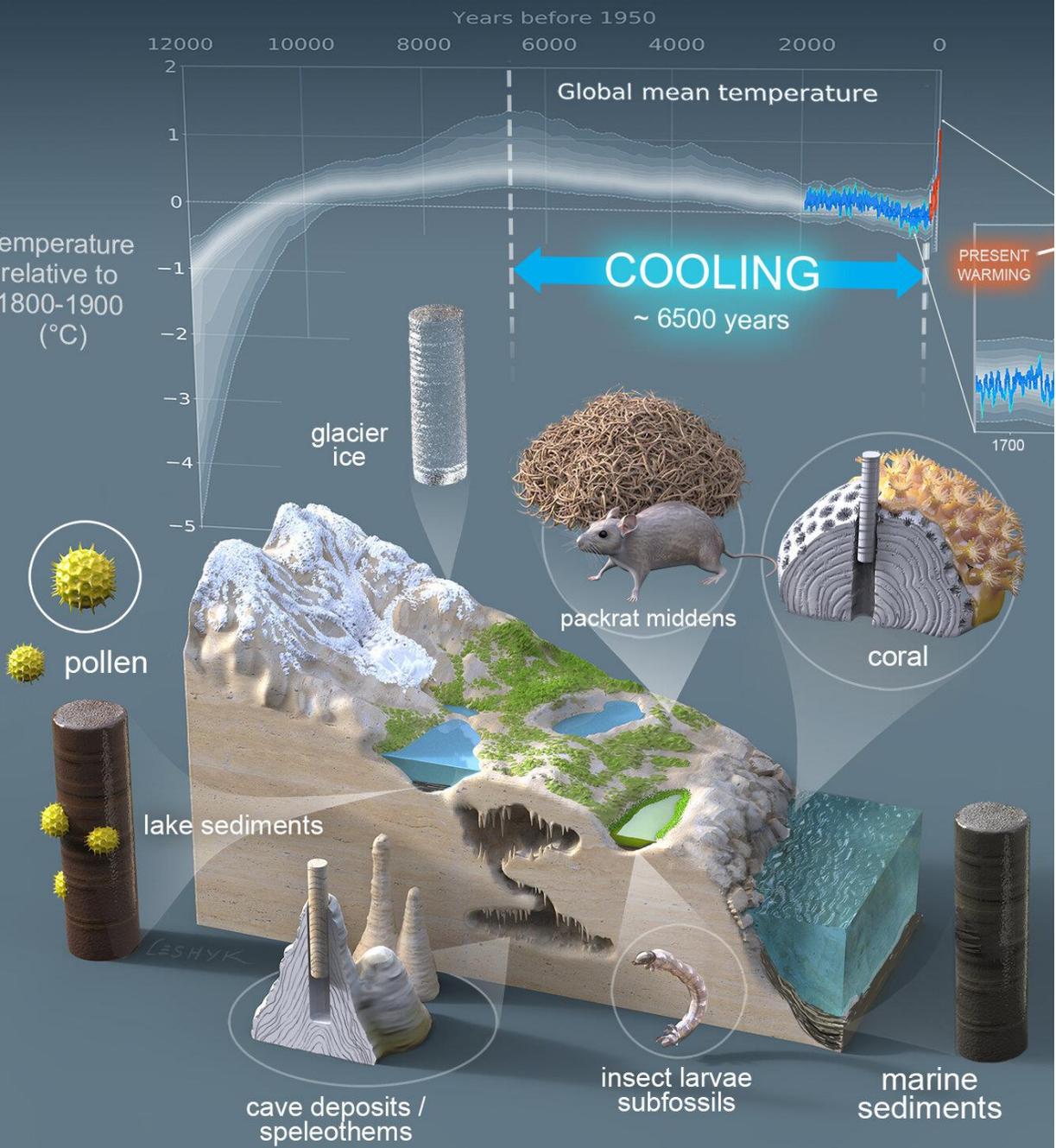


Holocene global mean surface temperature. Credit: Victor O. Leshyk, Northern Arizona University - <https://phys.org/news/2020-06-major-paleoclimatology-global-upended-years.html>



Giornata di studio sul cambiamento climatico

Lezioni dal passato per un futuro climatico sostenibile

Aula Magna del Rettorato - 31 maggio 2024

Come ricostruire il clima del passato attraverso archivi e dati vicarianti

Adele Bertini

Dipartimento di Scienze della Terra
Università degli Studi di Firenze
adele.bertini@unifi.it



ASK NASA CLIMATE

Too Hot to Handle

As Earth's climate warms, incidences of extreme heat and humidity are rising, with significant consequences for human health. Climate scientists are tracking a key measure of heat stress that can warn us of harmful conditions.

FULL STORY

Carbon Dioxide

↑ 427 parts per million

Global Temperature

↑ 1.4 °C since preindustrial

Methane

↑ 1932 parts per billion

Arctic Sea Ice Minimum Extent

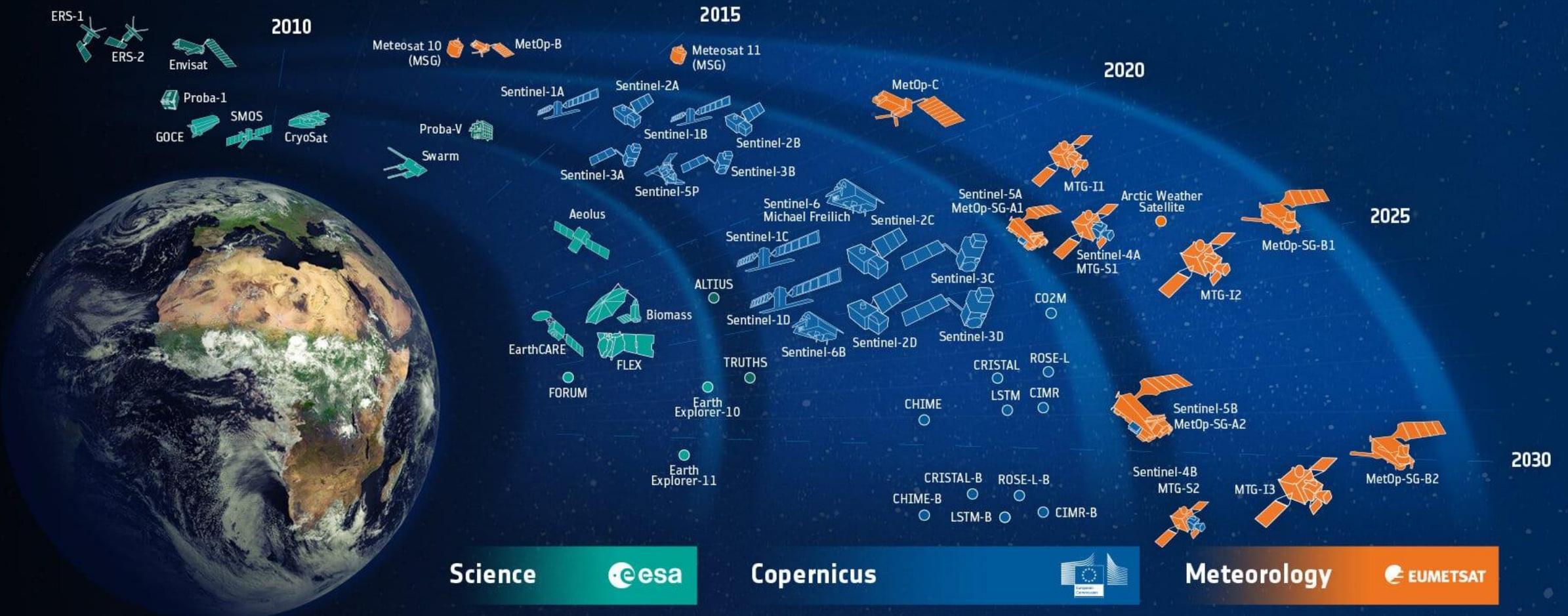
↓ 12.2 percent per decade since 1979

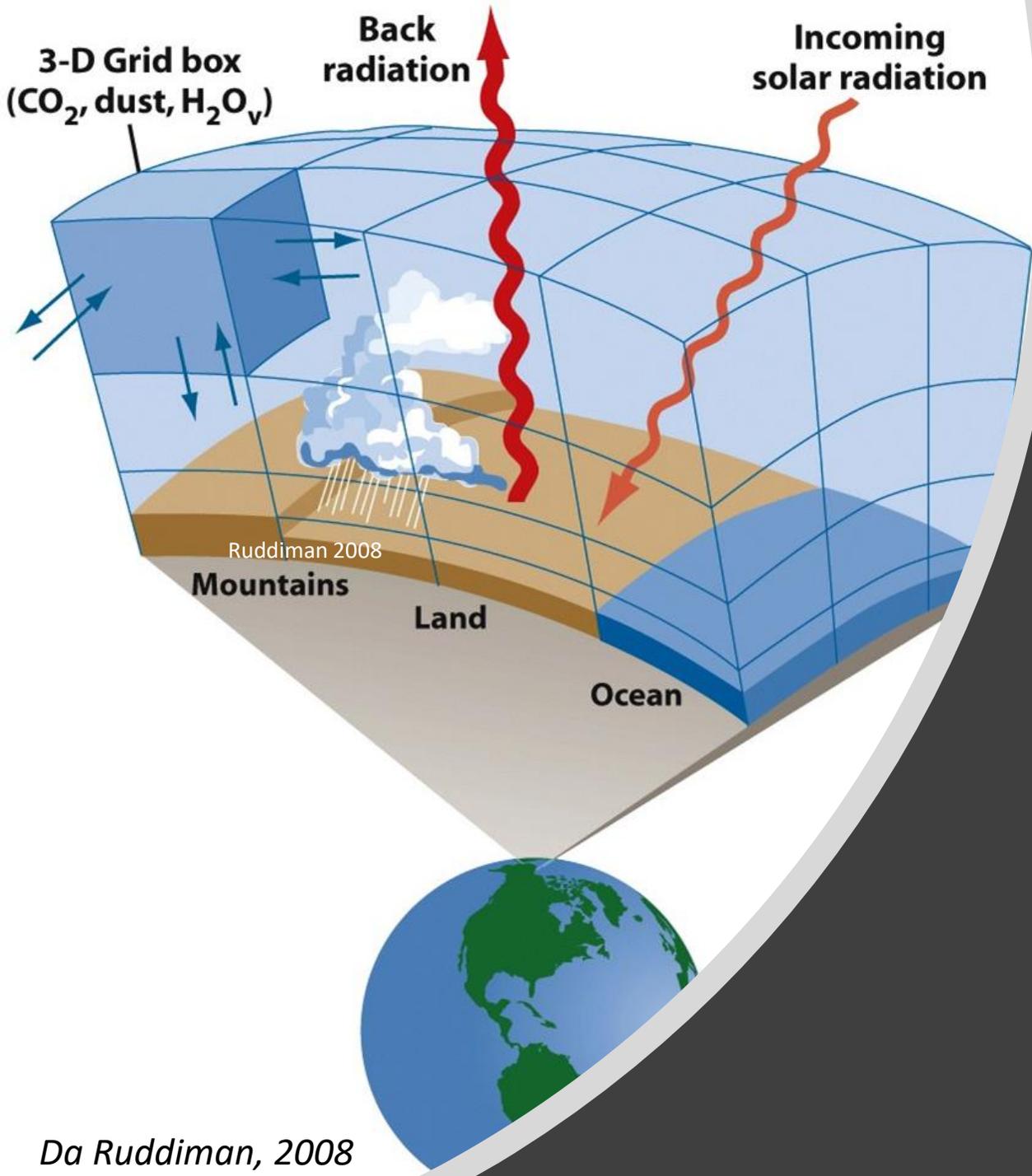
Ice Sheets

↓ 408 billion metric tons per year

I SEGNI VITALI DEL PIANETA TERRA TESTIMONIANO OGGI LE CONSEGUENZE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO GLOBALE SOTTO LA SPINTA CRESCENTE DEL FATTORE ANTROPICO.

