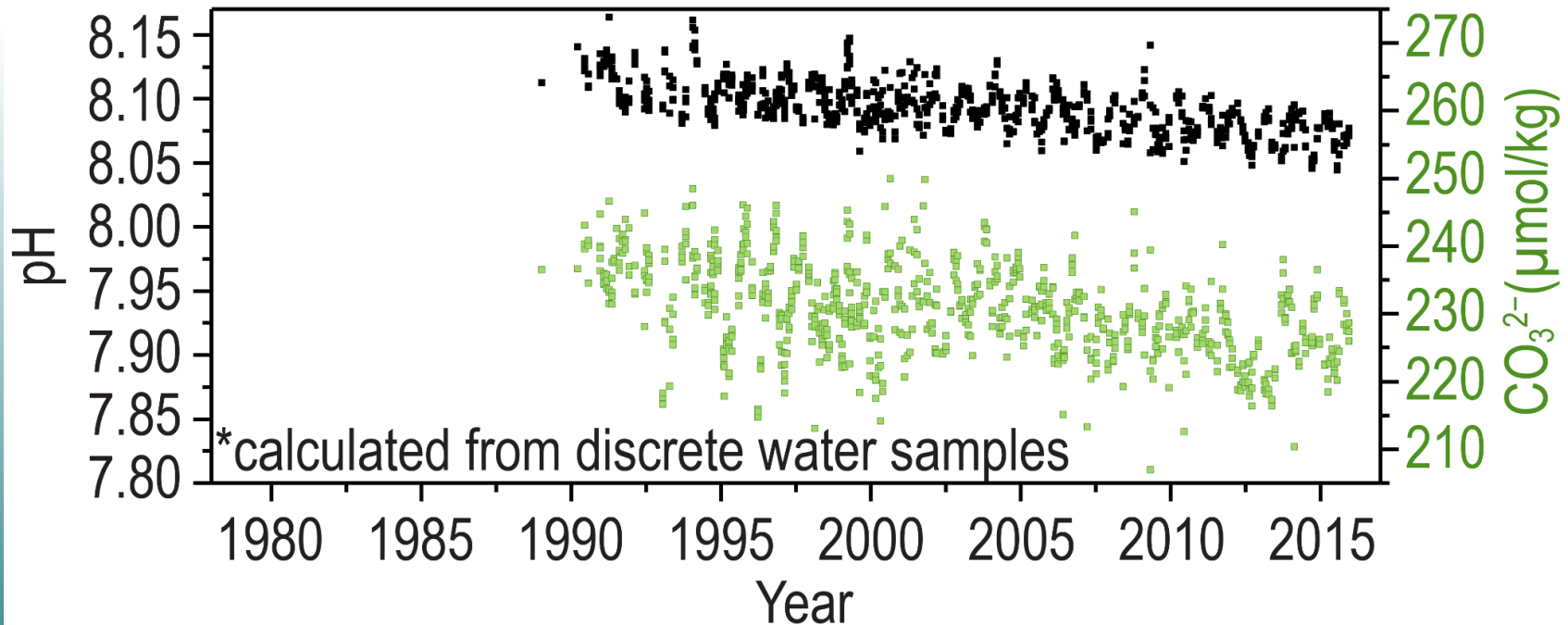
Acidificazione

In addition to causing changes in climate, increasing atmospheric levels of carbon dioxide (CO₂) from the burning of fossil fuels and other human activities, including changes in land use, have a direct effect on ocean carbonate chemistry that is termed ocean acidification.

