



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI MILANO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE
DELLA TERRA "ARDITO DESIO"



BIBLIOTECA
DI SCIENZE
DELLA TERRA
"A. DESIO"



Aperitivi scientifici coi piedi per Terra!

Il clima che cambia: lezioni dal passato per capire il presente.



Fabrizio Berra

apegeo.unimi.it

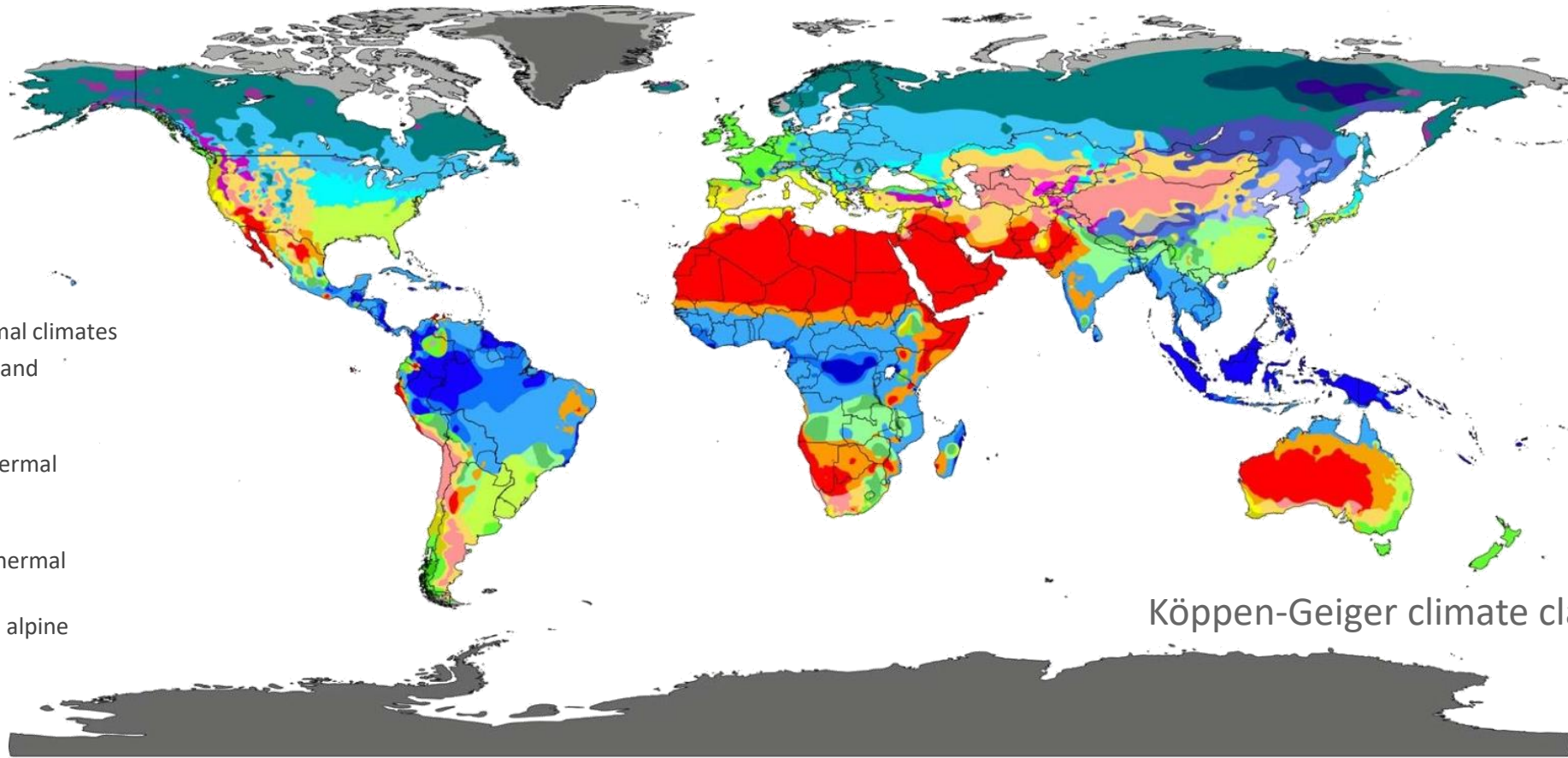


Tempo e clima: stessa cosa?

- «clima»: condizioni meteorologiche medie e la variabilità di temperatura, precipitazioni e altre variabili per un tempo pluriennale (di norma 30 anni) in una regione definita. Lo studio è svolto da climatologi
- «tempo»: stato dell'atmosfera e la sua variabilità per periodi brevi (da pochi minuti a settimane). Lo studio è svolto da meteorologi
- Per definire il clima non si valutano solo le condizioni meteo medie, ma anche i valori estremi e le loro variazioni

<https://www.britannica.com/science/climate-meteorology/images-videos>

I climi sulla Terra: un sistema zonale



- GROUP A:
Tropical/megathermal climates
- GROUP B: Dry (arid and semiarid) climates
- GROUP C:
Temperate/mesothermal climates
- GROUP D:
Continental/microthermal climates
- GROUP E: Polar and alpine climates

Köppen-Geiger climate classification

Af	BWh	Csa	Cwa	Cfa	Dsa	Dwa	Dfa	ET
Am	BWk	Csb	Cwb	Cfb	Dsb	Dwb	Dfb	EF
Aw	BSh	Cwc	Cfc	Dsc	Dwc	Dfc		
	BSk			Dsd	Dwd	Dfd		

Ma quanto cambia il clima?

- Siamo indubbiamente vivendo un cambiamento climatico (verificato sulla propria pelle chi ha qualche lustro sulle spalle)
- Le attività antropiche stanno modificando le caratteristiche del pianeta: siamo i mammiferi di grossa taglia più diffusi sul pianeta (dopo di noi vengono gli animali che alleviamo per il nostro cibo)
- Con le nostre azioni abbiamo liberato in un brevissimo tempo nell'atmosfera gas che da milioni di anni erano intrappolati nel pianeta... le conseguenze le vediamo bene
- Ma in che sistema si inseriscono questi cambiamenti? Senza di noi il clima rimarrebbe stabile?

Come scoprirlo?



- Le rocce sedimentarie, formatesi sulla superficie del pianeta come sedimenti, trasformate in rocce con il seppellimento, contengono tracce degli ambienti passati e fossili di organismi che in quegli ambienti (e in quei climi) vivevano
- La geologia ci consente di «leggere» queste storie, e scoprire cosa è successo prima che noi potessimo esserne testimoni
- Ma cosa possiamo usare per leggere il clima del passato? Qualcosa che non esiste più? Abbiamo dei «termometri fossili»?

Cosa ha registrato i climi del passato?

Alcuni strumenti

- Fossili
 - Molti organismi sono sensibili agli ambienti climatici e «specializzati» per specifiche condizioni ambientali: trovarli nelle rocce fornisce informazioni sui climi del passato
- Rocce sedimentarie e sedimenti
 - Rocce sedimentarie e sedimenti registrano tracce degli ambienti nei quali si sono formati (deserti, calotte glaciali, mari tropicali etc.) e forniscono indicazioni indirette del clima al momento e nel luogo della loro formazione
- «Termometri» naturali
 - Possiamo trovare nelle rocce del «materiale» che registra i cambiamenti climatici del passato? Sembra improbabile, ma vedremo che questo «materiale» esiste!

1) Fossili e clima



Arctica islandica



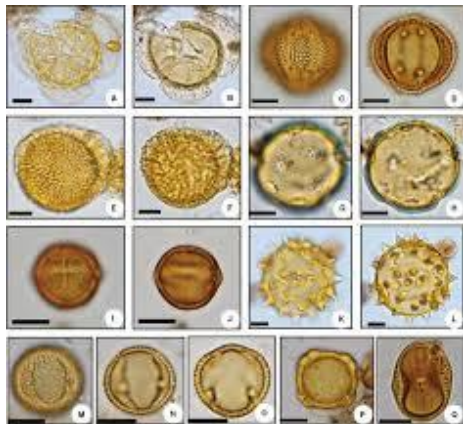
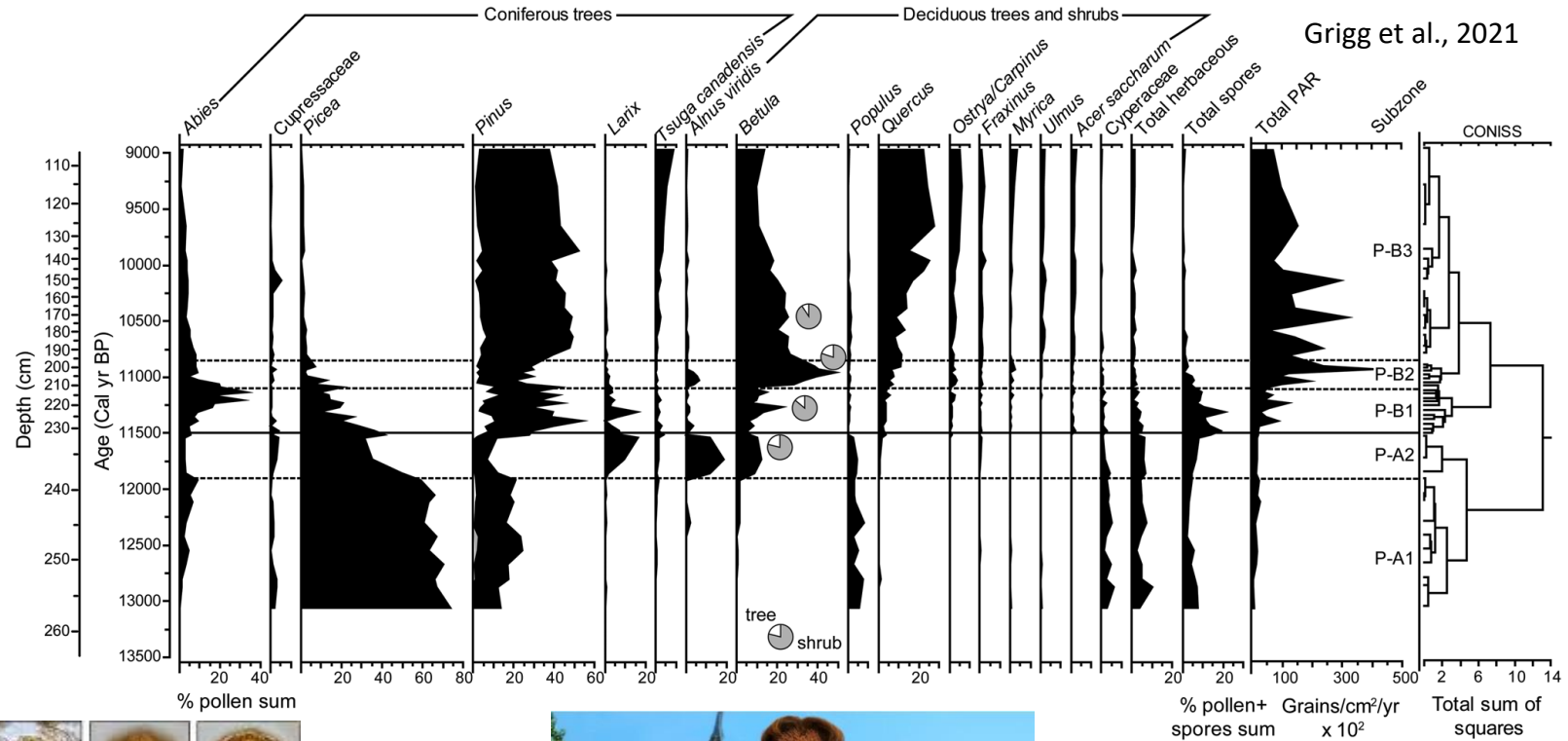
Persististrombus latus

«Ospiti» nel Pleistocene del Mediterraneo: cosa ci raccontano?

<i>Arctica islandica</i>
<i>Persististrombus latus</i>
<i>Arctica islandica</i>
<i>Persististrombus latus</i>
<i>Arctica islandica</i>
<i>Persististrombus latus</i>

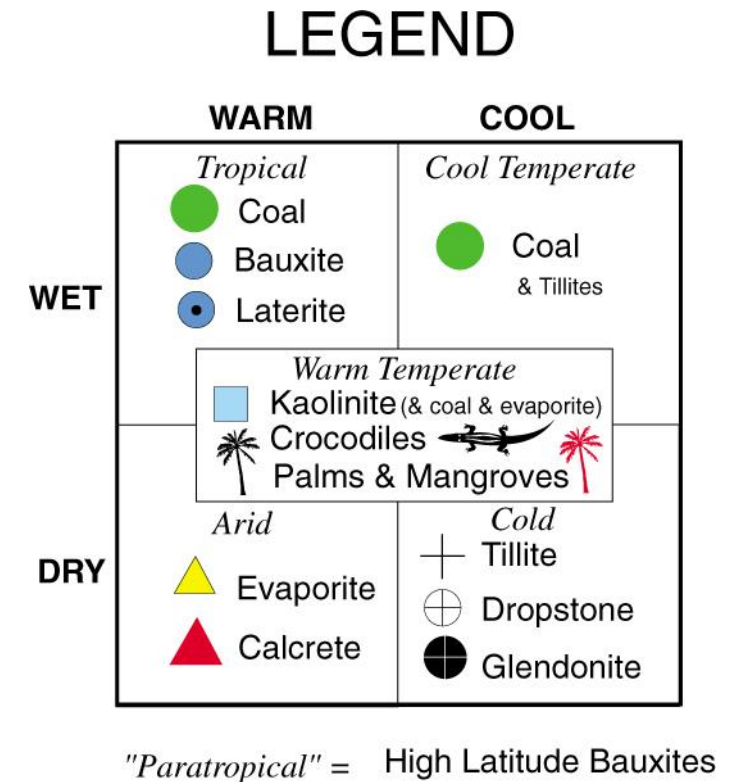


Non solo conchiglie



2) Rocce e climi del passato: una premessa

- Come le rocce registrano i climi: lo studio delle strutture sedimentarie indica gli ambienti nei quali le rocce si sono formate. Gli ambienti del sono fortemente controllati dal clima: le rocce ne sono testimoni



Quali evidenze?

Clima arido e semiarido



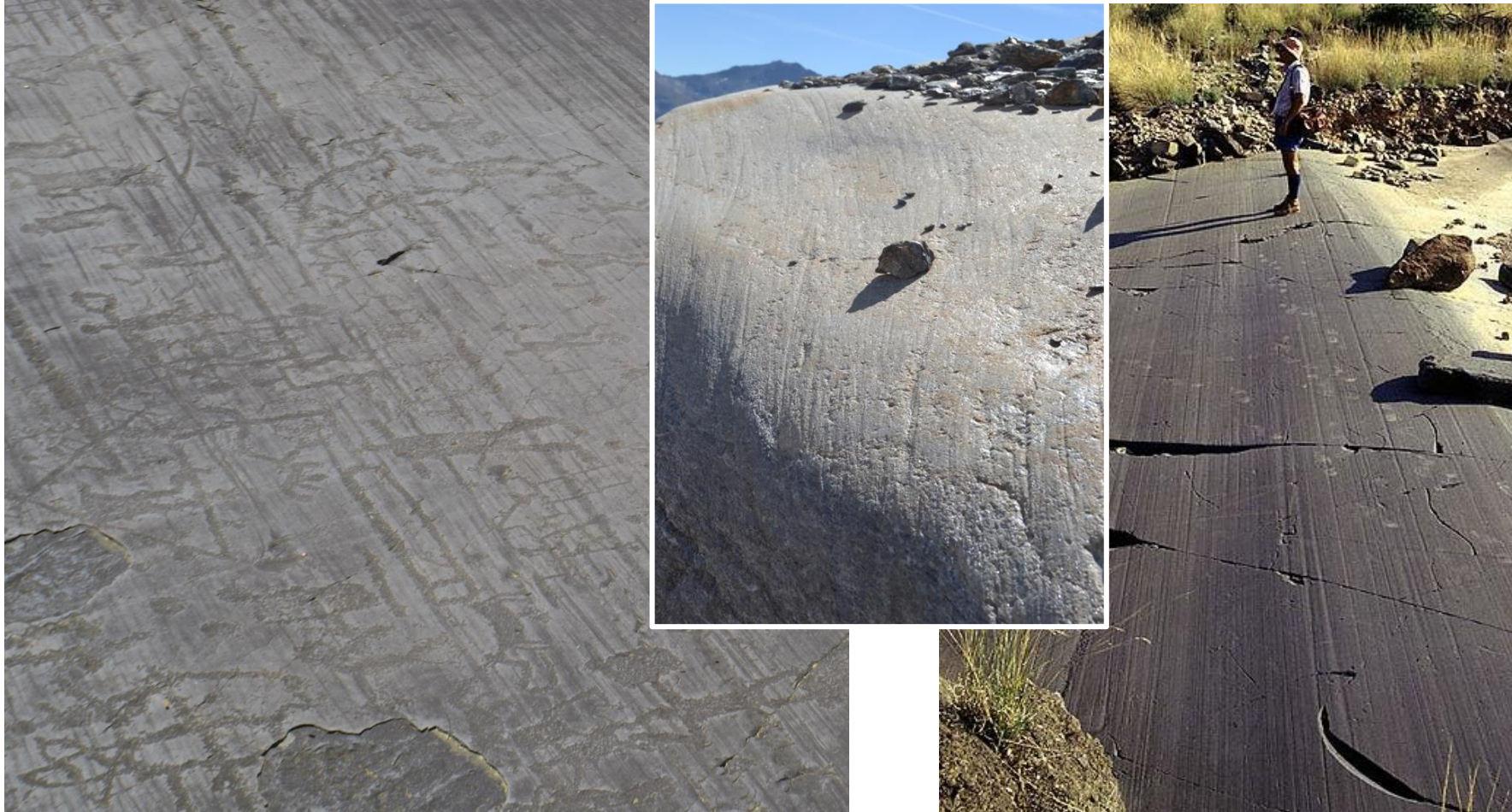
Iran, Olocene (2018 d.C.)



Prealpi bergamasche, Permiano (270 milioni di anni fa)

Anche in climi freddi...