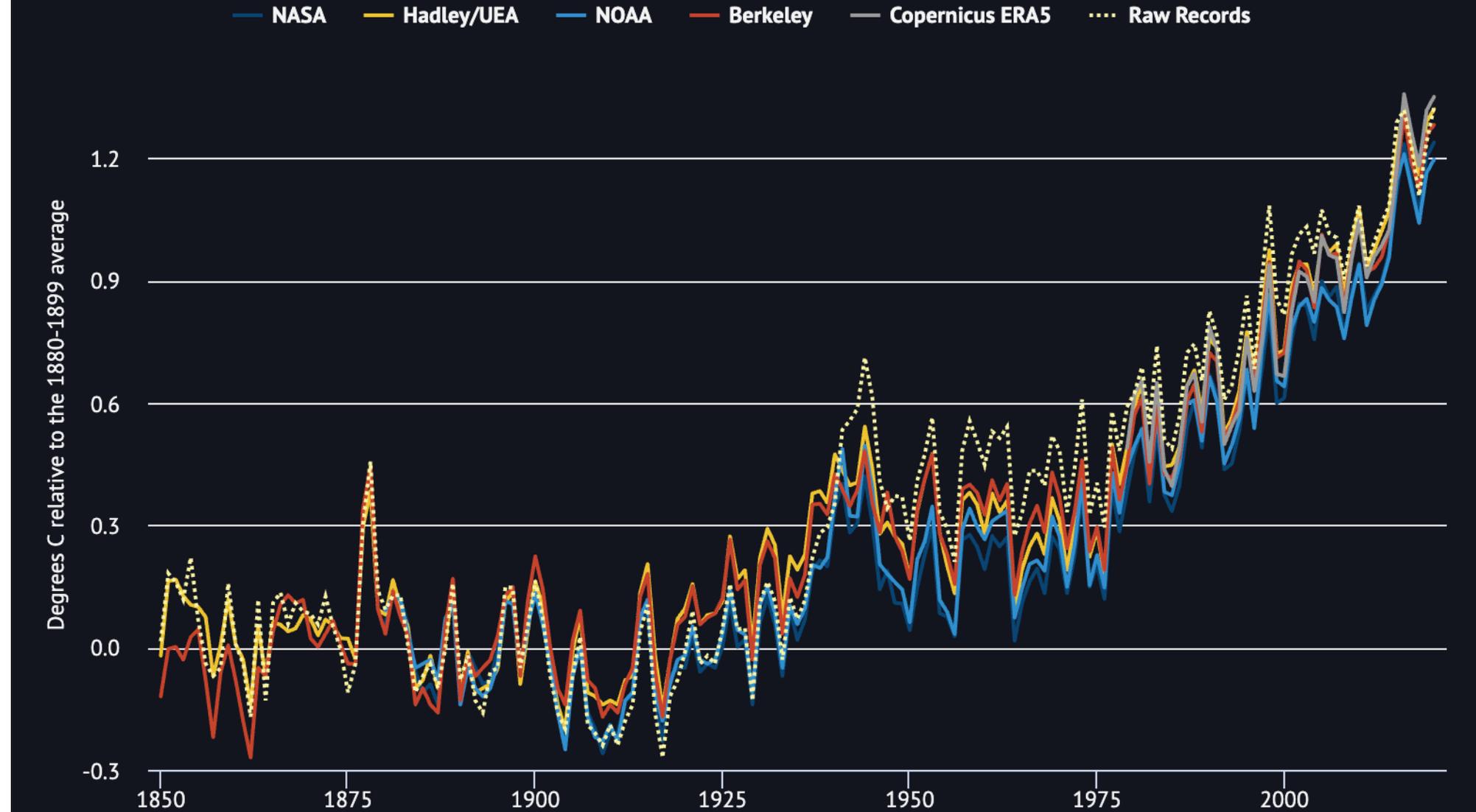
ESA-DEVELOPED EARTH OBSERVATION MISSIONS





I modelli del clima globale
- simulazioni al computer.

Global surface temperature records, 1850-2020



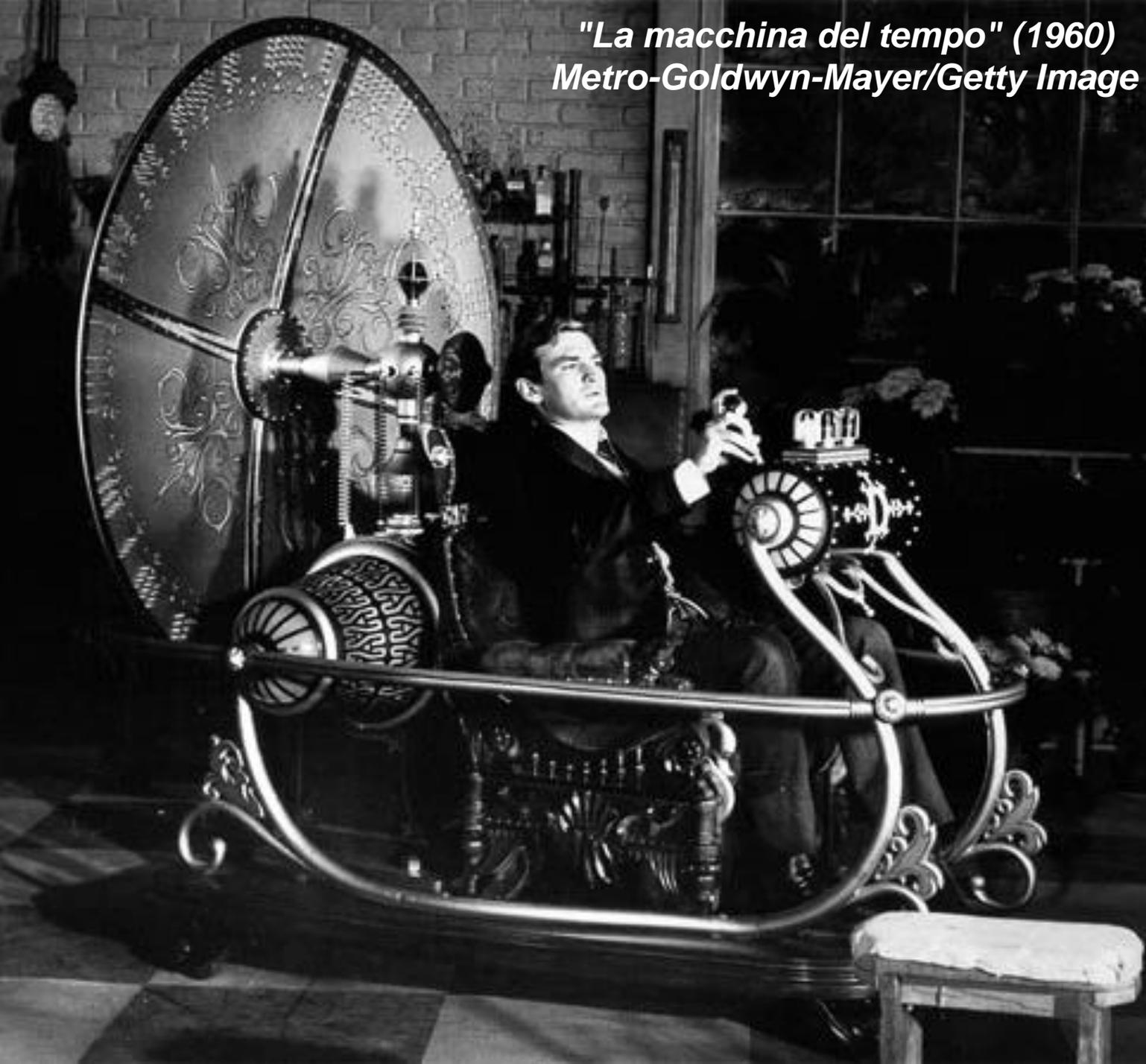
Annual global average surface temperatures from 1850-2020

Data from [NASA GISTEMP](#), [NOAA GlobalTemp](#), [Hadley/UEA HadCRUT5](#), [Berkeley Earth](#) and Carbon Brief's raw temperature record.

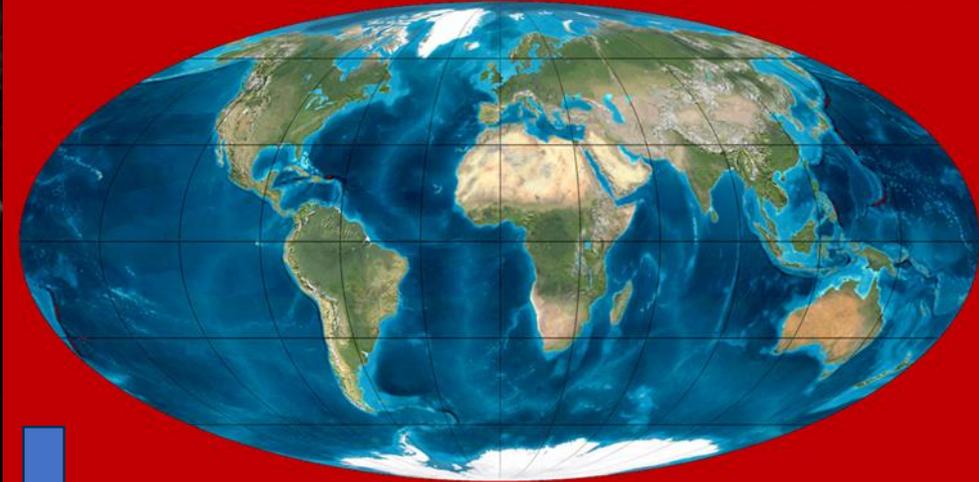
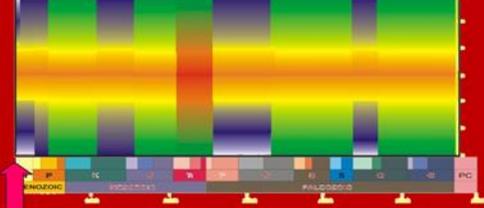
1979-2000 temperatures from [Copernicus ERA5](#) (as the reanalysis record starts in 1979).

Anomalies plotted with respect to a 1880-1899 baseline to show warming since the preindustrial period.

**"La macchina del tempo" (1960)
Metro-Goldwyn-Mayer/Getty Image**

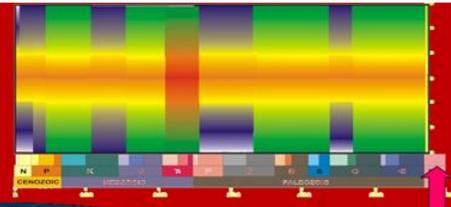


Present

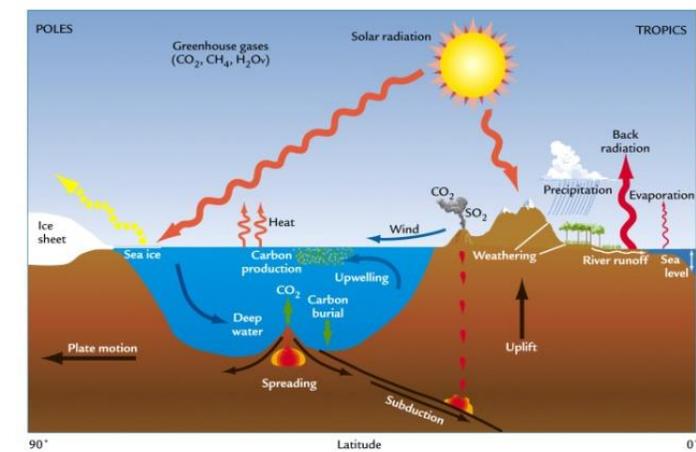


Da Earth's Climate History Plate Tectonics (William W. Hay)

600 Ma Late Precambrian



Sistema climatico terrestre e sue componenti



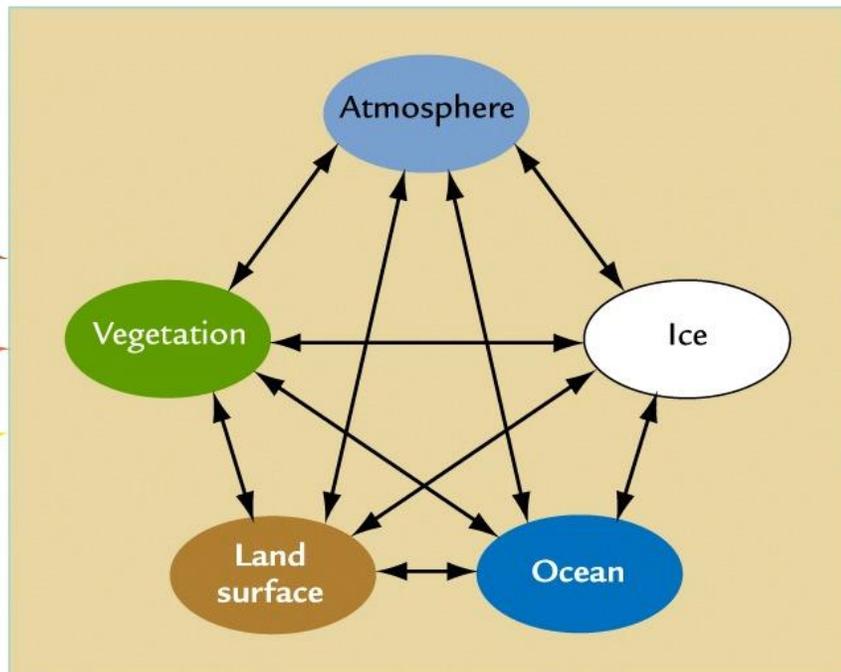
CAUSES
(external forcing)

Changes in
plate tectonics

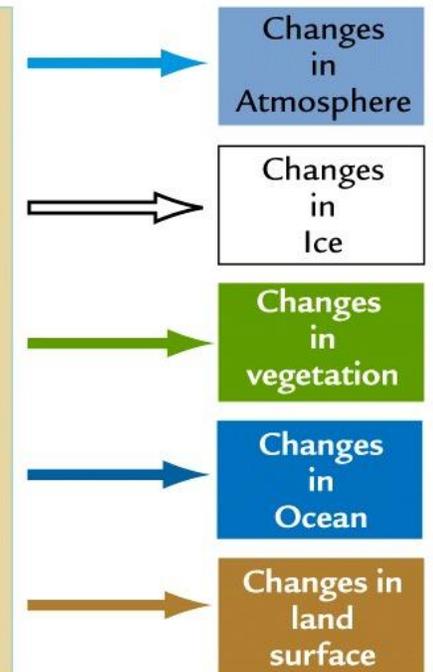
Changes in
Earth's orbit

Changes in
Sun's strength

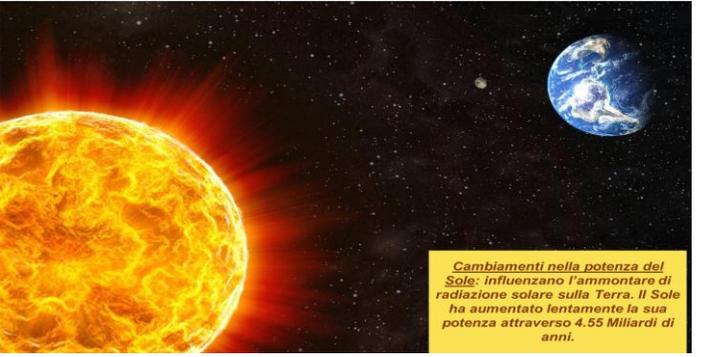
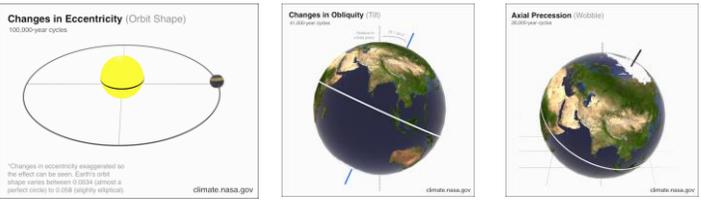
CLIMATE SYSTEM
(internal interactions)



CLIMATE VARIATIONS
(internal responses)



<https://www.youtube.com/watch?v=PDtMH7RwupQ>



Da Ruddiman, 2008

ATTENZIONE A FACILI FRINTENDIMENTI!

