LE SCIENZE *live*

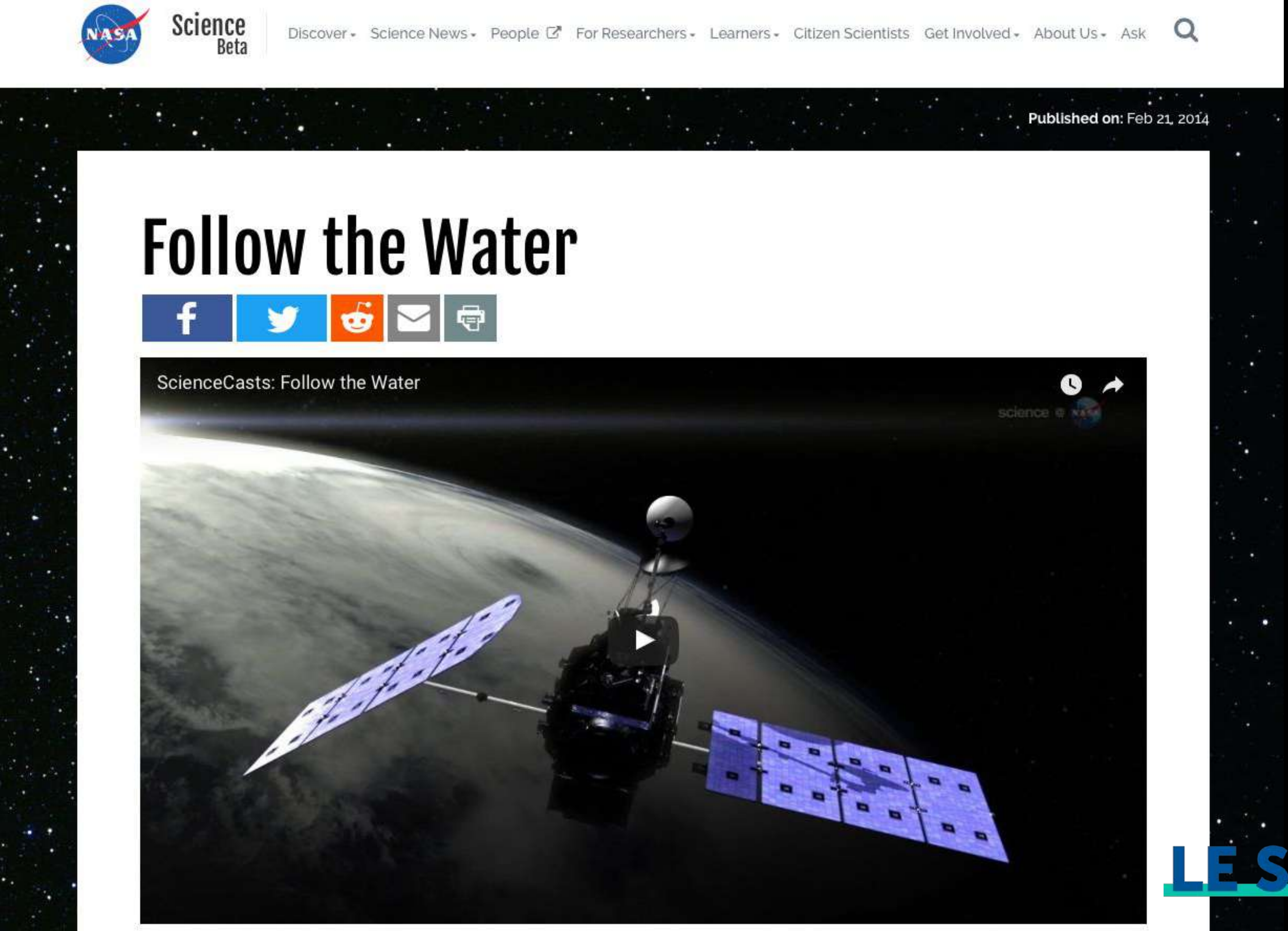
C’è vita sugli altri pianeti? Cosa rende unico e abitabile il pianeta Terra

Giovanni Muttoni

La vita in una goccia d’acqua: C-H-N-O-P-S

David Liittschwager

LE SCIENZE live


NASA
Science Beta
Discover
Science News
People
For Researchers
Learners
Citizen Scientists
Get Involved
About Us
Ask
science @ NASA