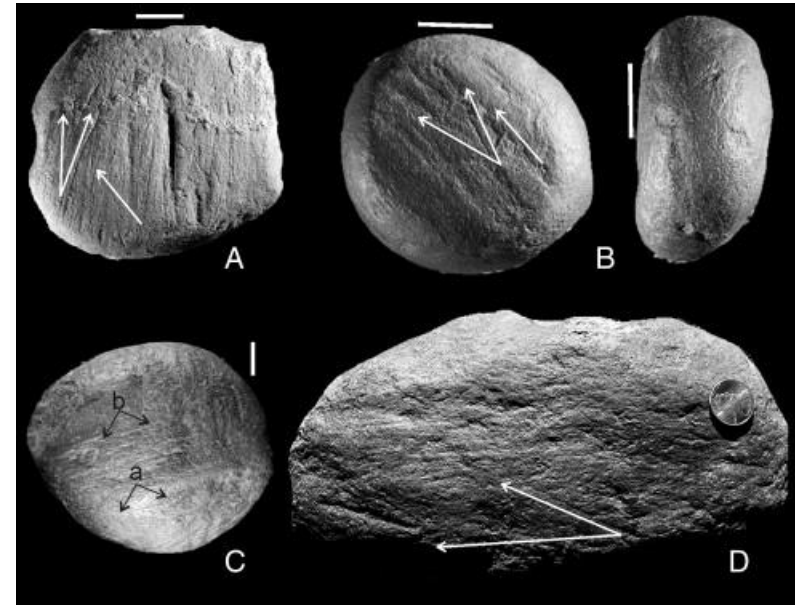
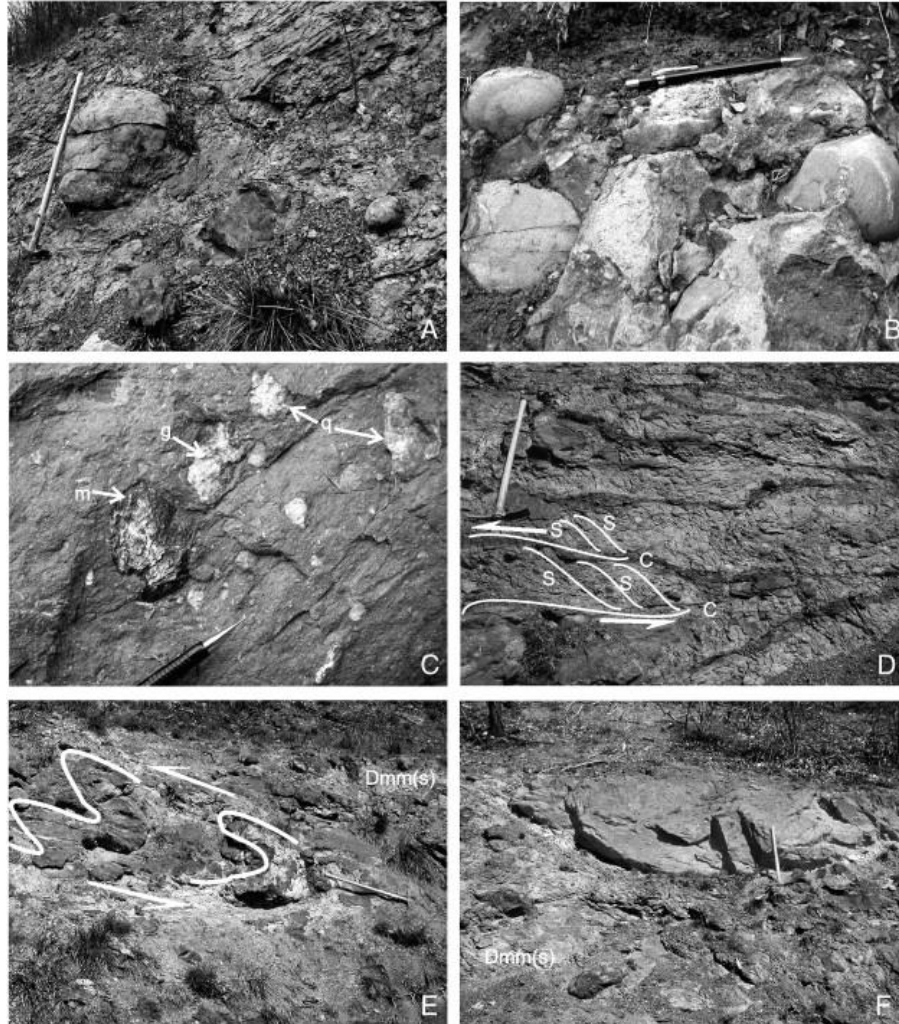
Olocene (oggi, 3200 m s.l.m.),
Valle d'Aosta



Pleistocene (circa 20.000 anni fa), Val
Camonica (BS), 300 m s.l.m.

Permo-Carbonifero (circa 290
Ma), South Africa

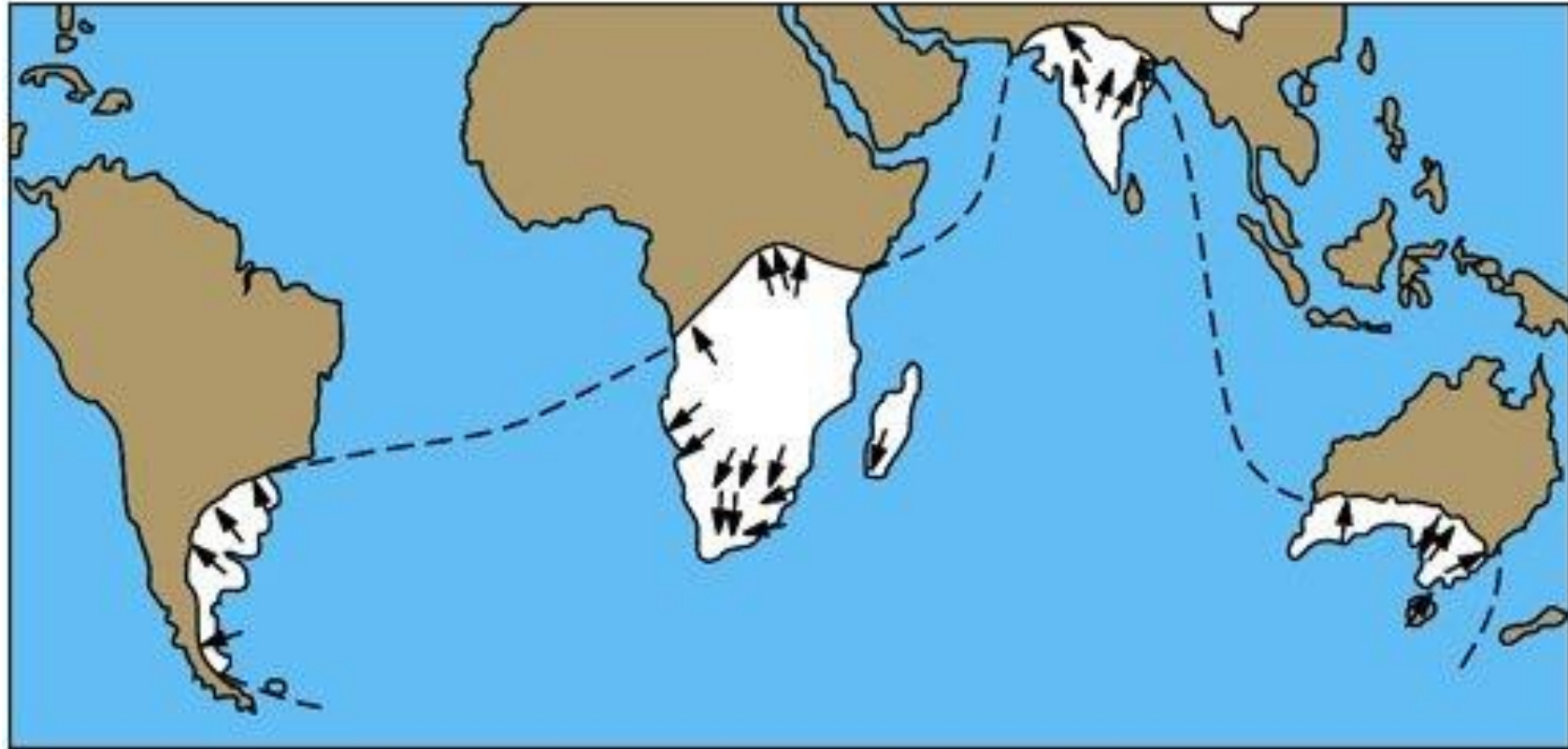
Anche i dettagli...



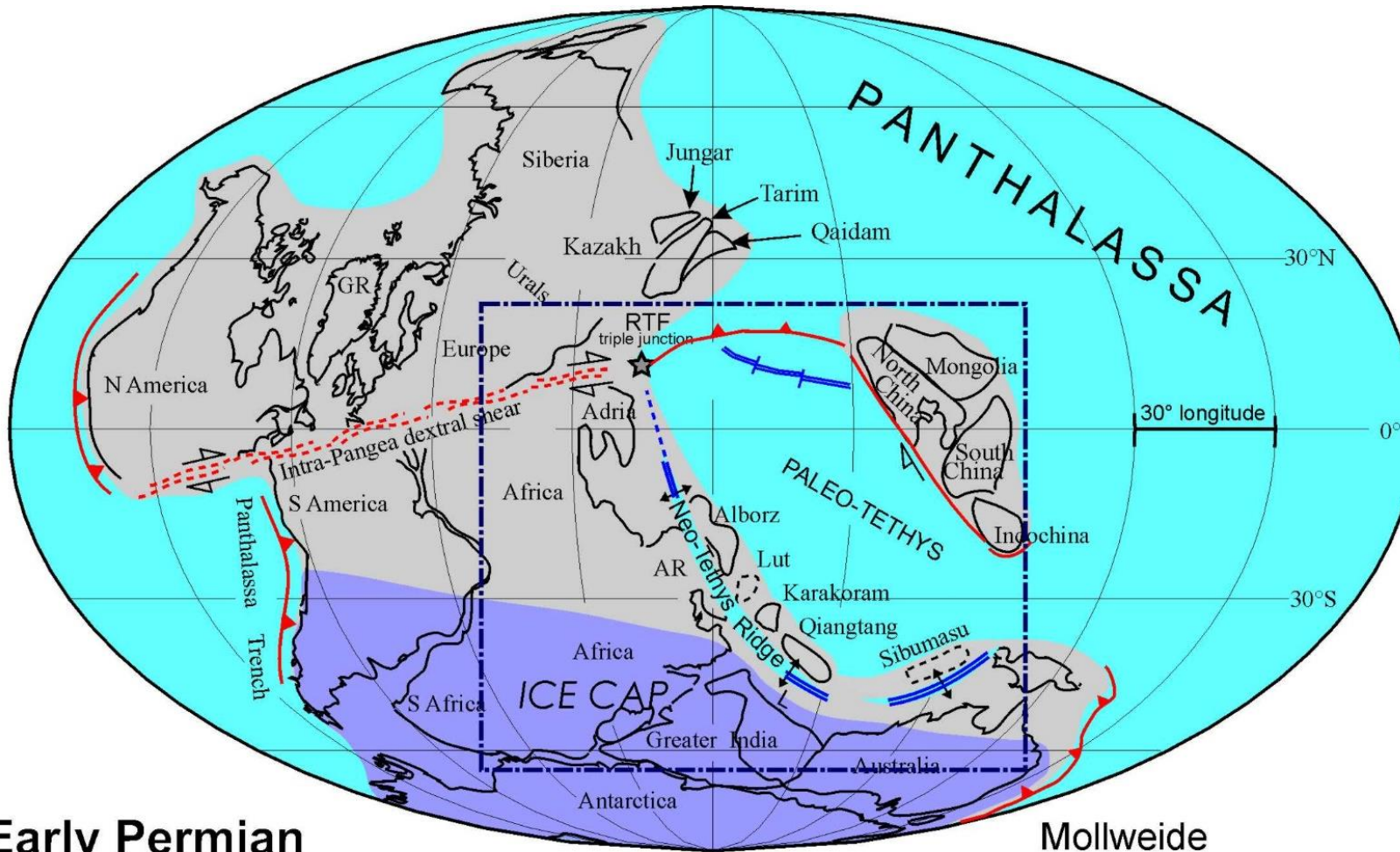
Brezinski et al.,
2008

Mettiamo insieme i dati per capire

- Ecco come si distribuiscono i sedimenti glaciali del Carbonifero-Permiano



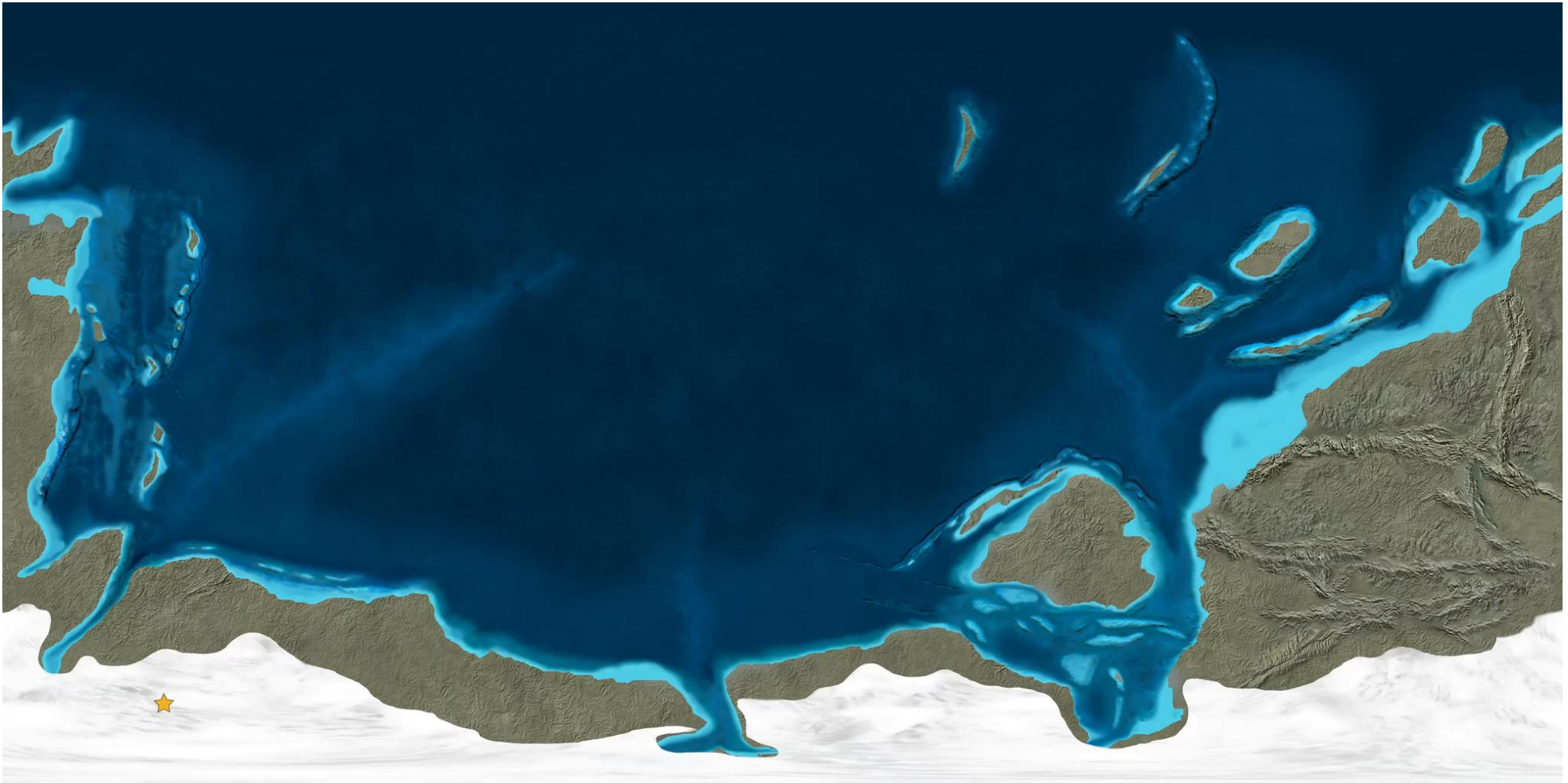
- Come spiegarlo?



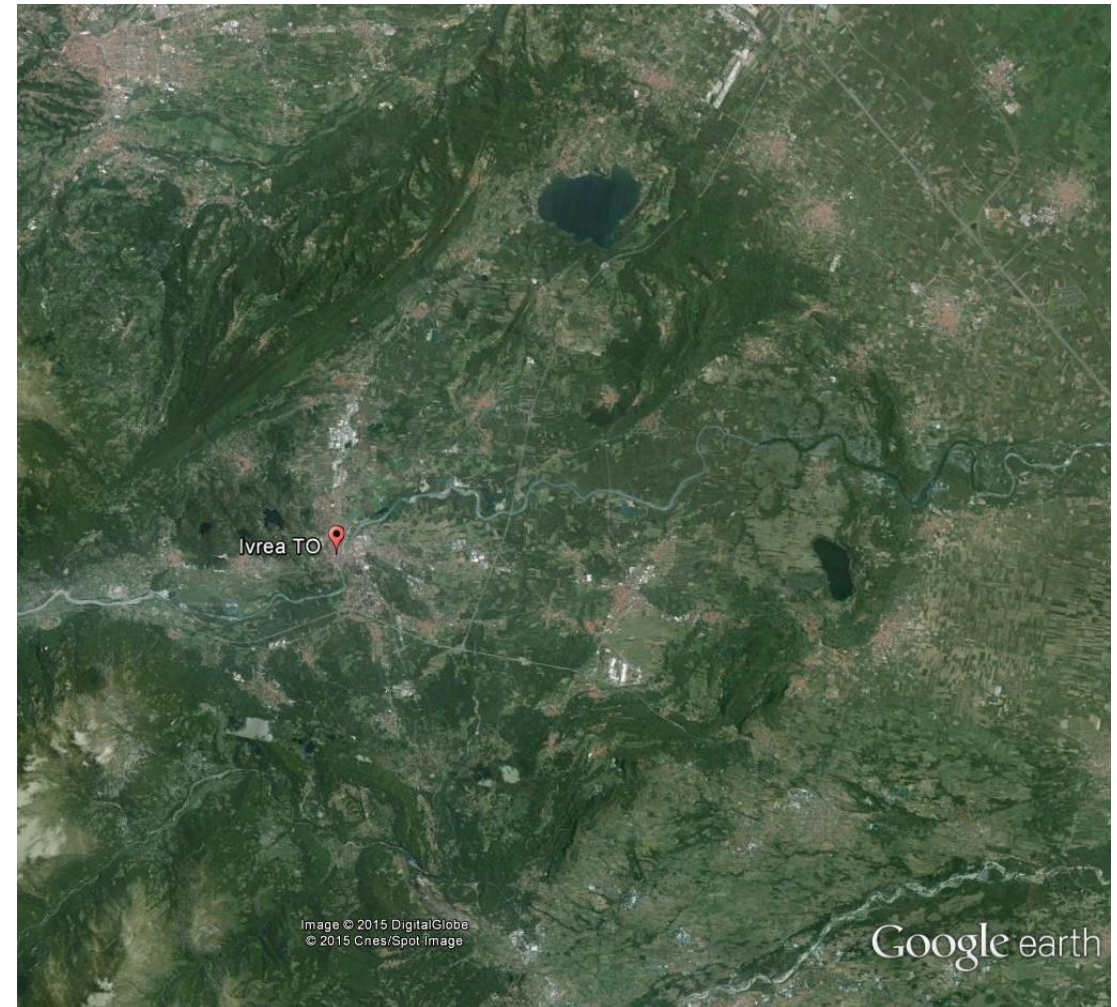
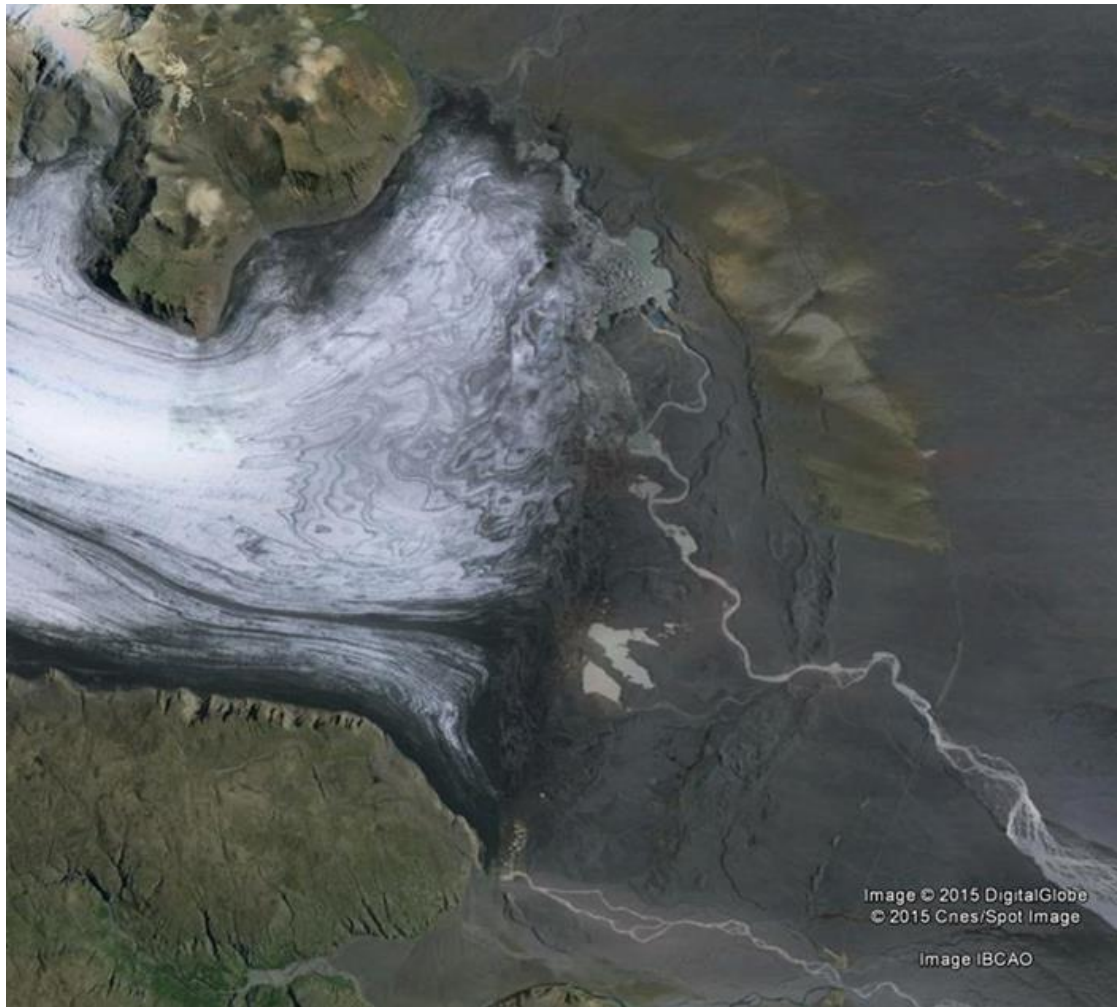
Early Permian