- **IL CLIMA È CAMBIATO NEL PASSATO SOTTO LA SPINTA DI FATTORI NATURALI E CONTINUERÀ A FARLO.**
- **a questi si è aggiunto da poco, in senso geologico, quello antropico; il suo impatto è oramai ben documentato scientificamente**





Quando abbiamo iniziato ad alterare il clima?

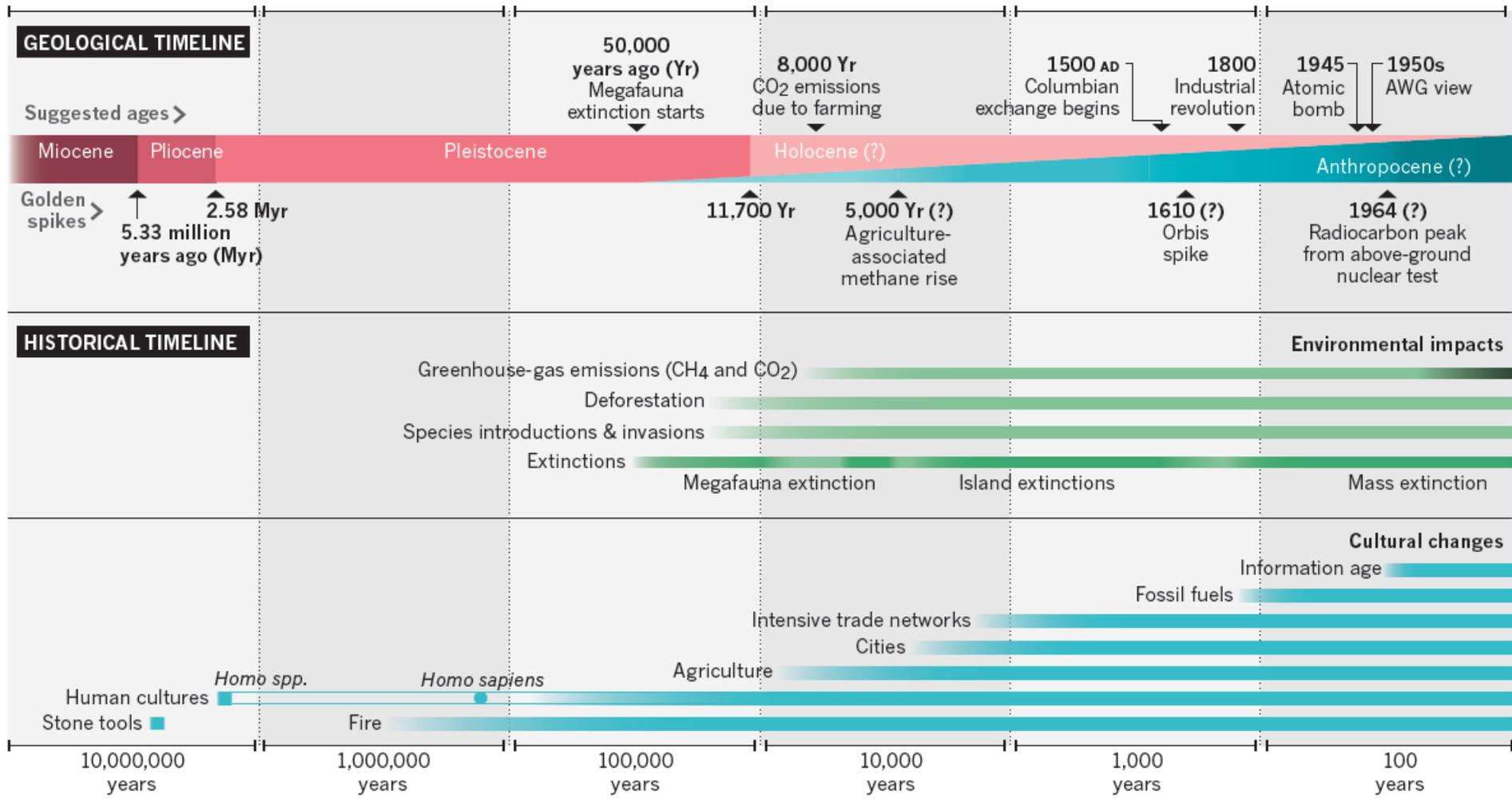
Da W. Ruddiman Scientific American, 445 – 2005: 46-53.
LE SCIENZE 441/maggio 2005

I DATI PALEOCLIMATICI AIUTANO A RISPONDERE ALLA SEGUENTI DOMANDA: *L'uomo quando ha iniziato ad alterare il clima?*

SOURCE: M.M., E.E., N.B., A.B./NATURE

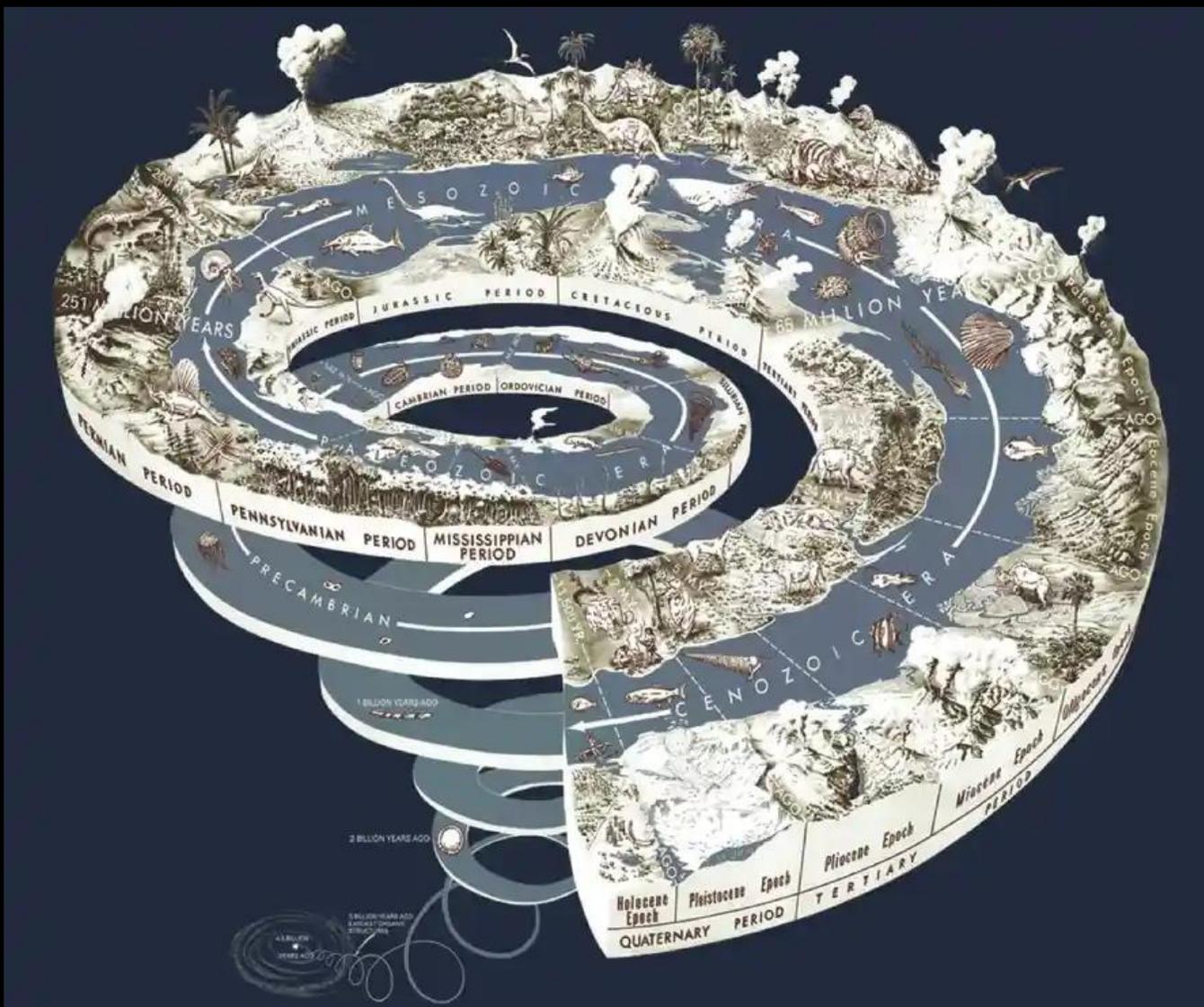
THE DEEP ROOTS OF THE ANTHROPOCENE

Human societies began altering Earth long ago. Human social and cultural capacities to alter its environmental processes have accumulated, scaled up and reinforced each other in complex and historically contingent ways. Defining an Anthropocene epoch should involve examining these transformative social-environmental changes, rather than solely focusing on globally instantaneous environmental transitions. 'Golden spikes' mark stratigraphic boundaries of geological time periods; '?' highlight recent boundary proposals.



Osserva in figura il crescente impatto antropico e soffermati a riflettere anche sugli eventi «antropici» che precedono la Rivoluzione industriale

AWG, Anthropocene Working Group



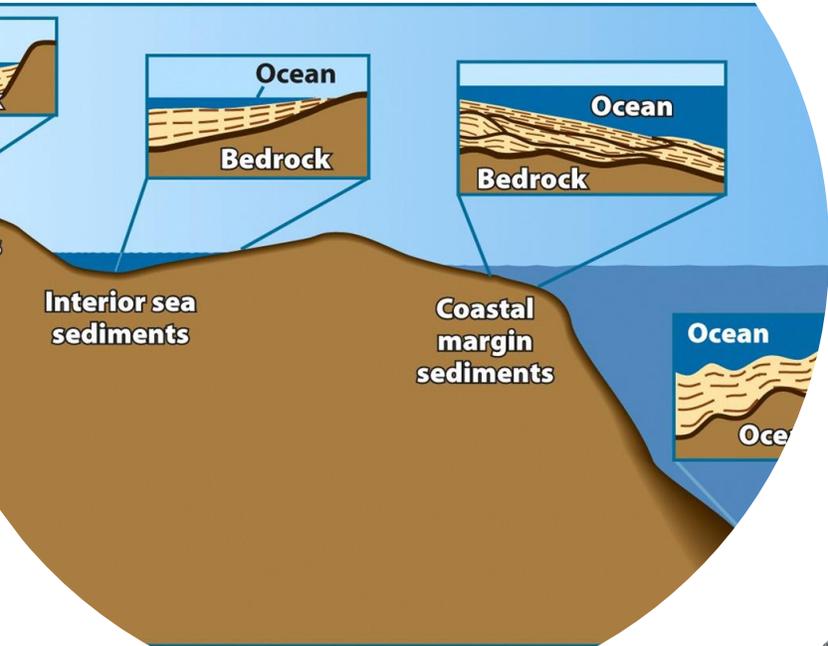
LE LEZIONI DEL PASSATO



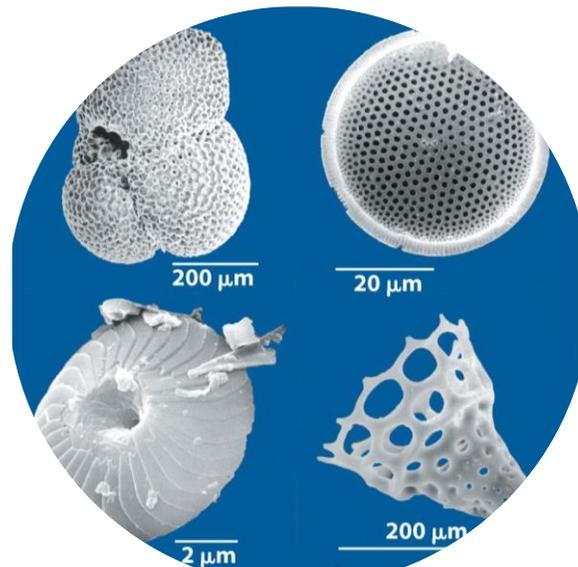
**Ma come si
ricostruisce il
clima del passato**

- A differenza dei colleghi che lavorano nell'attuale noi non possiamo utilizzare i sempre più sofisticati strumenti di misura diretta quali **termometri, barometri, anemometri** ma i cosiddetti **archivi naturali** e **dati vicarianti**.

PROXY/DATI VICARIANTI



Ruddiman 2008



Ruddiman 2008

PROXY/DATI VICARIANTI

I DIVERSI CAMBIAMENTI SONO PARTICOLARMENTE BEN DOCUMENTATI, A PARTIRE DA 65 MILIONI DI ANNI FA, ATTRAVERSO LO STUDIO DEI **SEDIMENTI MARINI E TERRESTRI** E PER GLI INTERVALLI PIÙ RECENTI, ANCHE DELLE **CAROTE DI GHIACCIO**.