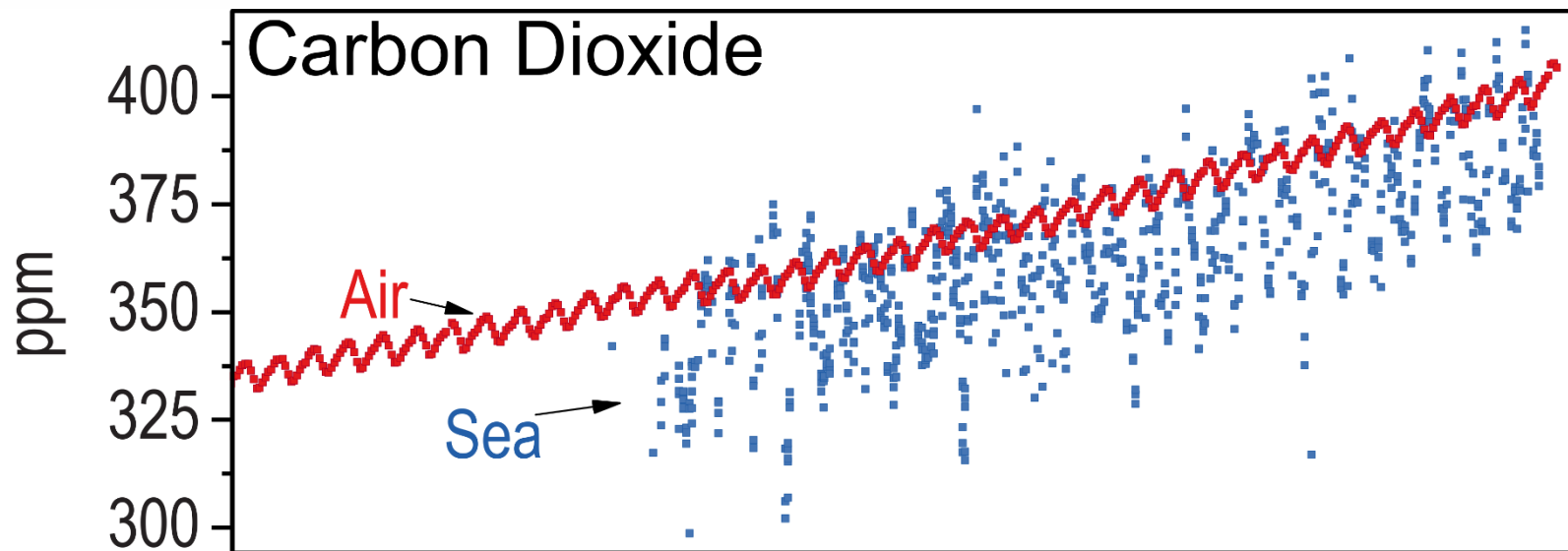
Acidity is a measure (in units of pH) of the concentration of hydrogen ions in a solution, in this case, ocean water.

When carbon dioxide enters the ocean, it dissolves in saltwater.

First, it forms carbonic acid. Then, this carbonic acid breaks apart – or “dissociates” – producing bicarbonate ions and hydrogen ions. Ocean acidification results from an increased concentration of hydrogen ions and a reduction in carbonate ions due to the absorption of increased amounts of CO₂. Clams, mussels, crabs, corals, and other sea life rely on carbonate ions to grow their shells and thrive.