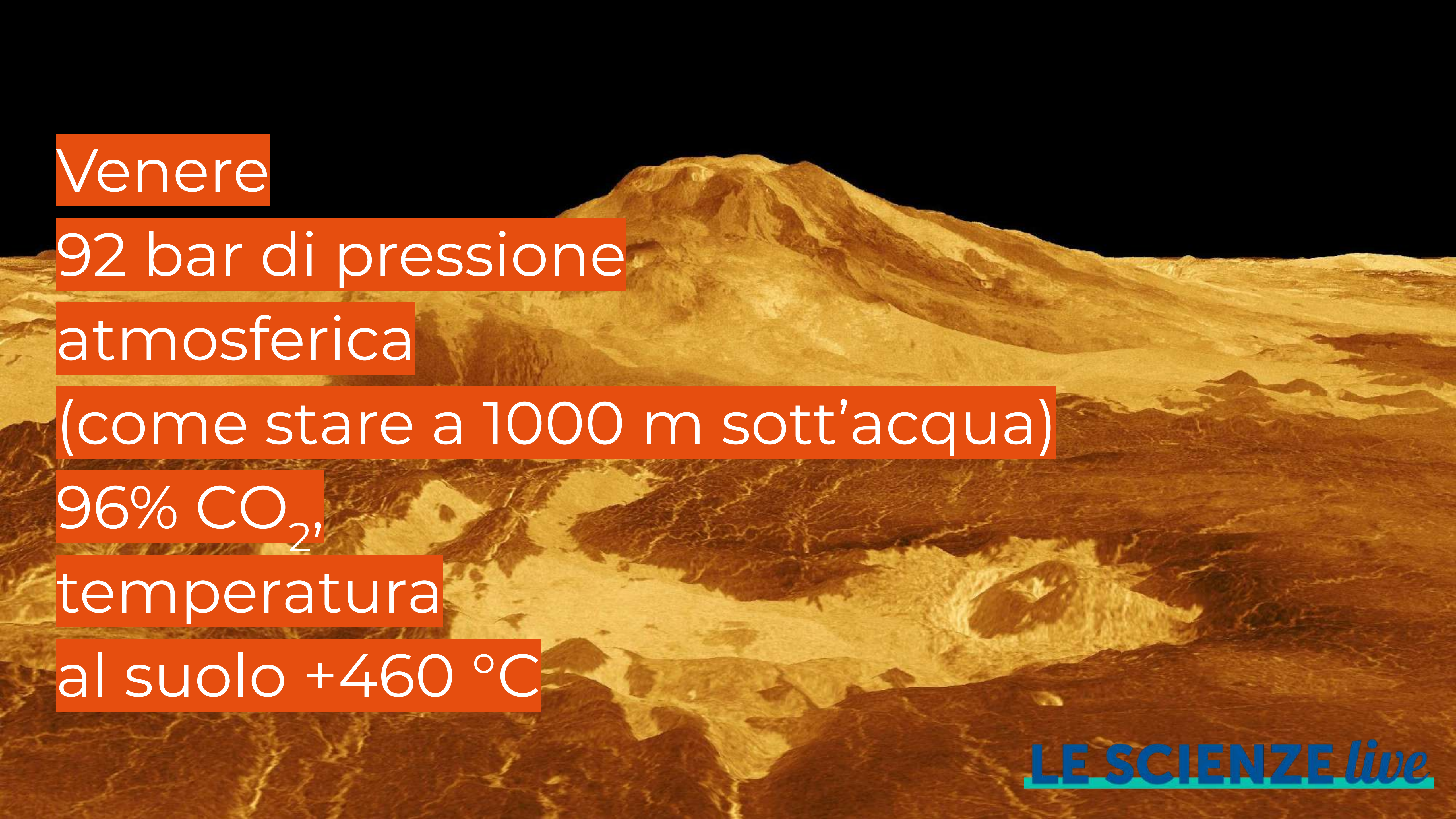
Published on: Feb 21, 2014

Follow the Water

ScienceCasts: Follow the Water

LE SCIENZE *live*

Mercurio
senza atmosfera
+430 °C sul lato diurno,
-180 °C sul lato notturno

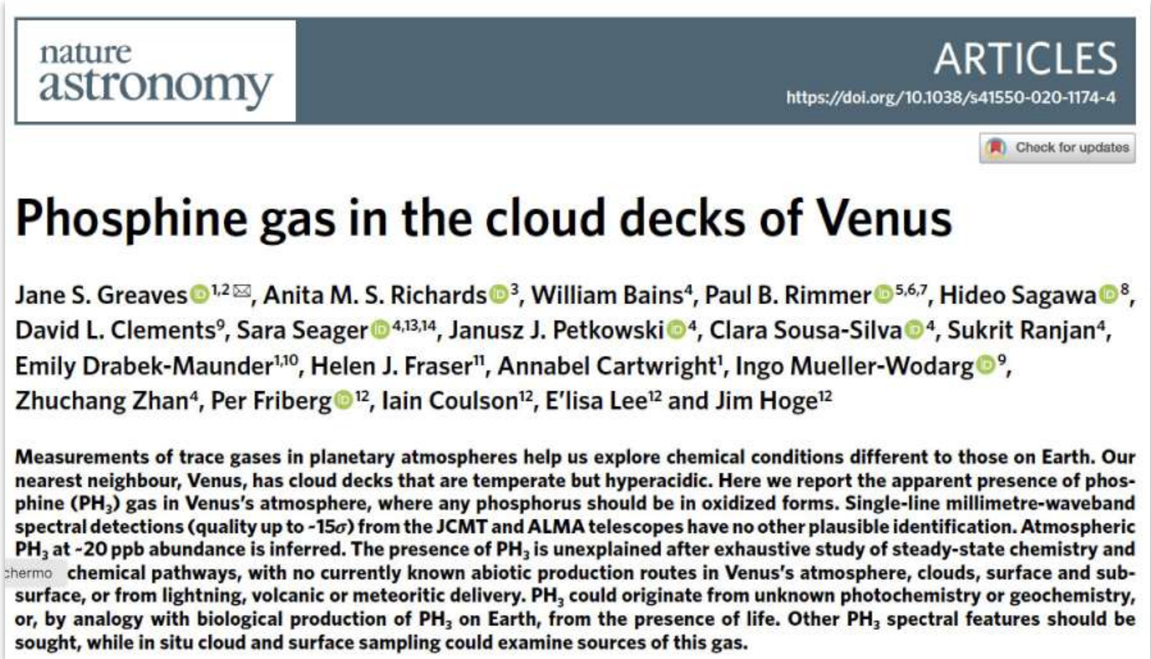


Venere

92 bar di pressione
atmosferica
(come stare a 1000 m sott’acqua)

