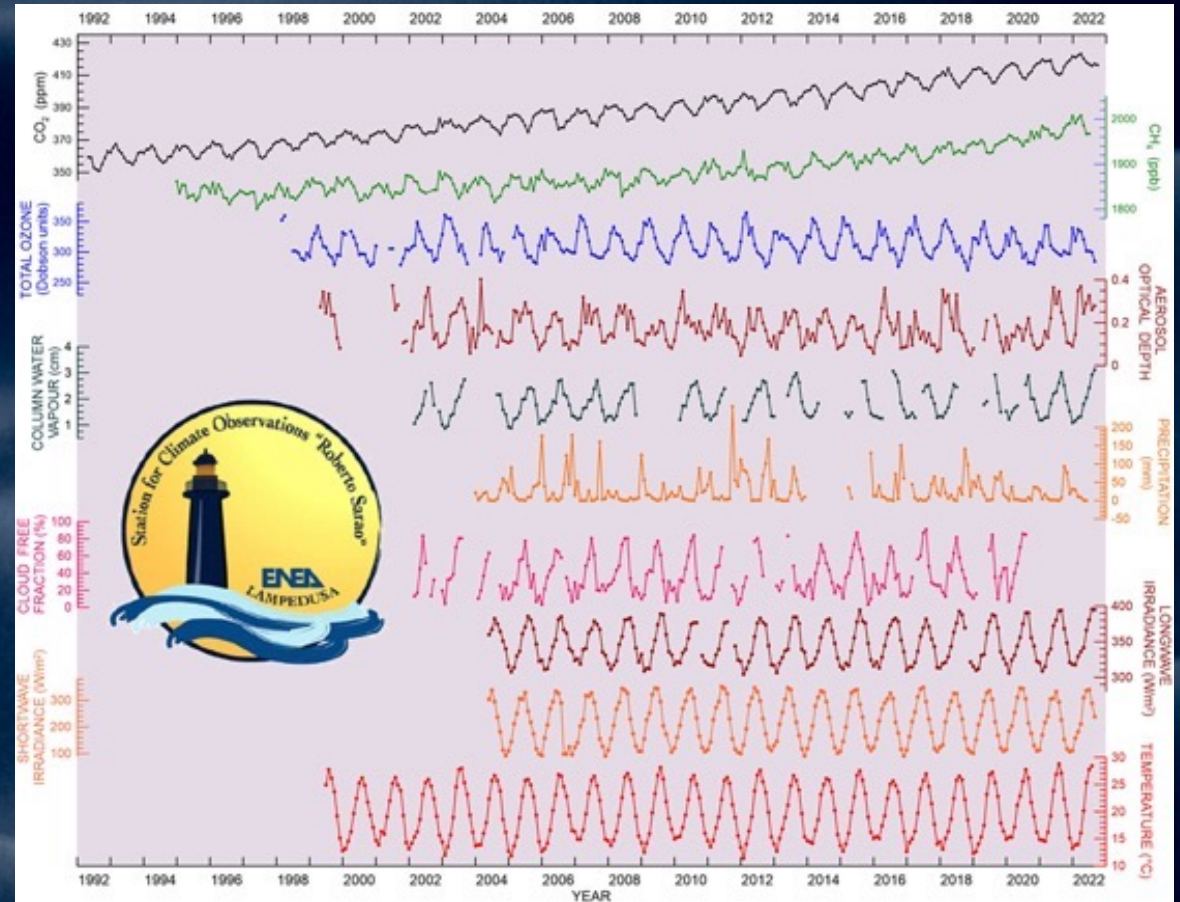


# IL CLIMA DELLA TERRA NELL'ULTIMO MILIONE DI ANNI: FORZANTI NATURALI E ANTROPICHE



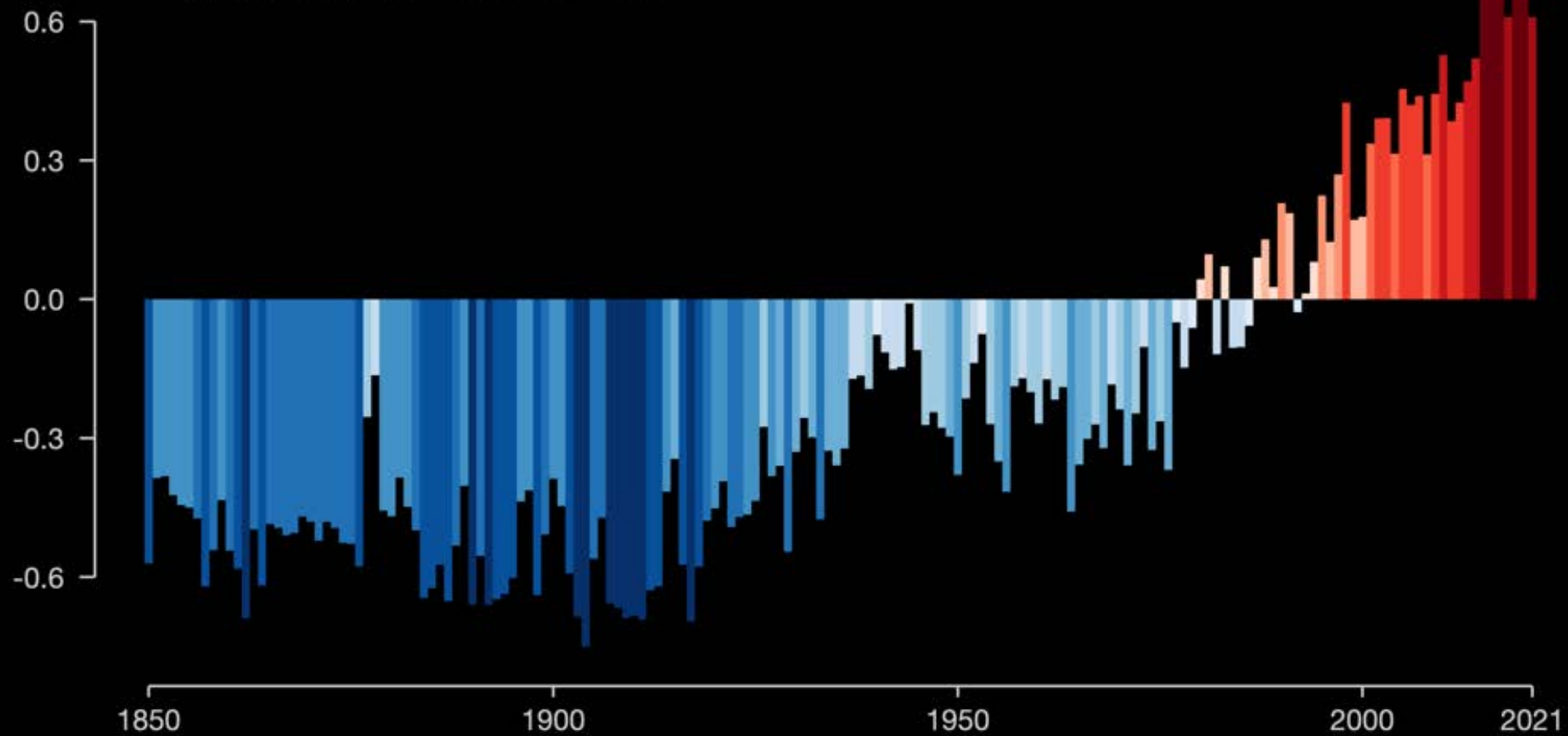
e prima





# Global temperature change

Relative to average of 1971-2000 [°C]



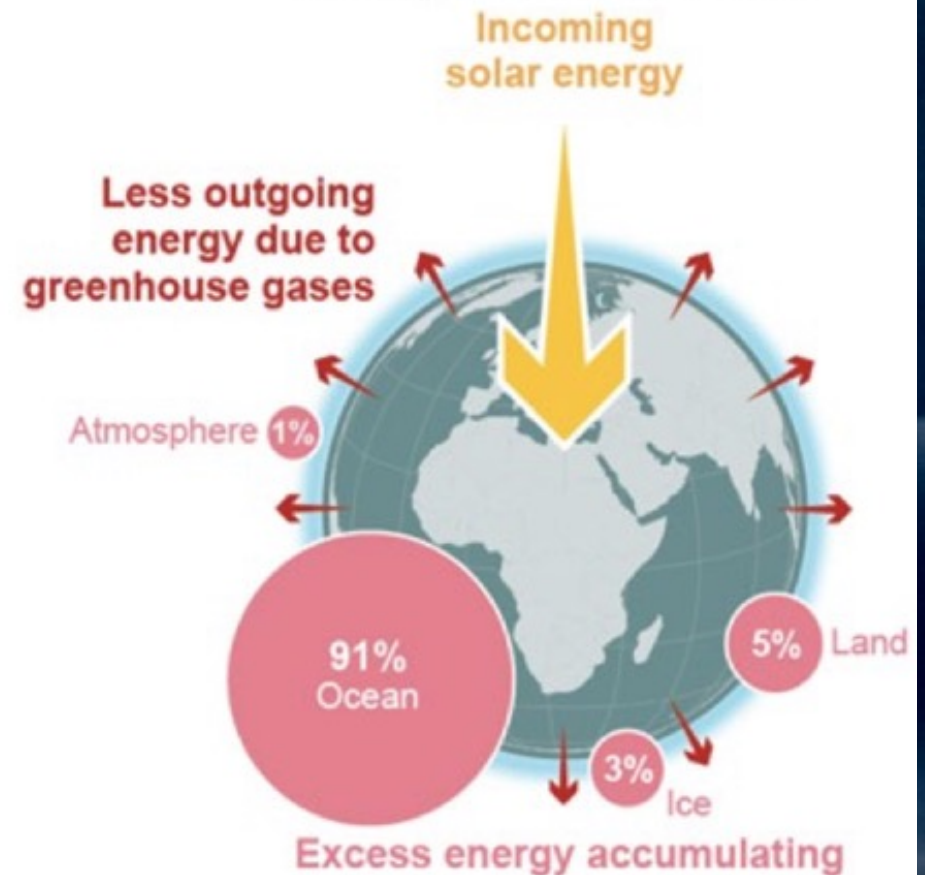


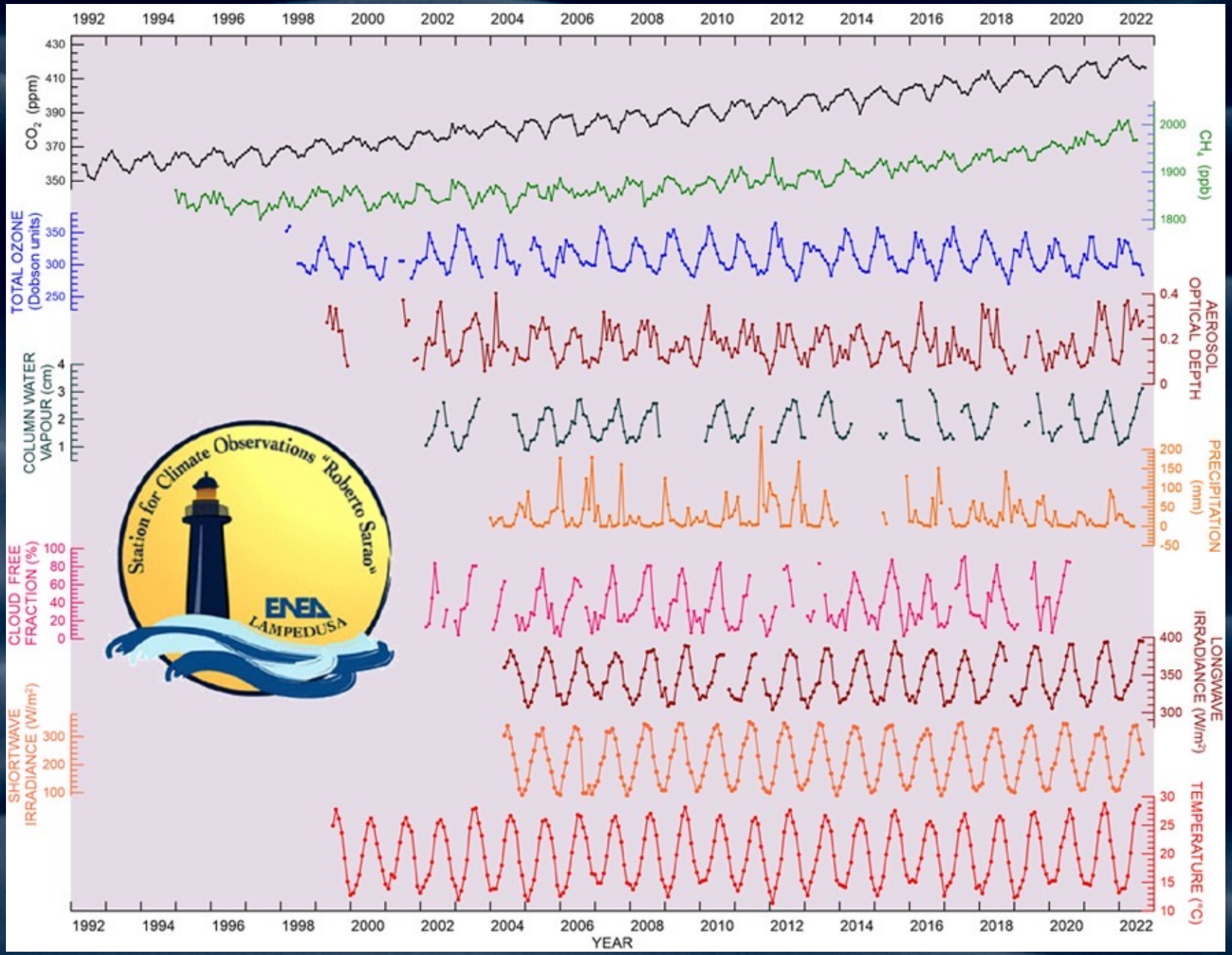
# Human influence causes heating of the climate system