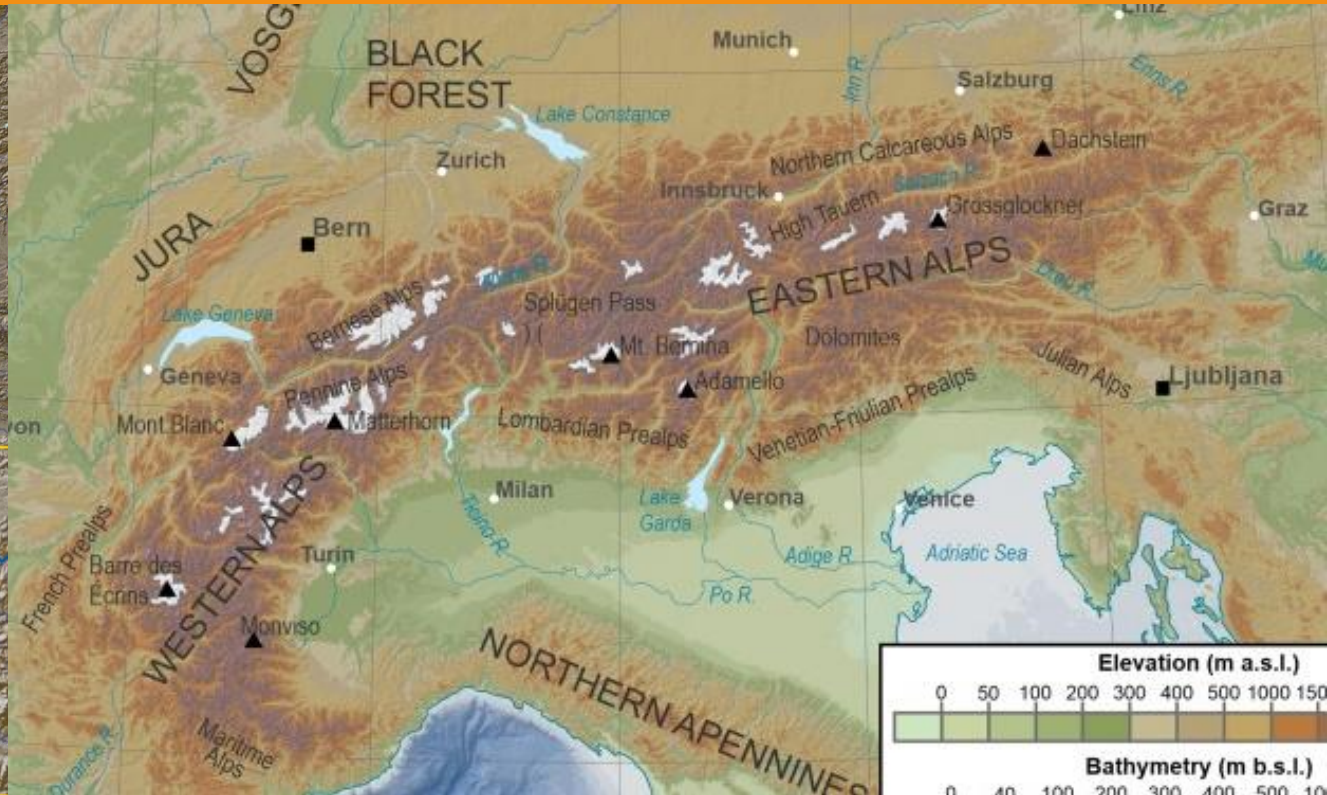
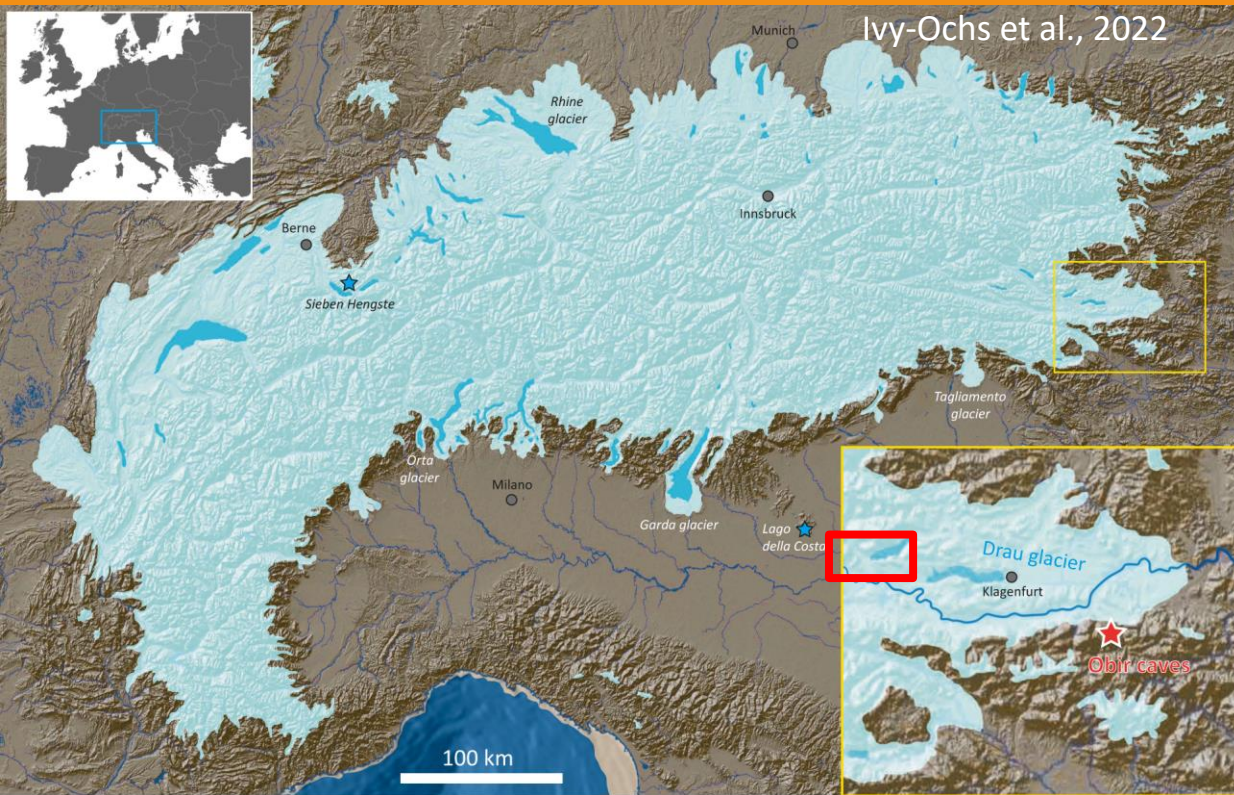
Mollweide
full globe projection

Ancora la tettonica a placche...



Ma in tempi recenti?





20.000 anni fa



- LGM paleoenvironment of Europe
- Ice sheets LGM
 - Pack-Ice
 - Coastline LGM -120m
 - LGM Lakes
 - LGM Rivers
 - Climate zones LGM Köppen-Geiger
 - B - Dry
 - C - Temperate
 - D - hot/warm summer
 - D - cold summer very cold winter
 - E - Polar

Map Projection: Europe Lambert Conformal Conic
EPSG: 102014

D. Becker, J. Verheul, M. Zickel, C. Willmes (2015): LGM paleoenvironment of Europe - Map
CRC806-Database, doi: 10.5880/SFB806.15.
www.sfb806.de



Oggi

Il clima che cambia:
lezioni dal passato per capire il presente.



Solo sulla terraferma?



NATIONAL GEOGRAPHIC

The Great Blue Hole

- Located off the coast of **Belize**, Central America
- It is one of such existing wonders.
- It lies close to the Center of Lighthouse Reef an atoll.

It was first discovered by **Jacques Cousteau** in the early 1970s

Surrounding Atoll

Blue Hole Opening

300 meters

South Grotto

125 meters

Limestone Block

Conch Graveyard

Even though there are **no currents** in the Blue Hole, accounts suggest the death occurs due to **nitrogen narcosis** as they go deeper. According to reports, divers cross 135ft or more and start feeling **numbing sensation or euphoria**, eventually causing death.

The Hole forms a perfect circle amidst the coral reef, and is also a part of the Belize Barrier Reef Reserve System,
a UNESCO World Heritage Site.

The French explorer revealed the marvelous Blue Hole to the world through a television series called **"The Undersea World of Jacques Cousteau"**.

It also offered researchers evidence to understand the **mystery of the fall of the Mayan civilization.**

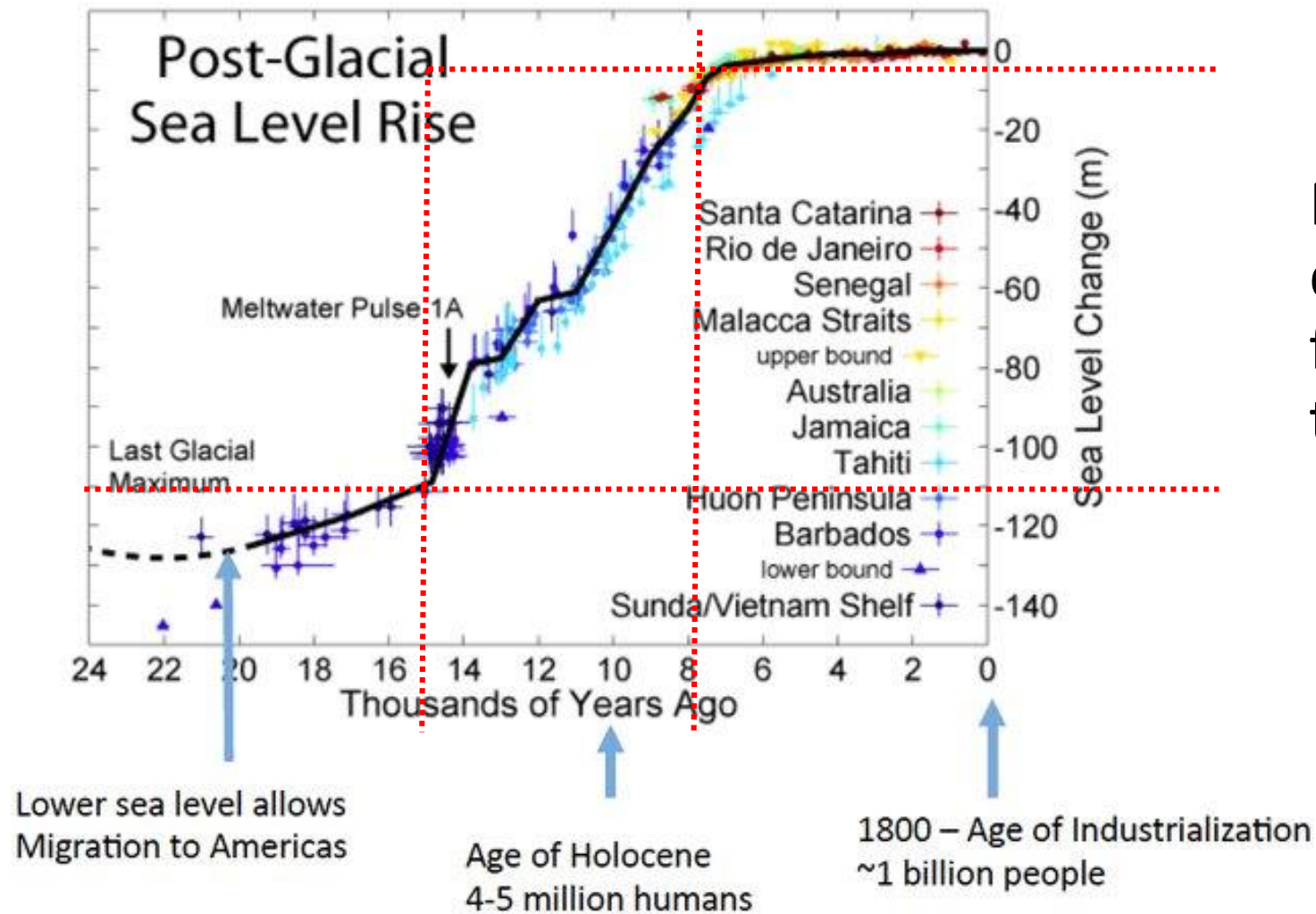
marineinsight.com

Il clima che cambia:
lezioni dal passato per capire il presente.

Perché?

- Il livello del mare cambia in corrispondenza delle fasi glaciali: per quale ragione?
- L'aumento dei ghiacci nelle calotte polari «toglie» acqua dal mare, con il conseguente abbassamento. Il contrario quando il clima si riscalda: l'acqua di fusione dei ghiacci ritorna al mare, innalzandone il livello
- Dati morfologici indicano un aumento di circa **125 metri** dalla fine dell'ultima fase glaciale

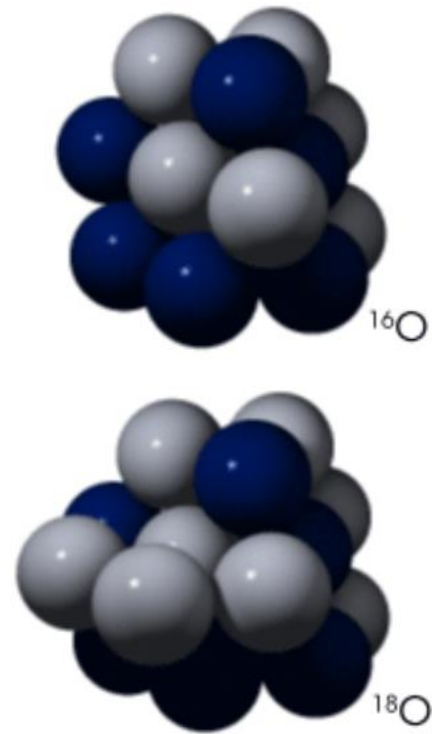
Quanto è risalito il mare dopo l'ultima fase glaciale?



Ma cosa succede quando i ghiacci fondono? L'acqua è tutta «uguale»?

3) Sorpresa: l'acqua non è tutta «uguale»....

Abbiamo trovato il termometro «fossile»!



Near the poles, atmospheric water vapor is increasingly depleted in ^{18}O .

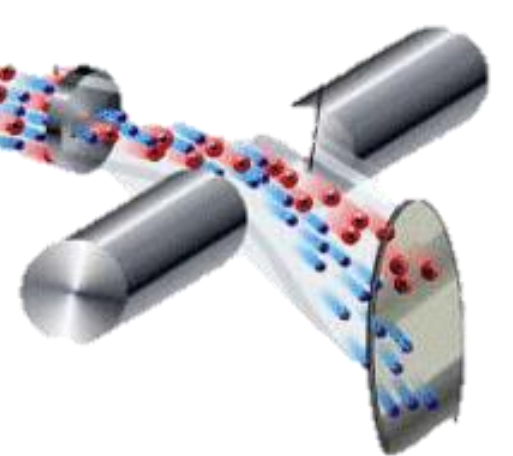
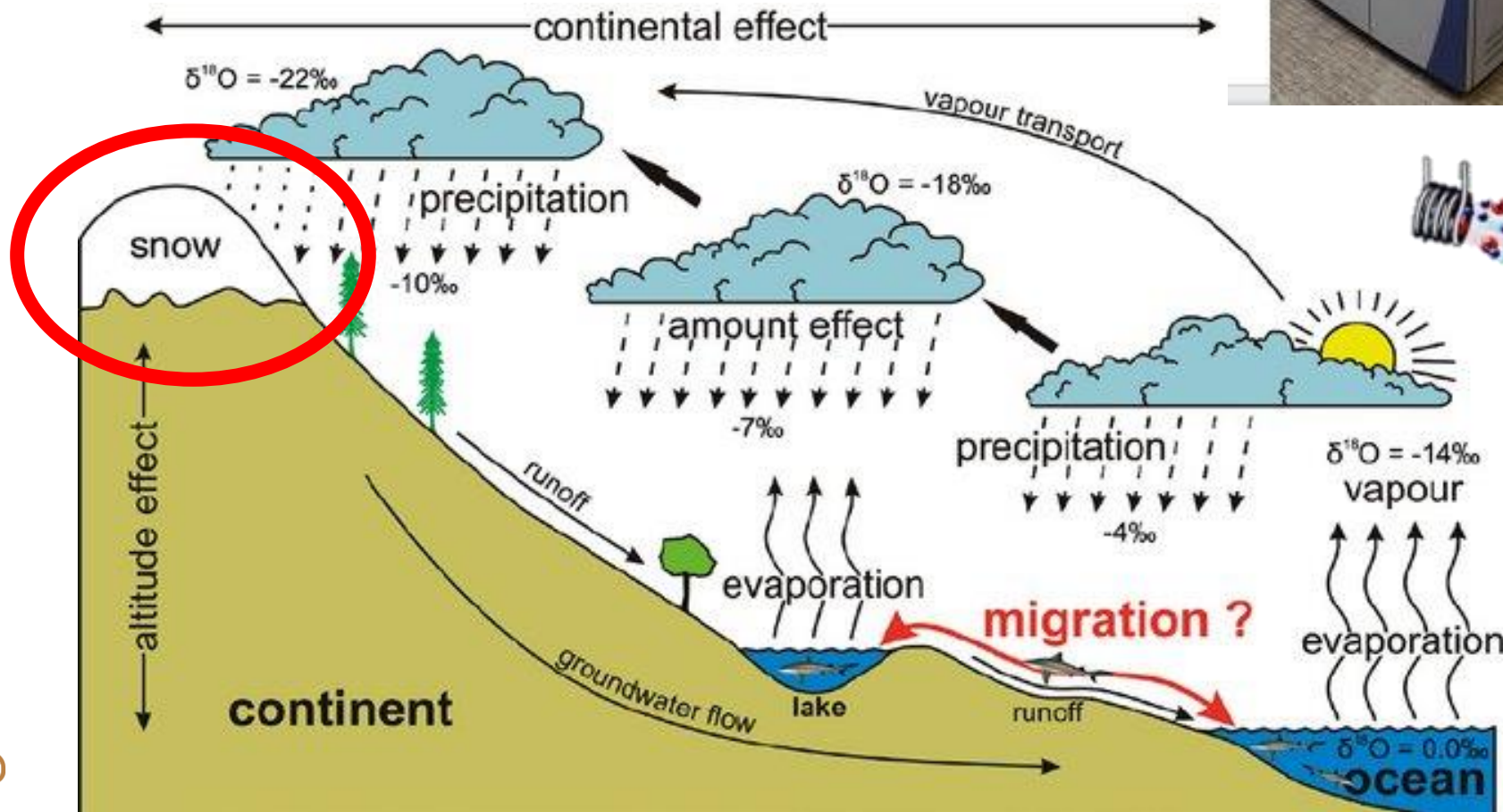
Heavy, ^{18}O -rich water condenses over mid-latitudes.