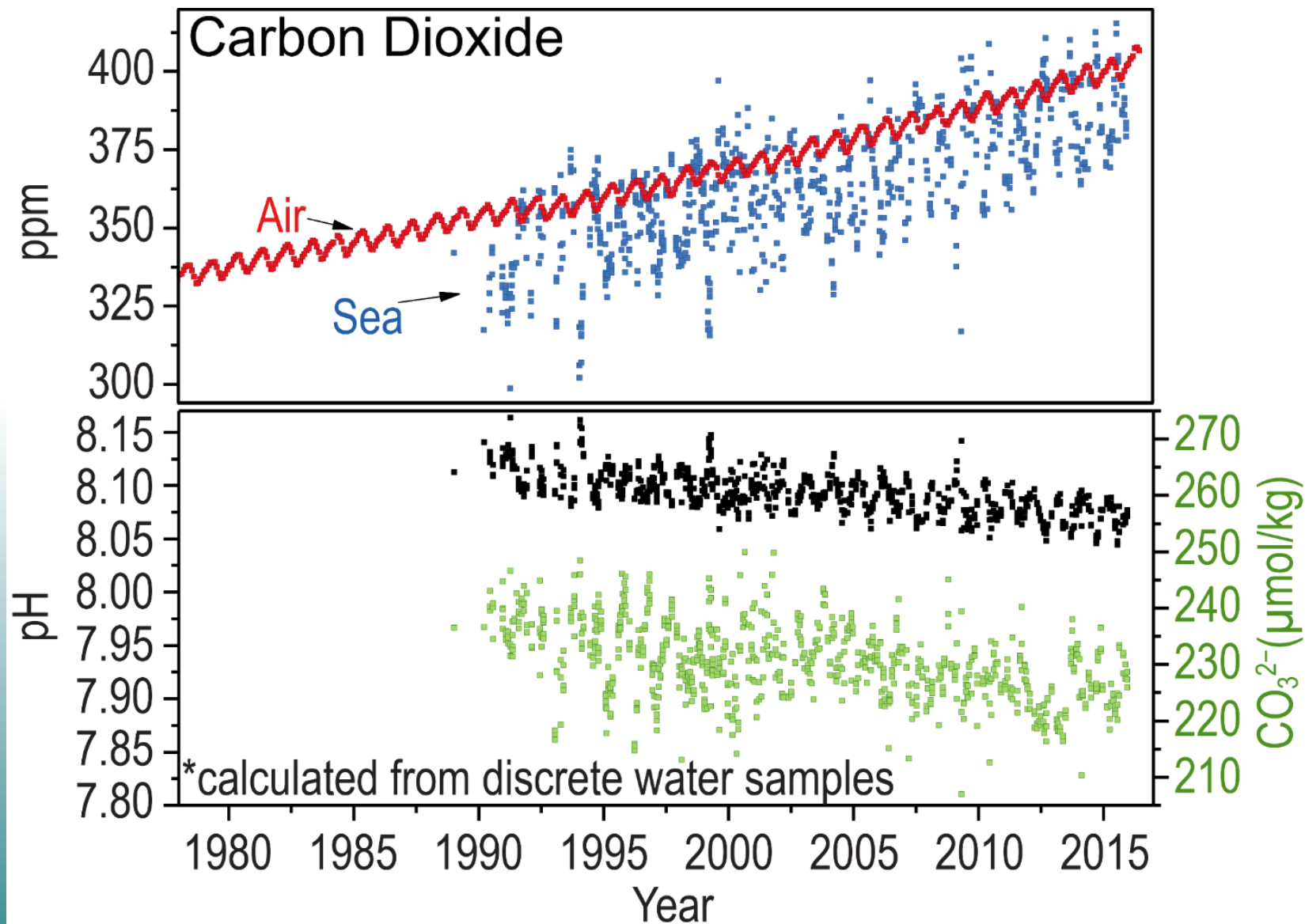


For millions of years, the exchange of CO₂ between the surface of the ocean and the atmosphere remained constant. In the past 150 years, humans have greatly increased the amount of CO₂ in the atmosphere by burning fossil fuels and changing land-use practices. As a result, the ocean has absorbed about 29 percent of this additional carbon.