## Stable climate: in balance



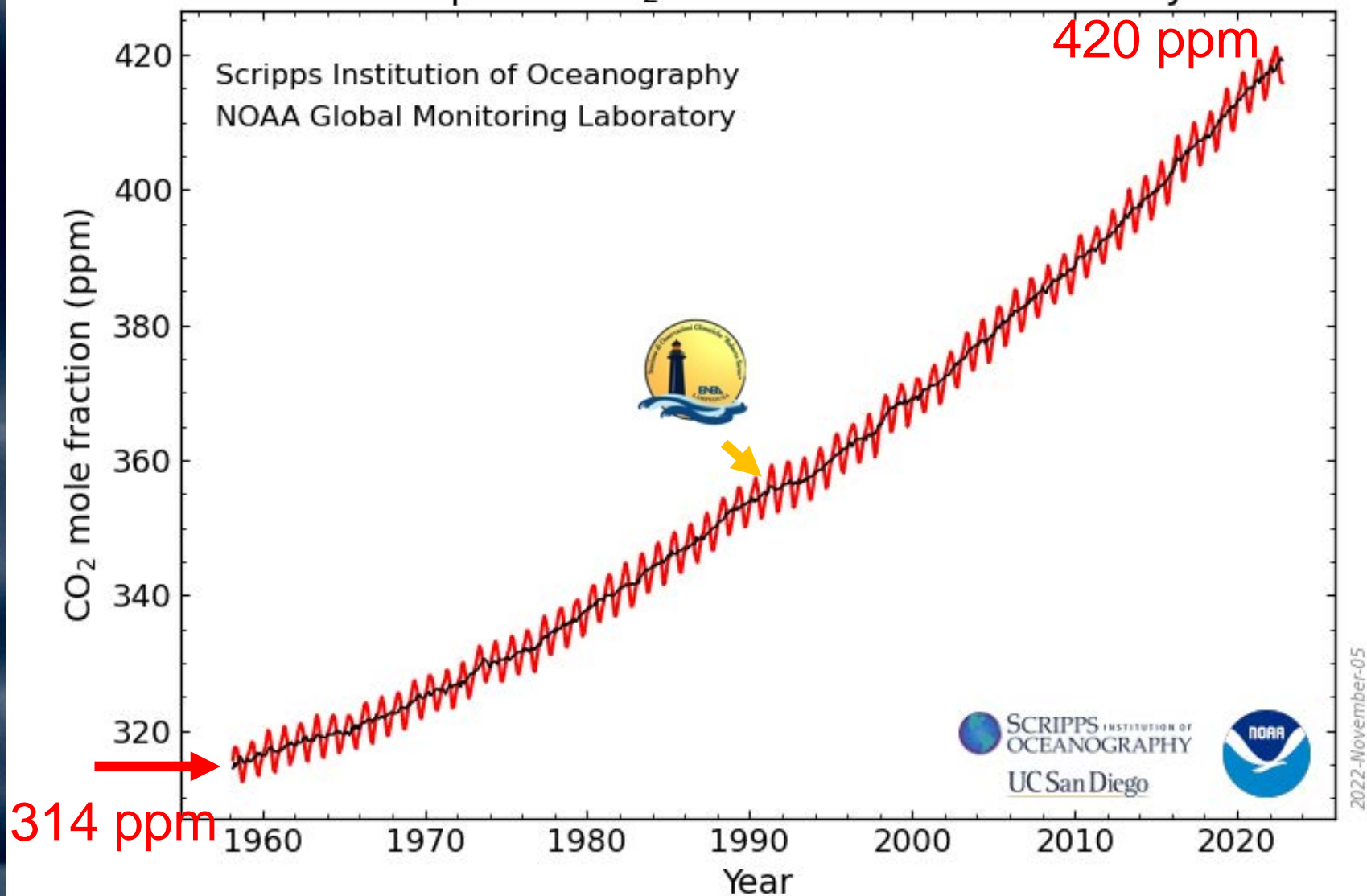
## Today: imbalanced







## Atmospheric CO<sub>2</sub> at Mauna Loa Observatory



**aumento del 50% dall'epoca pre-industriale 280 ppm**

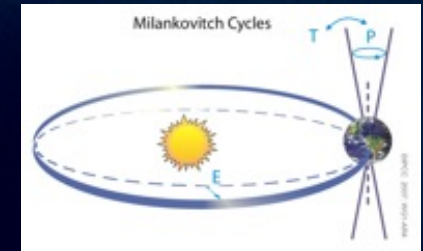
# External perturbations

Years    Decades    Centuries    Millennia    10 000 years    Millions yr

**Solar activity**

**ASTRONOMICAL**

**Earth's orbit**



**GEOLOGICAL Volcanism**

**Tectonics**

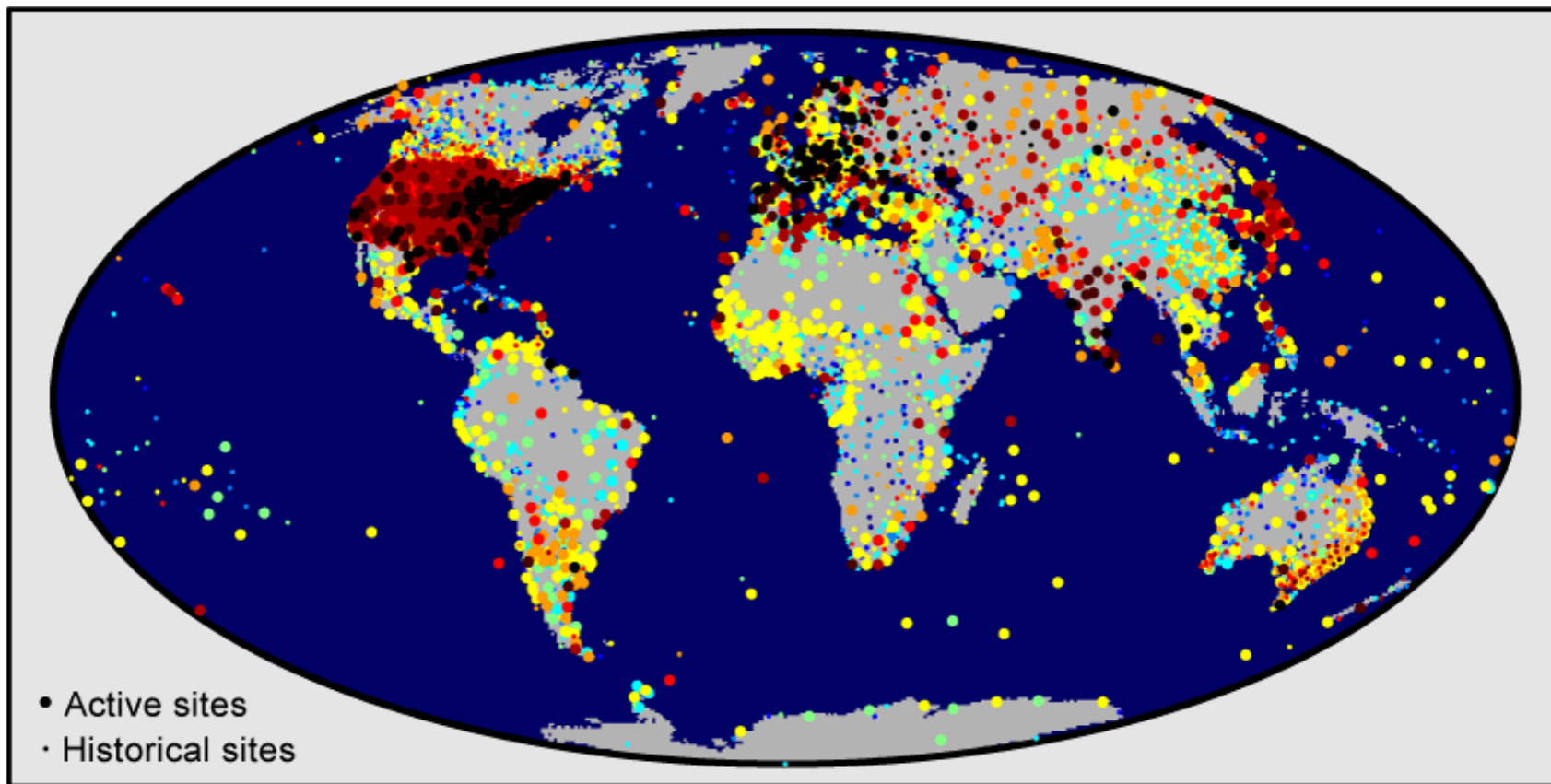
**ANTHROPOGENIC**

Land use, aerosols,  
greenhouse gases



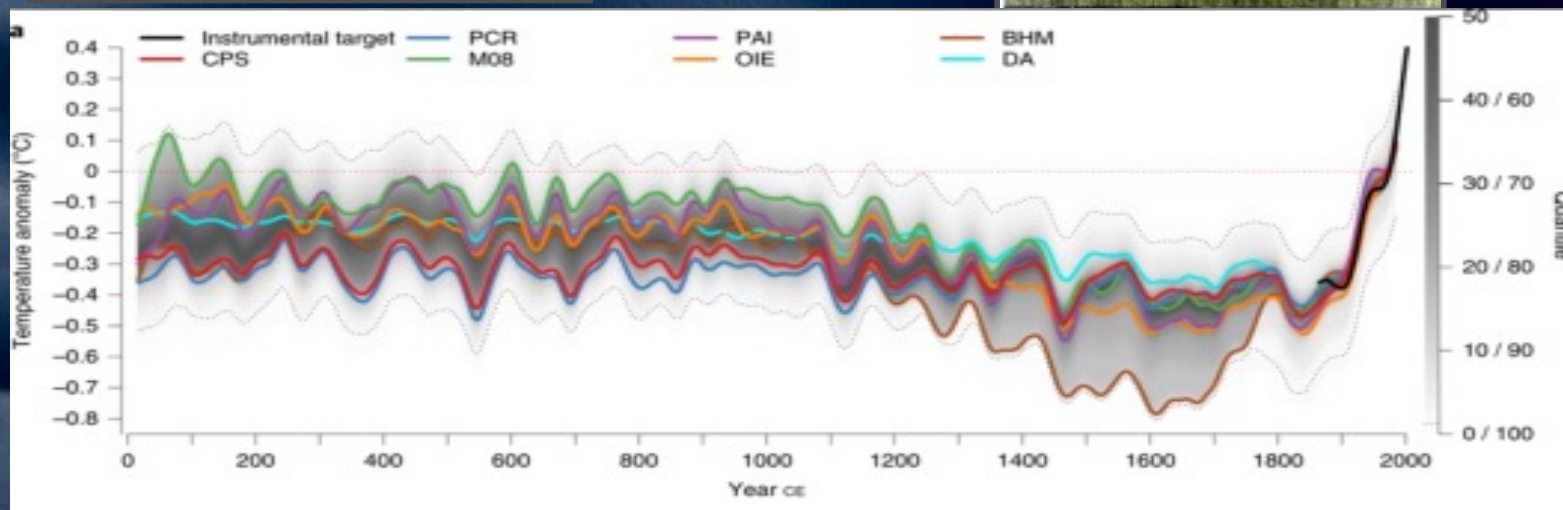
# Past4Future

## Global Climate Network Temperature Stations



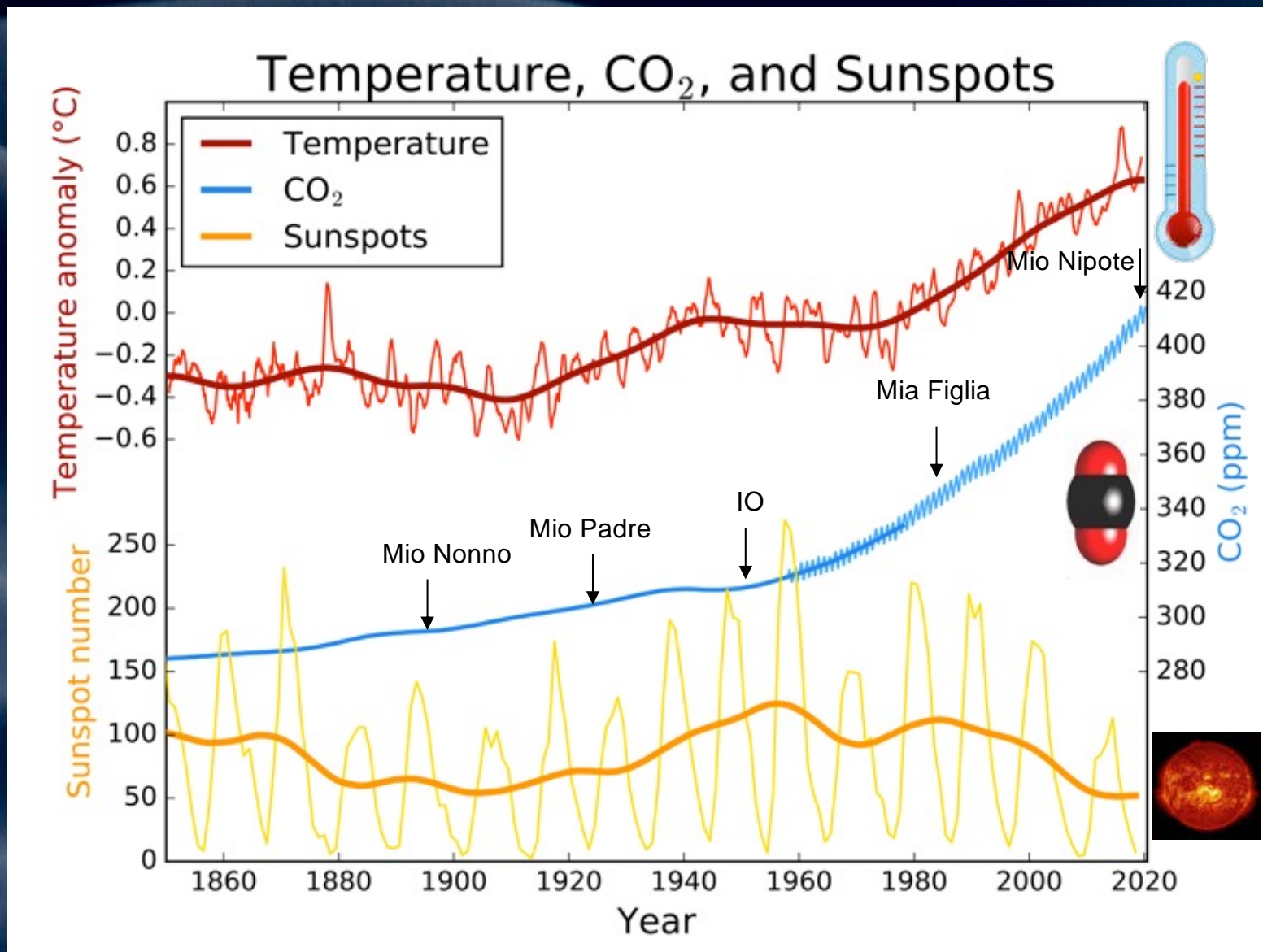
Length of Station Record (years)

# Paleoclimatologia: Archivi Naturali



Anomalie di temperatura degli ultimi 2 mila anni rispetto al 1961–90. Le linee colorate rappresentano mediane con filtro passa-basso di 30 anni per i singoli metodi di ricostruzione. La curva nera è il dato strumentale per il 1850–2017 (PAGES 2K, 2019).

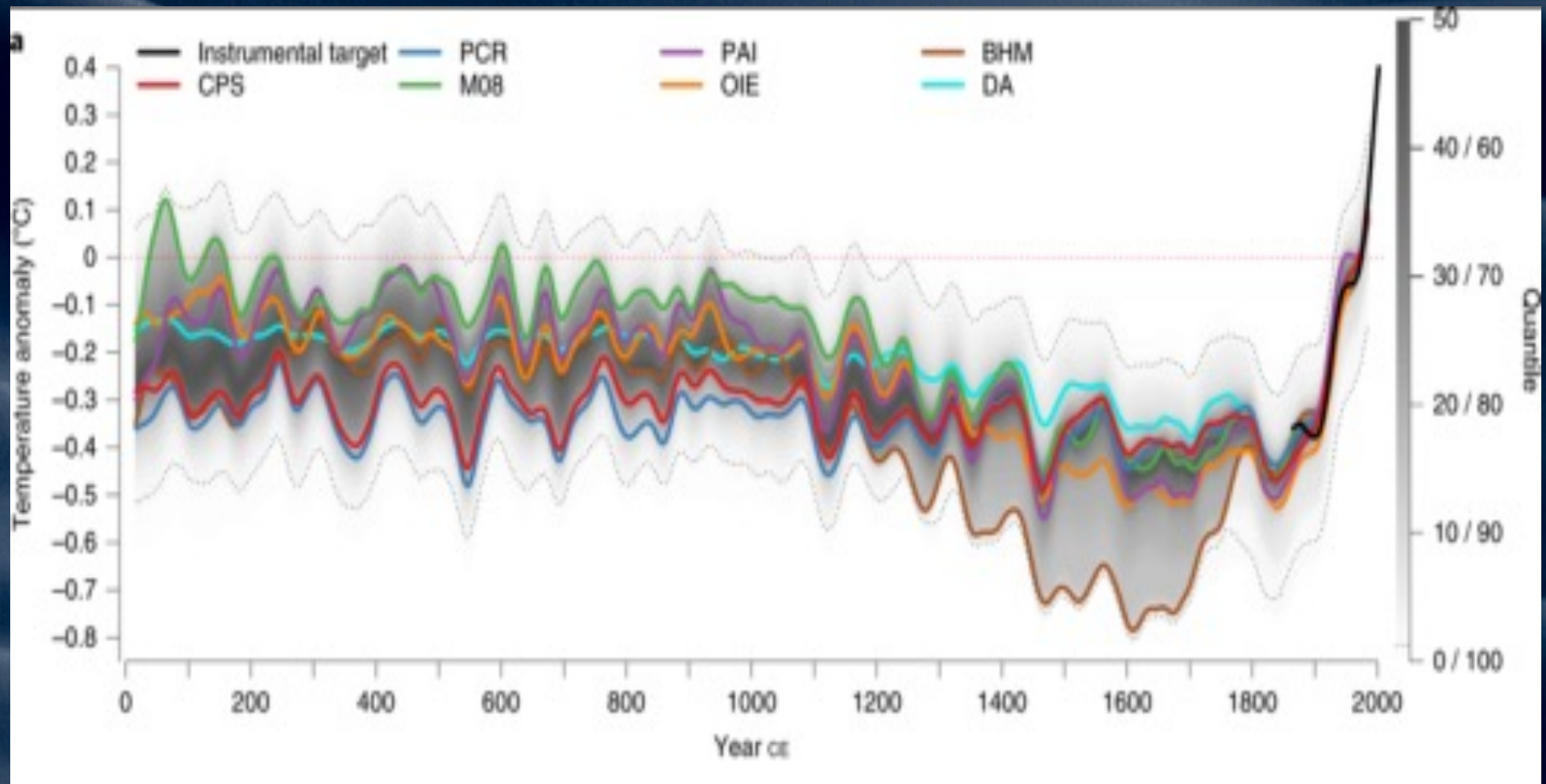




Temperatura media globale, CO<sub>2</sub> atmosferica e attività delle macchie solari dal 1850. il numero di macchie solari è correlato all'intensità della radiazione solare. Linee spesse per temperatura e macchie solari rappresentano la media mobile di 25 anni,



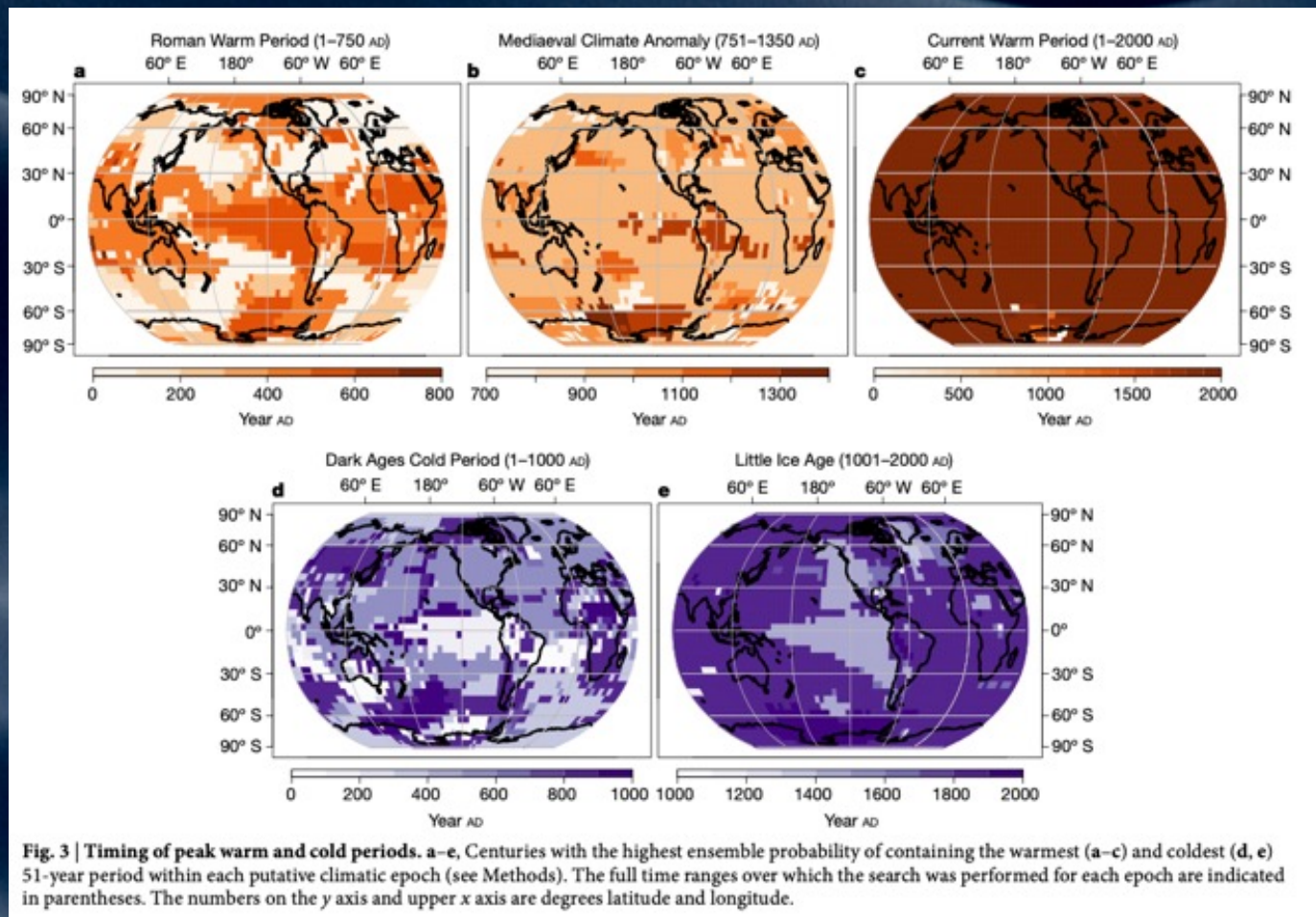
# ANOMALIE DI TEMPERATURA DEGLI ULTIMI 2 MILA ANNI



Anomalie di temperatura degli ultimi 2 mila anni rispetto al 1961–90. Le linee colorate rappresentano mediane con filtro passa-basso di 30 anni per i singoli metodi di ricostruzione. La curva nera è il dato strumentale per il 1850–2017 (PAGES 2K, 2019).