Meltwater from glacial ice is depleted in ^{18}O .

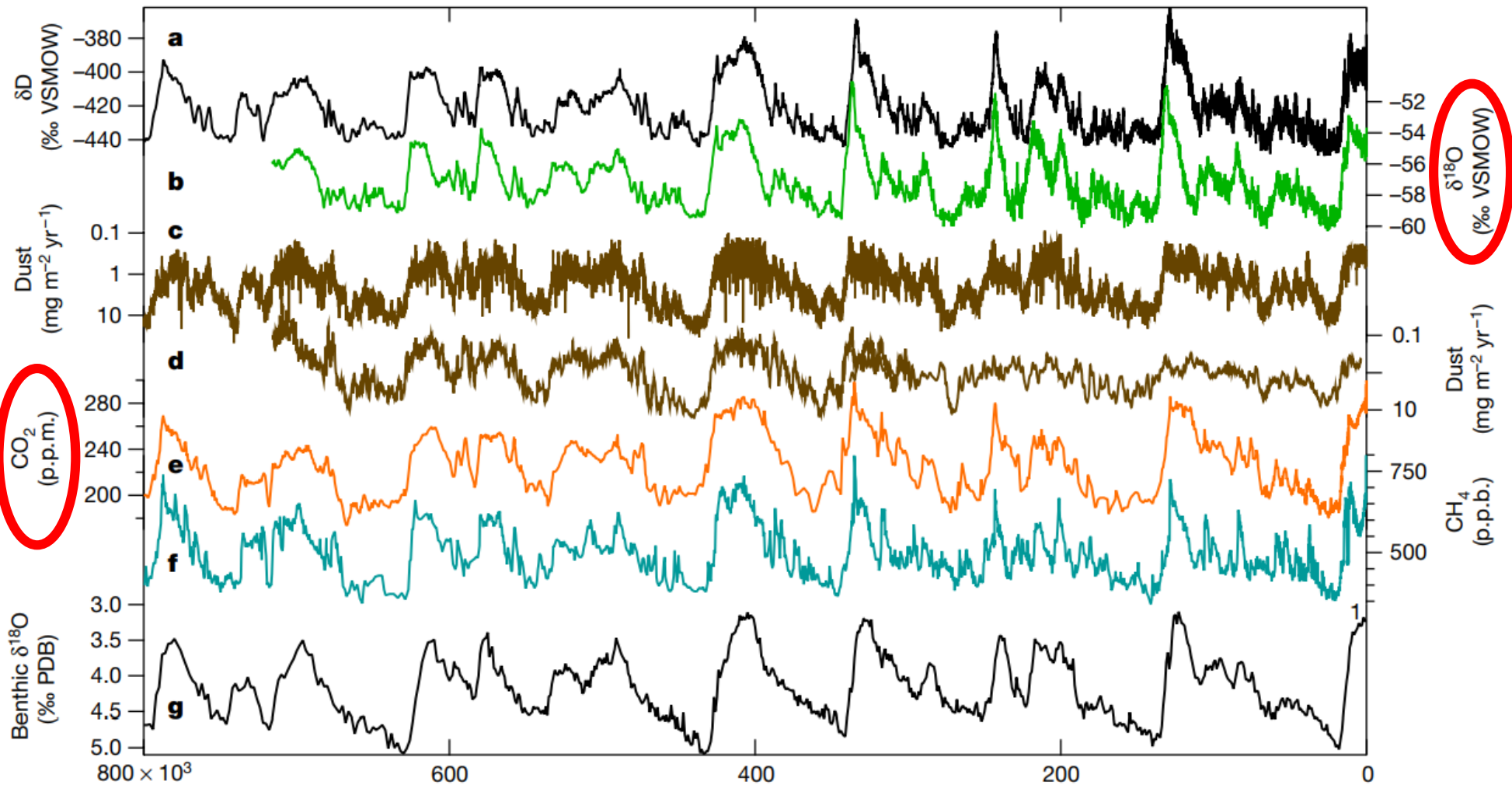
Water, slightly depleted in ^{18}O , evaporates from warm sub-tropical waters.

Snow in the interior of Antarctica has 5 percent less ^{18}O than ocean water.

$$\delta^{18}O = \left(\frac{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{\text{campione}}}{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{\text{standard}}} - 1 \right) * 1000 \text{ ‰}$$







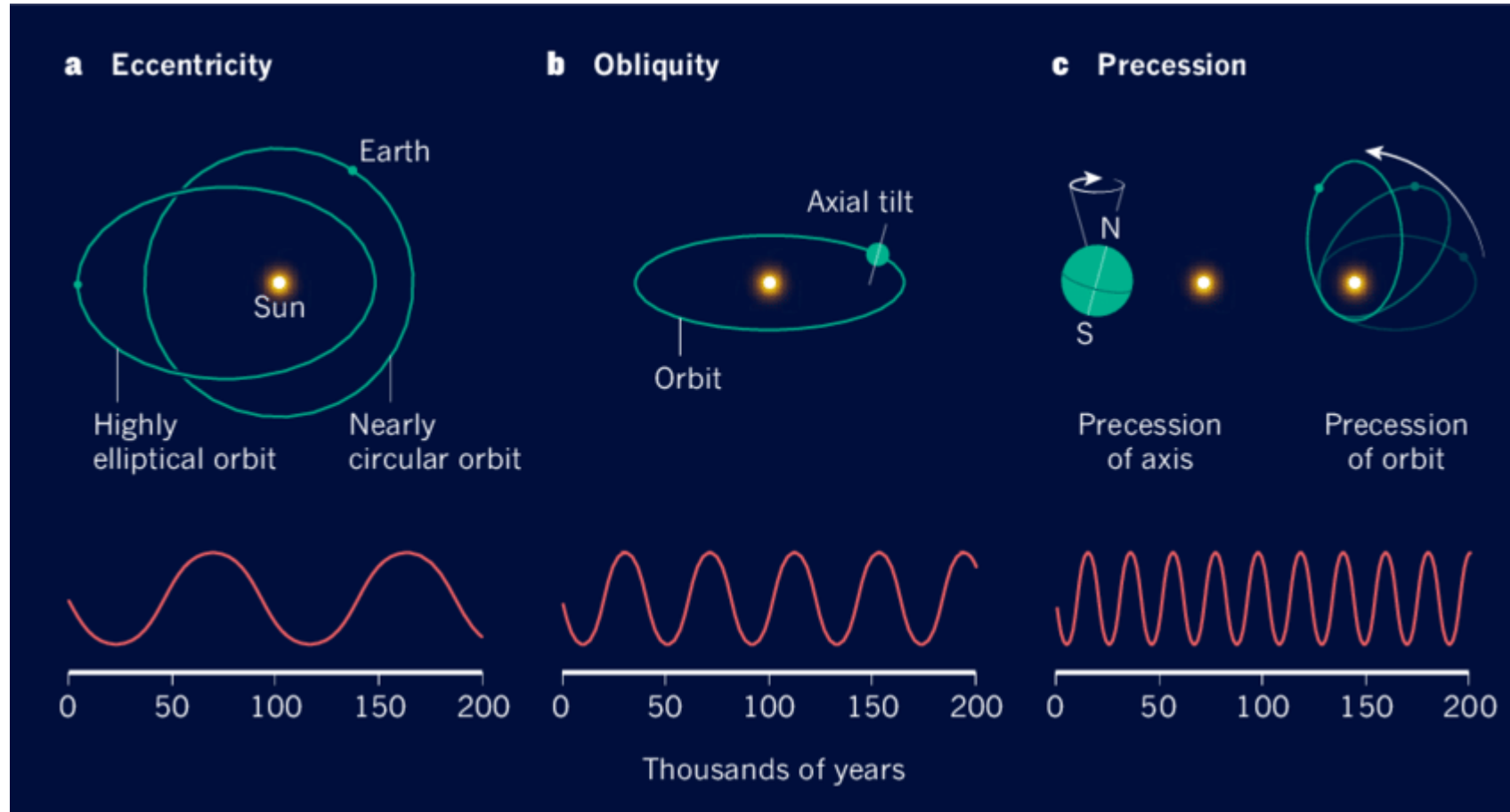
<https://www.nature.com/articles/s41586-018-0172-5.pdf>



Il clima che cambia:
lezioni dal passato per capire il presente.

Ma perché questi cambiamenti?

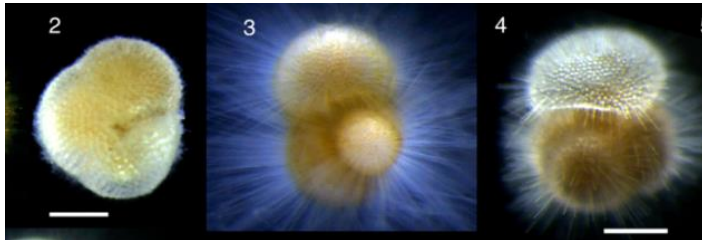
- I cicli di Milankovitch... ma non solo



Ma quando non c'è il ghiaccio?

- Ci vorrebbe qualcosa che si forma nel mare e registra il variare di $\delta^{18}\text{O}$ nel tempo: se lo troviamo abbiamo un termometro utilizzabile anche quando non c'è ghiaccio a disposizione!

Questo minerale è la calcite (CaCO_3), presente nei gusci di moltissimi organismi marini: bivalvi, gasteropodi, crinoidi, brachipodi etc. Gli organismi utilizzano l'ossigeno presente nell'acqua di mare per produrre il loro guscio





Cesare Emiliani

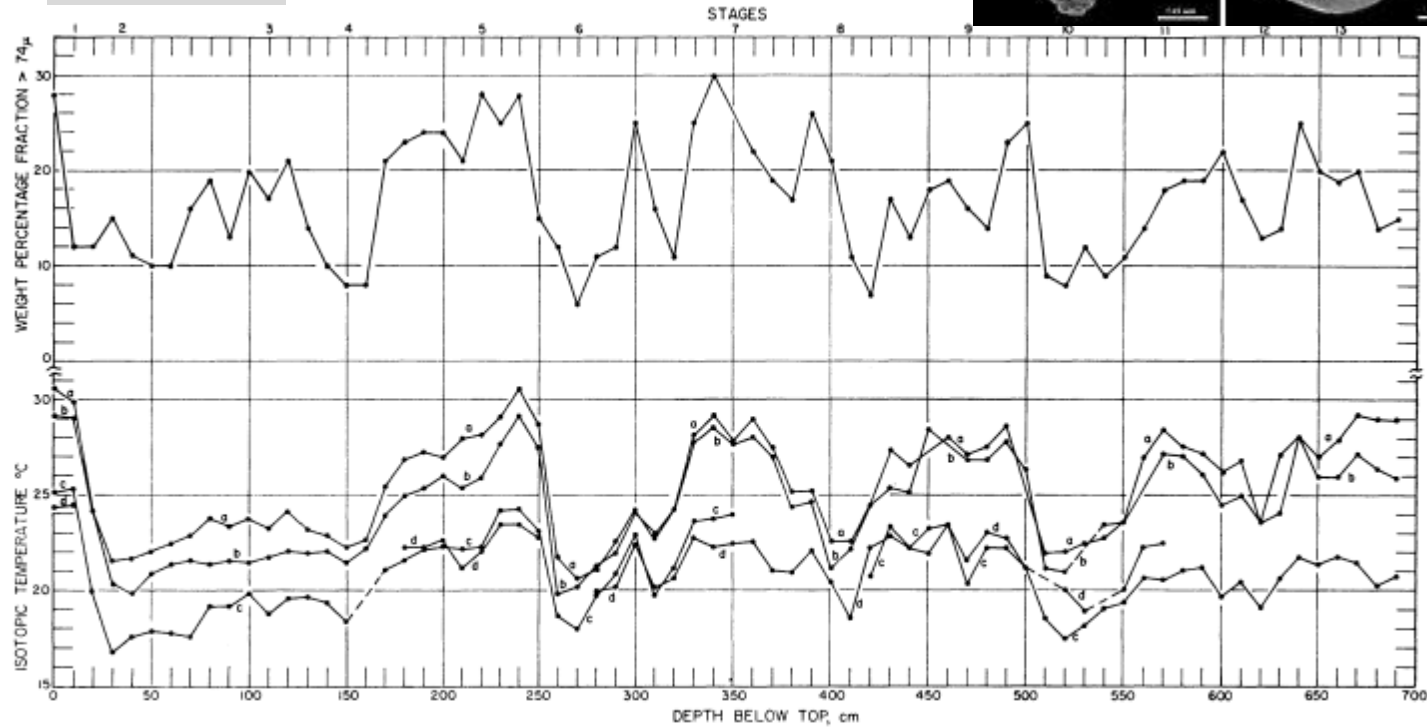
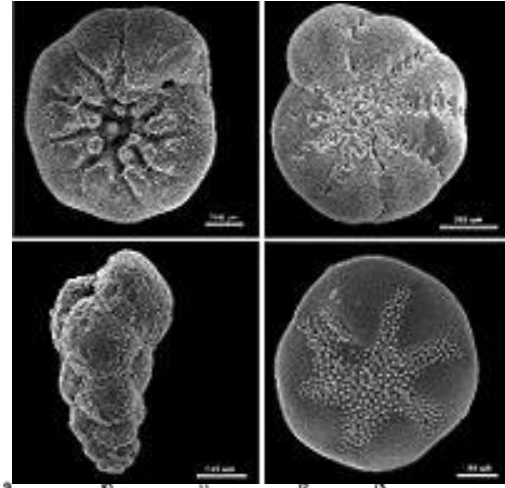
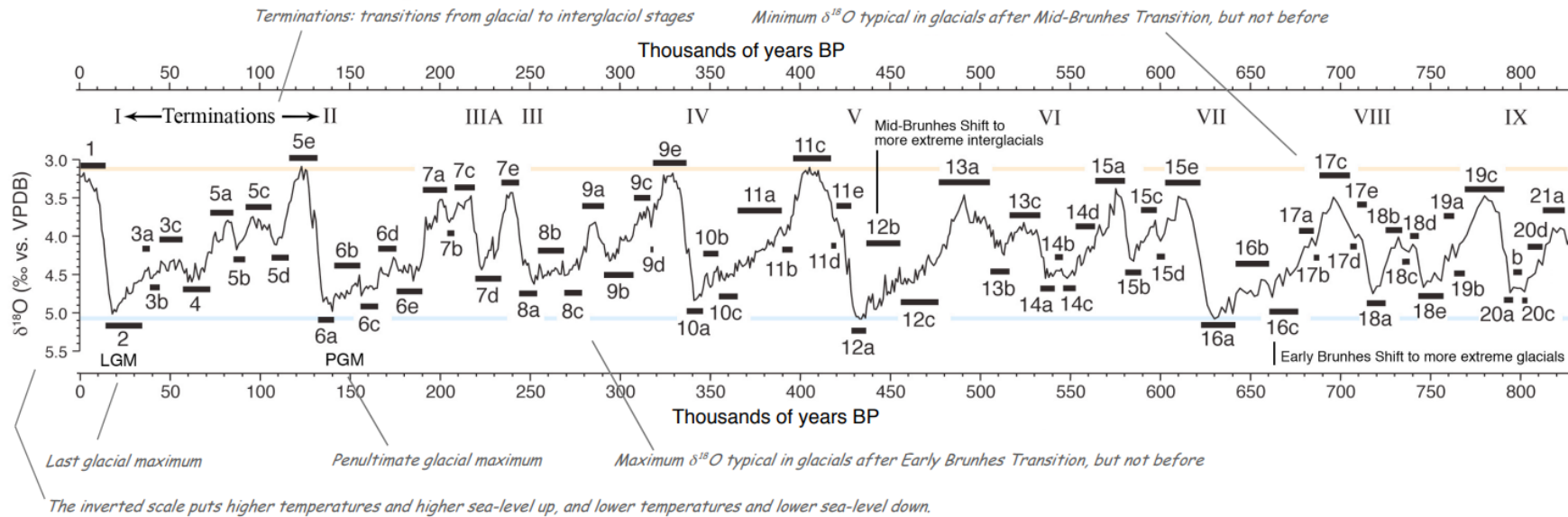
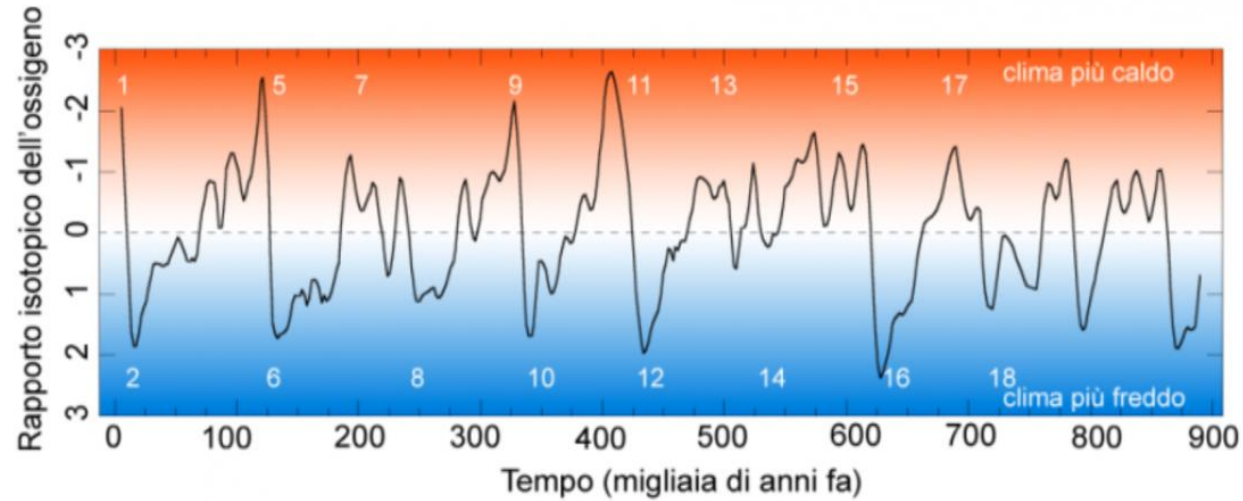


FIG. 2.—Core A179-4: percentages of the fraction larger than $74\ \mu$ and isotopic temperatures obtained from *Globigerinoides rubra* (a), *Globigerinoides sacculifera* (b), *Globigerina dubia* (c), and *Globorotalia menardii* (d).