ARCHIVI NATURALI

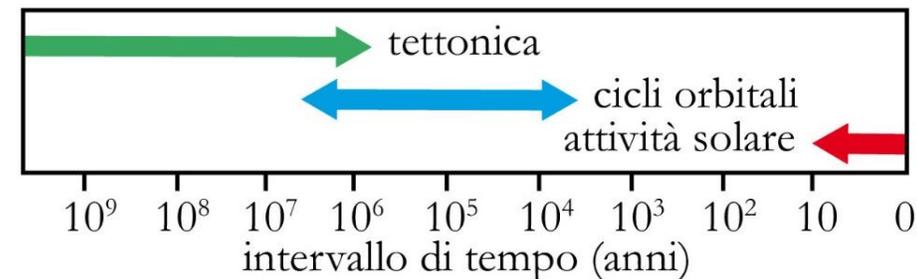
ARCHIVI NATURALI

Tabella 23.1. Elenco dei principali archivi e proxy utilizzati per le ricostruzioni paleoclimatiche.

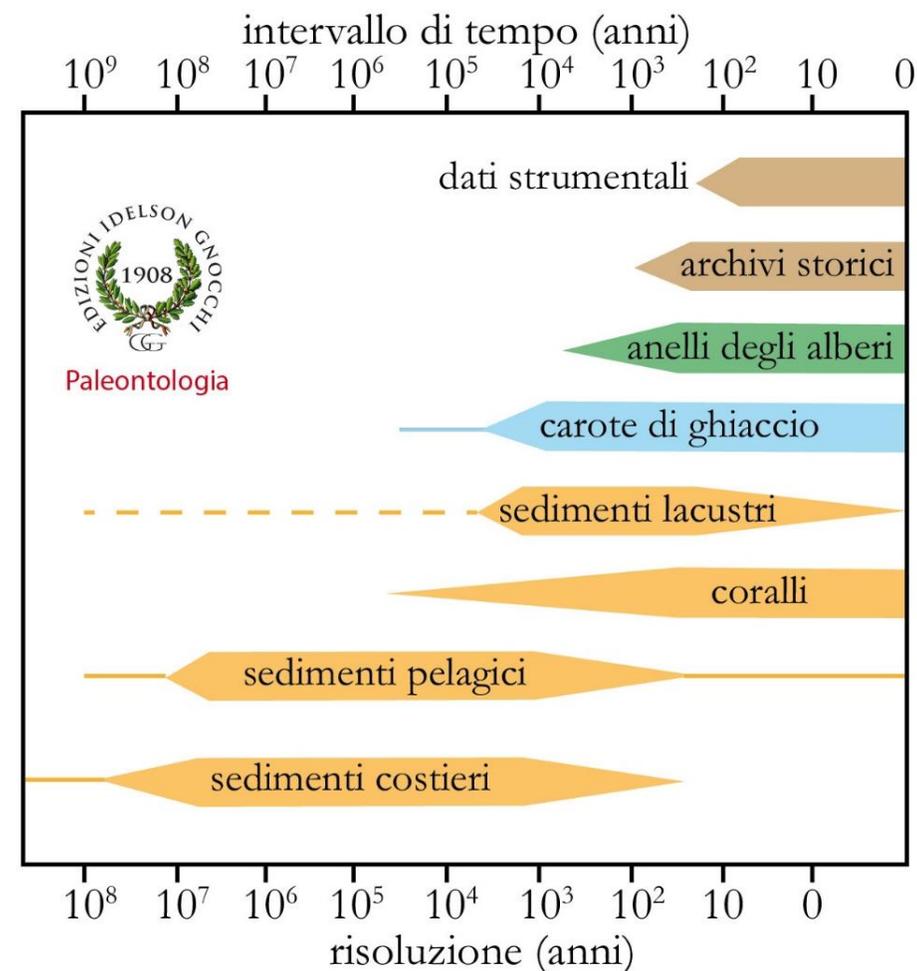
GEOLOGICI	
Marini, RT minima: centennale-millenaria	
Sedimenti biogenici e terrigeni	
Microfossili planctonici e bentonici	
Isotopi stabili (O, C)	
Elementi chimici/in traccia (e.g. Mg/Ca, Cd/Ca, Ba/Ca)	
Biomarker organici (e.g. alchenoni)	
Sedimenti inorganici	
Polveri eoliche, ice rafted debris	
Terrestri, RT minima: stagionale-centennale	
Speleotemi (isotopi stabili, elementi in traccia)	
Depositi glaciali	
Sedimenti lacustri	
Depositi eolici (e.g. loess, sabbie di dune relitte)	
Depositi periglaciali	
Depositi costieri	
Paleosuoli	
Glaciologici (carote di ghiaccio), RT minima: stagionale-centennale	
Geochemica (e.g. isotopi dell'ossigeno e idrogeno)	
Composizione dei gas e pressione dell'aria nelle bolle d'aria	
Concentrazione delle microparticelle e composizione degli elementi chimici	
Proprietà fisiche (e.g.: struttura/tessitura del ghiaccio)	
 Paleontologia	
BIOTICI	
Terrestri, RT minima: stagionale-centennale	
Anelli di accrescimento delle piante (ampiezza, densità, isotopi stabili) [T, P, Bi, EV, AS]	
Midden (micro e macroresti faunistici e floristici, isotopi stabili)	
Polline (tipo, abbondanza relativa, concentrazione assoluta) [T, P, Bi]	
Macroresti vegetali (età e distribuzione) [T, P, Bi, isotopi stabili]	
Insetti (caratteristiche dell'associazione) [T, isotopi stabili]	
Fitoliti [isotopi stabili, T, P]	
Diatomee, ostracodi e altri organismi in ambienti lacustri [Bi, T, P, EV]	
Marini, RT minima: stagionale-millenaria	
Coralli, brachiopodi, bivalvi, briozoi (geochemica, fluorescenza, tasso di crescita) [CCA, L, P, T]	
Microfossili (e.g. plancton calcareo e siliceo, foraminiferi bentonici, dinocisti) [MP, CCA, T, L, AS]	
STORICI	
Documentazione scritta di dati metereologici misurati con strumenti [T, P, Bi, EV, L, AS]	
Registrazioni fenologiche	
Legenda RT = Risoluzione temporale. In parentesi quadra sono indicate le informazioni potenziali ricavabili dai proxy: T = Temperatura; P = Precipitazioni, umidità, bilancio idrico (E-P); MP = Produttività marina, Bi = Biomassa o modelli vegetazionali; L = variazioni del livello del mare; EV = Eventi vulcanici; AS = Attività solare; CCA = Composizione chimica dell'acqua. Da Bradley (2014), modificato.	

Archivi e proxy biotici terrestri

FORZANTI CLIMATICI



ARCHIVI CLIMATICI



Holocene global mean surface temperature. Credit: Victor O. Leshyk, Northern Arizona University - <https://phys.org/news/2020-06-major-paleoclimatology-global-upended-years.html>

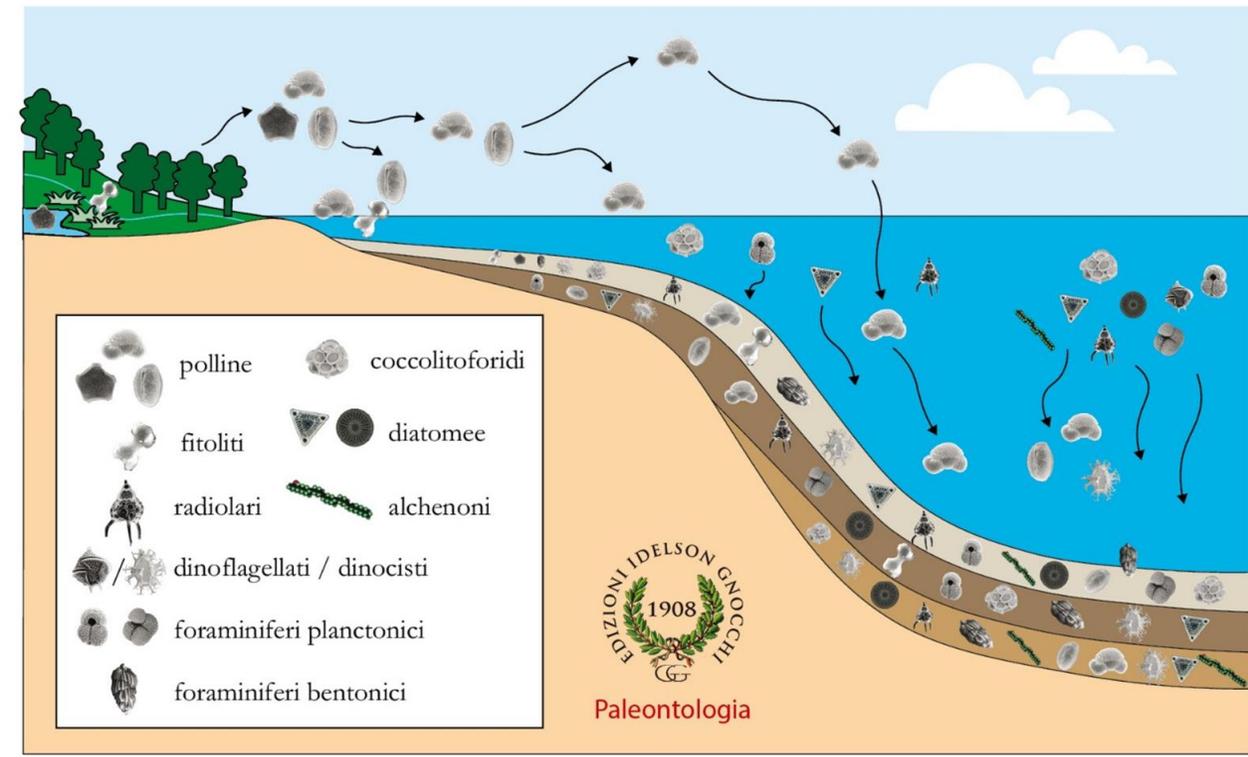
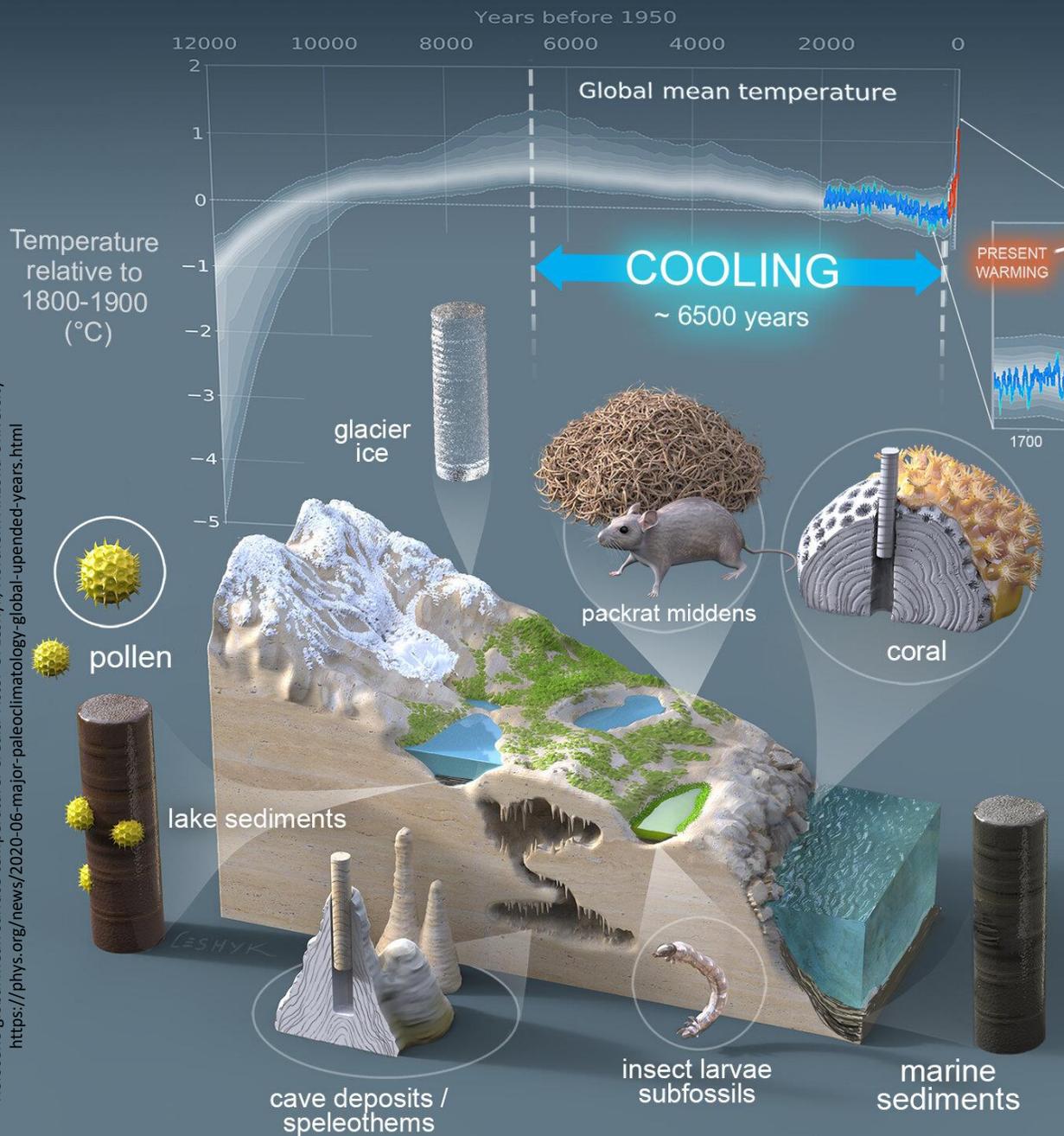


Figura 23.3. Distribuzione dei principali archivi e proxy climatici biologici secondo un transetto terra-mare.