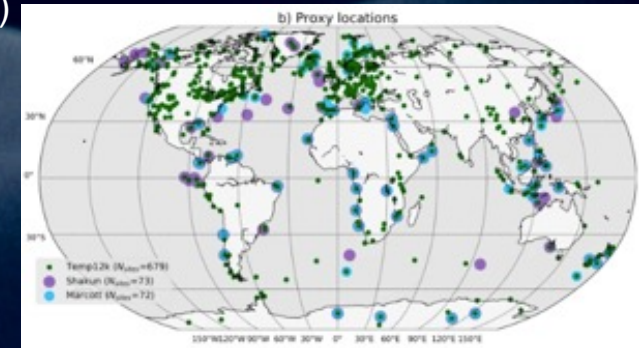
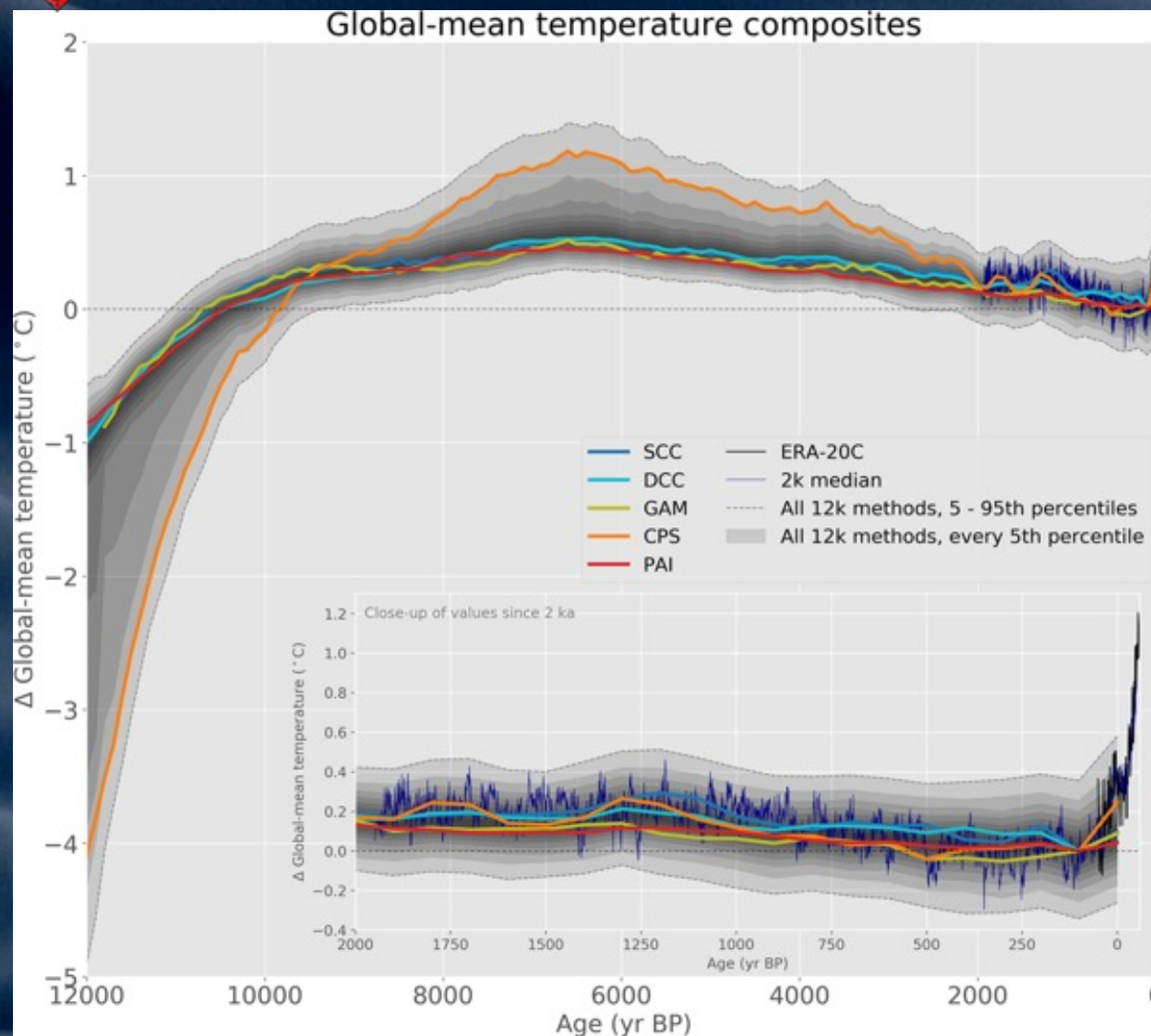
# ANOMALIE DI TEMPERATURA DEGLI ULTIMI 2 MILA ANNI



È molto probabile che l'epoca più fredda dell'ultimo millennio, la presunta Piccola Era Glaciale, abbia avuto le temperature più fredde durante il XV secolo nell'Oceano Pacifico centrale e orientale, durante il XVII secolo nell'Europa nordoccidentale e nel Nord America sudorientale e durante il metà del XIX secolo su gran parte delle restanti regioni. Inoltre, la coerenza spaziale che esiste durante l'era comune preindustriale è coerente con la coerenza spaziale della variabilità climatica stocastica. Questa mancanza di coerenza spaziotemporale indica che la forzatura preindustriale non era sufficiente per produrre temperature estreme sincrone a livello globale su scale temporali pluridecennali e centenarie. Al contrario, troviamo che il periodo più caldo degli ultimi due millenni si è verificato durante il ventesimo secolo per oltre il 98% del globo. Ciò fornisce una forte evidenza che il riscaldamento globale antropogenico non solo non ha eguali in termini di temperature assolute, ma anche in termini di consistenza spaziale nel contesto degli ultimi 2000 anni. (Neukom et al. 2019)



# HOLOCENE GLOBAL MEAN SURFACE TEMPERATURE, A MULTI-METHOD RECONSTRUCTION APPROACH (Kauffman et al. 2020)

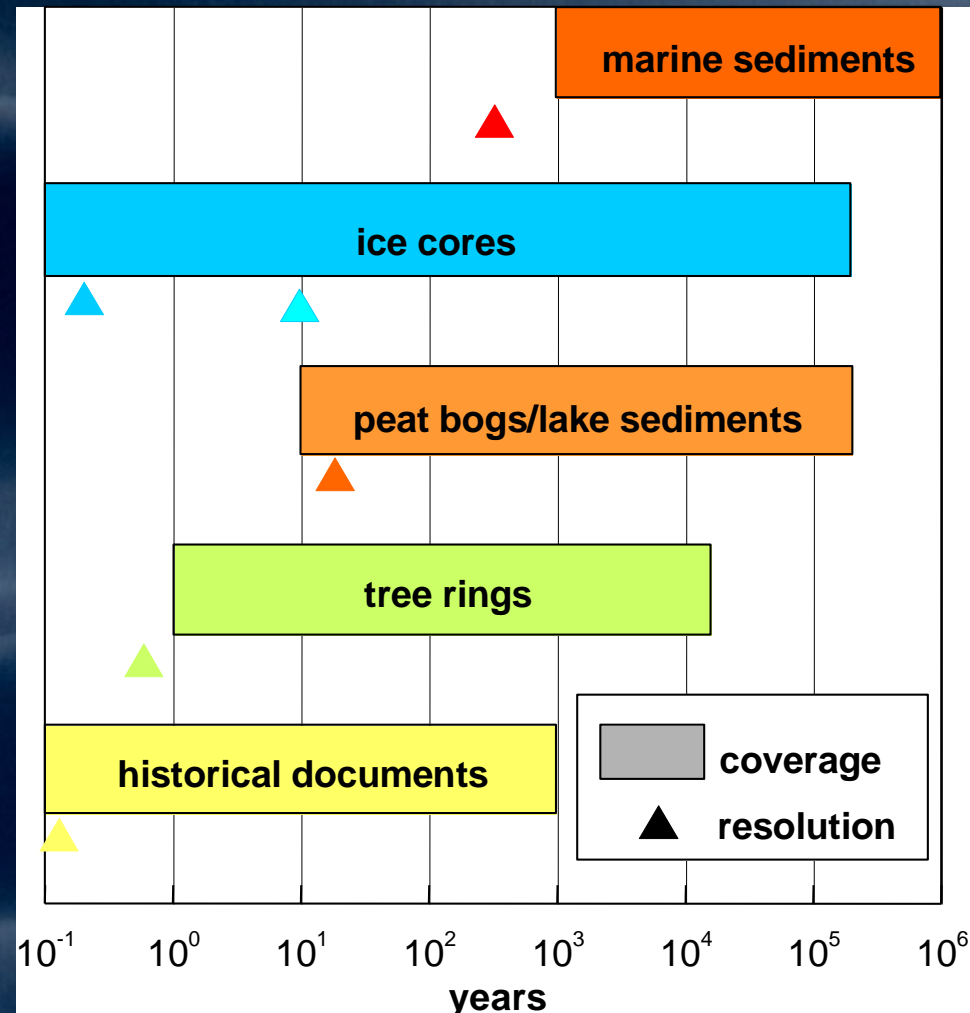
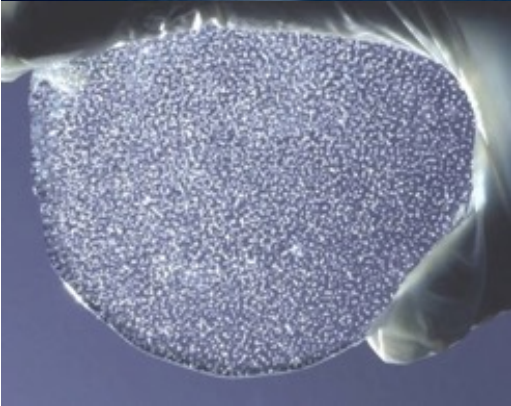


Un ampio nuovo database multi-proxy di serie temporali di paleo-temperatura (temperatura 12k) consente un'analisi solida della temperatura superficiale media globale (GMST). L'intervallo di 200 anni più caldo si è verificato circa 6.5 kyr BP (massimo termico Olocenico), quando il GMST era di  $0.7^{\circ}$ C ( $0.3/1.8$ ) più caldo della media 1850-1900 AD. Dopo il massimo termico globale dell'Olocene, il GMST si è raffreddato a una velocità media di  $-0.08^{\circ}$ C per 1000 anni. Il GMST dell'ultimo decennio (2011-2019) è stato in media di  $1^{\circ}$ C più alto rispetto al periodo 1850-1900. Per l'80% dei membri dell'ensemble, nessun intervallo di 200 anni negli ultimi 12 kyr ha superato la temperatura dell'ultimo decennio. Per il restante 20% dei casi, che derivano principalmente dalla ricostruzione del CPS, almeno un intervallo di 200 anni ha superato l'ultimo decennio.

Temperatura superficiale media globale dal database Temperature 12k utilizzando diversi metodi di ricostruzione. La sottile linea nera è un dato strumentale per il periodo 1900-2010 dal prodotto di rianalisi ERA-20C. L'inserito mostra una vista ingrandita degli ultimi 2000 anni.



# Perché carote di ghiaccio? Caratteristiche uniche

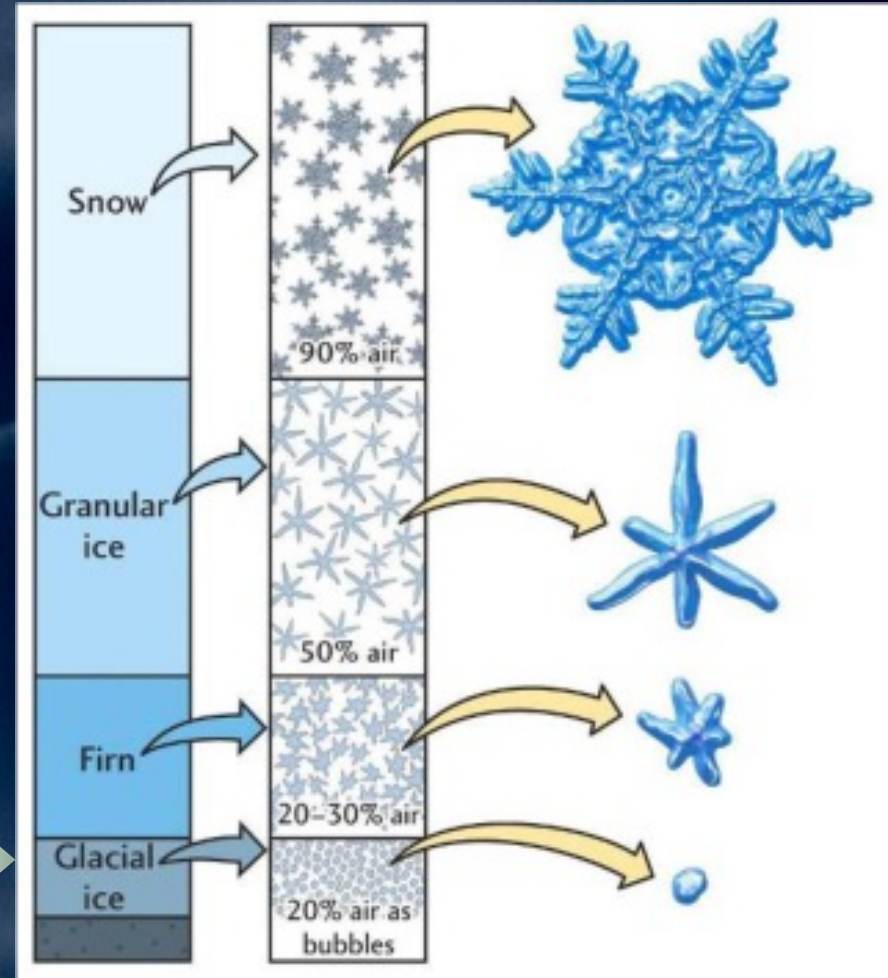


- ❄ record di ghiaccio ad alta risoluzione registra oltre centinaia di migliaia di anni
- ❄ le carote di ghiaccio rappresentano l'unico archivio per la composizione atmosferica



# NEVE E GHIACCIO COME ARCHIVI

- Le carote di ghiaccio sono la cornucopia delle ricostruzioni del paleoclima
- Clima e fattori forzanti nello stesso record
- Risoluzione del clima alta, ma principalmente limitato alle regioni polari