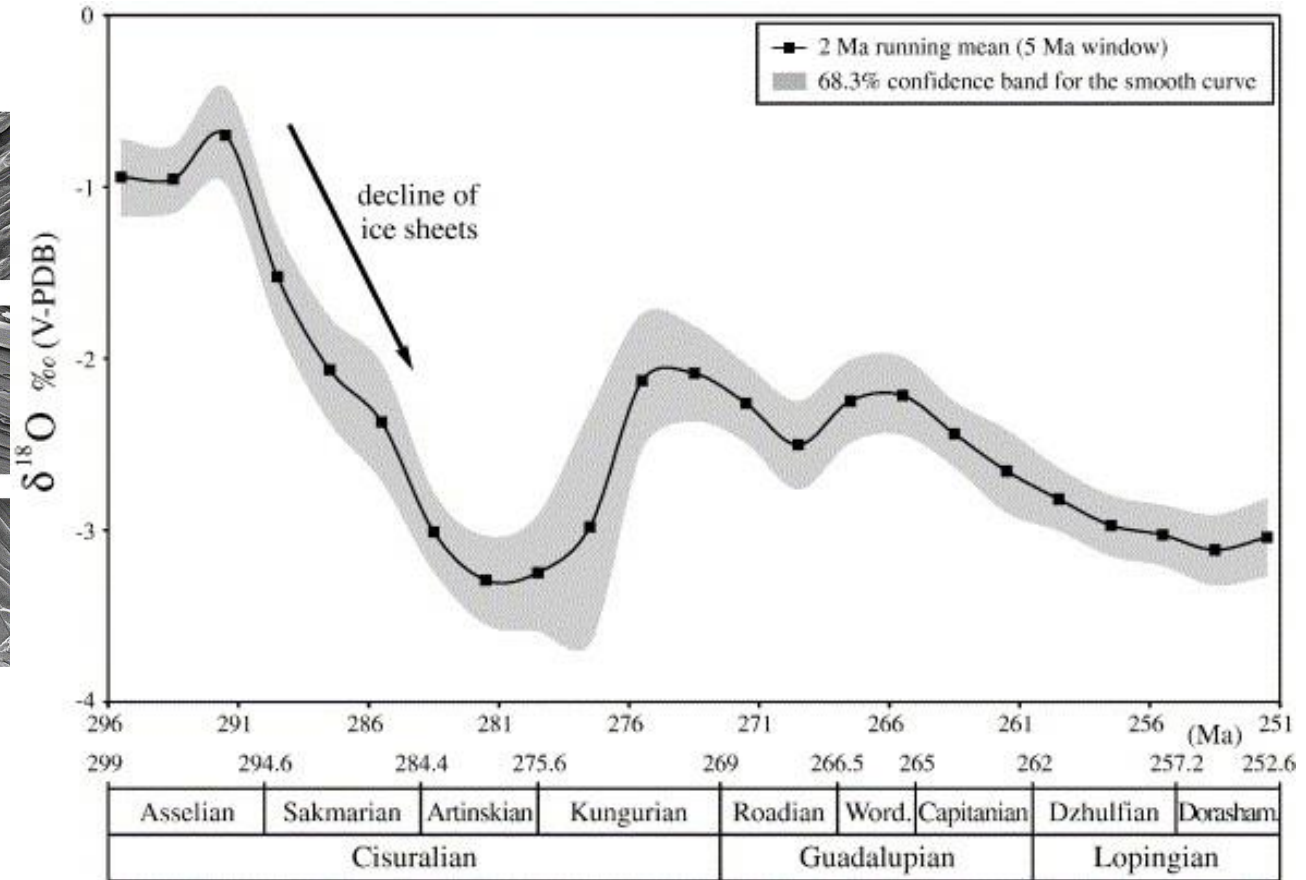
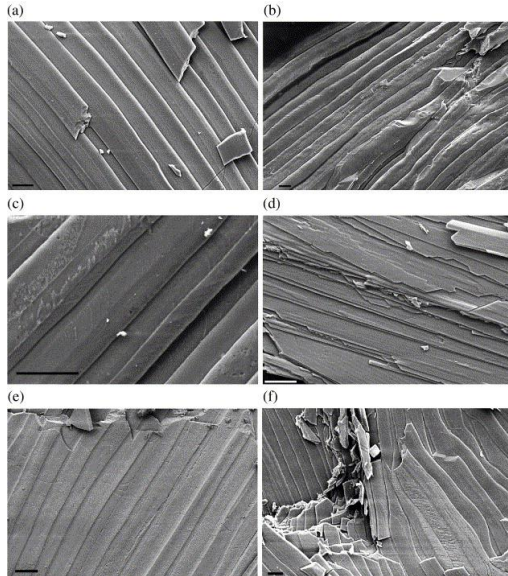
Emiliani, 1955

$$\delta^{18}O = \left(\frac{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O}\right)_{sample}}{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O}\right)_{standard}} - 1 \right) * 1000 \text{ ‰}$$

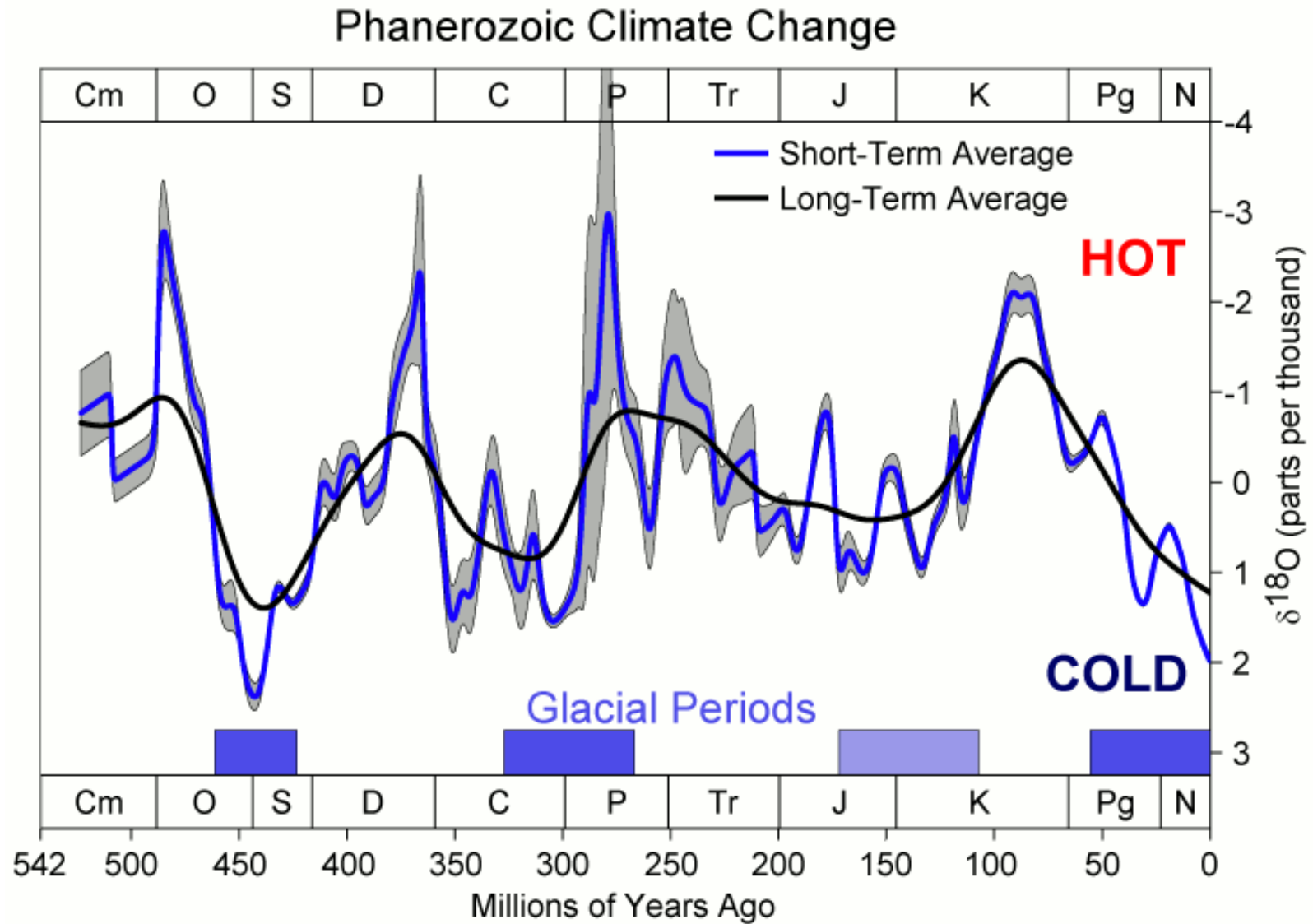


Il clima che cambia:
lezioni dal passato per capire il presente.

Un esempio dal passato remoto

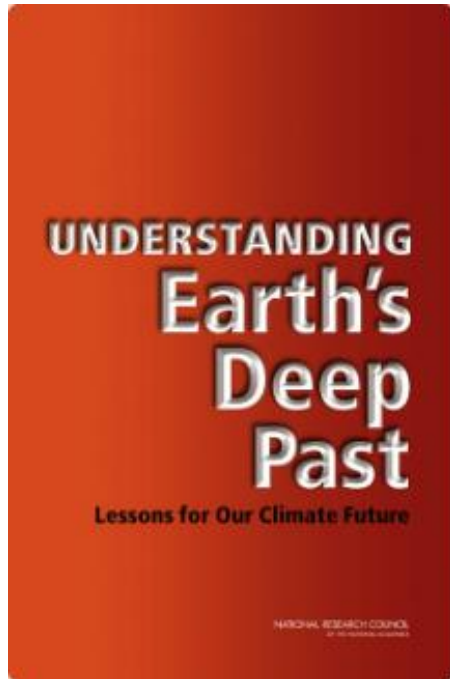


Anni di lavoro, per ricostruire i climi del passato

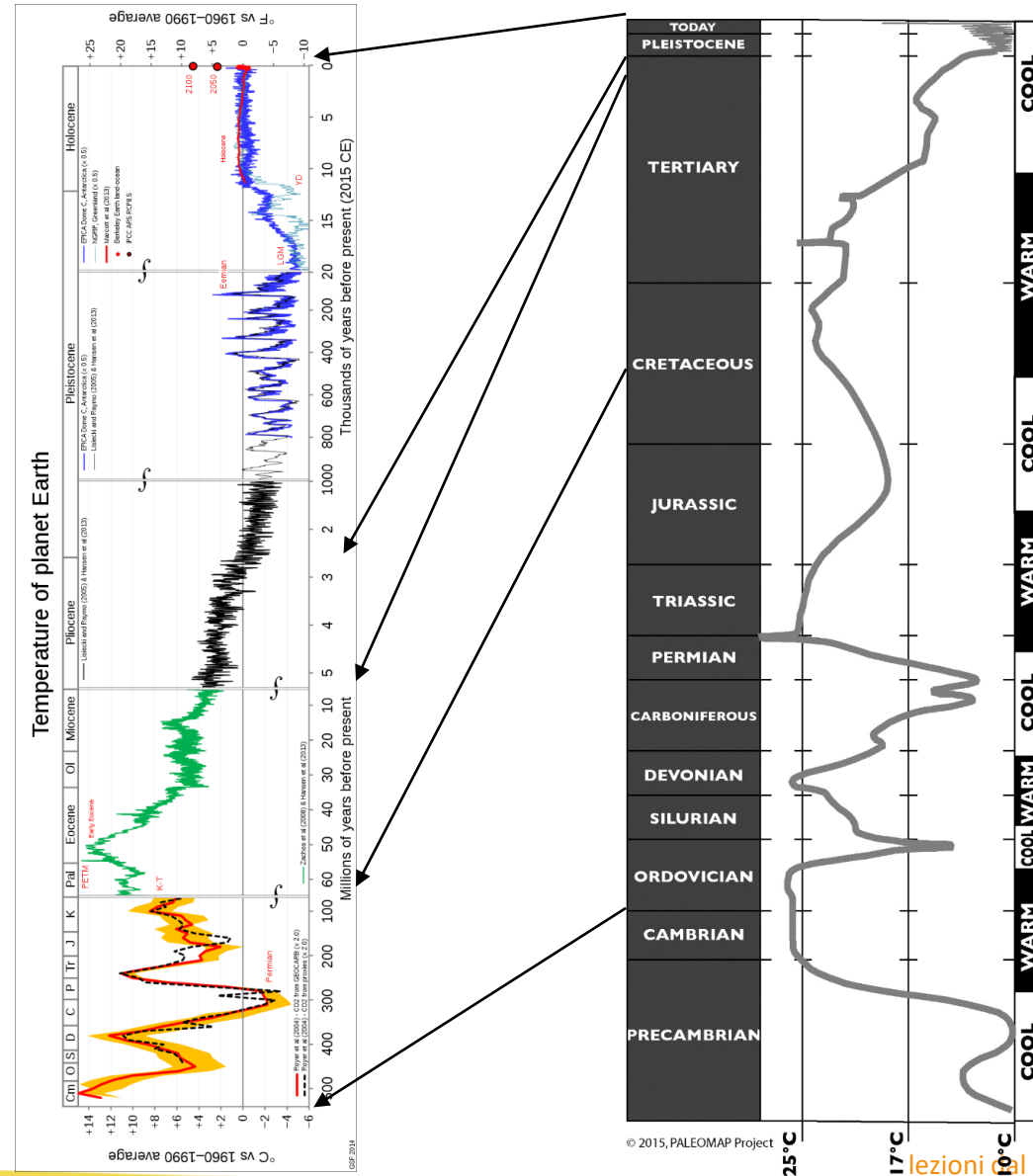


Un pianeta in perenne trasformazione

Non solo variazione periodica dei parametri orbitali, ma anche eventi legato a fenomeni non ciclici: eruzioni vulcaniche, eventi anossici etc.



Montanez et al., 2011

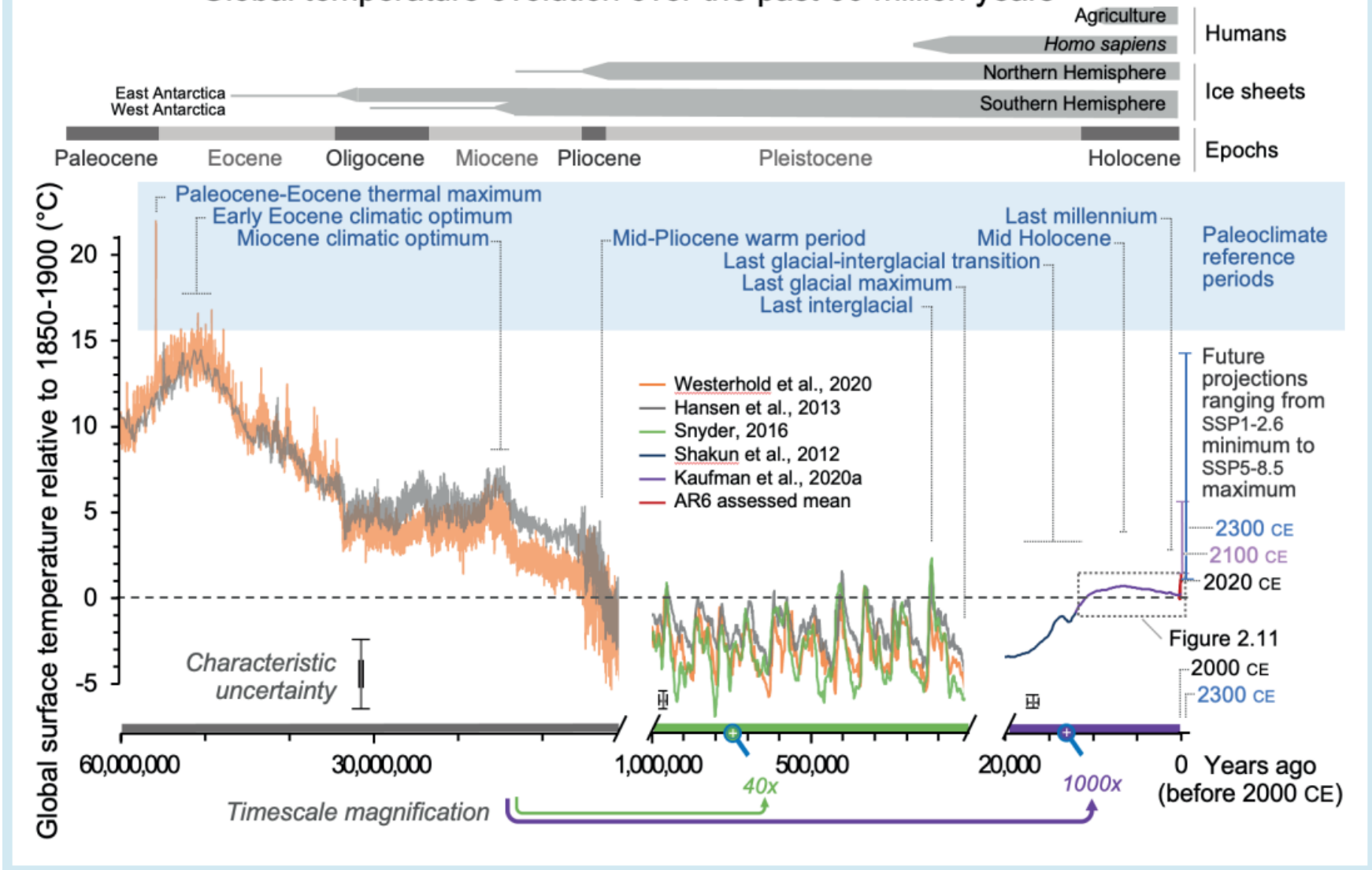


© 2015, PALEOMAP Project

Il clima che cambia:
lezioni dal passato per capire il presente.