96% CO_2,

temperatura
al suolo +460 °C



nature astronomy

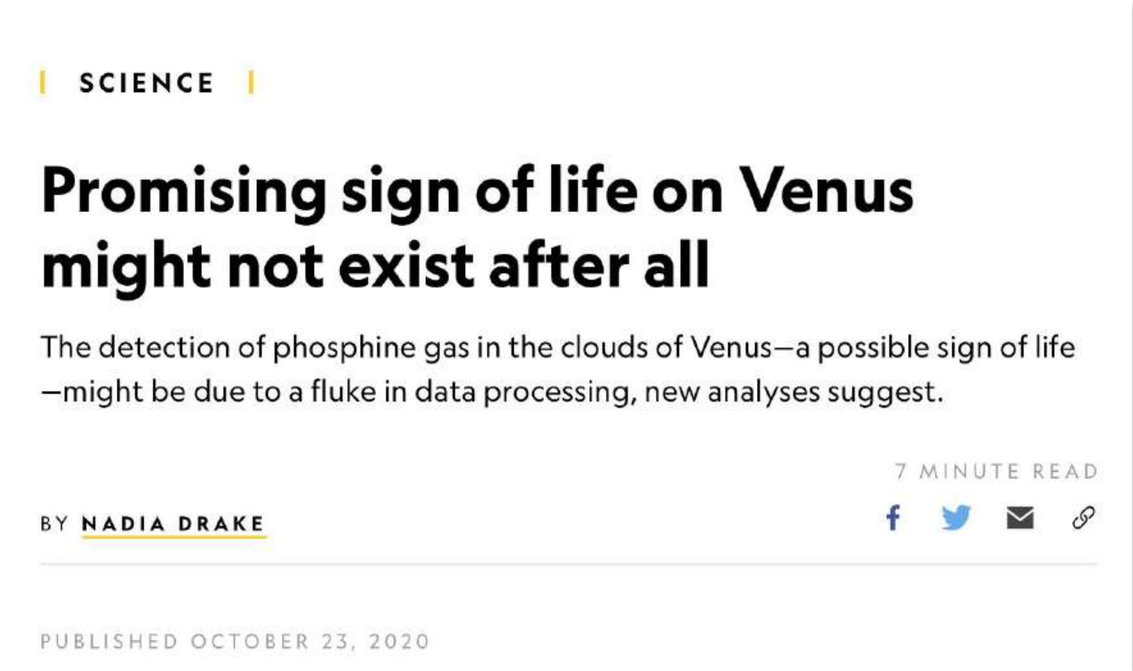
ARTICLES

https://doi.org/10.1038/s41550-020-1174-4

Phosphine gas in the cloud decks of Venus

Jane S. Greaves[1,2], Anita M. S. Richards[3], William Bains[4], Paul B. Rimmer[5,6,7], Hideo Sagawa[8], David L. Clements[9], Sara Seager[4,13,14], Janusz J. Petkowski[4], Clara Sousa-Silva[4], Sukrit Ranjan[4], Emily Drabek-Maunder[1,10], Helen J. Fraser[11], Annabel Cartwright[1], Ingo Mueller-Wodarg[9], Zhuchang Zhan[4], Per Friberg[12], Iain Coulson[12], E'lisa Lee[12] and Jim Hoge[12]

Measurements of trace gases in planetary atmospheres help us explore chemical conditions different to those on Earth. Our nearest neighbour, Venus, has cloud decks that are temperate but hyperacidic. Here we report the apparent presence of phosphine (PH_3) gas in Venus's atmosphere, where any phosphorus should be in oxidized forms. Single-line millimetre-waveband spectral detections (quality up to ~15σ) from the JCMT and ALMA telescopes have no other plausible identification. Atmospheric PH_3 at ~20 ppb abundance is inferred. The presence of PH_3 is unexplained after exhaustive study of steady-state chemistry and thermochemical pathways, with no currently known abiotic production routes in Venus's atmosphere, clouds, surface and subsurface, or from lightning, volcanic or meteoritic delivery. PH_3 could originate from unknown photochemistry or geochemistry, or, by analogy with biological production of PH_3 on Earth, from the presence of life. Other PH_3 spectral features should be sought, while in situ cloud and surface sampling could examine sources of this gas.