**10 m  
profondità**

**120 m  
profondità**

**230 m  
profondità**

**550 m  
profondità**



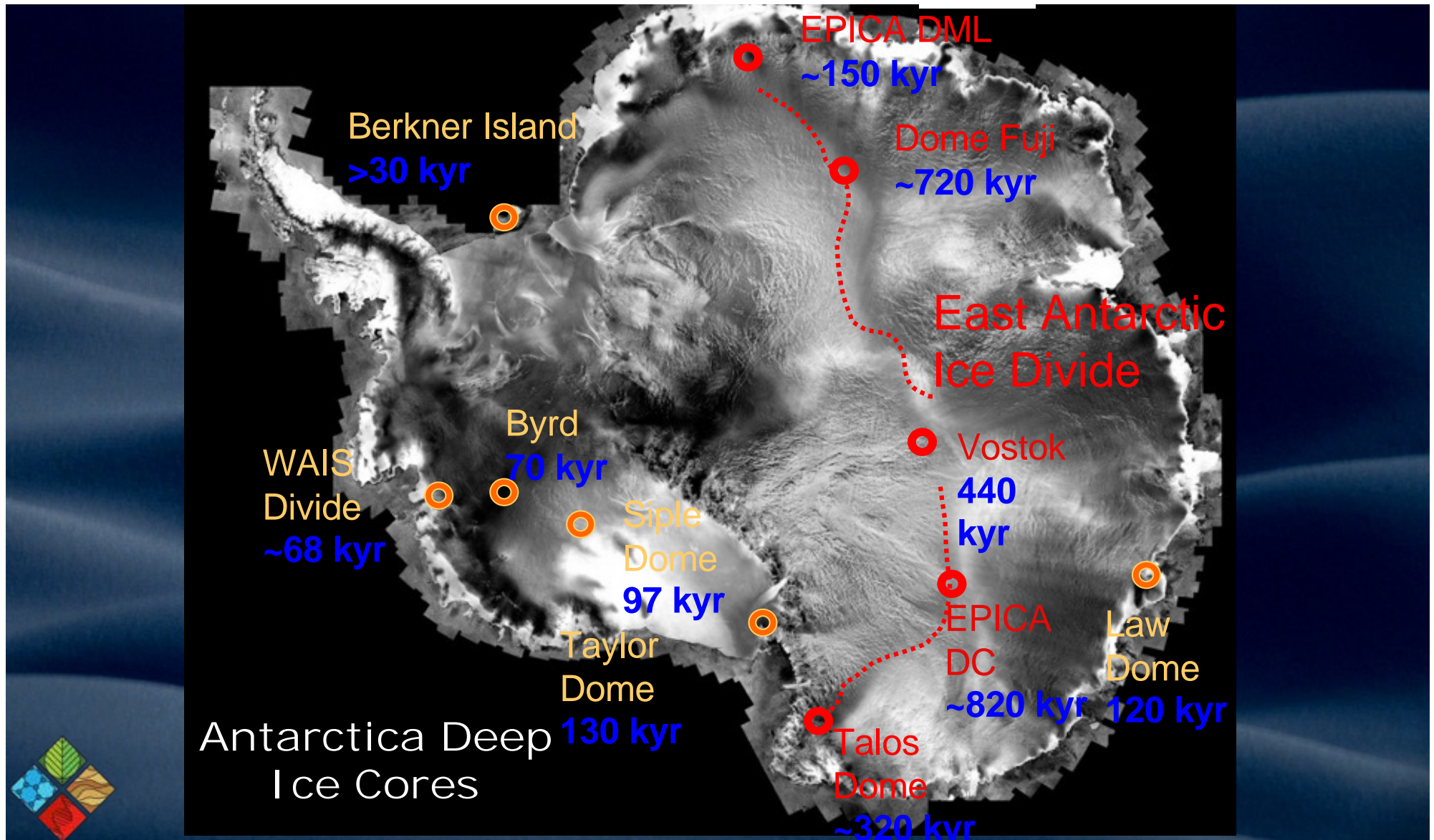
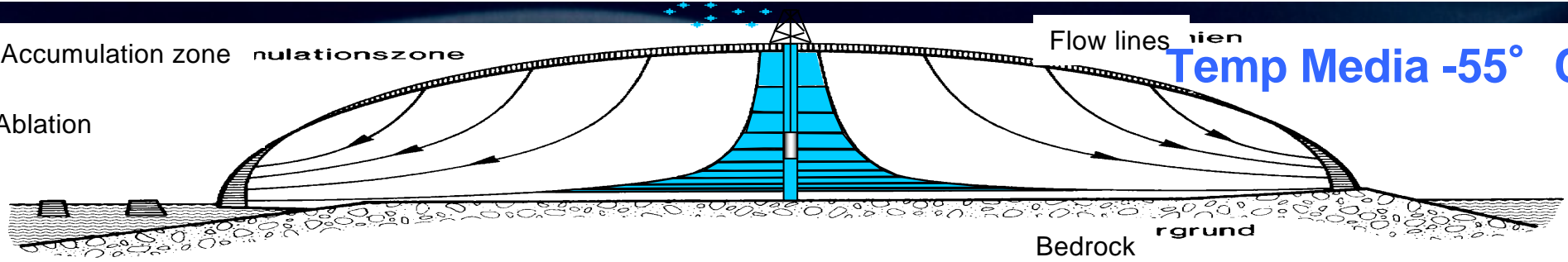
Accumulation zone