Global temperature evolution over the past 60 million years



Changes in global mean sea level

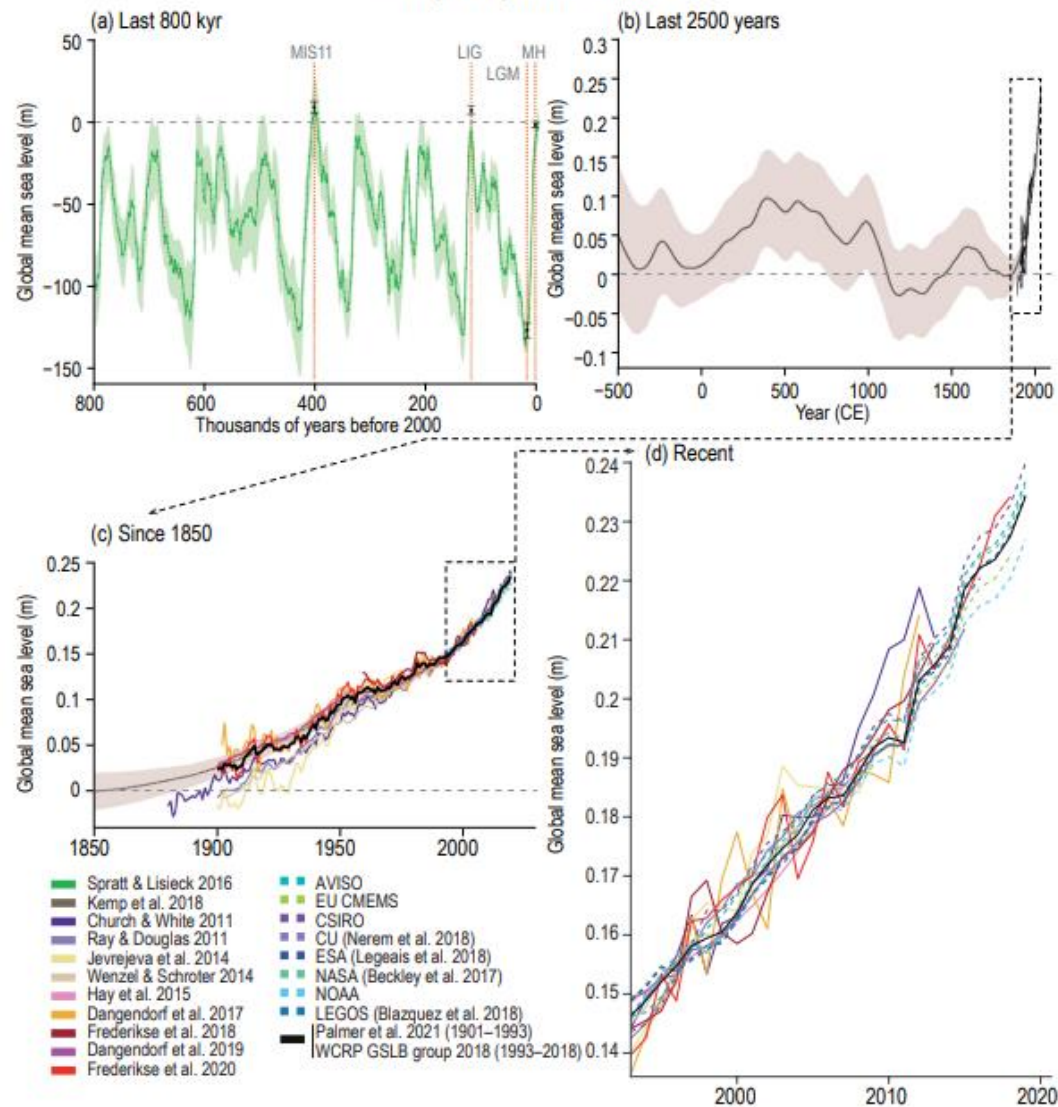
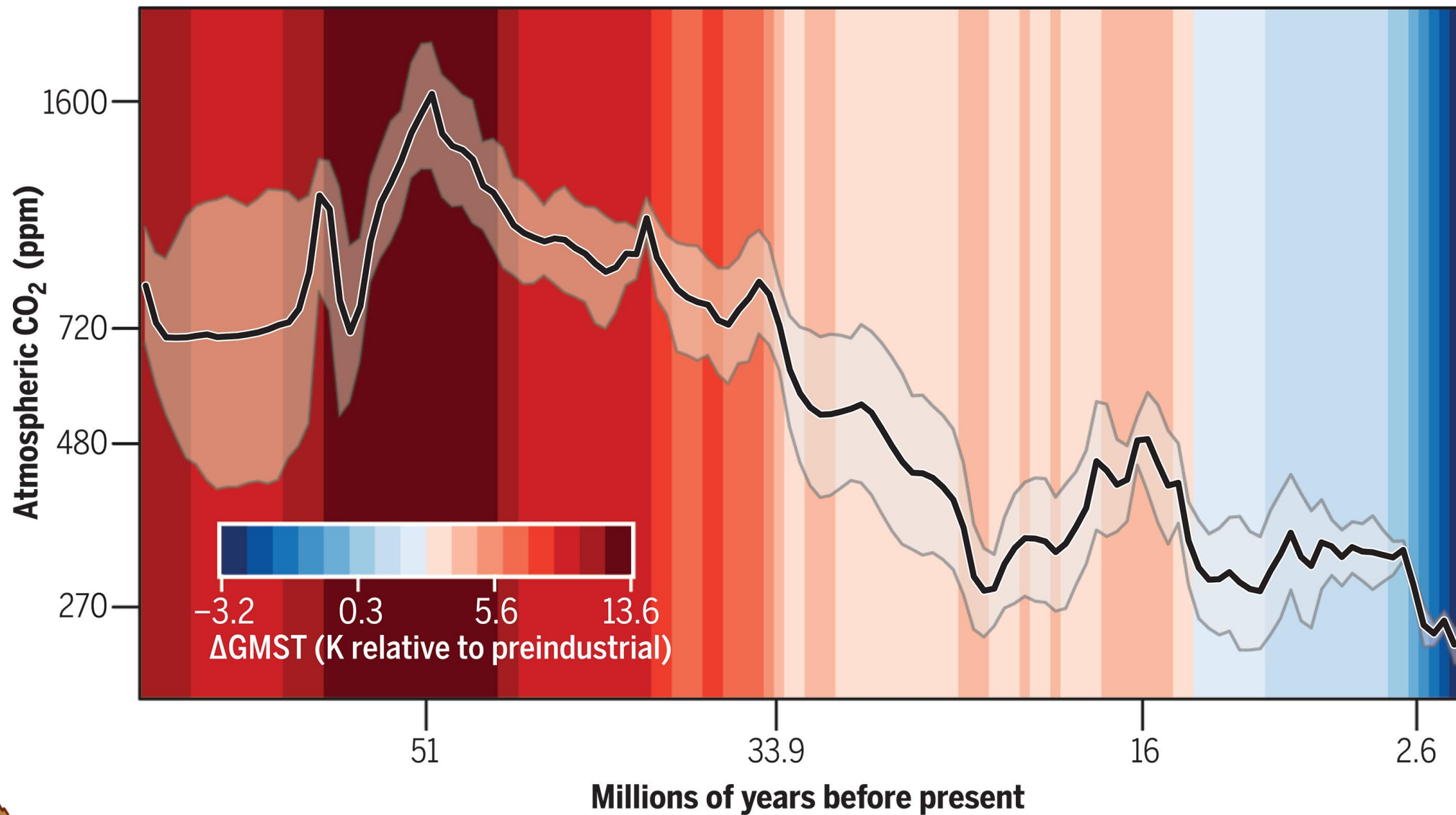
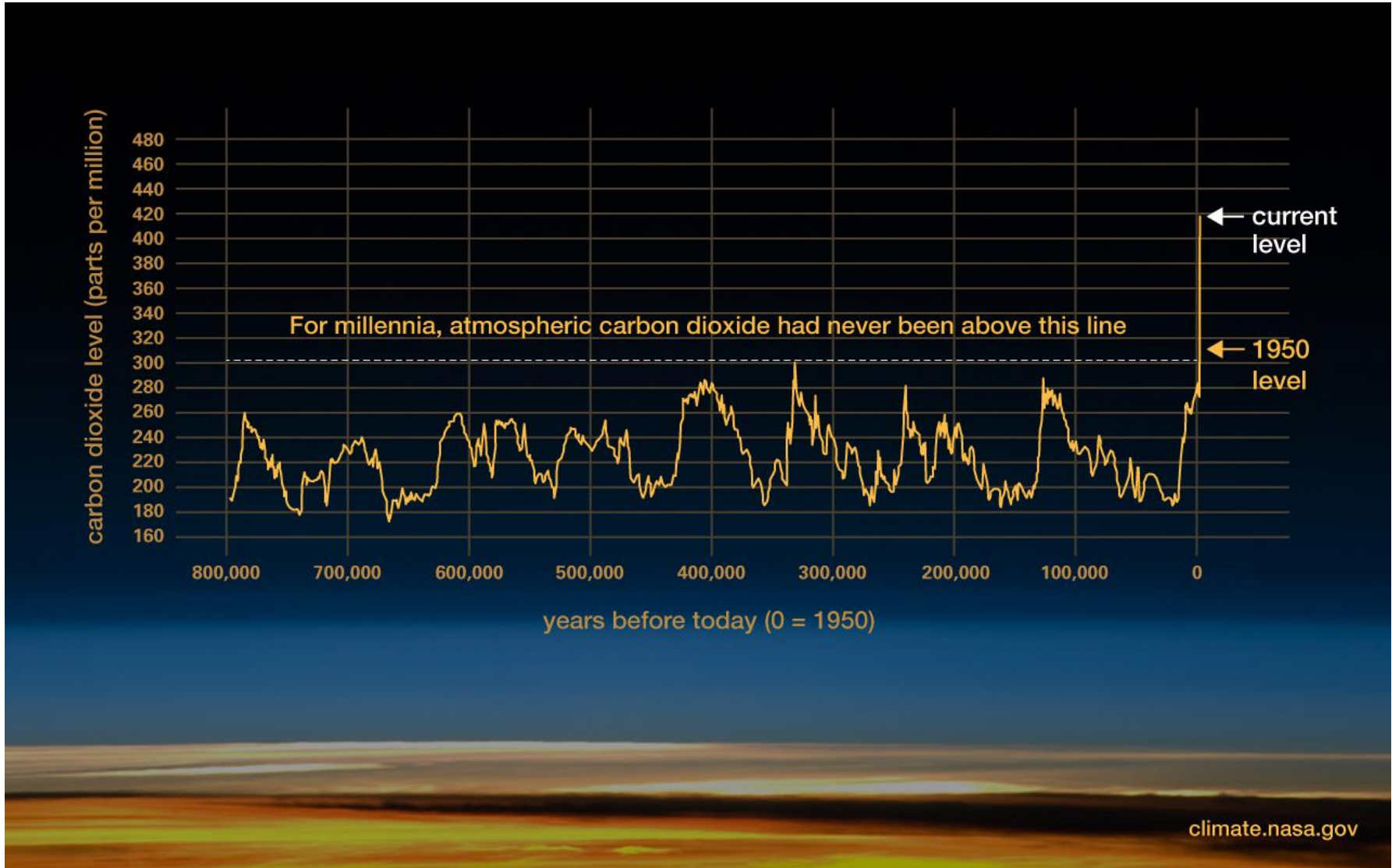
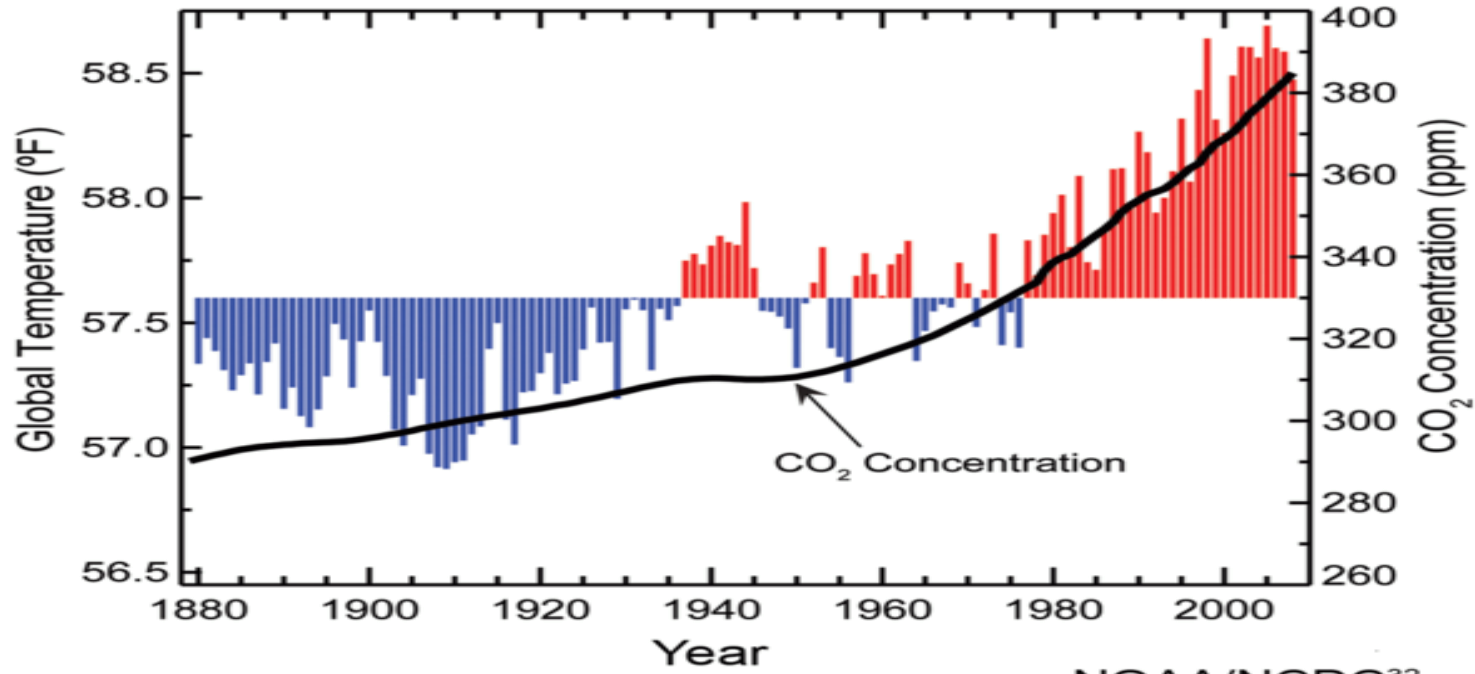


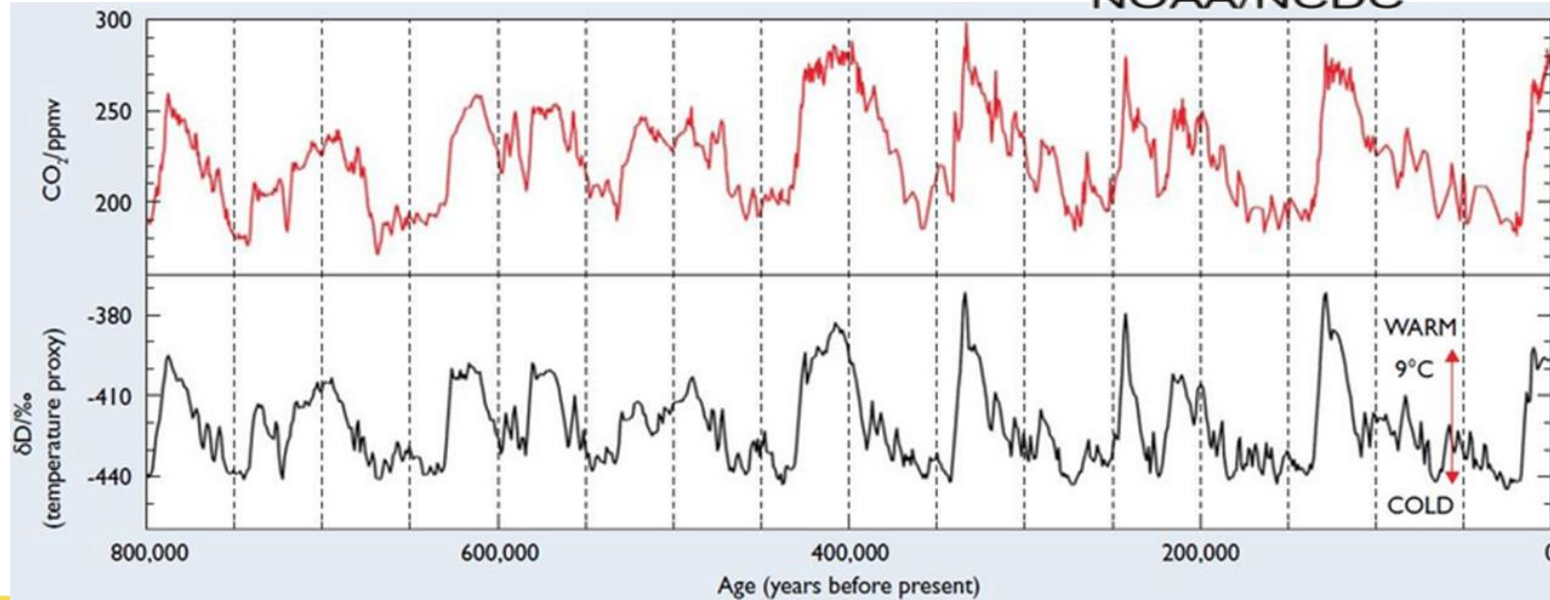
Figure 2.28 | Changes in global mean sea level. (a) Reconstruction of sea-level from ice core oxygen isotope analysis for the last 800 kyr. For target paleo periods (CCB2.1) and MIS11 the estimates based upon a broader range of sources are given as box whiskers. Note the much broader axis range (200 m) than for later panels (tenths of metres). (b) Reconstructions for the last 2500 years based upon a range of proxy sources with direct instrumental records superposed since the late 19th century. (c) Tide-gauge and, more latterly, altimeter-based estimates since 1850. The consensus estimate used in various calculations in Chapters 7 and 9 is shown in black. (d) The most recent period of record from tide-gauge and altimeter-based records. Further details on data sources and processing are available in the chapter data table (Table 2.SM.1).