SCIENCE

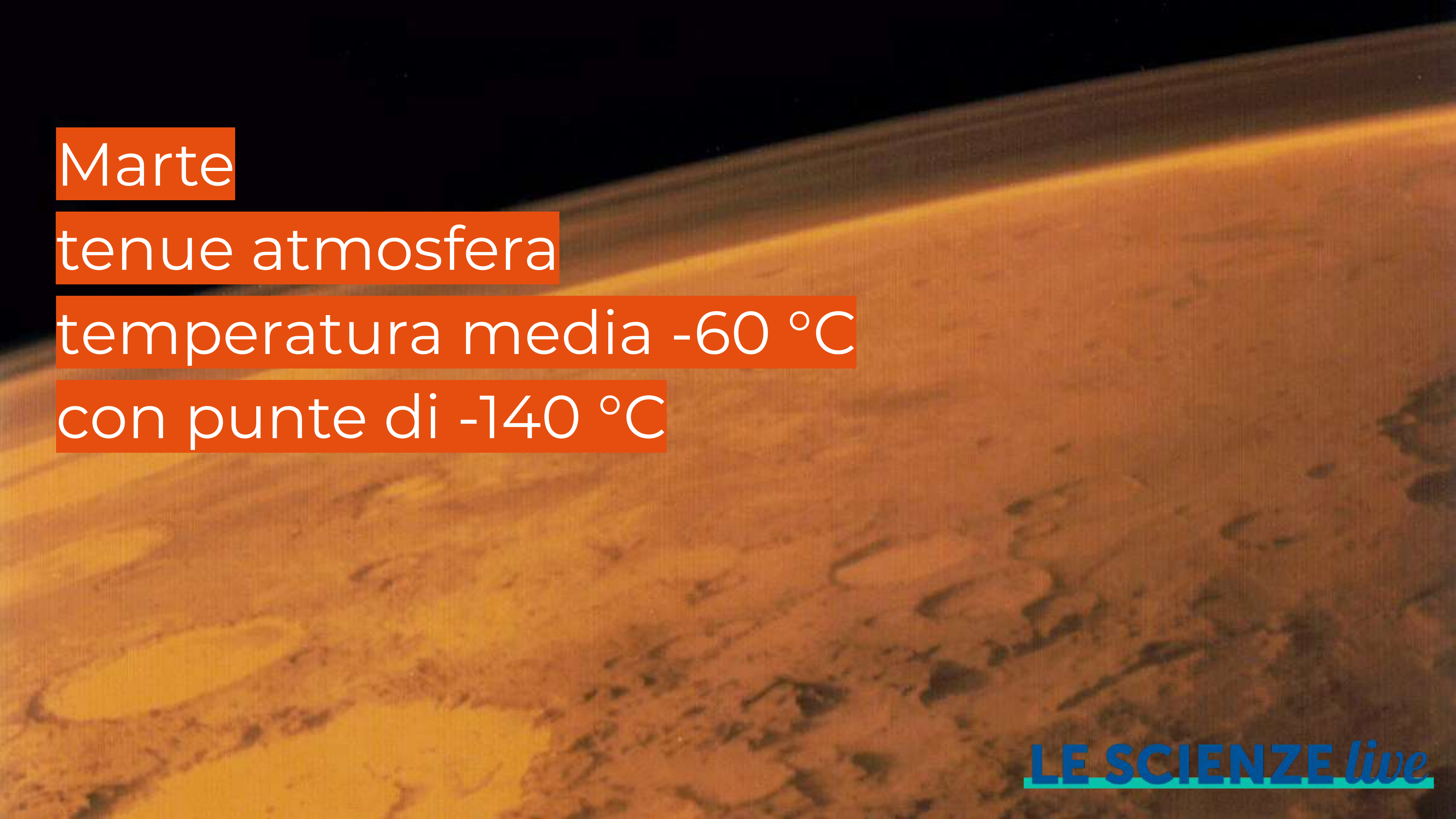
Promising sign of life on Venus might not exist after all

The detection of phosphine gas in the clouds of Venus—a possible sign of life—might be due to a fluke in data processing, new analyses suggest.

7 MINUTE READ

BY **NADIA DRAKE**

PUBLISHED OCTOBER 23, 2020

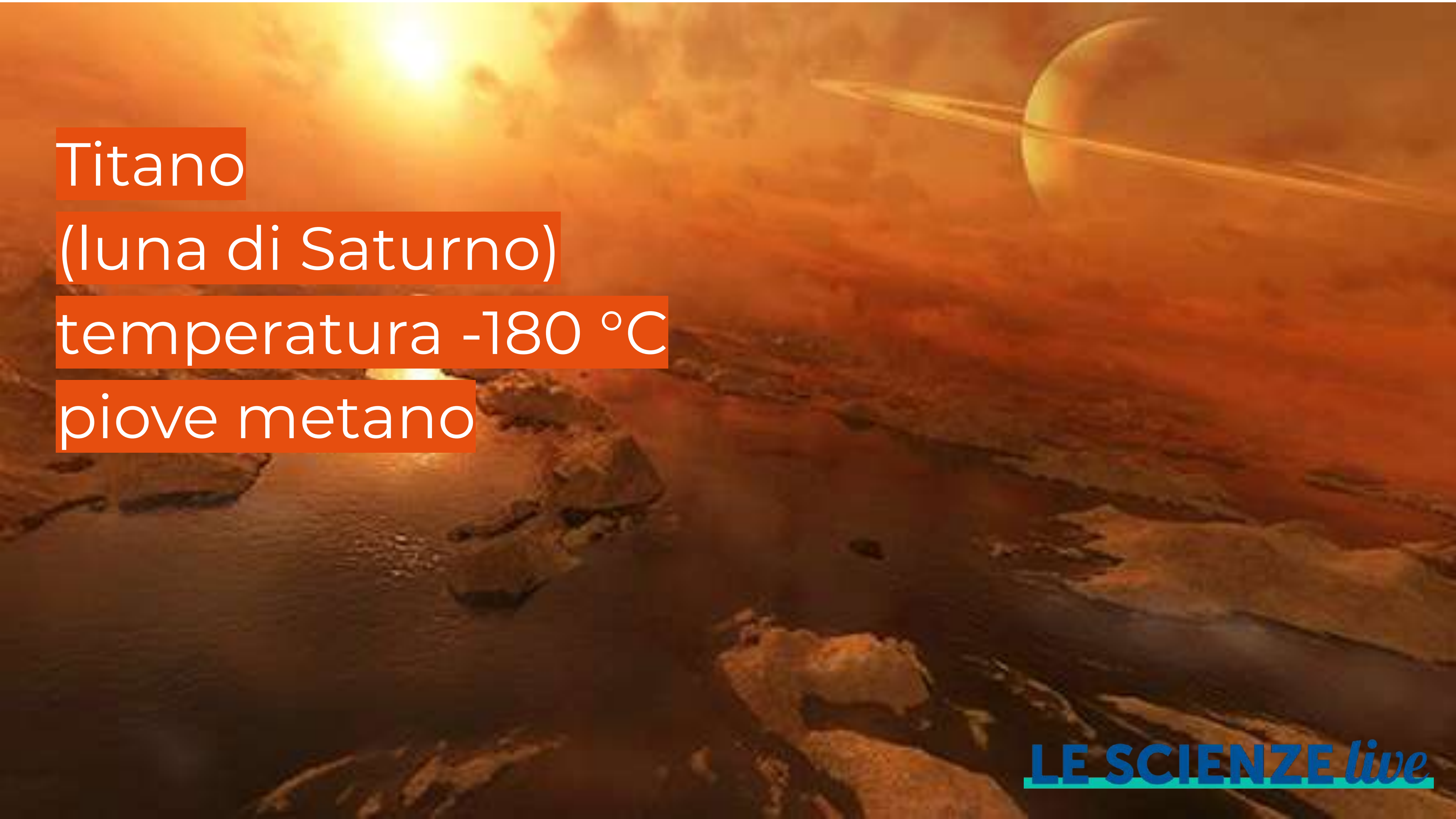


Marte

tenue atmosfera

temperatura media -60 °C

con punte di -140 °C



Titan

(luna di Saturno)