nulationszone

Flow lines

Temp Media -55° C

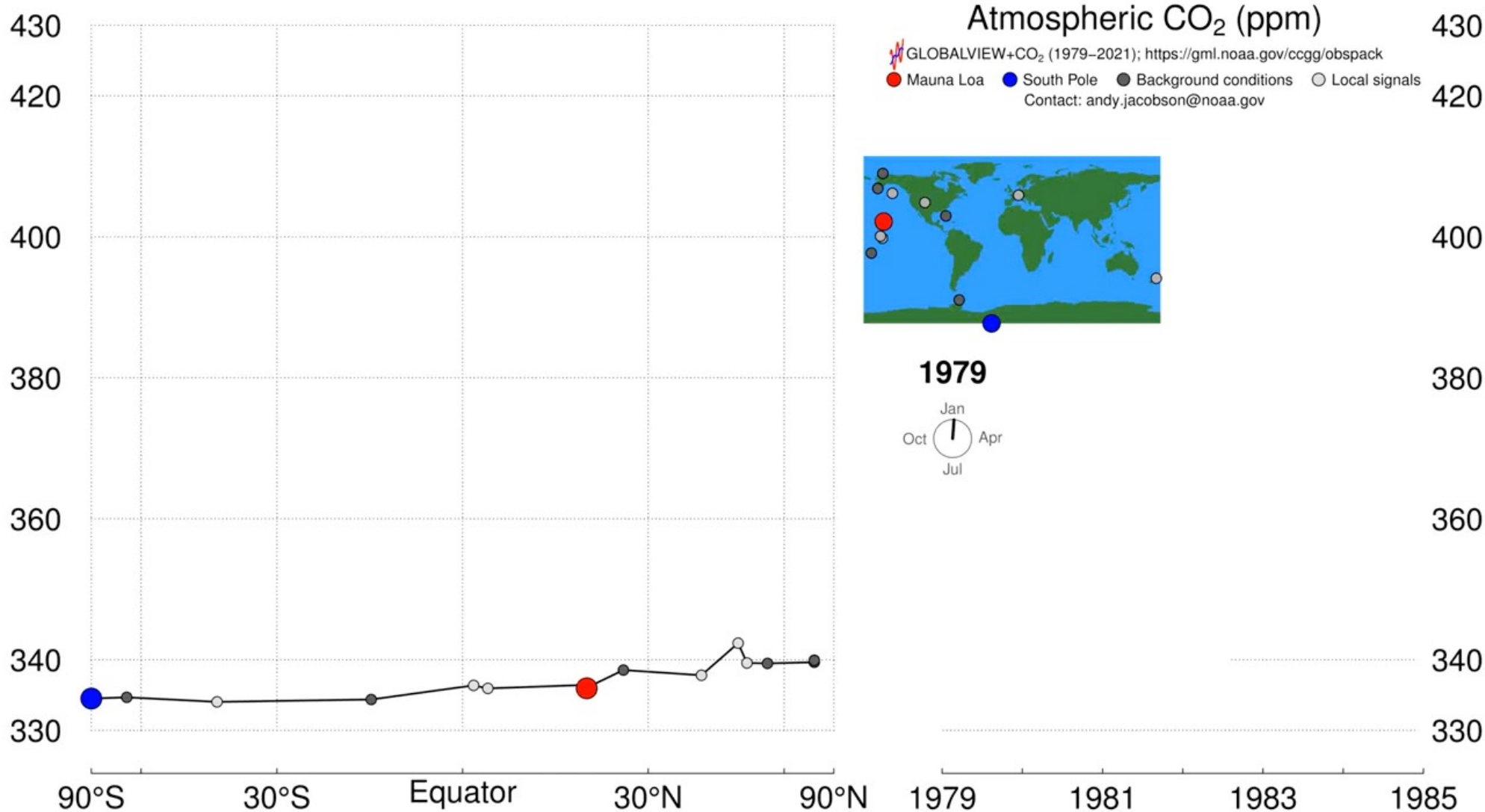
Ablation





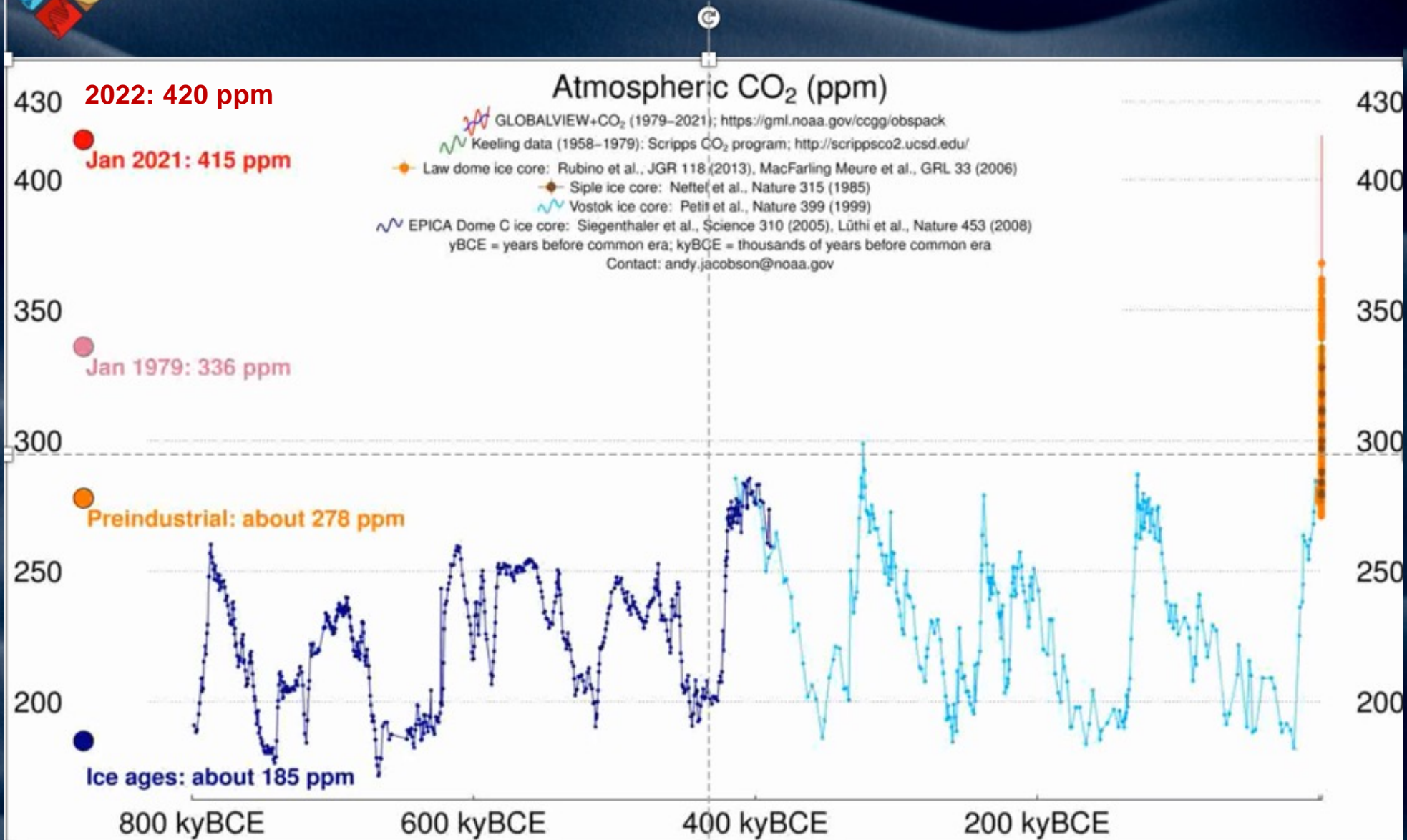


# Concentrazione dell'Anidride Carbonica (CO<sub>2</sub>) in atmosfera



<https://www.youtube.com/watch?v=Mr84tEbCQSg>

# Concentrazione dell'Anidride Carbonica (CO<sub>2</sub>) in atmosfera



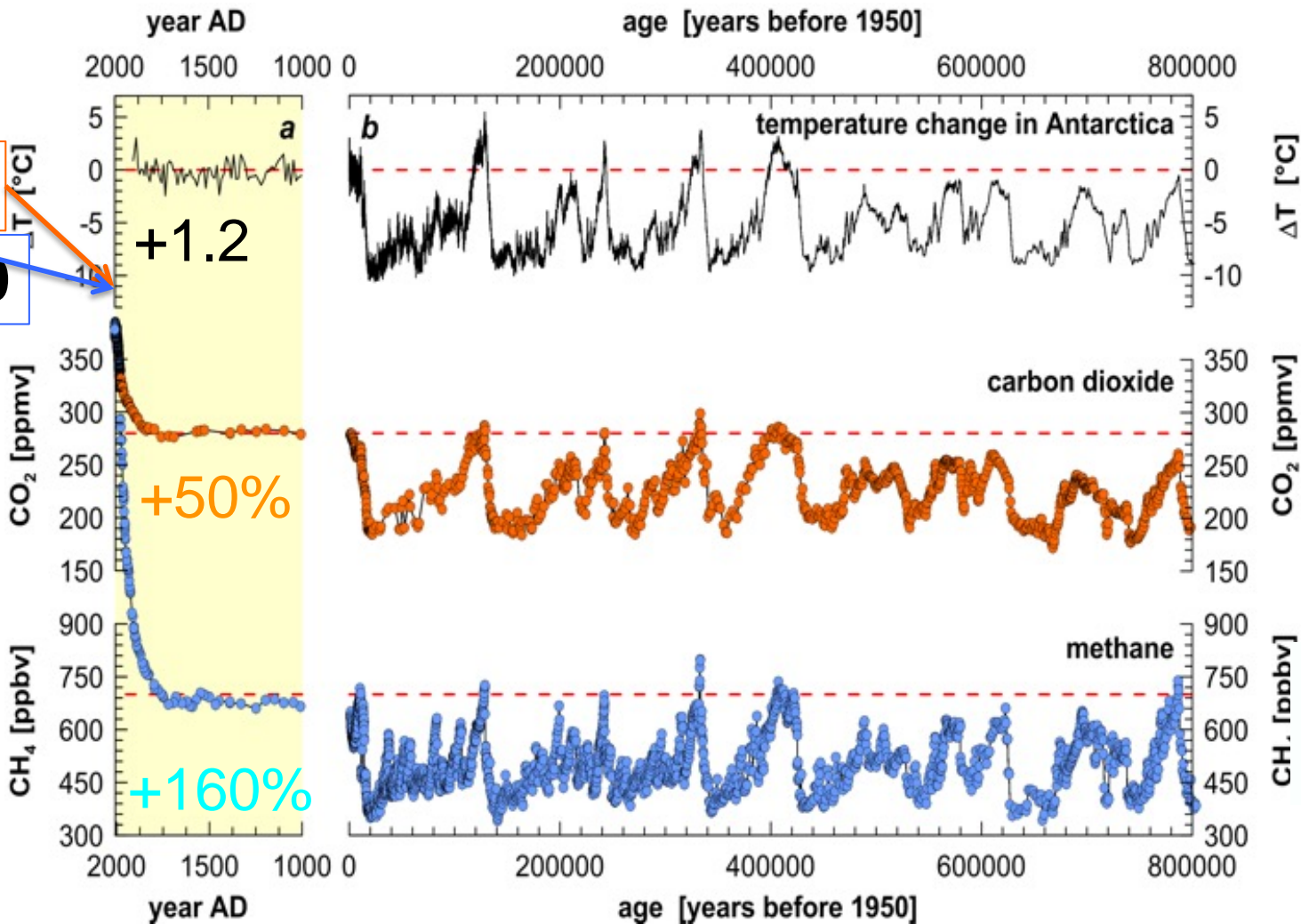


# 800.000 ANNI DI STORIA DEL CLIMA



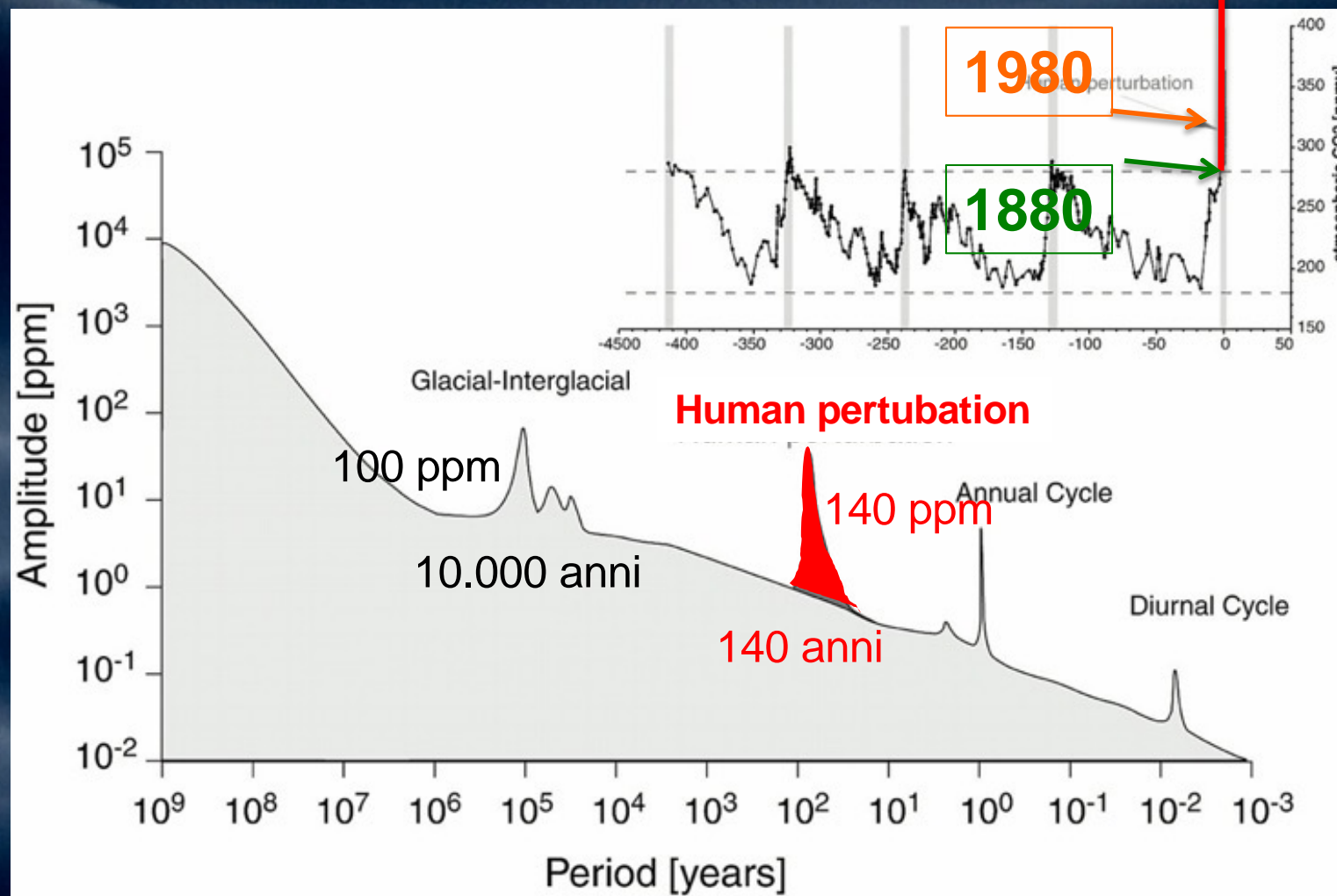
420

2000



EPICA community members, *Nature*, 2004  
Jouzel et al., *Science*, 2007, Lüthi et al.,  
*Nature*, 2008, Loulergue et al., *Nature*, 2008

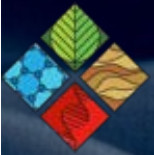
# VARIABILITÀ E AMPIEZZA DI CO<sub>2</sub> NEL TEMPO IN CONDIZIONI NATURALI E ANTROPOGENICHE



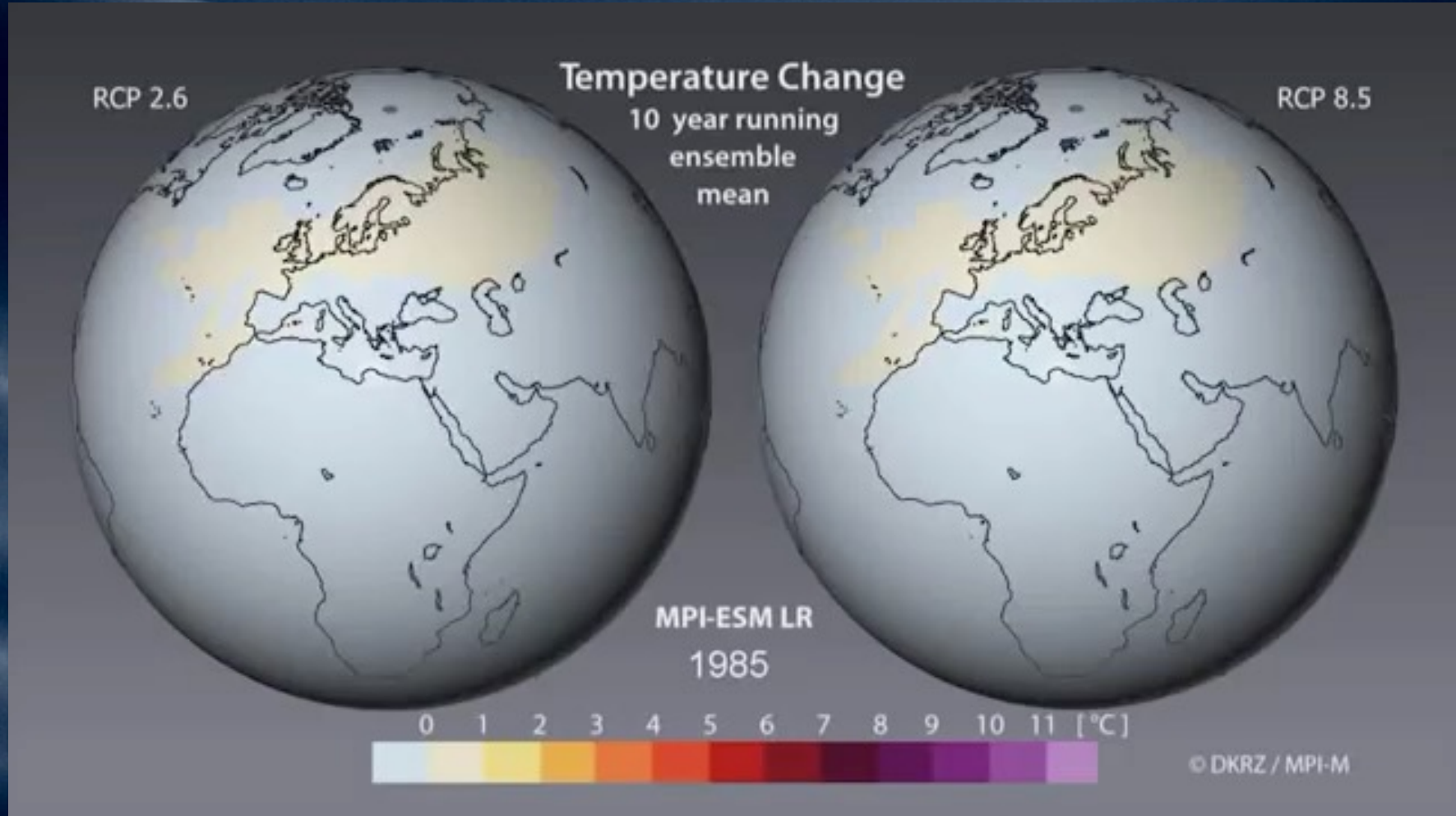