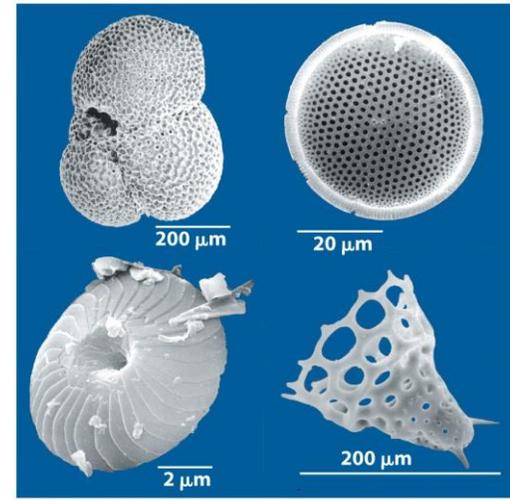
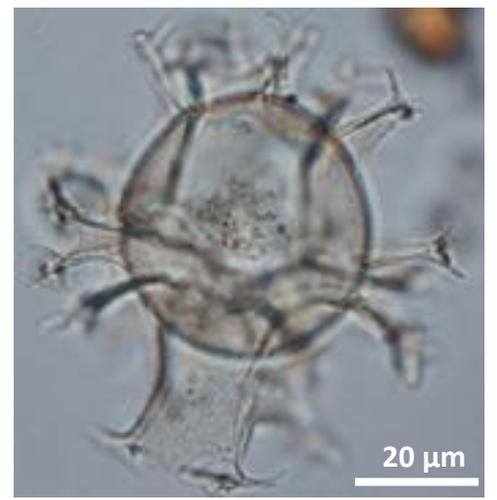
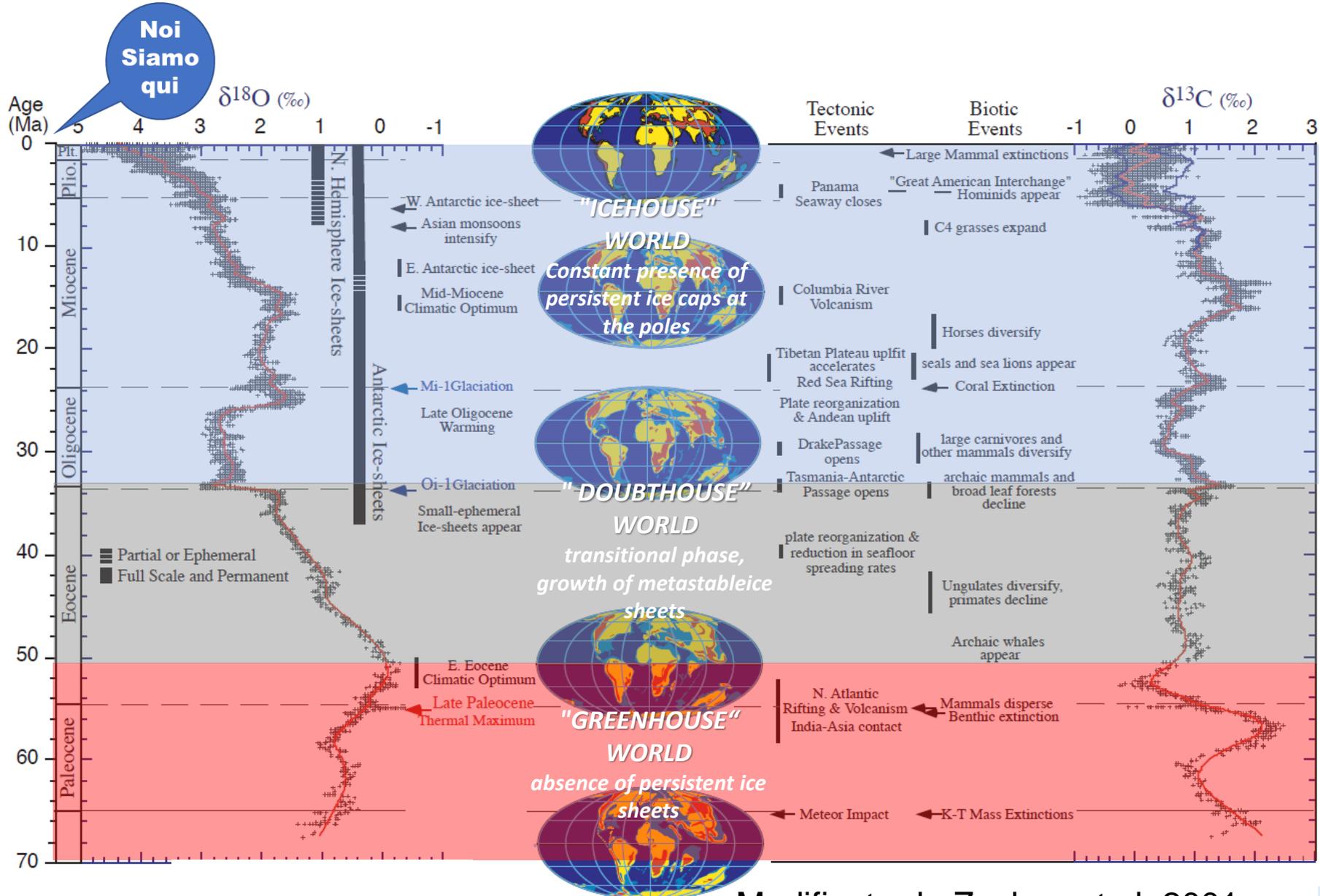


Figure 2-14 Earth's Climate: Past and Future, Second Edition © 2008 W. H. Freeman and Company



Spiniferites membranaceus (per gentile concessione Degl'Innocenti)



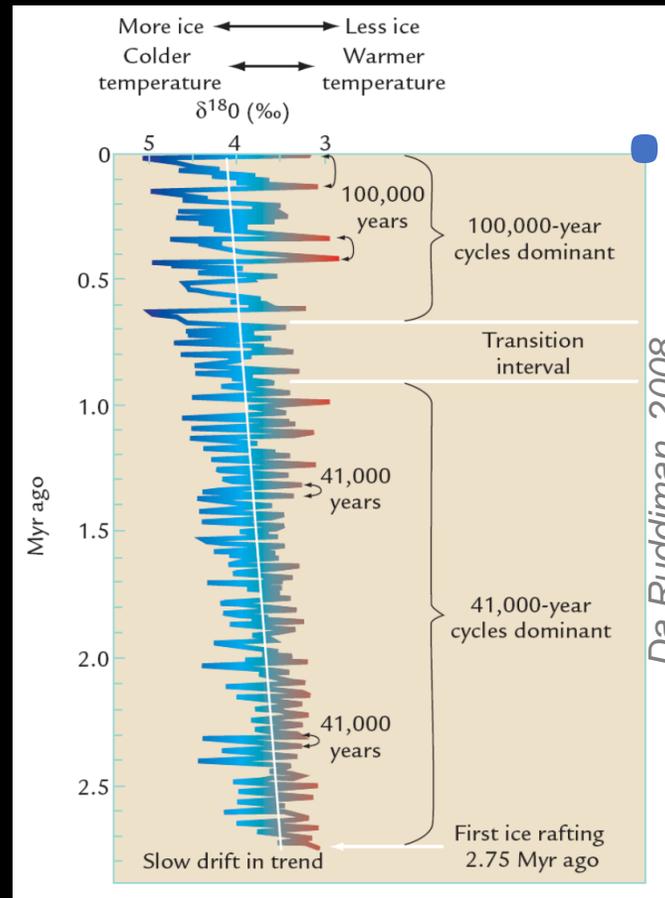
Da Ruddiman, 2008

Modificato da Zachos et al. 2001

Inusuale caldo al Nord: flora (A: Pianta del pane *Artocarpus*, e fauna (B: dinosauri) calde presenti in entrambi i poli ca 100 Ma. Nelle altre aree ancora taxa caldi; ad es. i coralli presenti alle latitudini più basse si spostano da 30° a 40° di latitudine.

Quali sono i principali eventi che si sviluppano a scala globale a partire da ca 3 milioni di anni fa ?

Cicli Glaciali-Interglaciali (G/I)



Noi siamo qui

Cicli G/I a 100.000 anni (eccentricità)

Cicli G/I a 40.000 anni (obliquità)

Fase di max espansione della calotta glaciale artica

- A partire da 2.6 Ma di anni sono state registrate **fasi glaciali/interglaciali** prima ogni 40.000 anni poi da circa 600.000 anni fa, ogni 100.000 anni.
- Ora noi ci troviamo nell'**Olocene** e nell'interglaciale denominato 1 (**MIS 1**)



- Sapete immaginarvi uno **scenario ambientale** per Firenze poco prima e poco dopo la fase di **massima espansione della calotta glaciale artica a ca 2.6 Ma?**

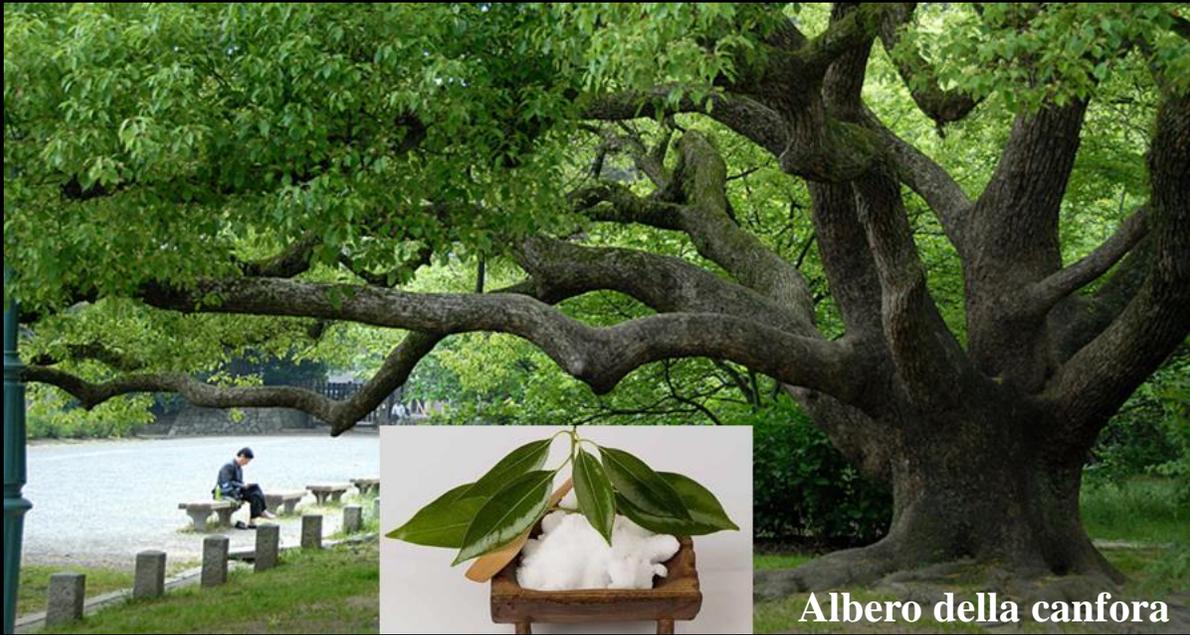
Ca 3 Ma

Lussureggiante foresta calda ed umida



**Ambienti
che richiamo
le attuali
Everglades
in Florida -
Cypress
Trees**

https://www.google.it/search?q=swamp+everglades&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiRy4jJtsPhAhWvM-wKHQ2mCegQ_AUIDigB#imgrc=SGsrq-KzYL_gzM:



Albero della canfora



Cipresso calvo

00481740 © Scott Lesje / Minden Pictures



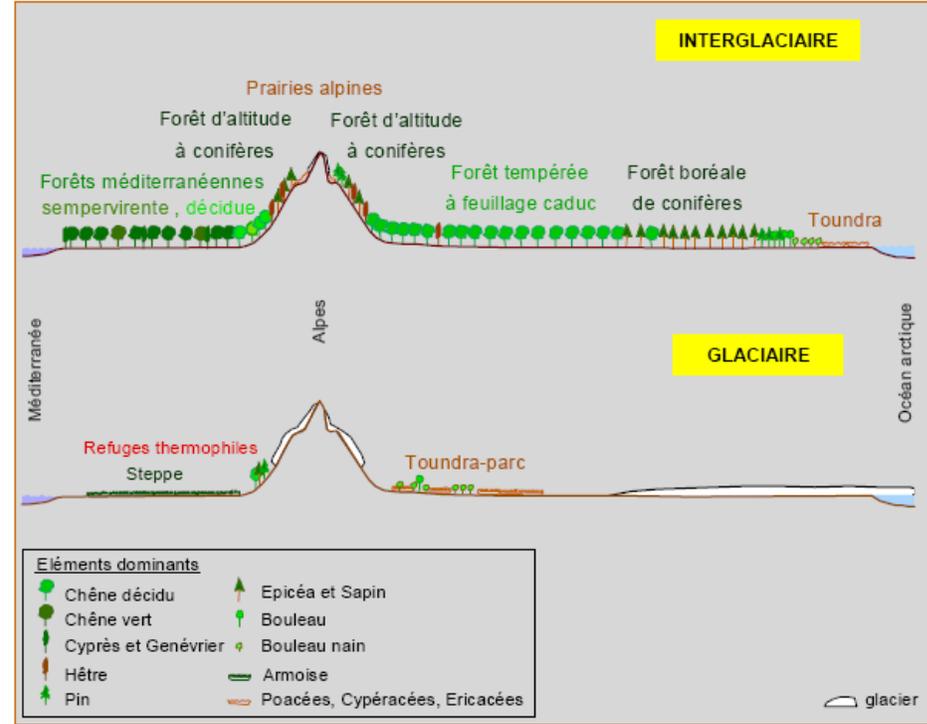
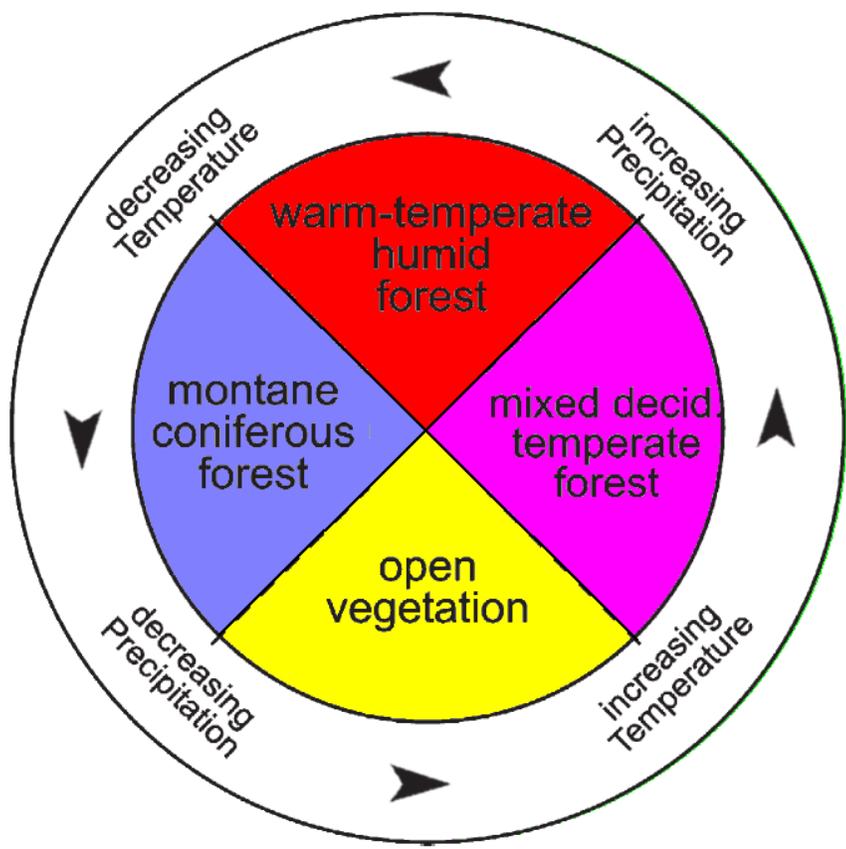
Diospiro

da 2.6 Ma



**Vegetazione aperta di tipo steppico, da 2.6 Ma
paesaggio ricorrente durante le fasi glaciali**

GLACIAL/INTERGLACIAL CYCLES

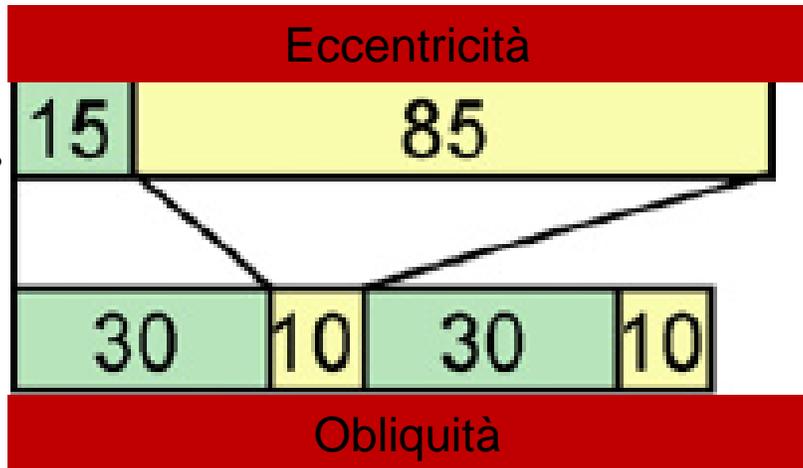


Transects Nord-Sud de végétation à travers l'Europe occidentale lors d'un interglaciaire et d'un glaciaire

100ka

QUANTO DURA UN GLACIALE?

QUANTO DURA UN INTERGLACIALE?



40ka

Si può prevedere la durata di un interglaciale?

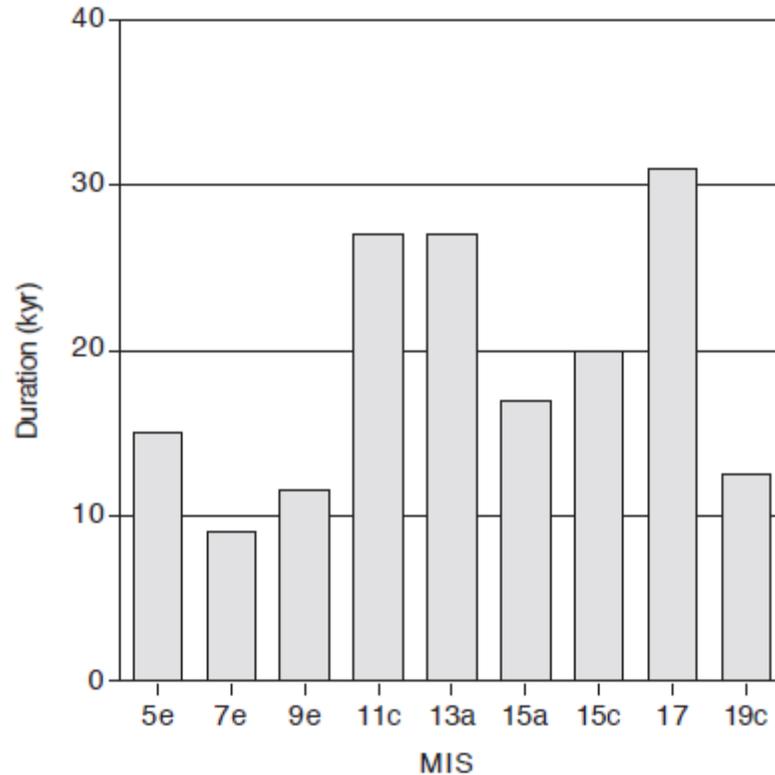
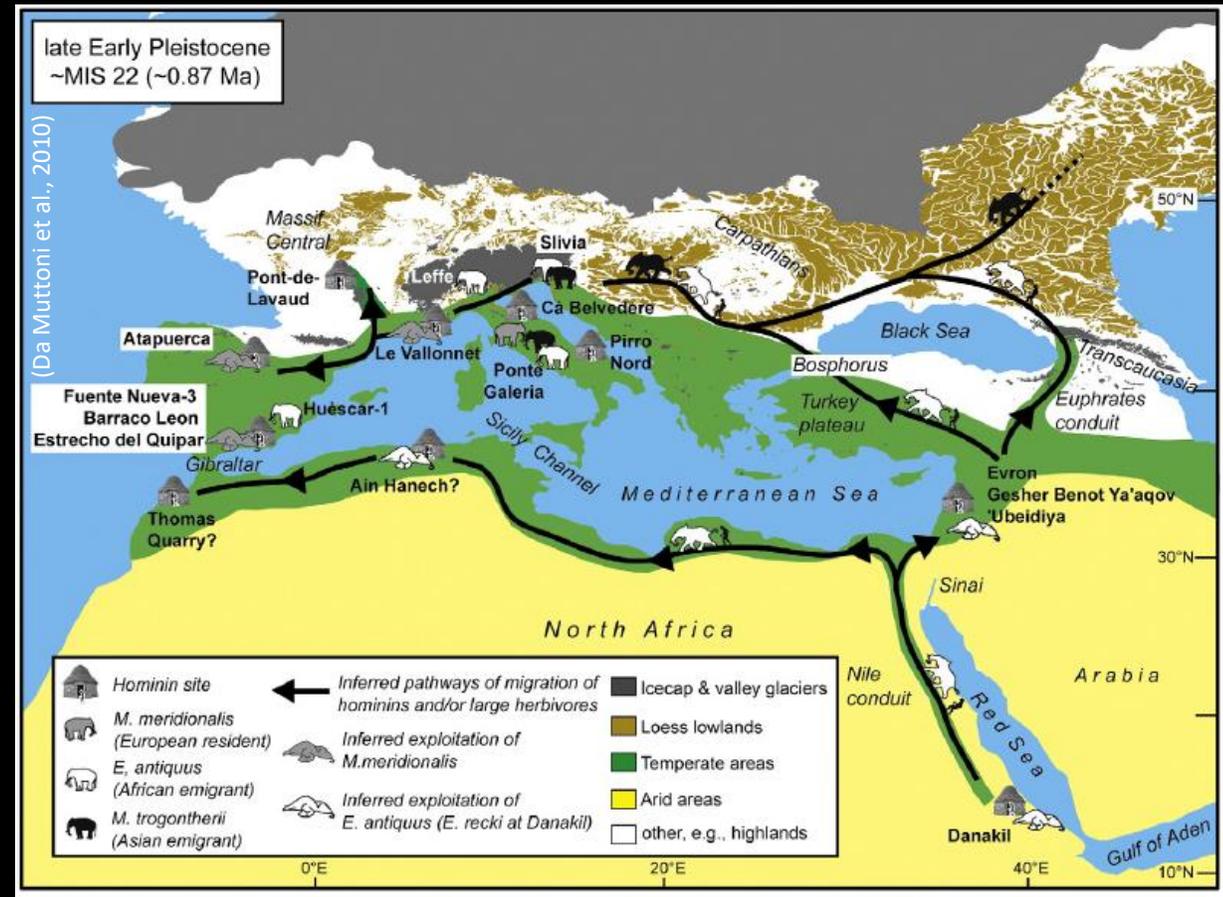


Table 1. Timing of the onset and end of interglacials of the last 800 kyr and their estimated duration.

MIS	Onset kyr BP	End kyr BP	Duration kyr
5e	129	114	15
7e	242.6	233.6	9
9e	335	323.4	11.6
11c	425	398	27
13a	508	481	27
15a	579	562*	17*
15c	621	601*	20*
17	715	684	31
19c	788	775.5	12.5

* The EDC3 chronology, which forms the basis for the age of these events, may be affected by ice-flow irregularities in that part of the EDC ice core, which in turn influences the estimated duration of these interglacials (see text).

Dopo la fase di massima espansione della calotta glaciale e il succedersi di fasi glaciali che portano in alcune aree a **fenomeni di progressivo inaridimento** comincia la **migrazione dall'Africa** dei grandi mammiferi e degli ominini a seguito.

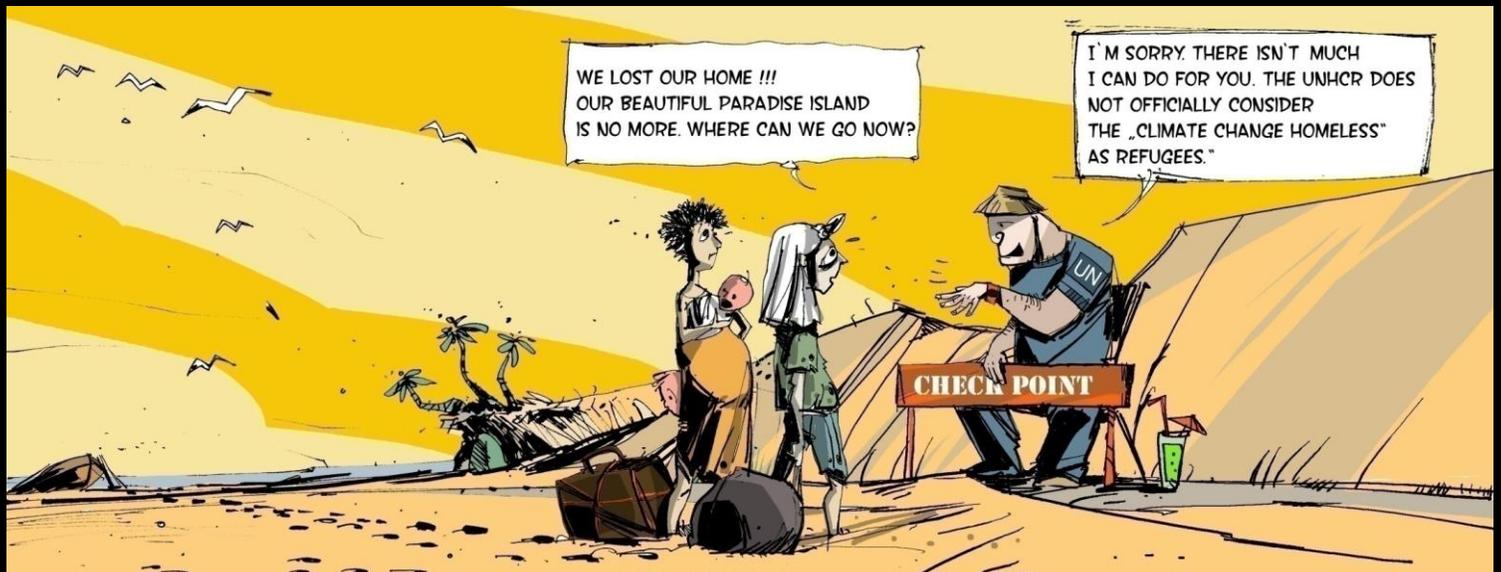
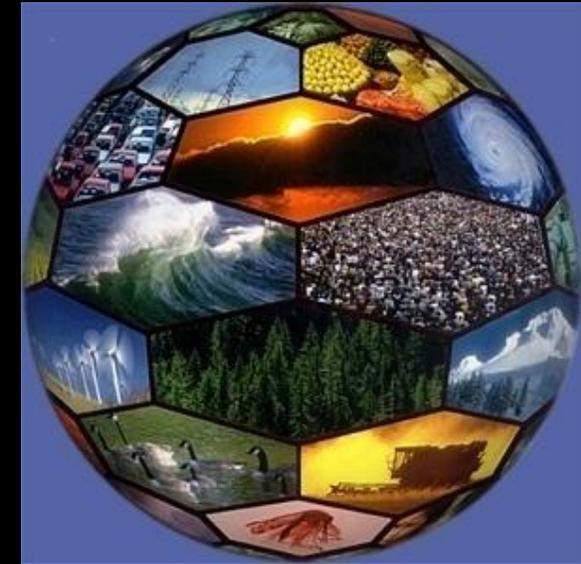


- Scenario paleogeografico dell'Europa che mostra possibili percorsi di migrazione di grandi erbivori (in particolare elefanti) e ominini a ~ 0,87 Ma .