temperatura -180 °C

piove metano

Europa

(luna di Giove)

coperta di ghiaccio

temperatura media -170 °C

Pianeta Terra

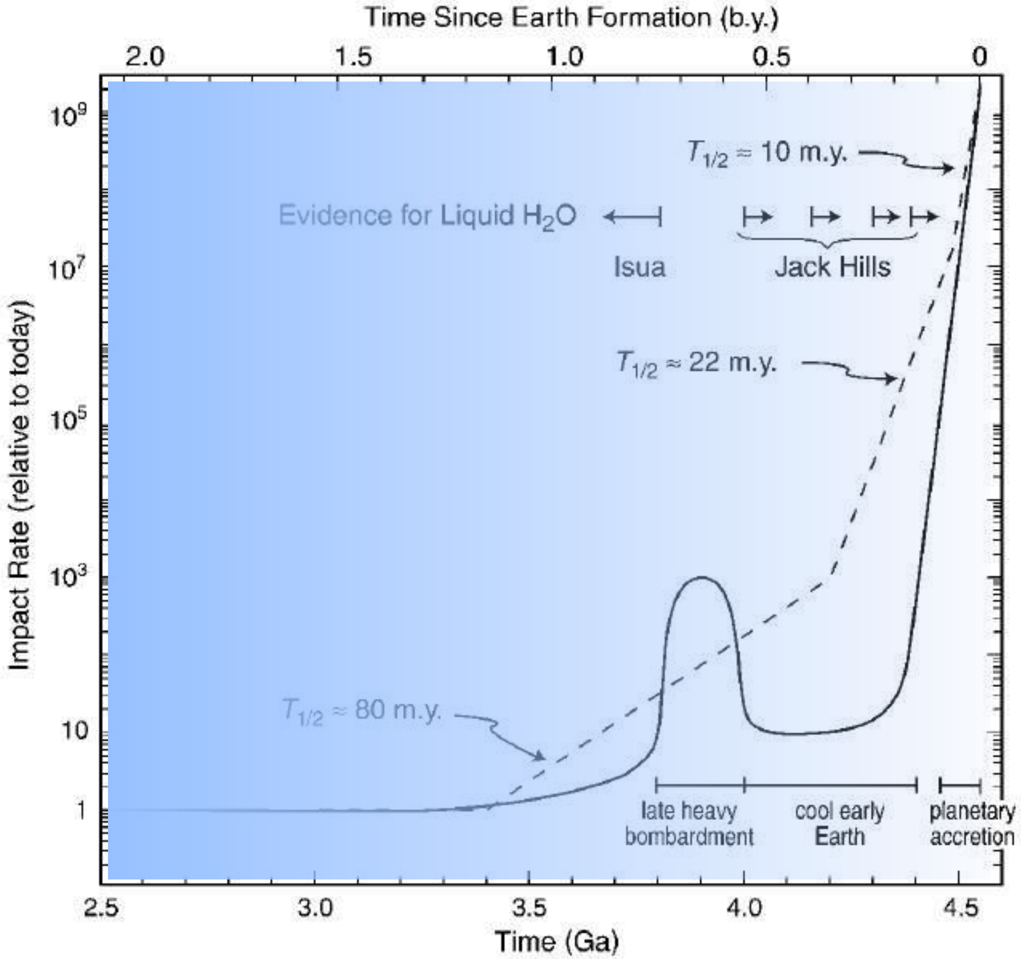
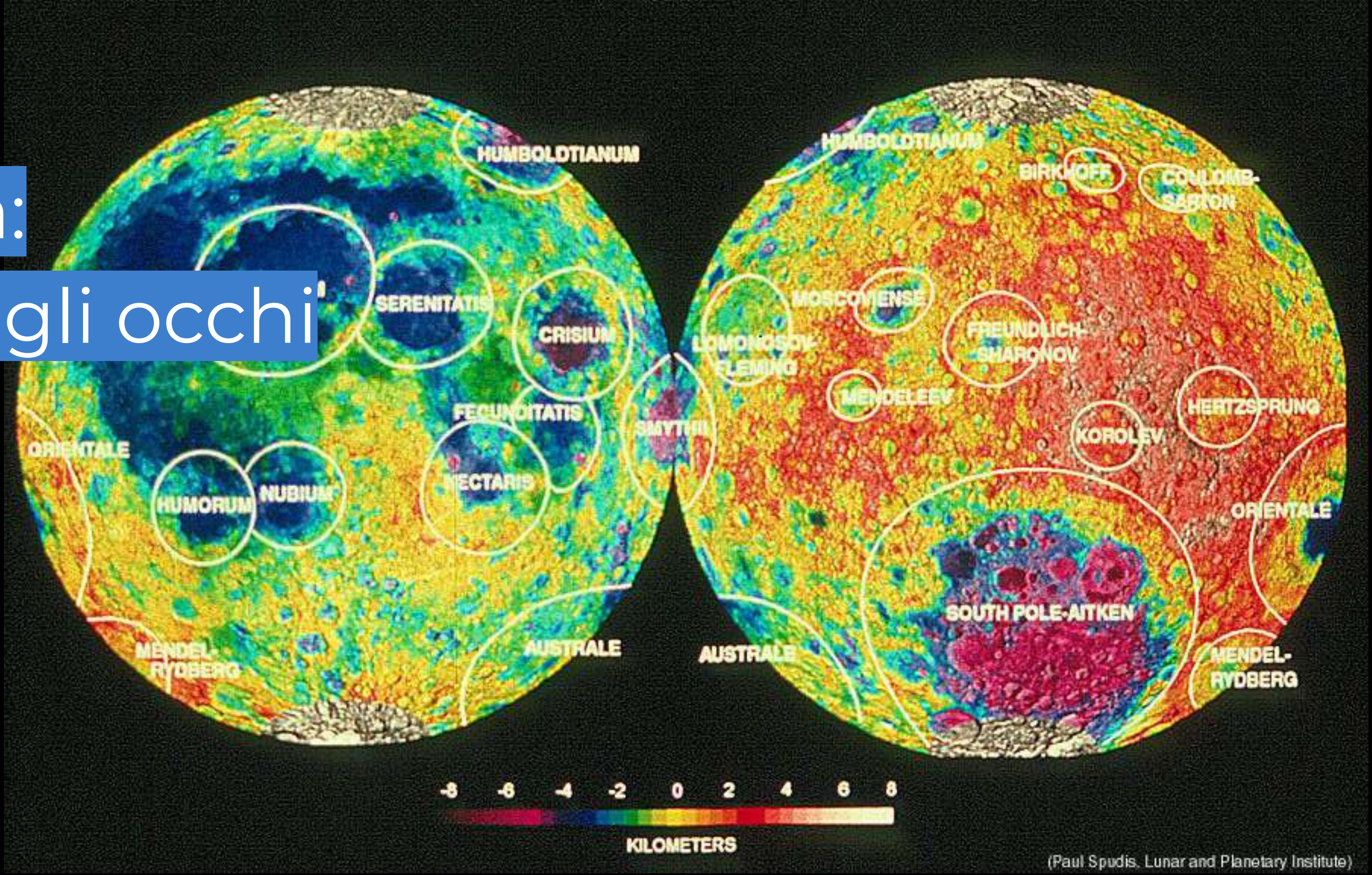