- Il più alto tasso di aumento preindustriale di CO<sub>2</sub> è di 3,6 ppm/secolo da 14,6 kyr BP a 14,3 kyr BP
- 20 volte inferiore alla media di 71 ppm/secolo nel corso del XX secolo e 70 volte inferiore ai 2,5 ppm/anno 2017-18).

Joos & Spahni, 2008 modificato



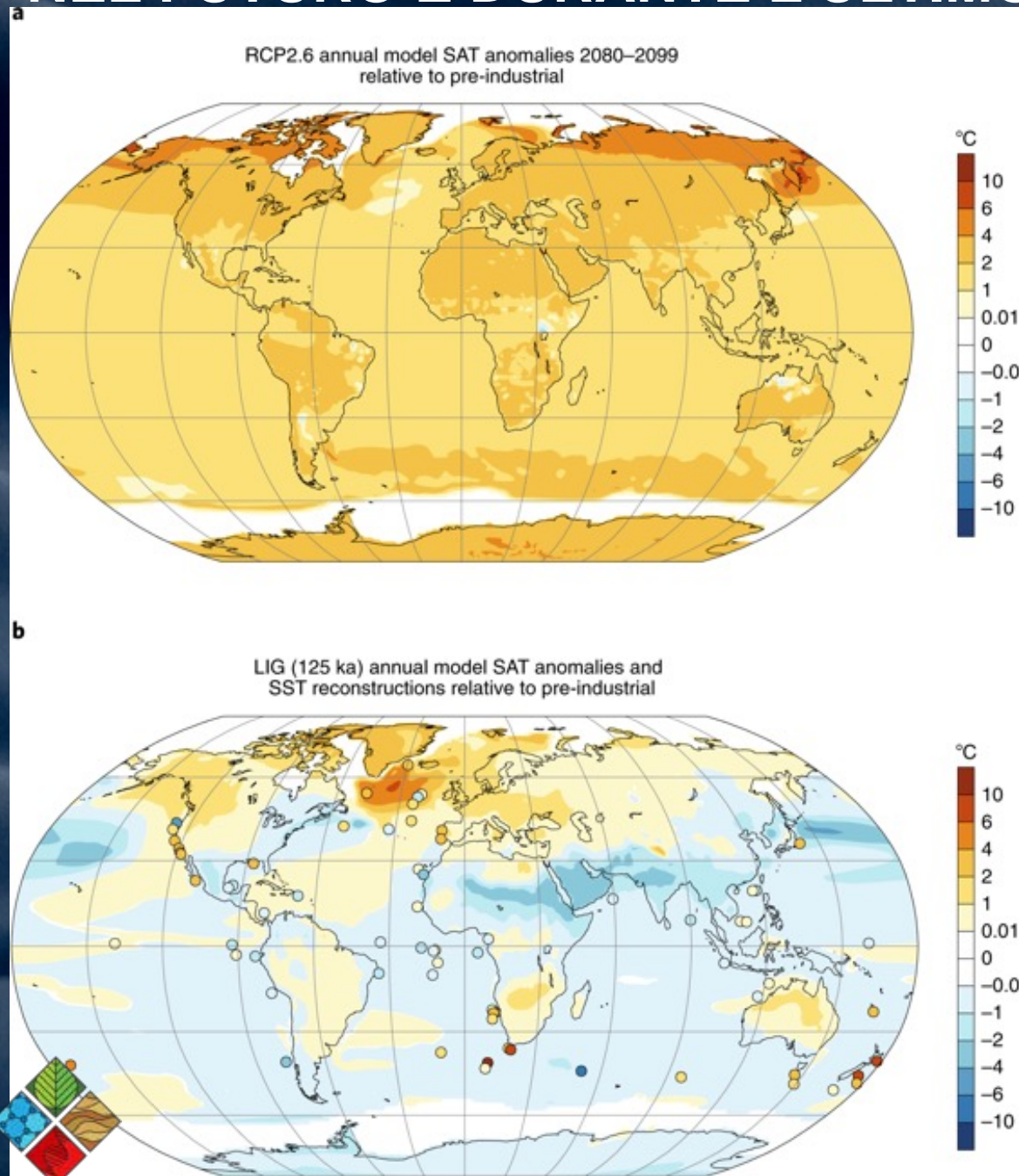


# Scenari di variazione della temperature dal 1985 al 2011 in due scenari RCP2.6 "riduzione emission" e RCP8.5 "bussiness as usual"



[https://www.youtube.com/watch?v=dBHL\\_7dEpTg](https://www.youtube.com/watch?v=dBHL_7dEpTg)

# CONFRONTO MODELLO-DATI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI NEL FUTURO E DURANTE L'ULTIMO INTERGLACIALE (LIG).