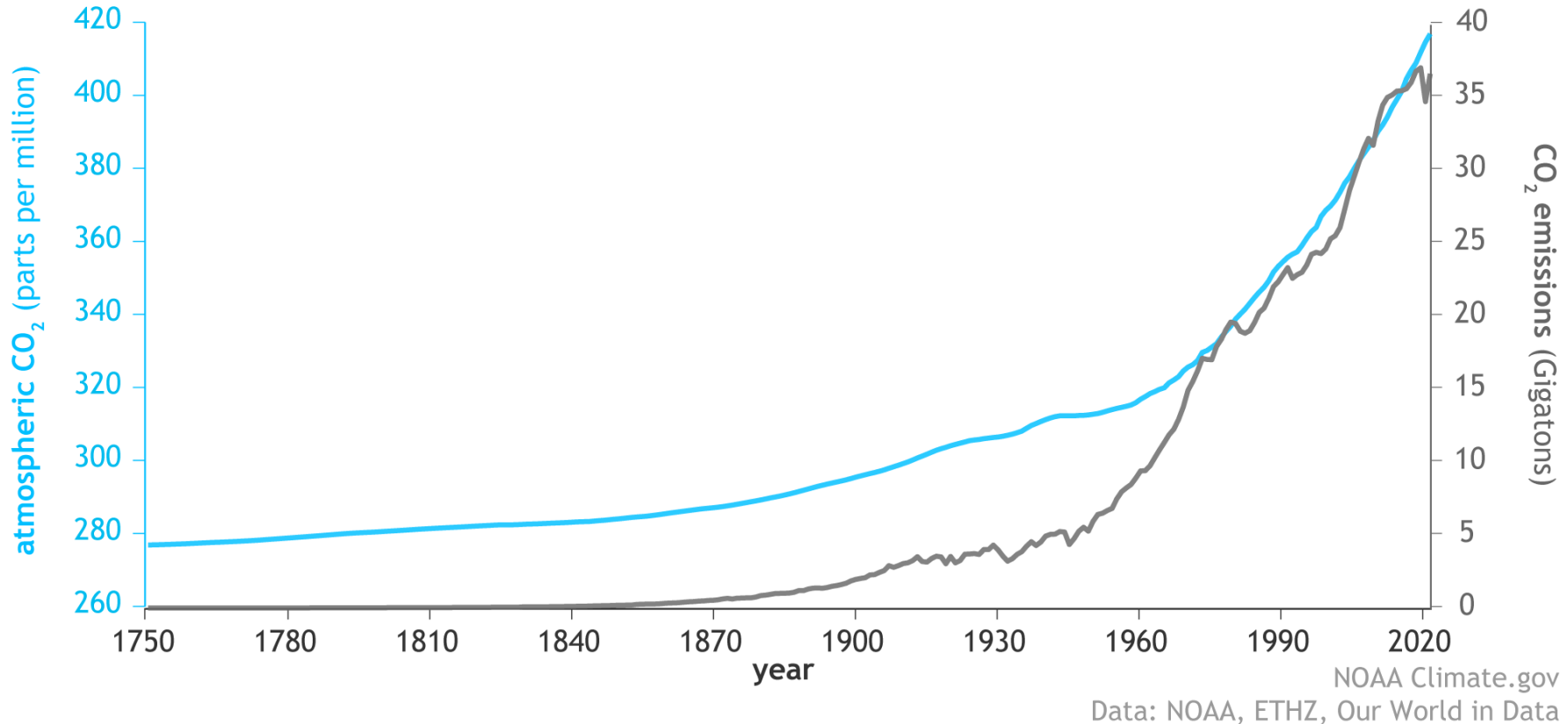


NOAA/NCDC³²

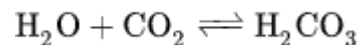


Se aumenta la Co2, chi è il responsabile?

National Oceanic and Atmospheric Administration - <https://www.noaa.gov/>
Atmospheric carbon dioxide amounts and annual emissions (1750-2021)

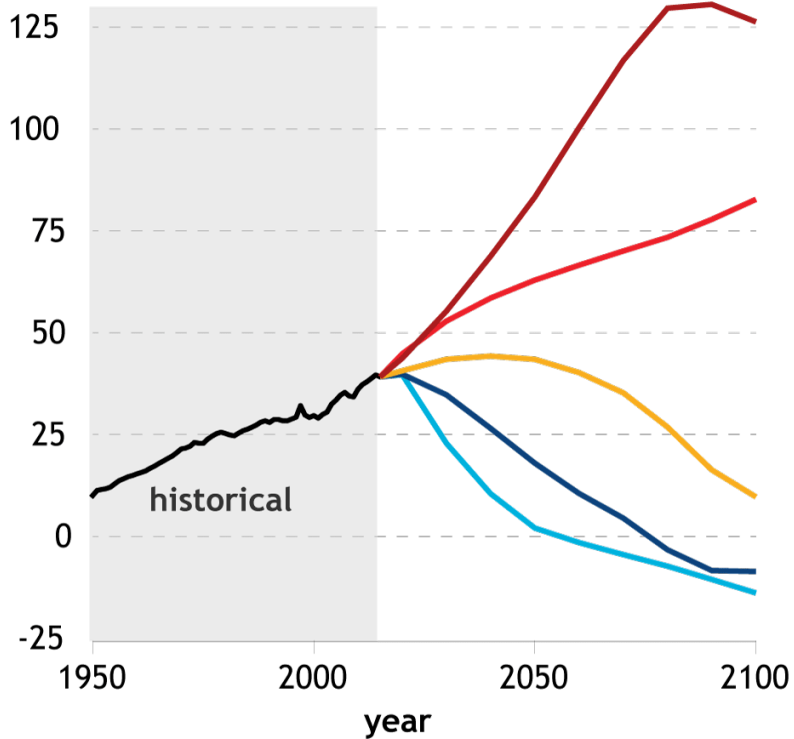


La CO₂ rilasciata si dissolve negli oceani reagendo con le molecole di acqua e producendo acido carbonico abbassando il pH degli oceani (da 8,21 a 8,10 dalla rivoluzione industriale: [acidificazione degli oceani](#)): più CO₂ nell'atmosfera, più CO₂ negli oceani

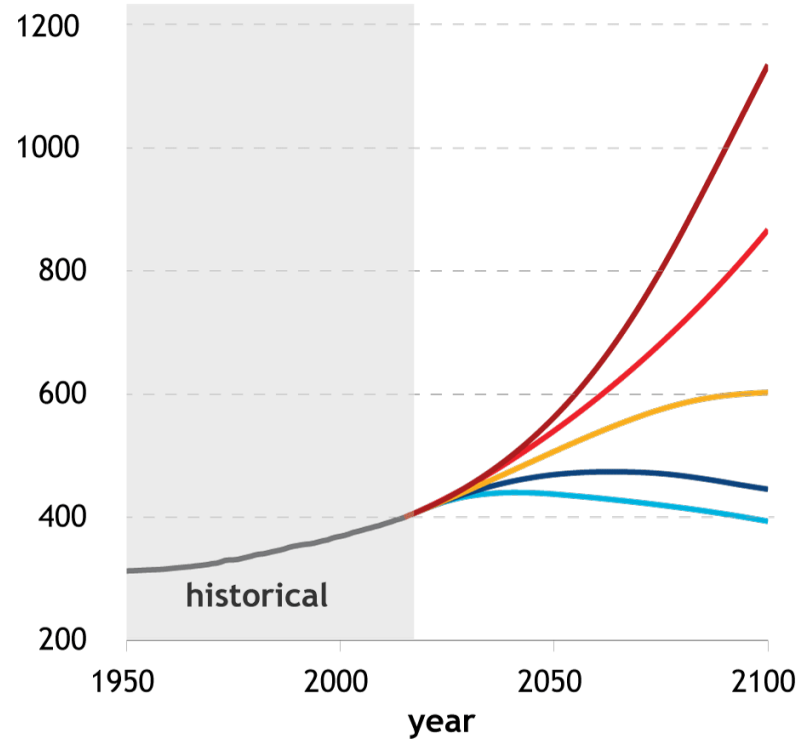


Il clima che cambia:
lezioni dal passato per capire il presente.

Past and future carbon dioxide emissions (billions of tons/year)



Past and future atmospheric carbon dioxide (parts per million)



È difficile fare **previsioni**, soprattutto sul **futuro** (Niels Bohr)



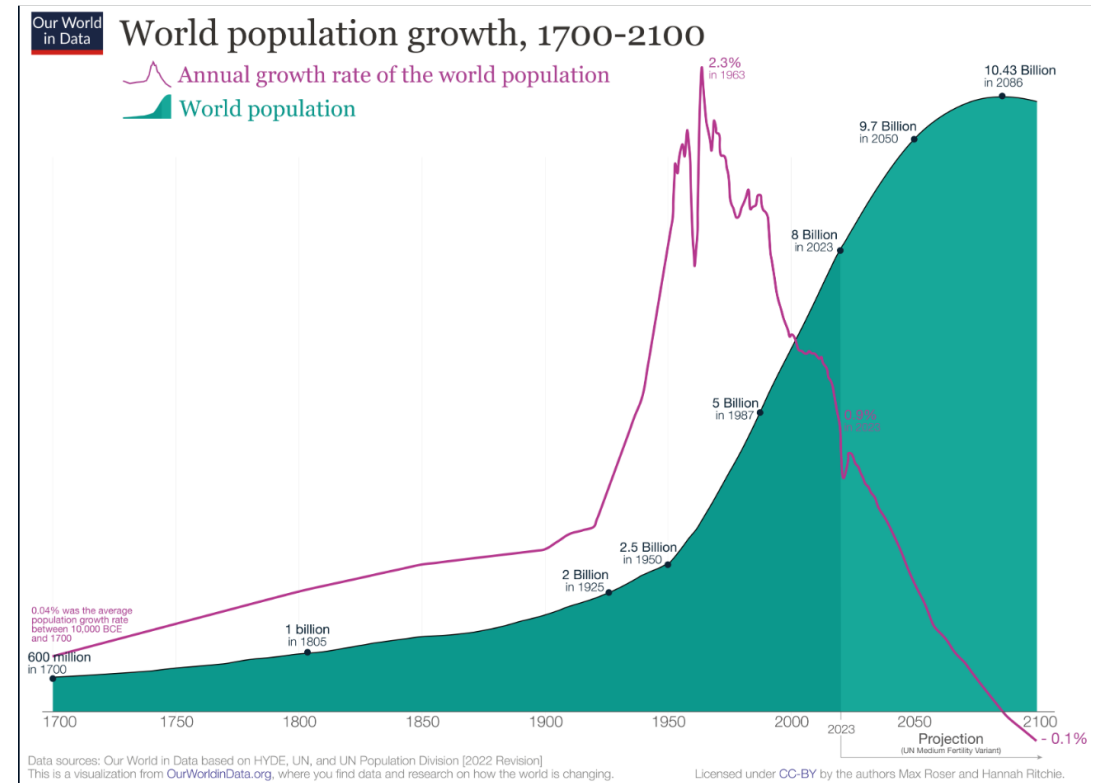
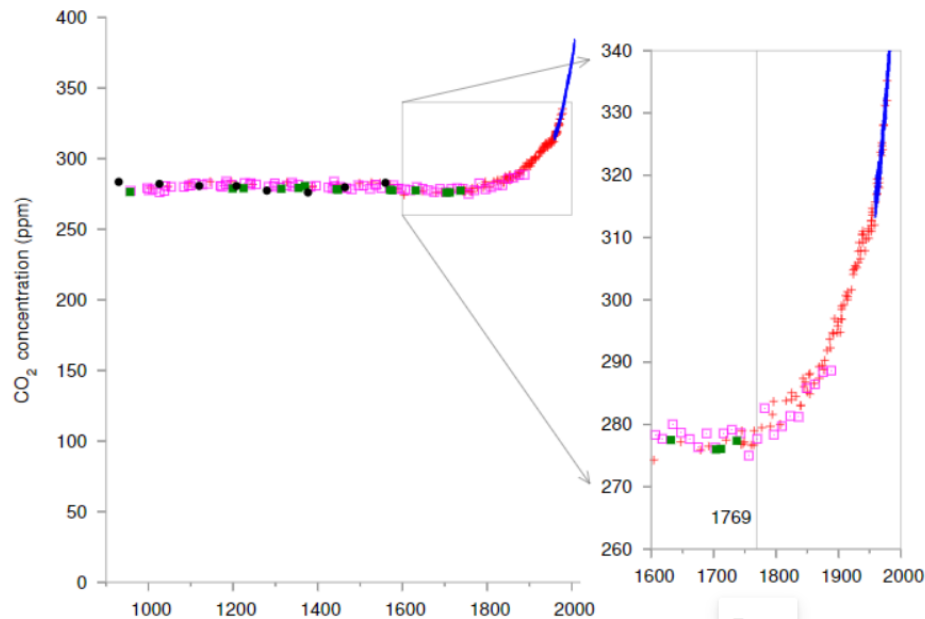
NOAA Climate.gov, adapted from IPCC AR6 Technical Summary, Figure TS.4



Il clima che cambia:
lezioni dal passato per capire il presente.

Ora qualche considerazione....

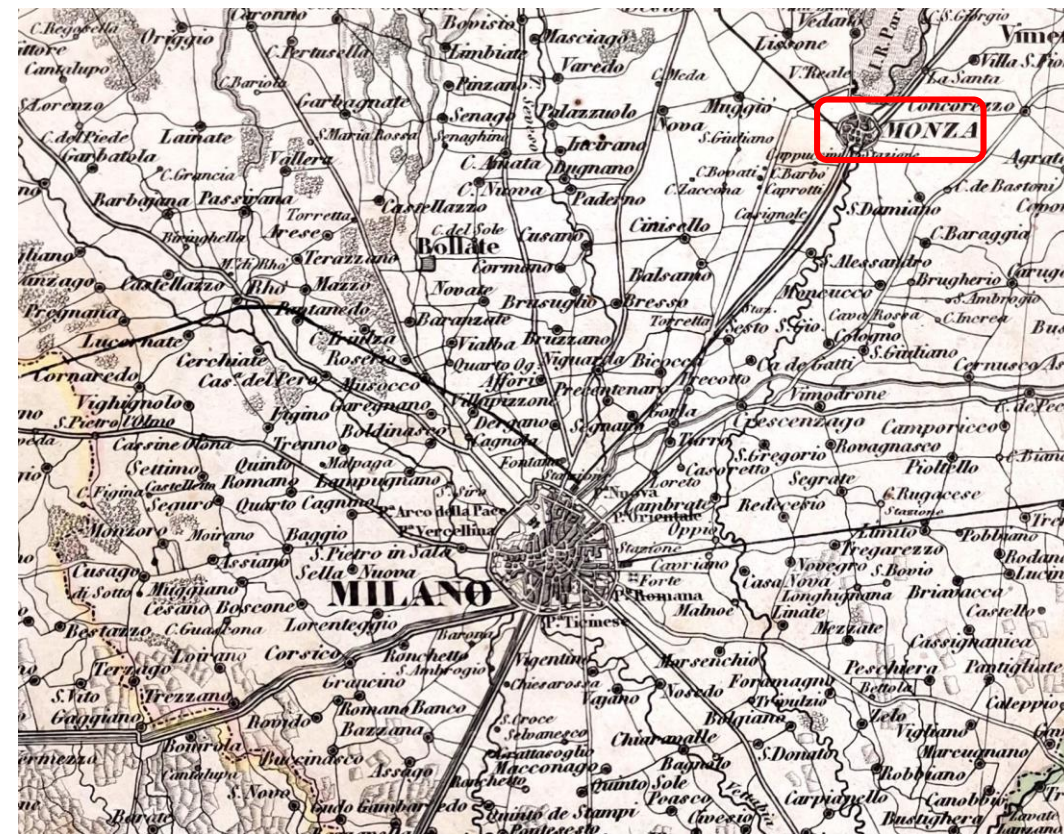
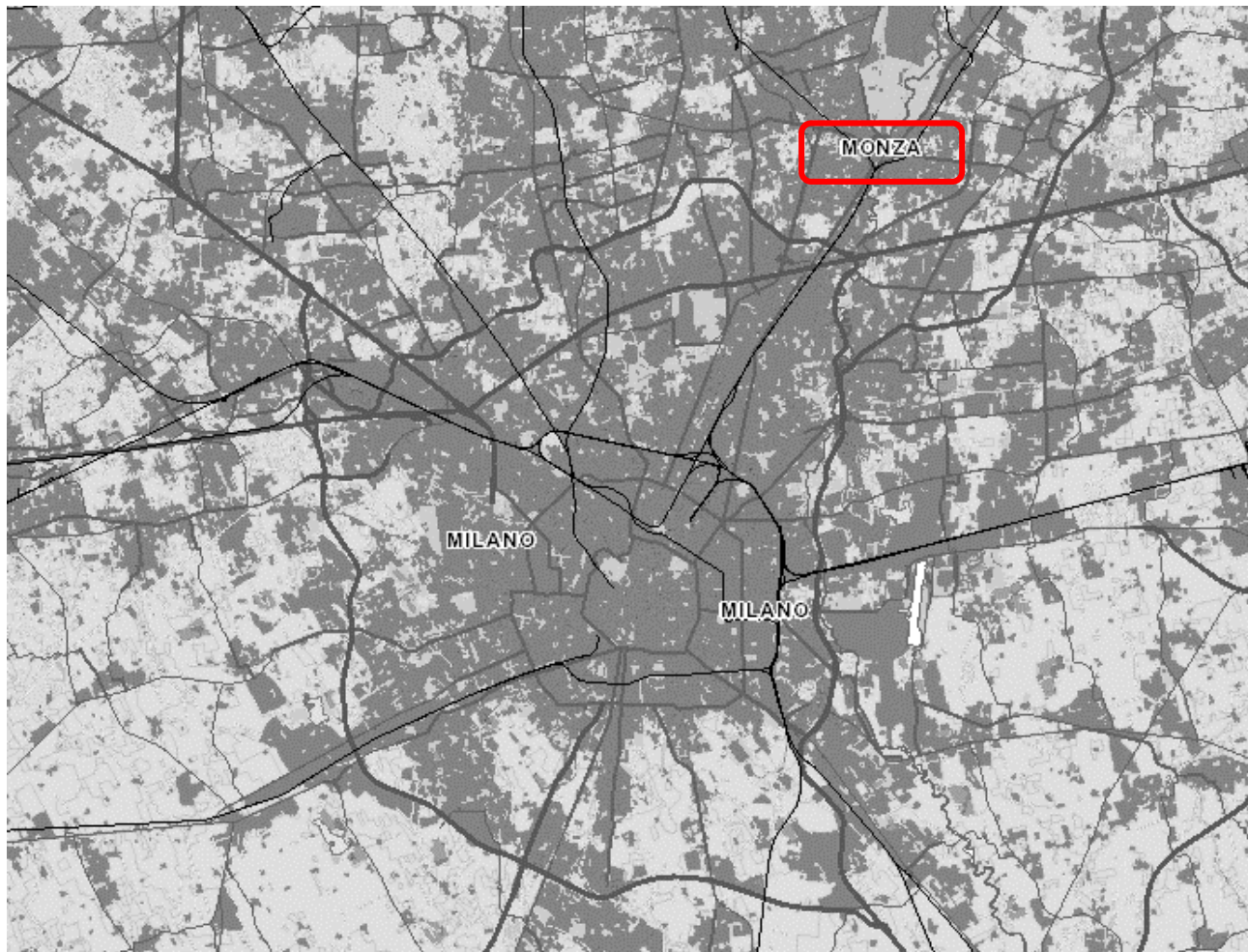
- L'energia ha guidato lo sviluppo della nostra società
- Ma c'è il rovescio della medaglia: conseguenze sull'ambiente (emissioni ma non solo)
- Cosa ci aspetta?



<https://ourworldindata.org/population-growth-over-time>

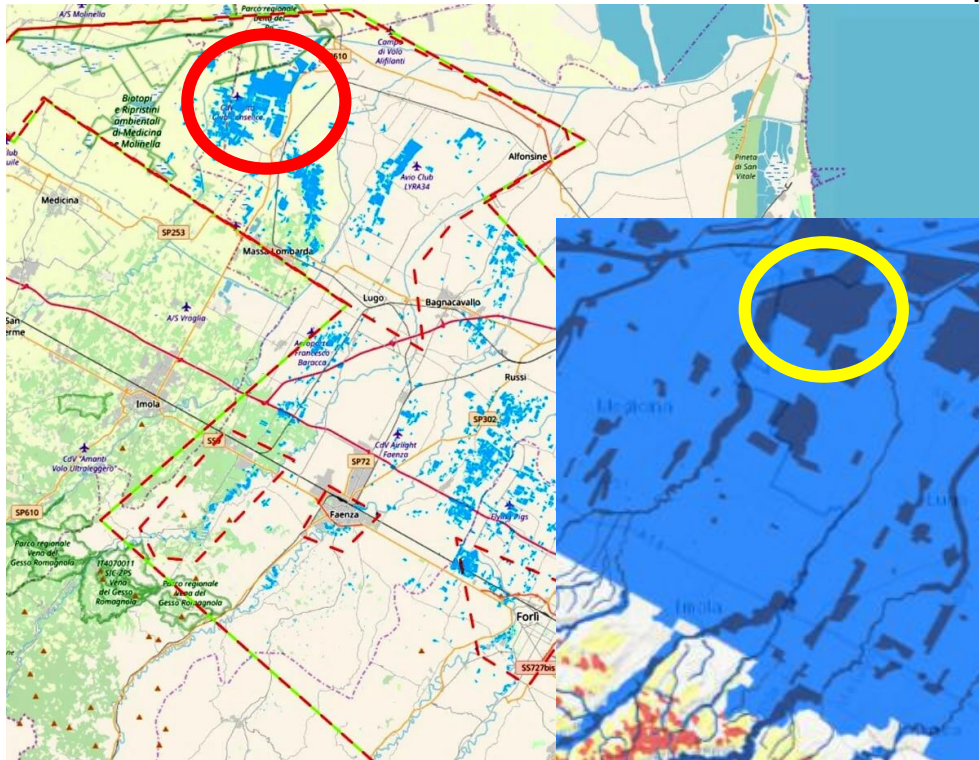
Il clima che cambia:
lezioni dal passato per capire il presente.