Figure 3. Estimates of meteorite-impact rate for first 2 b.y. of Earth history. Two hypotheses are shown: exponential decay of impact rate (dashes, Hartmann et al., 2000) and cool early Earth–late heavy bombardment (solid curve, this study). Approximate half-life is given in million years for periods of exponential decline in flux. In either model, spikes occurred owing to isolated large impacts. Evidence for liquid water comes from high-δ^{18}O zircons (>4.4 to >4.0 Ga) and sedimentary rocks (Isua, 3.8–3.6 Ga). The cool early Earth hypothesis (solid curve) suggests that impact rates had dropped precipitously by 4.4 Ga, consistent with relatively cool conditions and liquid water.

Valley et al. (2002)

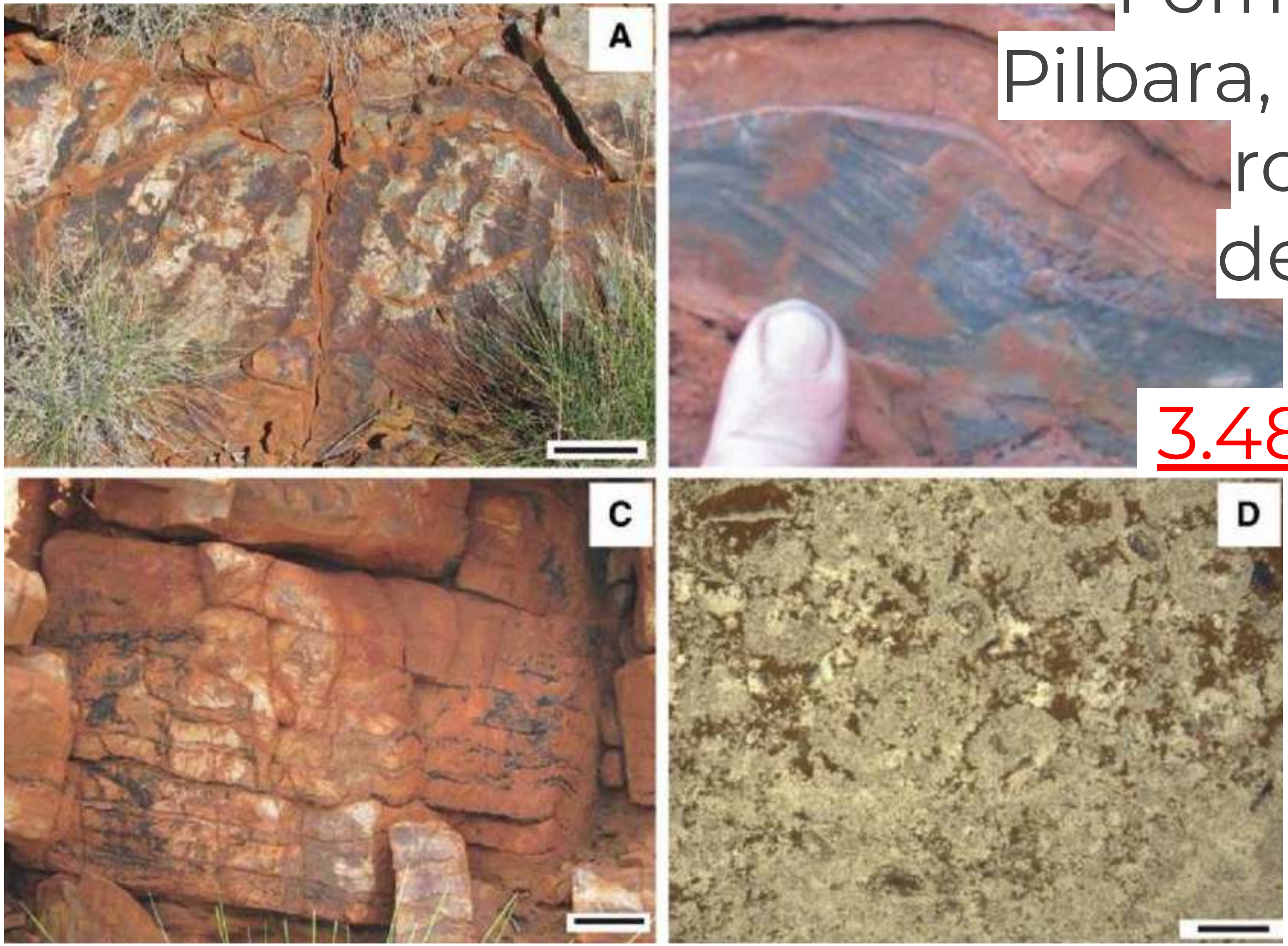
Risposta: alziamo gli occhi al cielo…

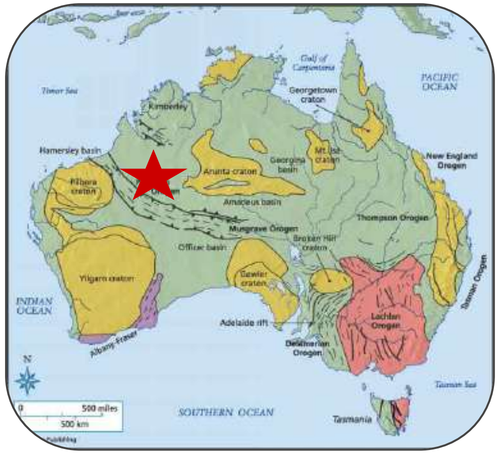

HUMBOLDTIANUM
SERENITATIS
CRISIUM
FECUNDITATIS
NECTARIS
SMYTHII
ORIENTALE
HUMORUM
NUBIUM
MENDEL-RYDBERG
AUSTRALE
HUMBOLDTIANUM
BIRKHOFF
COULOMB-SARTON
MOSCOVIENSE
LOMONOSOV-FLEMING
FREUNDLICH-SHARONOV
MENDELEEV
HERTZSPRUNG
KOROLEV
ORIENTALE
SOUTH POLE-AITKEN
AUSTRALE
MENDEL-RYDBERG
-8 -6 -4 -2 0 2 4 6 8
KILOMETERS

(Paul Spudis, Lunar and Planetary Institute)

http://www.psrd.hawaii.edu

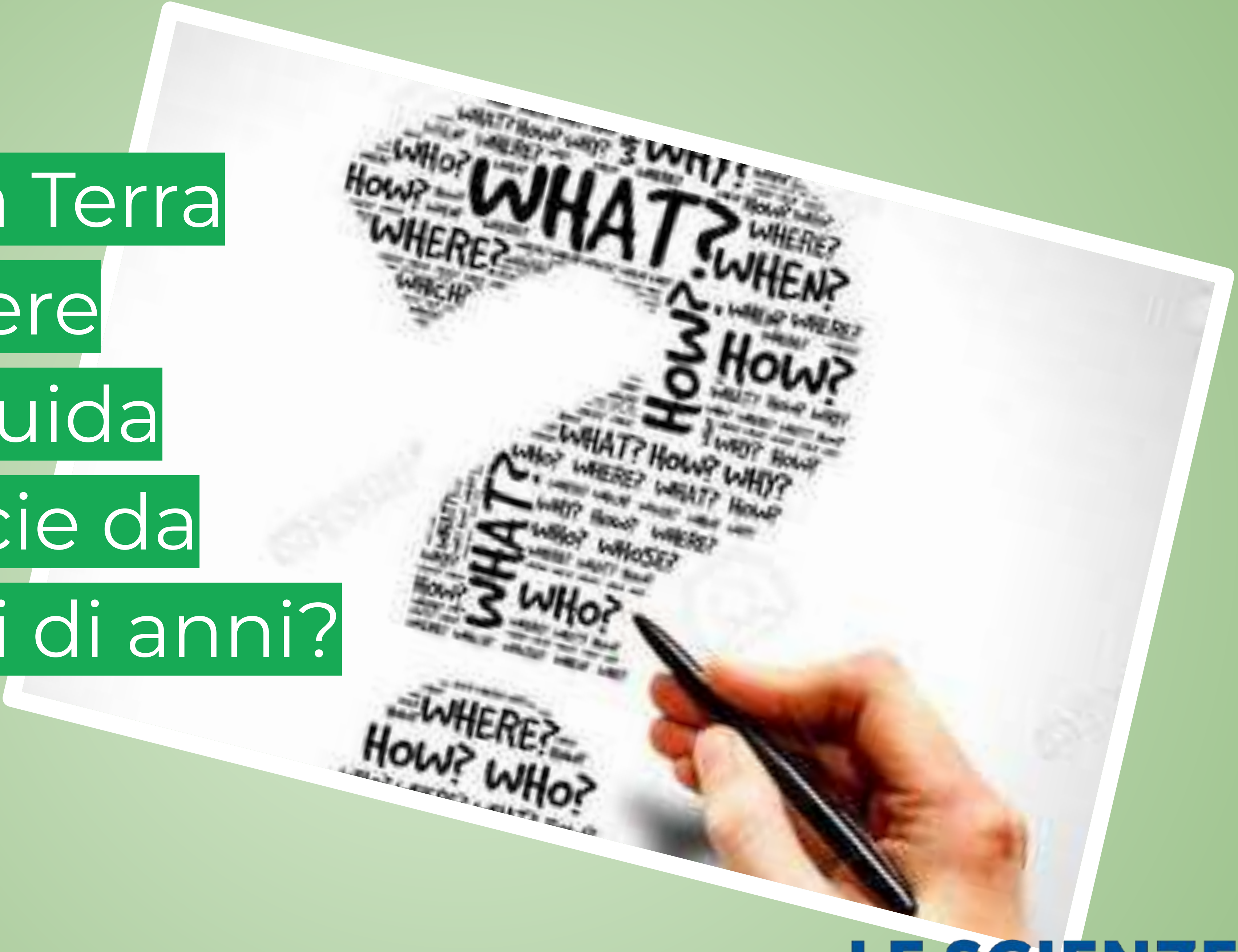
Formazione di Dresser, Pilbara, Western Australia: roccia sedimentaria deposta in presenza di acqua liquida 3.48 Miliardi di anni fa