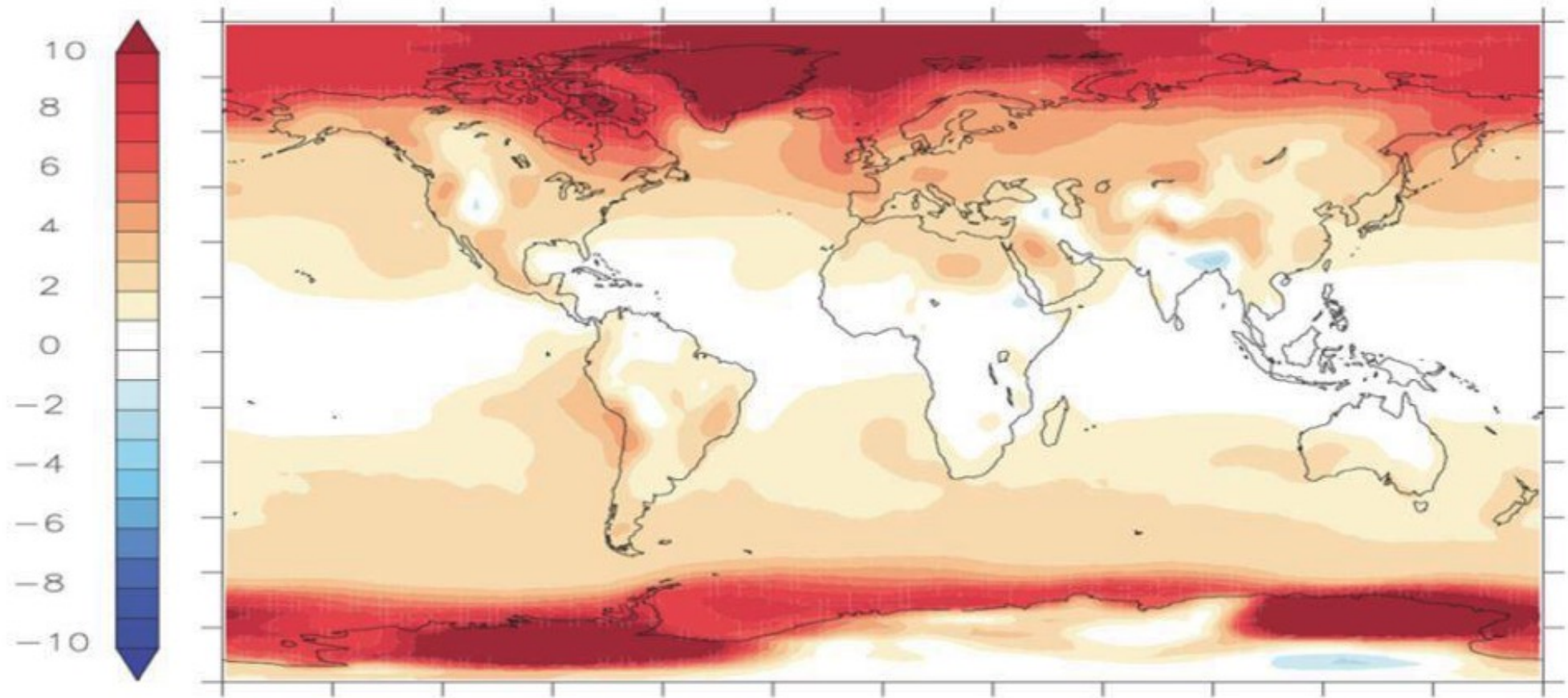
**a**, risultati del modello di modello RCP2.6 (CCSM4) delle anomalie medie annue della temperatura dell'aria superficiale (SAT) per l'intervallo di tempo 2080-2099 rispetto al periodo di riferimento preindustriale, 1850-1900. (RCP 2.6 presuppone che le emissioni globali di GHG annuali raggiungano un picco tra il 2010-2020 a circa 450 ppmv, successivamente l'emissioni diminuiscono sostanzialmente)

**b**, anomalie osservate dell'ultimo interglaciale (125 ka) della temperatura della superficie del mare (SST) annuale relative al periodo di riferimento di 1870-1889 (punti) sopra le anomalie SAT CCSM3 per la finestra temporale di 125 ka relativa al 1850.

Le aree bianche nelle regioni polari nei pannelli **a** e **b** rappresentano l'estensione modellata del ghiaccio marino. (Fisher et al., NaGeo 2018)



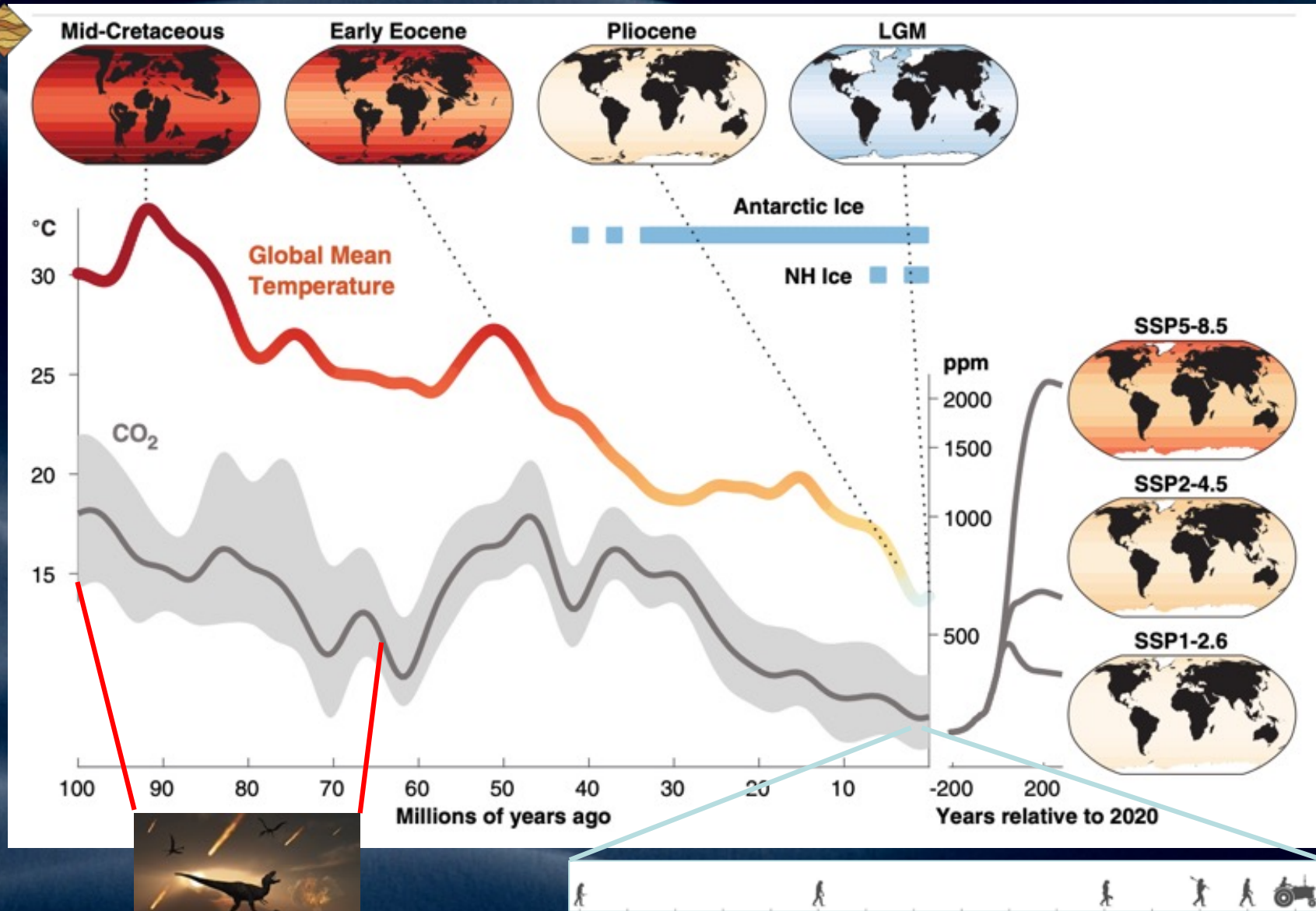
La temperatura della Terra 3 Milioni di anni fa  
**Globale = +3°C, circa CO<sub>2</sub> 400-420 ppb**



Haywood et al (Climates of the past, 2012)