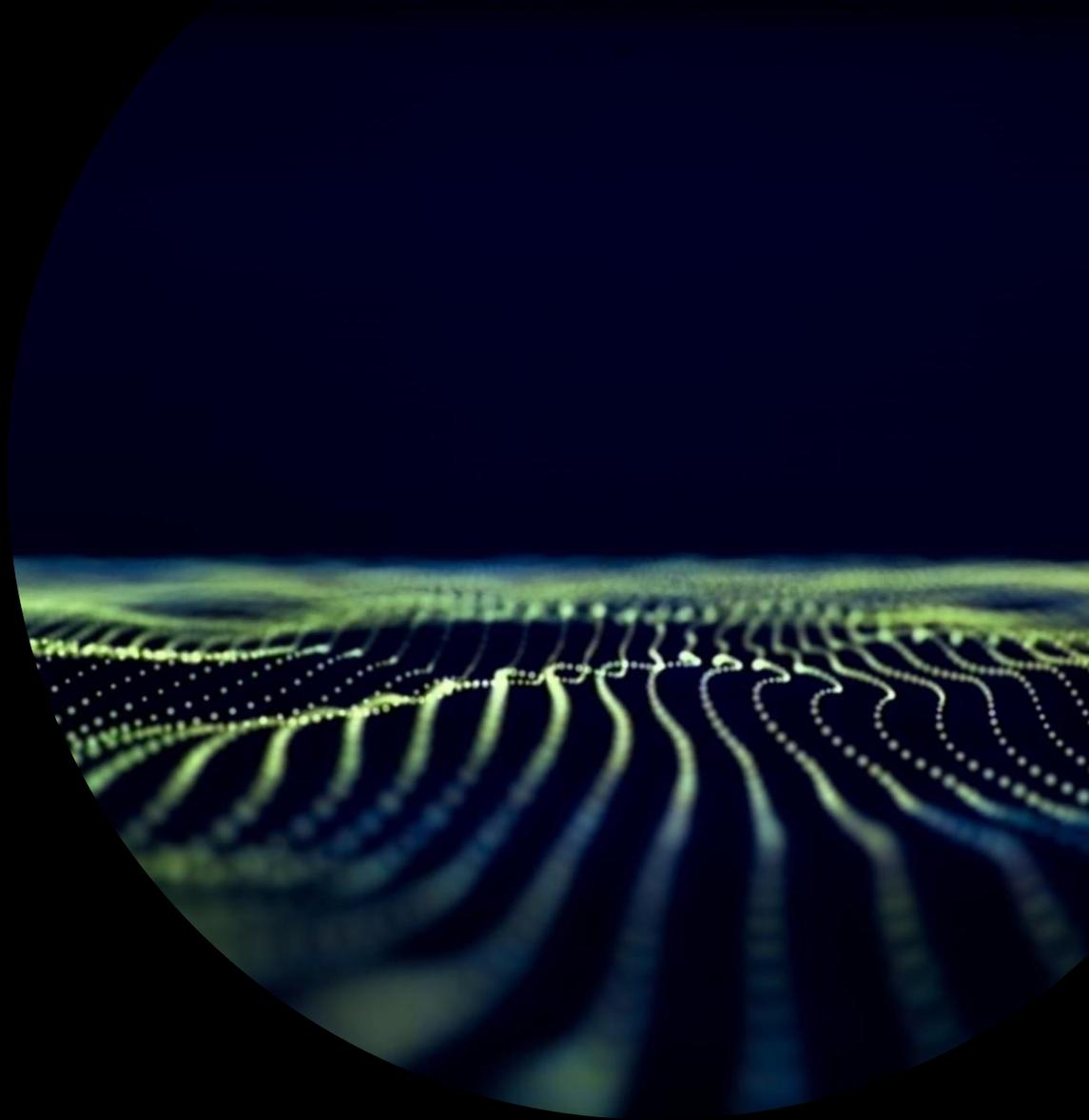
MA SIAMO IN UN INTERGLACIALE!

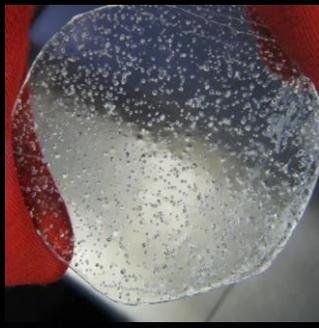
GLOBAL CHANGE vs GLOBAL WARMING

Oggi come nel passato alcune aree soggette a fenomeni di **forte inaridimento** obbligano intere popolazioni a migrazioni delle quali non abbiamo ancora una buona coscienza.



Quindi le lezioni della
storia ci dicono che:
**ABBIAMO ALTERATO IL
NATURALE SVILUPPO
DEI CICLI G/I**





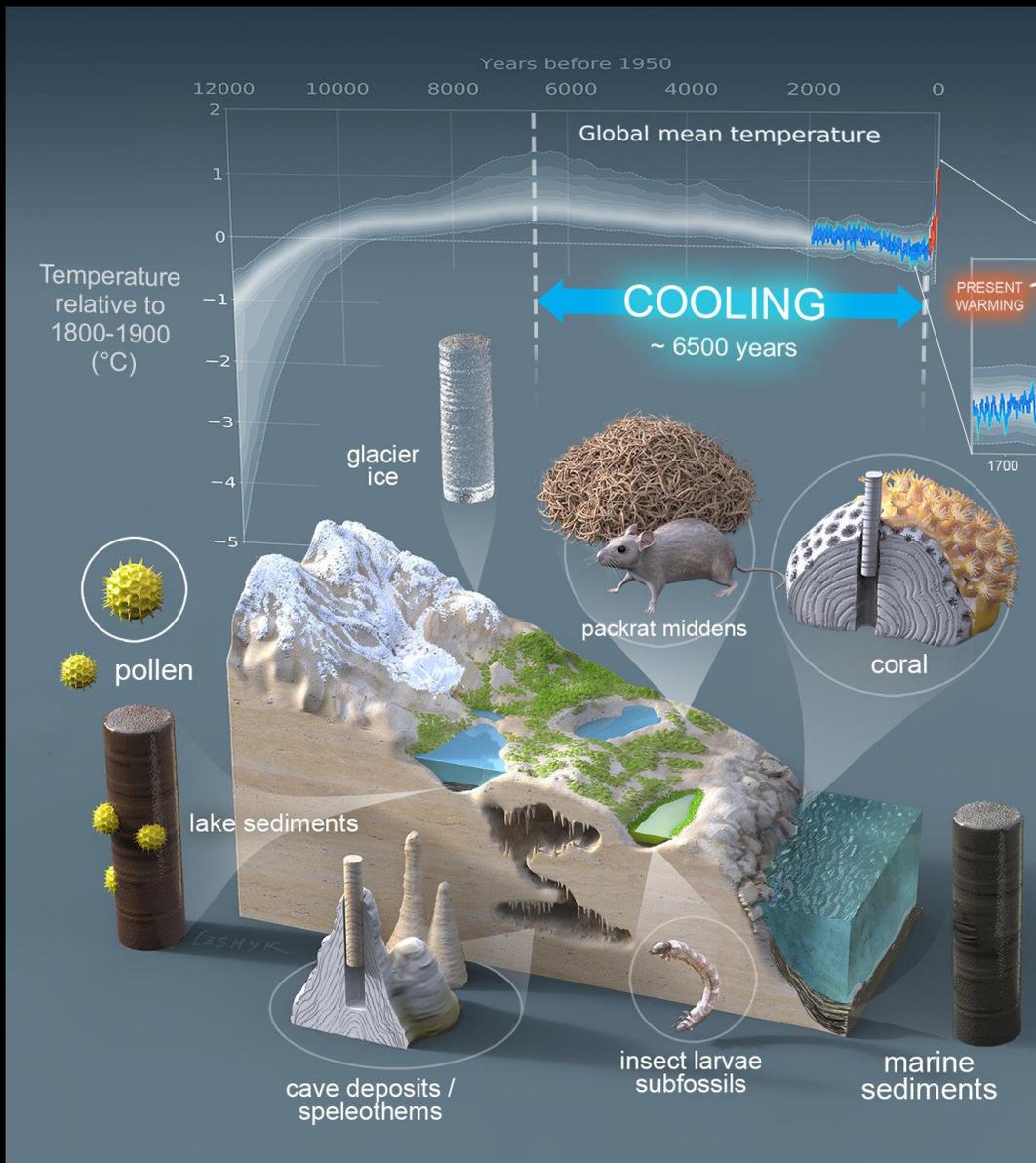
Ecco cosa ci dicono le variazioni nel contenuto in CO₂ come registrate nelle carote antartiche nel corso degli ultimi 400.000 anni

Esse individuano la successione di fasi glaciali/interglaciali.

ATTENZIONE!
I valori di CO₂ non hanno mai superato le 300 parti per milione se non nell'Olocene



<http://climate.nasa.gov>



Holocene global mean surface temperature. Credit: Victor O. Leshyk, Northern Arizona University -<https://phys.org/news/2020-06-major-paleoclimatology-global-upended-years.html>

PERCHÉ LO STUDIO DEI CLIMI DEL PASSATO È FONDAMENTALE ?

- La possibilità di osservare i fenomeni climatici durante **lunghi e continui intervalli di tempo** aggiunge una conoscenza indispensabile che manca a chi opera alla scala umana e cioè

LA VARIABILITÀ CLIMATICA



UN'ANALISI OBIETTIVA DEL
NOSTRO PRINCIPALE
PROBLEMA OGGI - **IL
RISCALDAMENTO GLOBALE** -
RICHIEDE UNA CONOSCENZA
QUANTITATIVA DI 3
FATTORI:

La sensibilità del
sistema climatico
alle pressioni

L'entità del **forcing**
che gli esseri umani
stanno
introducendo

Il **tempo** necessario
perché il clima
risponda

Il riscaldamento globale sta spingendo il clima sull'orlo di mutamenti improvvisi sempre più frequenti

Cosa ci dicono i fossili?

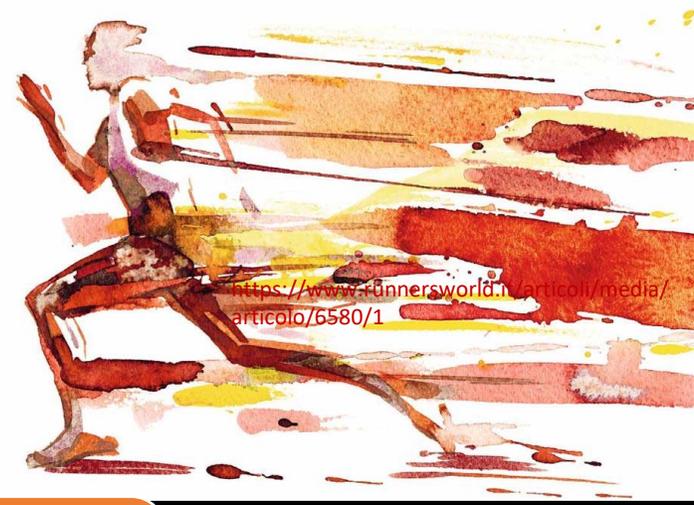


La **VELOCITÀ** del cambiamento climatico produce maggiori conseguenze rispetto **ALL'ENTITÀ DEL CAMBIAMENTO** sulla capacità di adattamento dei diversi organismi ed ecosistemi.

Gli esseri viventi rispondono meglio ai **CAMBIAMENTI LENTI**

Il repentino cambiamento attuale non dà a noi e al nostro pianeta molto tempo per adattarsi.