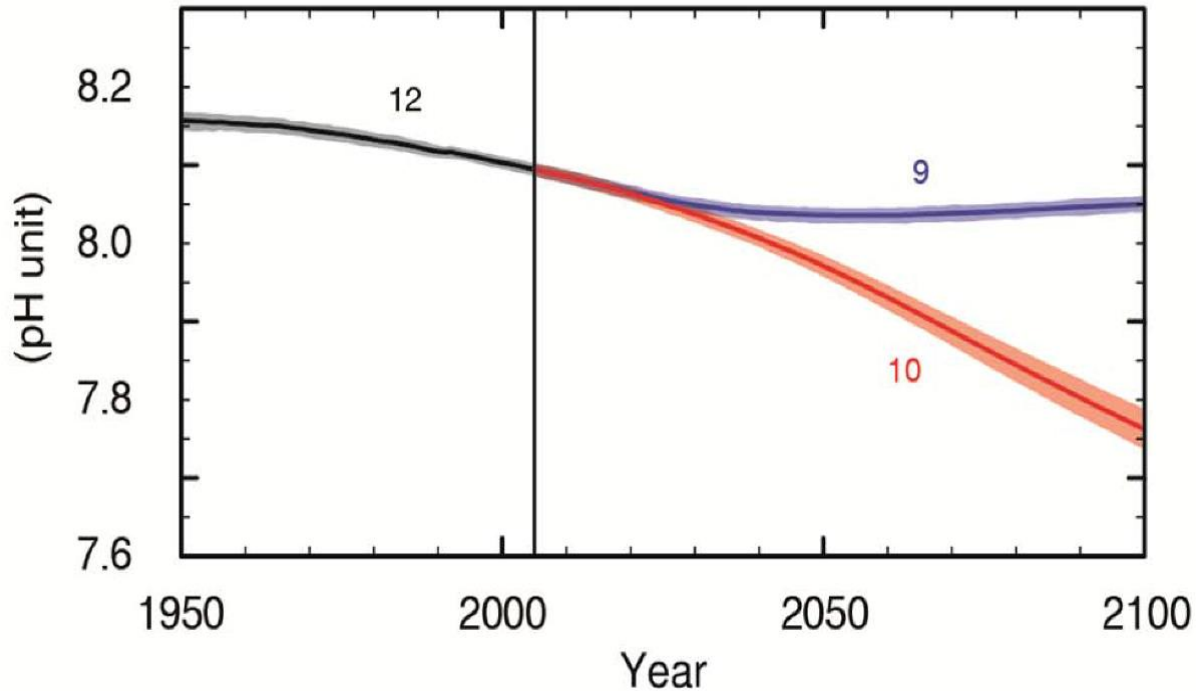
This added CO₂ has had significant effects on the ocean. Surface waters are now 30 percent more acidic than they were at the start of the industrial era. Ocean acidification is now happening at a faster rate than at any point in the last 66 million years, and possibly in the last 300 million years. And projections show that by the end of this century, ocean surface waters could be more than twice as acidic as they were at the end of last century if we do not reduce our carbon emissions.

Anthropogenically sourced CO₂ is gradually invading into oceanic deep waters.



(c)

Global ocean surface pH



L'acidificazione degli oceani è quantificata da un abbassamento del pH. Il pH delle acque dell'oceano superficiale si è abbassato di 0,1 unità dall'inizio dell'età industriale, equivalente a un aumento del 26% della concentrazione degli ioni idrogeno

Dipende dalle concentrazioni di CO₂ che immetteremo nell'atmosfera:

- 421 ppm - RCP2.6 (mitigation scenario)
- 936 ppm - RCP8.5 (very high greenhouse gas emissions)

IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

Il clima terrestre è quindi la risultante di una serie di complessi processi che coinvolgono le proprietà chimiche, fisiche e termodinamiche di almeno tre elementi: L'Atmosfera, gli Oceani e la Criosfera.

Questi elementi da soli però non bastano a determinare il clima del nostro pianeta.

Come già successo nella lunga storia del pianeta Terra, l'interazione dei primi tre elementi con la Biosfera ha grandi ripercussioni sulla dinamica dell'intero pianeta.

Questo avviene tipicamente attraverso processi di feedback che possono ridurre, ma anche amplificare oltre l'atteso le conseguenze di una perturbazione dell'equilibrio a cui il nostro pianeta è giunto nell'arco delle migliaia di anni