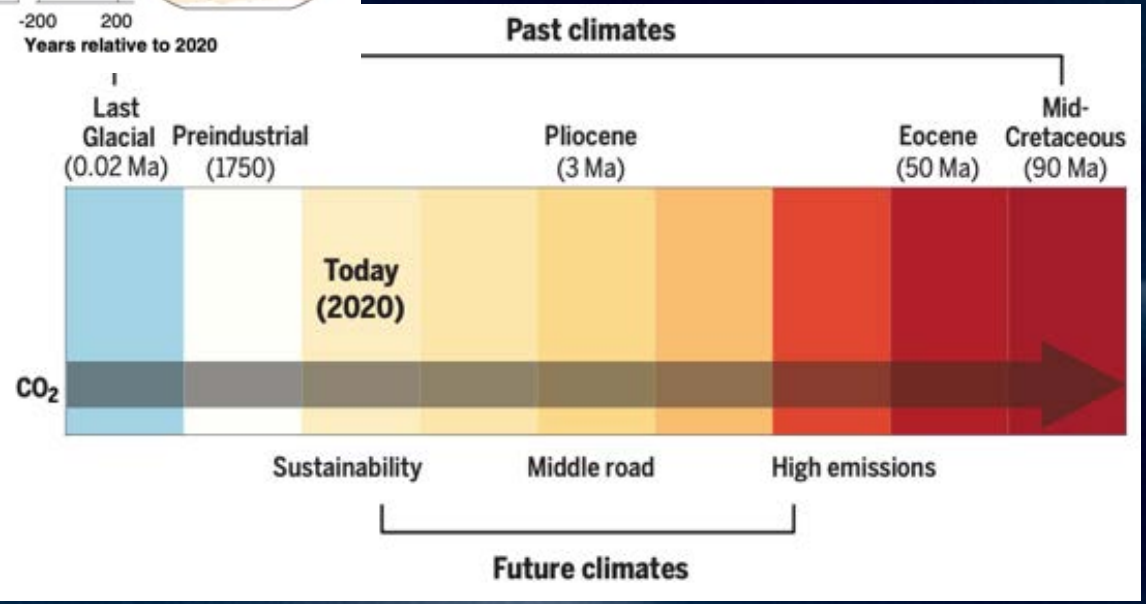
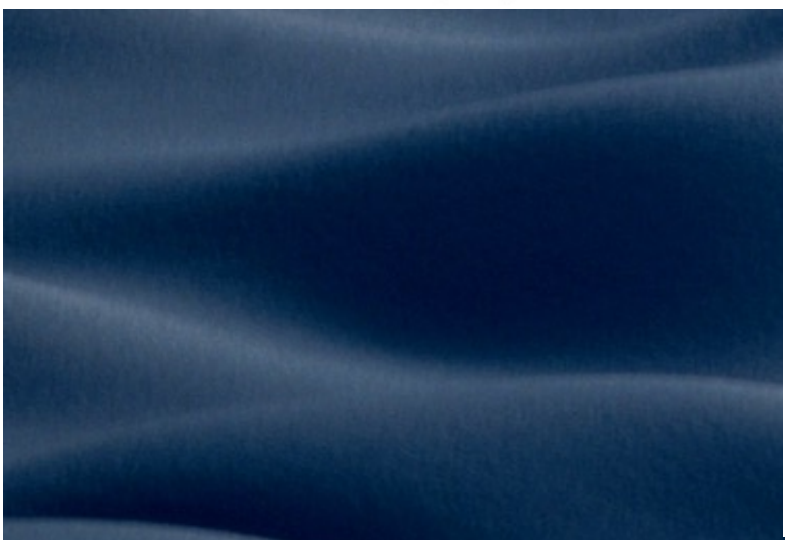
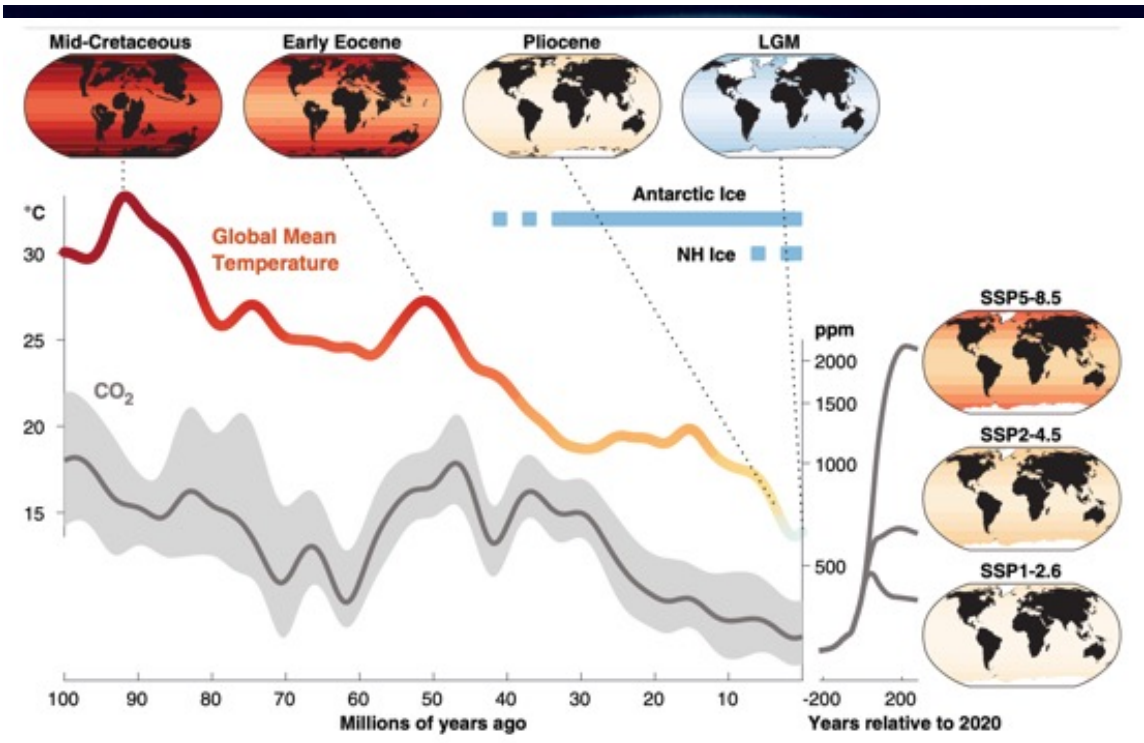
L'amplificazione della temperatura polare non è una buona notizia per le calotte polari  
Regioni polari = + 7 °C,

Livello del mare medio globale 25 m (Dimitru et al., 2019)



Contesto paleoclimatico per scenari climatici futuri. La temperatura superficiale media globale degli ultimi 100 milioni di anni stimata dal bentonico  $\delta^{18}\text{O}$  mentre la  $\text{CO}_2$  è stimata dal set di dati multiproxy. (Tierney et al., 2020, modificato)

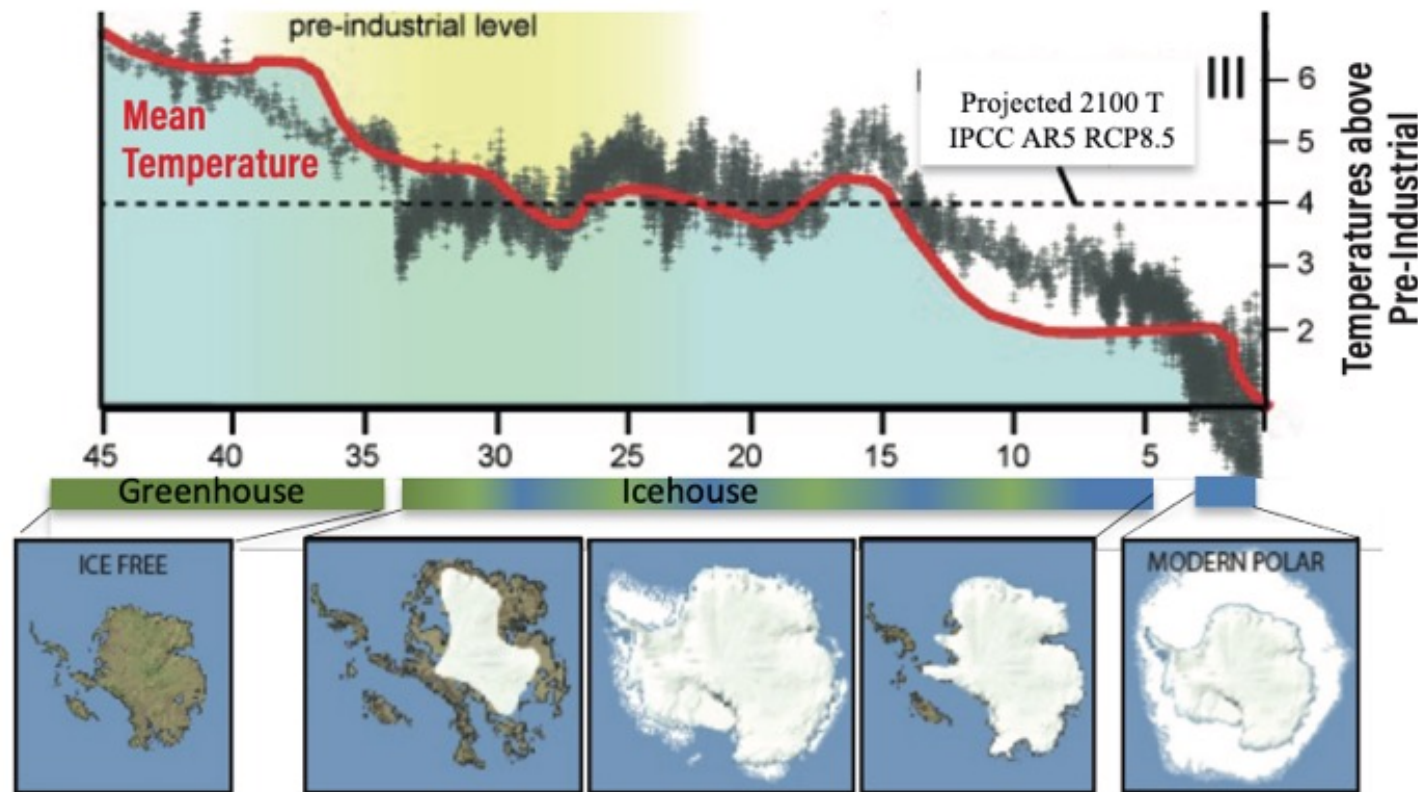
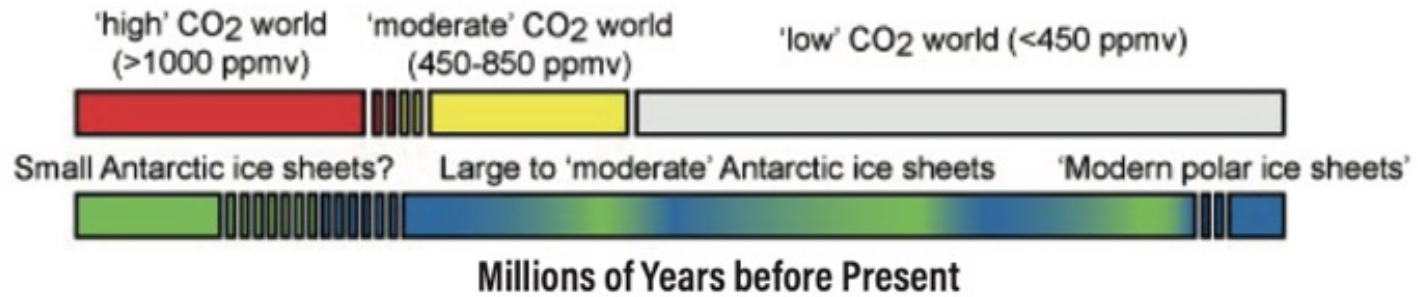




Contesto paleoclimatico per scenari climatici futuri. La temperatura superficiale media globale degli ultimi 100 milioni di anni stimata dal bentonico  $\delta^{18}\text{O}$  mentre la  $\text{CO}_2$  è stimata dal set di dati multiproxy. (Tierney et al., 2020, modificato)

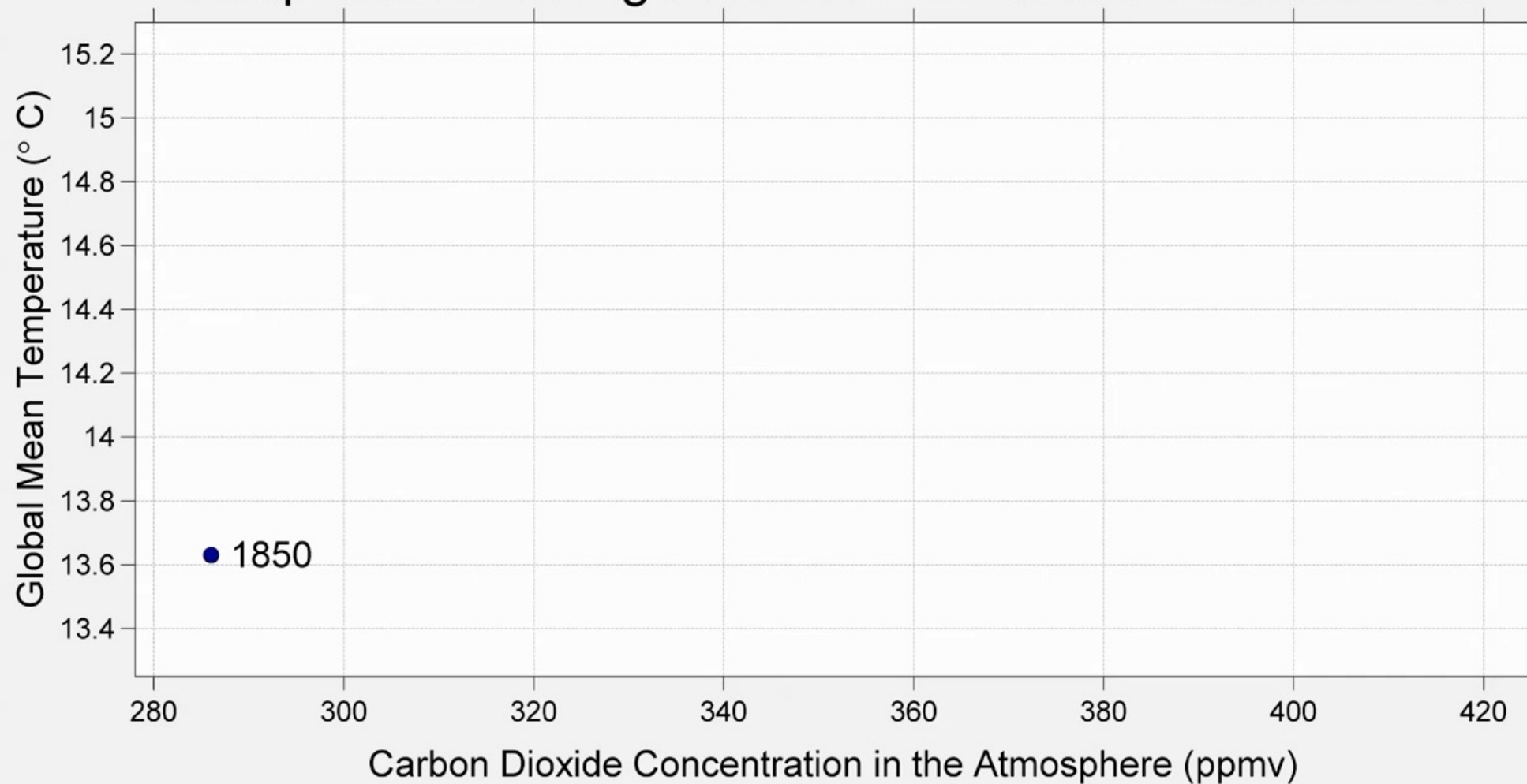


# Antarctica with Past CO<sub>2</sub> Concentrations and Temperature





## Temperature Change vs. Carbon Dioxide Concentration





UN  
environment  
programme

## The Closing Window

Climate crisis calls for rapid transformation of societies



Executive Summary

Emissions Gap Report 2022

Grazie per la vostra attenzione

[massimo.frezzotti@uniroma3.it](mailto:massimo.frezzotti@uniroma3.it)