Popolazione e uso del territorio



Noi e il clima che cambia

Alluvioni, frane e disastri vari: di chi è la «colpa»?



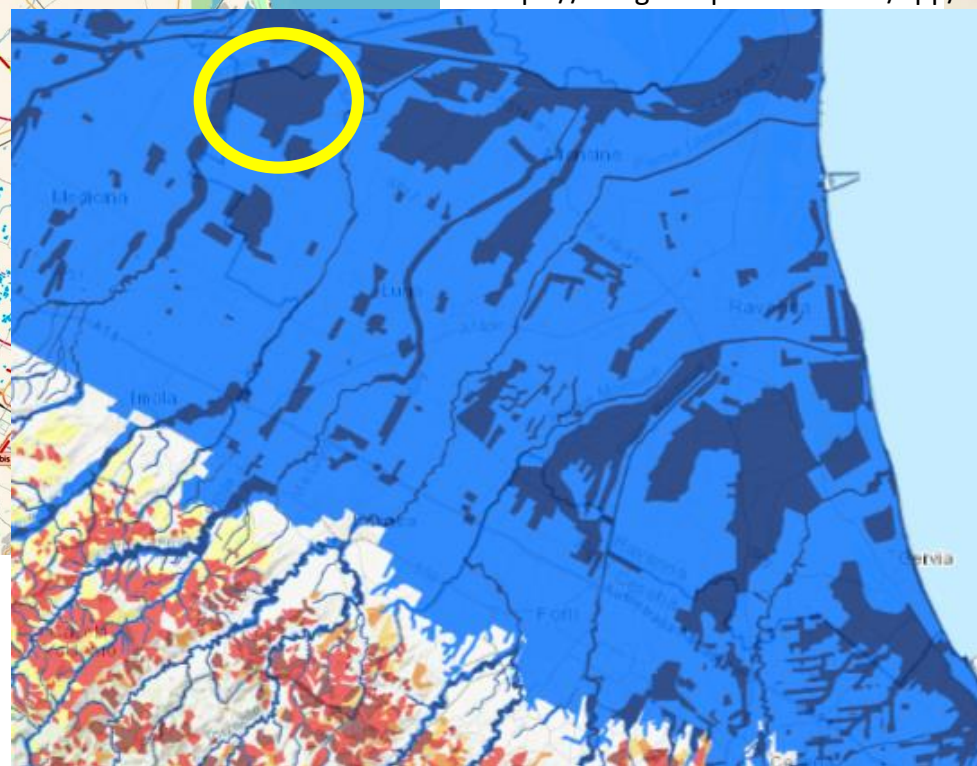
Maggio 2023, Emilia Romagna



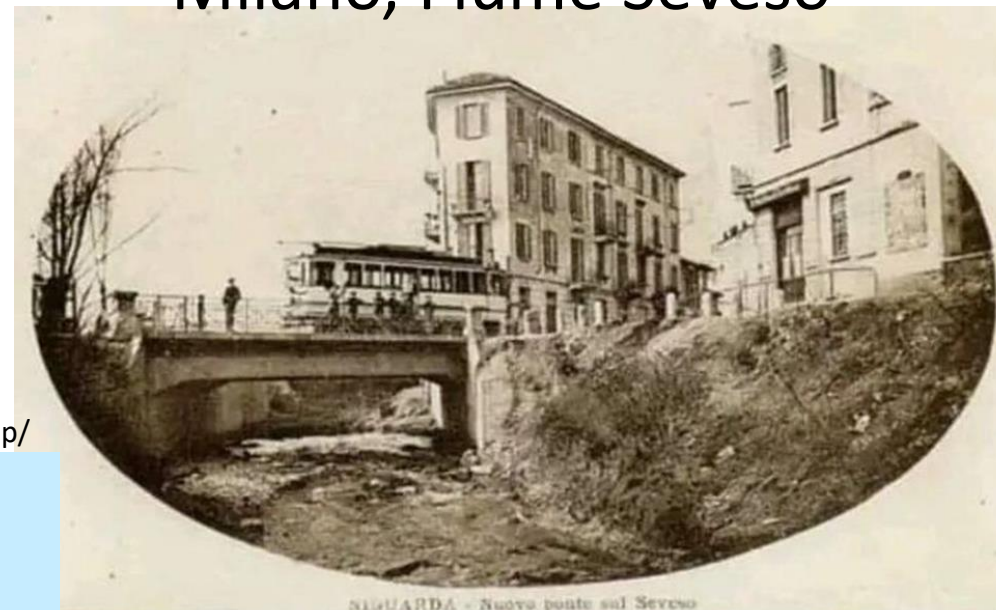
Alluvioni



<https://idrogeo.isprambiente.it/app/>

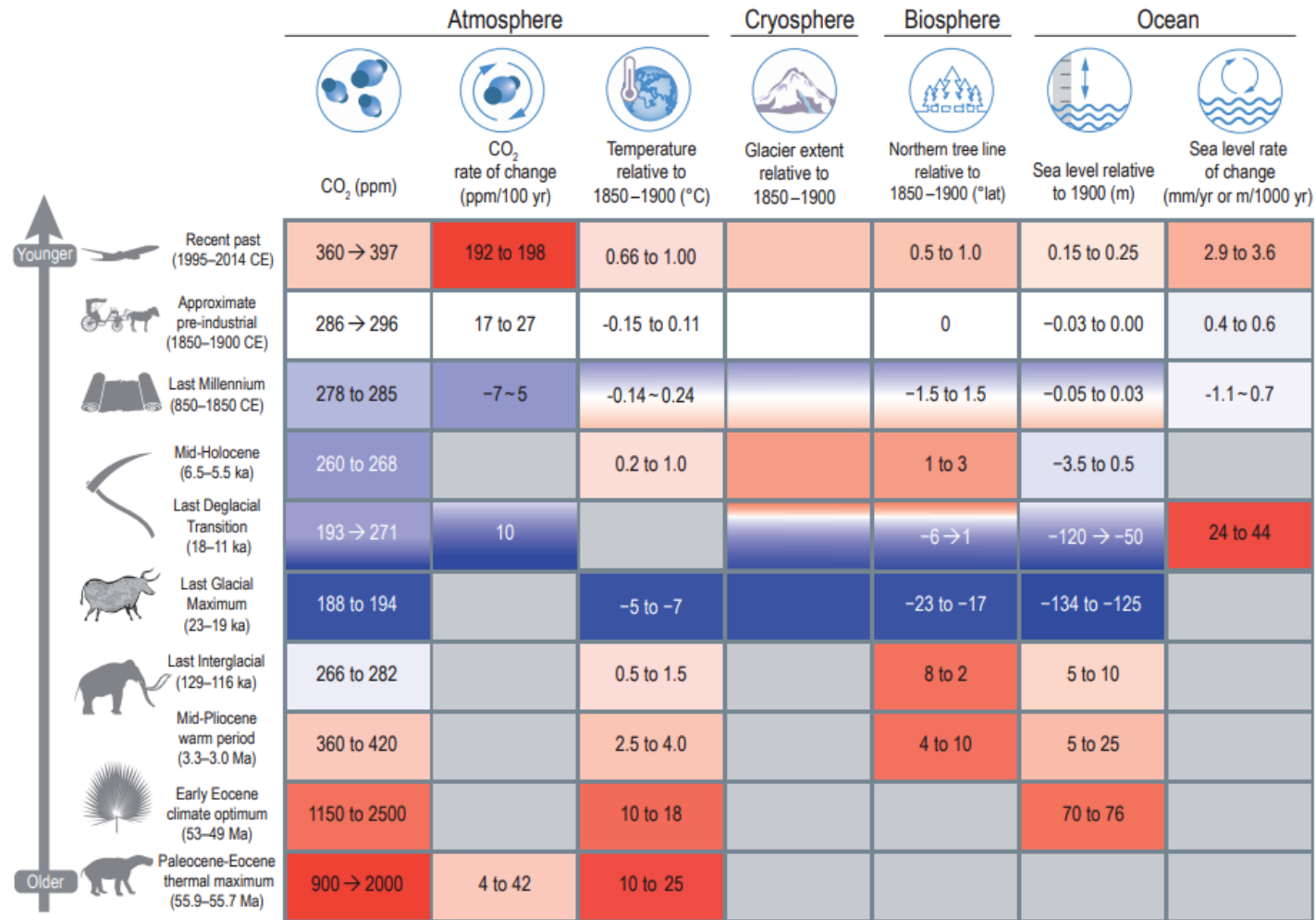


Milano, Fiume Seveso

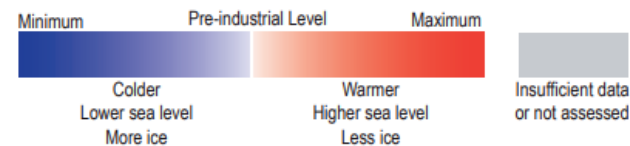


Il clima che cambia:
lezioni dal passato per capire il presente.

Selected large-scale climate indicators from the Cenozoic era to the recent past



X to Y: very likely range, unless otherwise stated in FAIR data table
 X → Y: start to end of period, with no stated uncertainty
 X–Y: lowest and highest values, with no stated uncertainty





Il clima che cambia:
lezioni dal passato per capire il presente.

Cosa rimane?

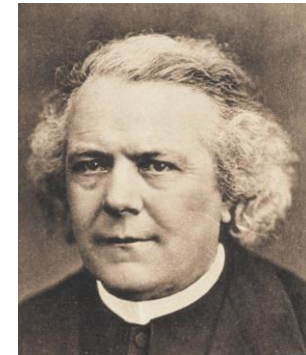
- La comprensione della complessità del nostro pianeta, delle sue regole e dei suoi segreti
- La capacità dell'uomo di osservare in modo rigoroso la natura non solo di oggi, ma soprattutto del passato, per leggere una storia molto diversa dal «fotogramma» nel quale viviamo
- L'importanza di un approccio scientifico, non ideologico, ai problemi: esisteranno sempre opinioni diverse, l'importante è che siano basate su informazioni corrette
- Essere coscienti di far parte di un sistema interconnesso, dove non esistono soluzioni semplici a problemi complessi: soluzioni che sembrano risolvere un problema, ne possono creare altri
- Siamo in tanti, e dobbiamo anche metterci nei panni degli «altri»

E la geologia?

Perché «ci serve» conoscere la geologia?

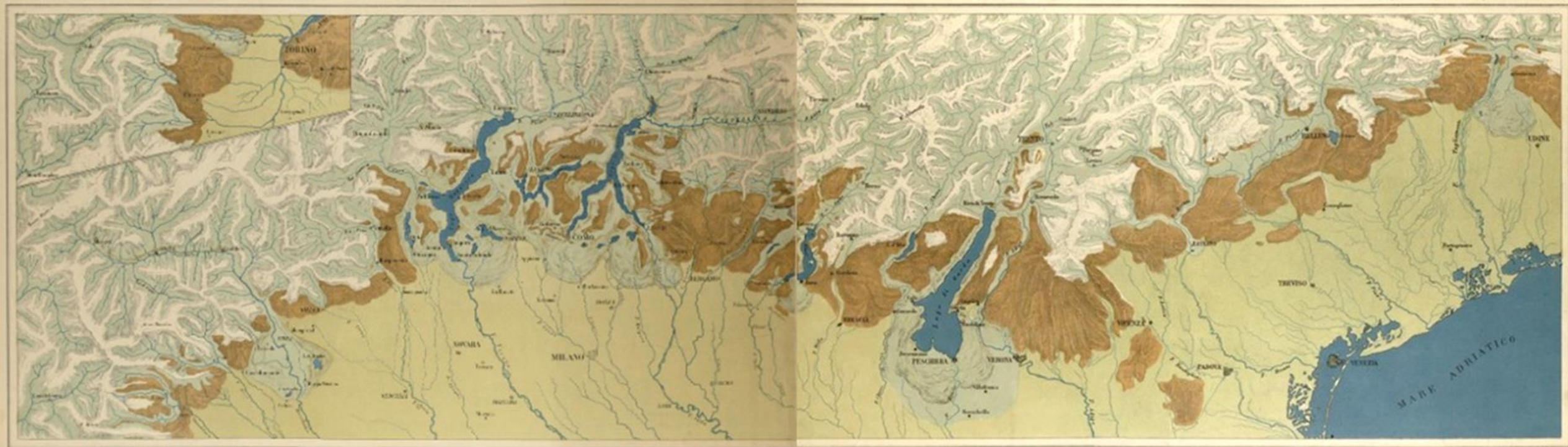
Non è solo lo studio di rocce, minerali e fossili, ma la scienza che può governare le nostre scelte nell'interazione con le risorse e i rischi del nostro pianeta

- Antonio Stoppani, 1861: *«La geologia è una grande applicazione di tutte le scienze fisiche, naturali e matematiche»*
- Antonio Stoppani, 1871: *«La geologia!... I più credono ancora consista la scienza del geologo nel saper distinguere le diverse pietre... Eppure io credo prossimo il giorno in cui sarà vergogna di ignorare i principi della geologia, come lo è al presente, per qualunque persona colta, l'essere digiuno degli elementi della geografia e della storia»*



CARTA GEOLOGICA DEGLI ANTICHI GHIACCIAI DELL'ALTA ITALIA NEL PERIODO DEGLI ANFITEATRI MORENICI

Geologia d'Italia. Parte II. A. Stoppani. L'era quaternaria



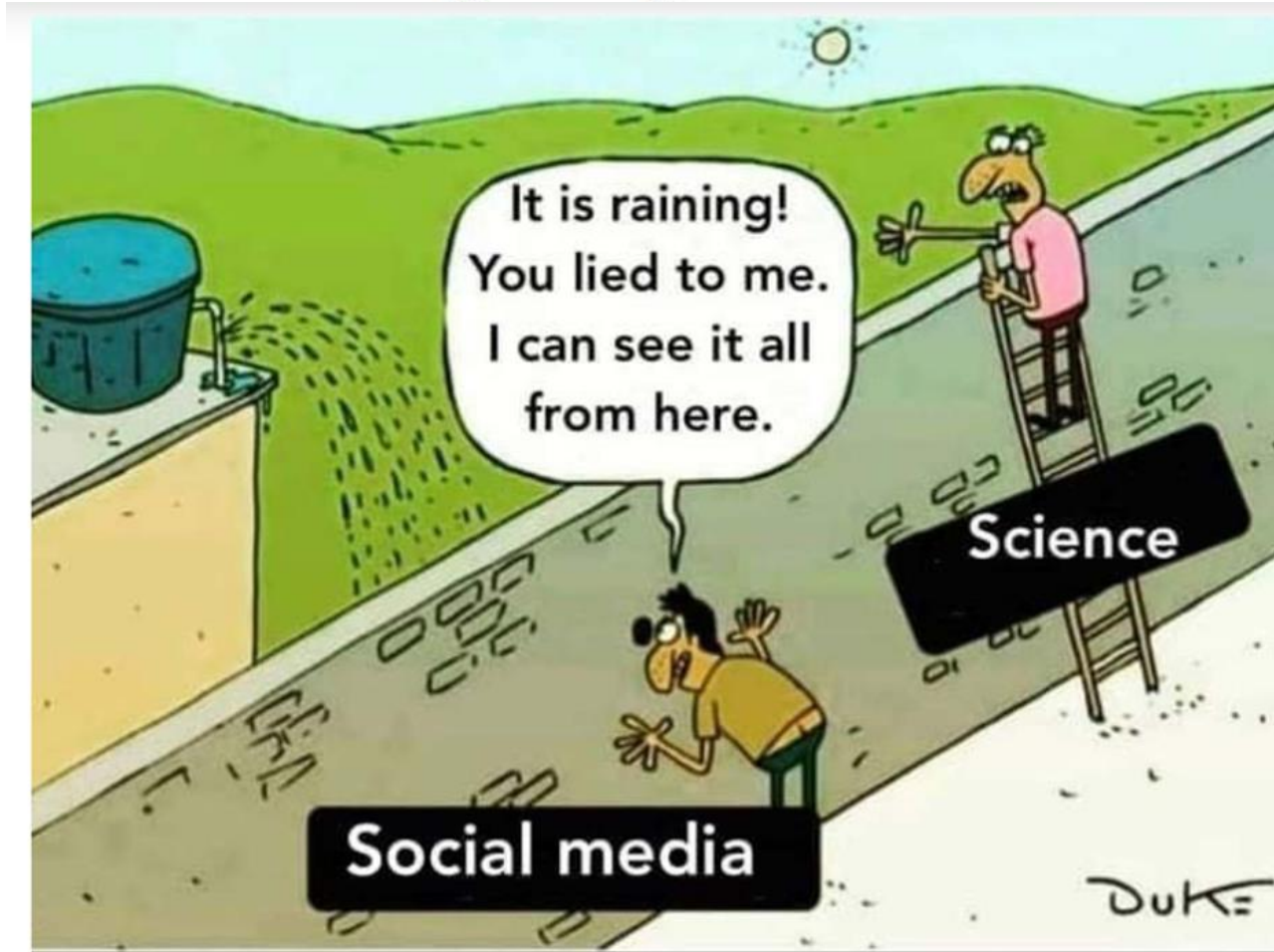
Stoppani, 1880



Il clima che cambia:
lezioni dal passato per capire il presente.

Chi ascoltare?

Viviamo un tempo dove le emozioni e i sentimenti contano di più della verità e c'è una grande ignoranza della scienza.



James Lovelock

Il cambiamento è l'unica costante

Eraclito

È la forza della vita: in ogni **cambiamento** c'è **chi soffre**
e **chi gode**, **chi si estingue** e **chi invece lussureggia**

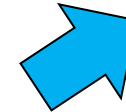
Danilo Mainardi

Per approfondire...

- La geografia della Terra nel tempo geologico: <http://www.scotese.com/climate.htm>
- Capire il passato della Terra: <https://academiccommons.columbia.edu/doi/10.7916/D8JW8CMM>
- Relazioni sul cambiamento climatico: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf
- Dissesti e aree esondabili: <https://idrogeo.isprambiente.it/app/>



Un saggio (dove si parla di questi e altri argomenti) alla portata di tutti per scoprire come funziona la Terra e come la geologia ci svela i suoi segreti ([on-line e nelle librerie](#))



[Qui trovate una pagina dedicata alla didattica delle Scienze della Terra](#)