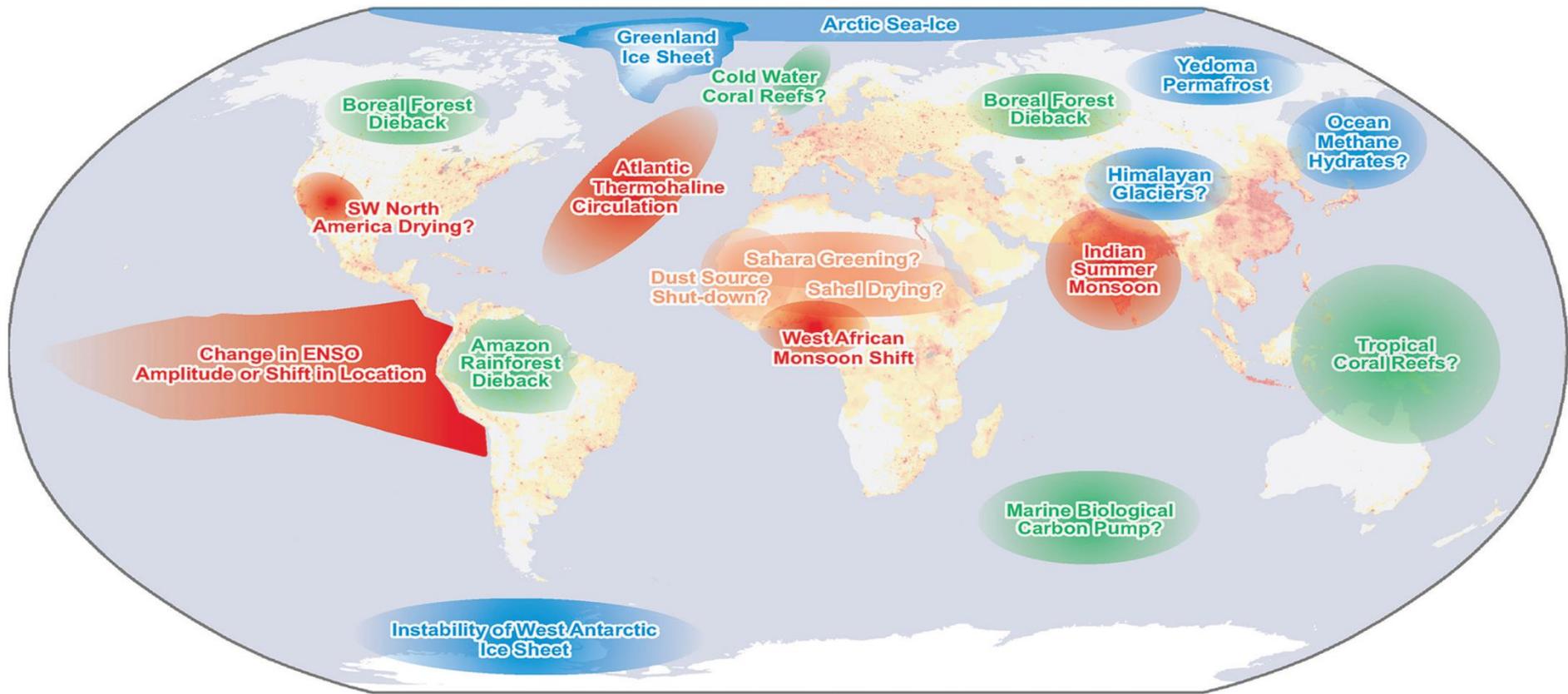
***LE LEZIONI DEL PASSATO INDICANO CHE
DOVREMMO CHIEDERCI:***



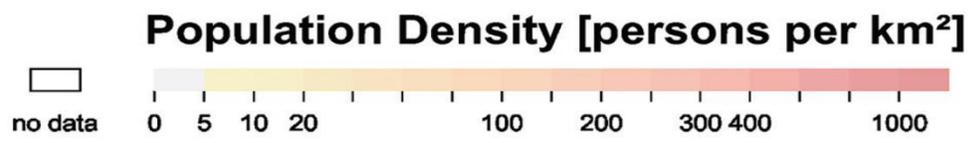
***A QUALE VELOCITÀ AVVERRANNO QUESTI
CAMBIAMENTI?***



***GLI ABITANTI DELLA TERRA
AVRANNO IL TEMPO DI ADATTARSI?***



- **Melting**
- **Circulation Change**
- **Biome Loss**



Map of potential policy-relevant tipping elements in the climate system overlain on global population density. Question marks indicate systems whose status as policy-relevant tipping elements is particularly uncertain. Figure by Veronika Huber, Martin Wodinski, Timothy M. Lenton and Hans Joachim Schellnhuber. Da PAGES 2016

Bless the baby! what a valley he have a-made!!!

*By Geo. H. De la Beche
To respect F. Bullard*

"Bless the baby! What a valley he have made!!!"

(De la Beche's cartoon "Cause and Effect" of 1830-1833)



from CLARY et al. 2010

Grazie per l'attenzione

<https://www.ateneosostenibile.unifi.it/>

Ateneo Sostenibile

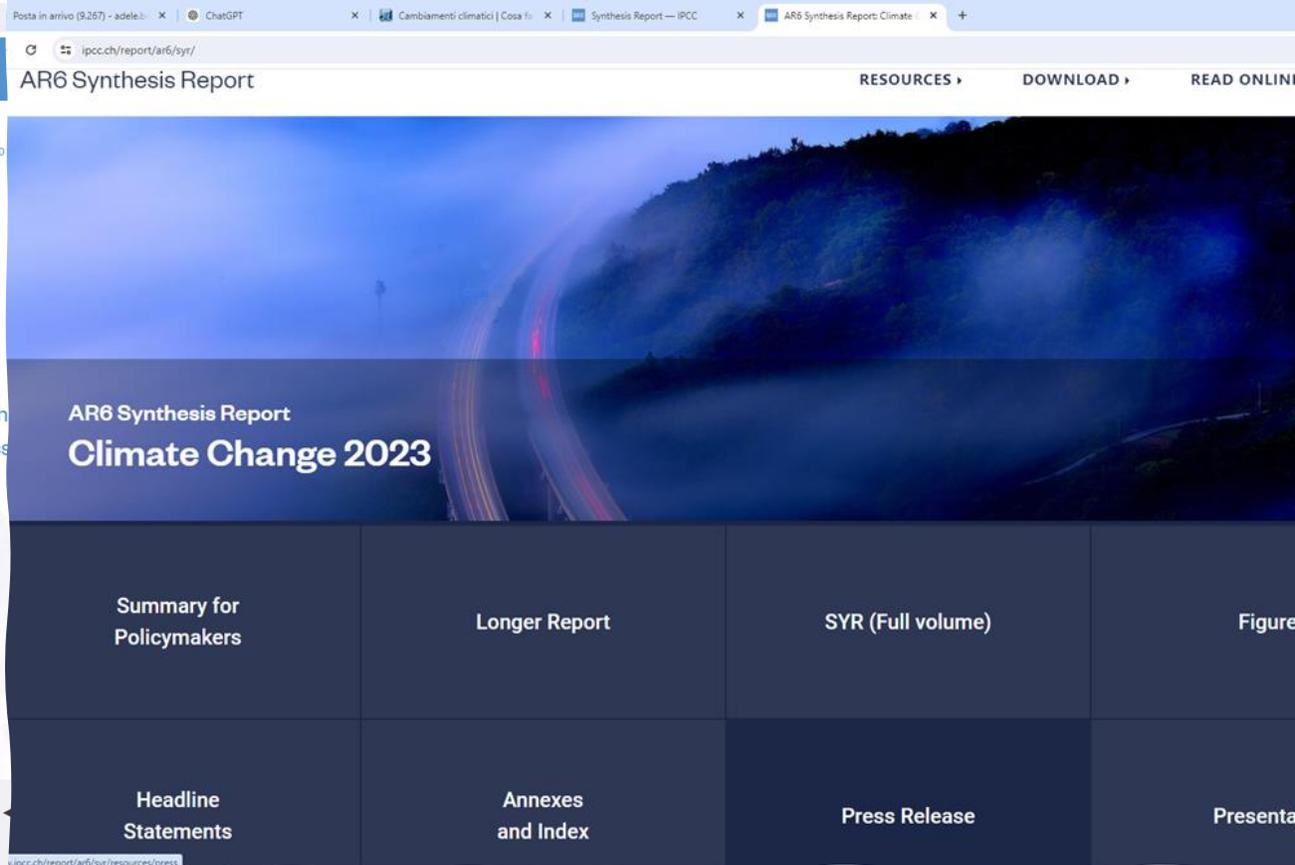
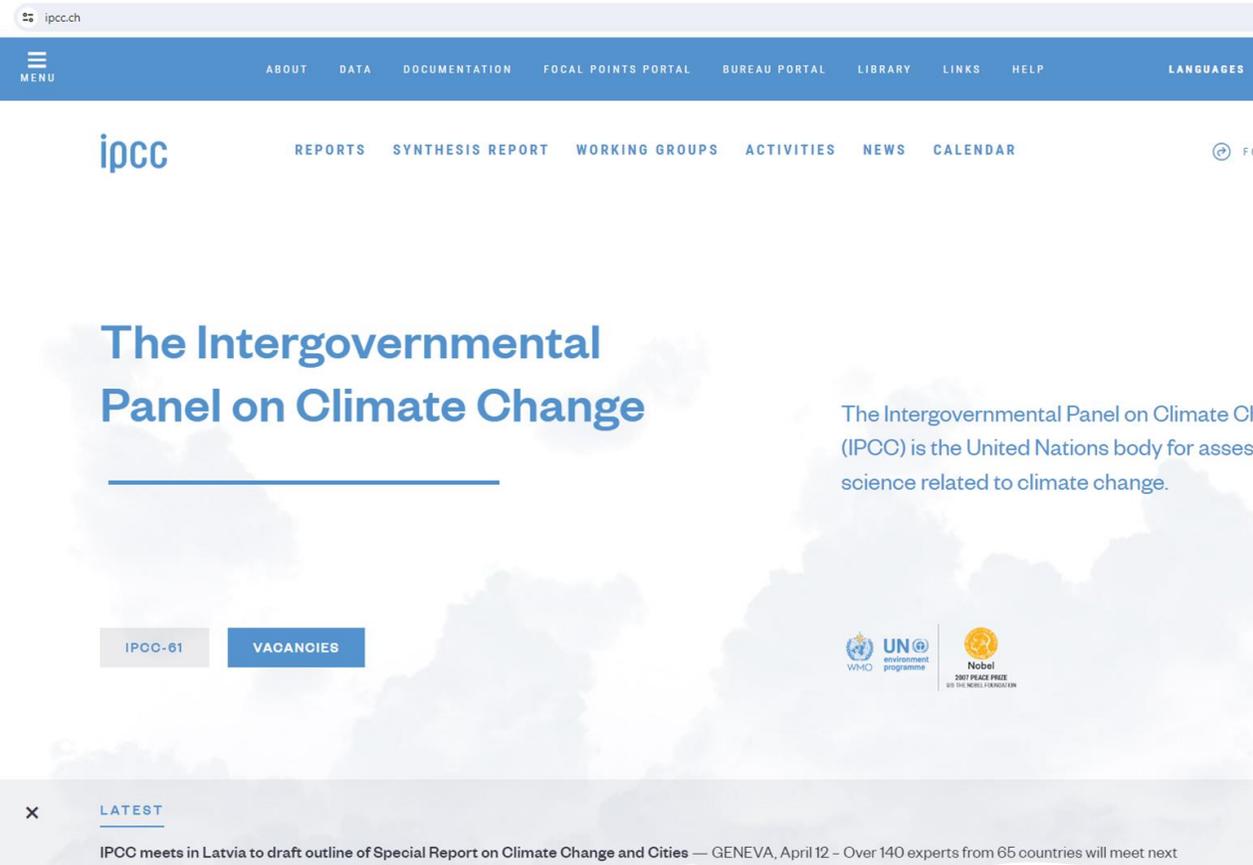
The screenshot shows the homepage of the Ateneo Sostenibile website. At the top, there is a navigation bar with 'unifi.it', 'cerca nel sito', and 'servizi online'. Below the navigation bar is a large banner with the text 'Ateneo Sostenibile' and a background image of green plants. The main content area is divided into several sections: 'MA CHE CAVOLO!' (17.05.24), 'AGENDA 2030 e gli obiettivi di Sviluppo Sostenibile', 'GLI EVENTI del Festival dello Sviluppo Sostenibile', and 'CORSI ONLINE'. There are also sections for 'Iniziative ed eventi' and 'Altri eventi'.

The screenshot shows the 'Cambiamenti climatici' page. The header includes 'unifi.it', 'cerca nel sito', and 'servizi online'. The main content area features a large image of a globe surrounded by green plants. Below the image, there is a section titled 'Cambiamenti climatici' with a sub-section 'Cosa facciamo'. The text discusses the importance of climate change and the role of the Ateneo in promoting sustainable development. There is also a section for 'Giornata di studio sul cambiamento climatico' with the subtitle 'Lezioni dal passato per un futuro climatico sostenibile'.

<https://www.ateneosostenibile.unifi.it/clima>

The screenshot shows the 'Green Office' page. The header includes 'unifi.it', 'cerca nel sito', and 'servizi online'. The main content area features a large image of a globe surrounded by green plants. Below the image, there is a section titled 'Green Office' with a sub-section 'Chi siamo'. The text describes the Green Office (GO) as a technical structure in the General Directorate, established in 2017-2019. It focuses on energy efficiency, waste management, and sustainable development. There is also a section for 'In questa pagina'.

The screenshot shows the 'Il portale della sostenibilità d'Ateneo' page. The header includes 'unifi.it', 'cerca nel sito', and 'servizi online'. The main content area features a large image of a globe surrounded by green plants. Below the image, there is a section titled 'Il portale della sostenibilità d'Ateneo' with a sub-section 'Chi siamo'. The text describes the portal as a platform for sustainable development, focusing on energy efficiency, waste management, and sustainable development. There is also a section for 'In questa pagina'.



www.climalteranti.it

Prof. Stefano Caserini:
www.caserinik.it

- Sito **IPCC (www.ipcc.ch)** in formato pdf
- Un Synthesis Report generale dell'intero Rapporto (80 pagine), con un suo Summary for Policymakers (30 pagine)