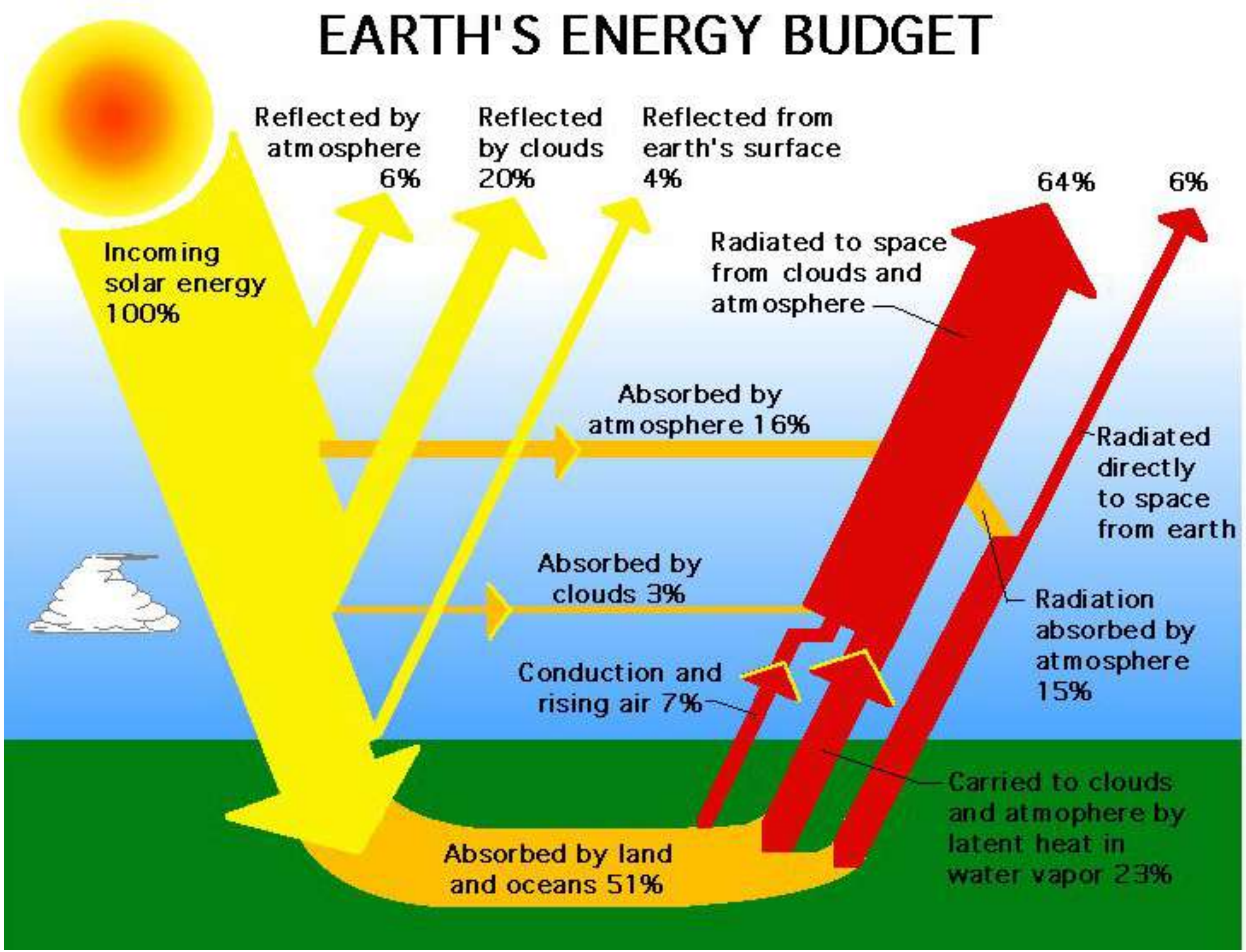

Gulf of Carpentaria
PACIFIC OCEAN
Timor Sea
Georgetown craton
Kimberley
Hamersley basin
Mt Isa craton
New England Orogen
Georgina basin
Arunta craton
Pilbara craton
Amadeus basin
Thompson Orogen
Musgrave Orogen
Broken Hill craton
Officer basin
Gawler craton
Yilgarn craton
Tasman Orogen
INDIAN OCEAN
Lachlan Orogen
Adelaide rift
Albany-Fraser
Delamerian Orogen
N
Tasman Sea
0
500 miles
500 km
SOUTHERN OCEAN
Tasmania

Noffke et al. (2013)

Come fa la Terra a mantenere l’acqua liquida in superficie da ~4 miliardi di anni?

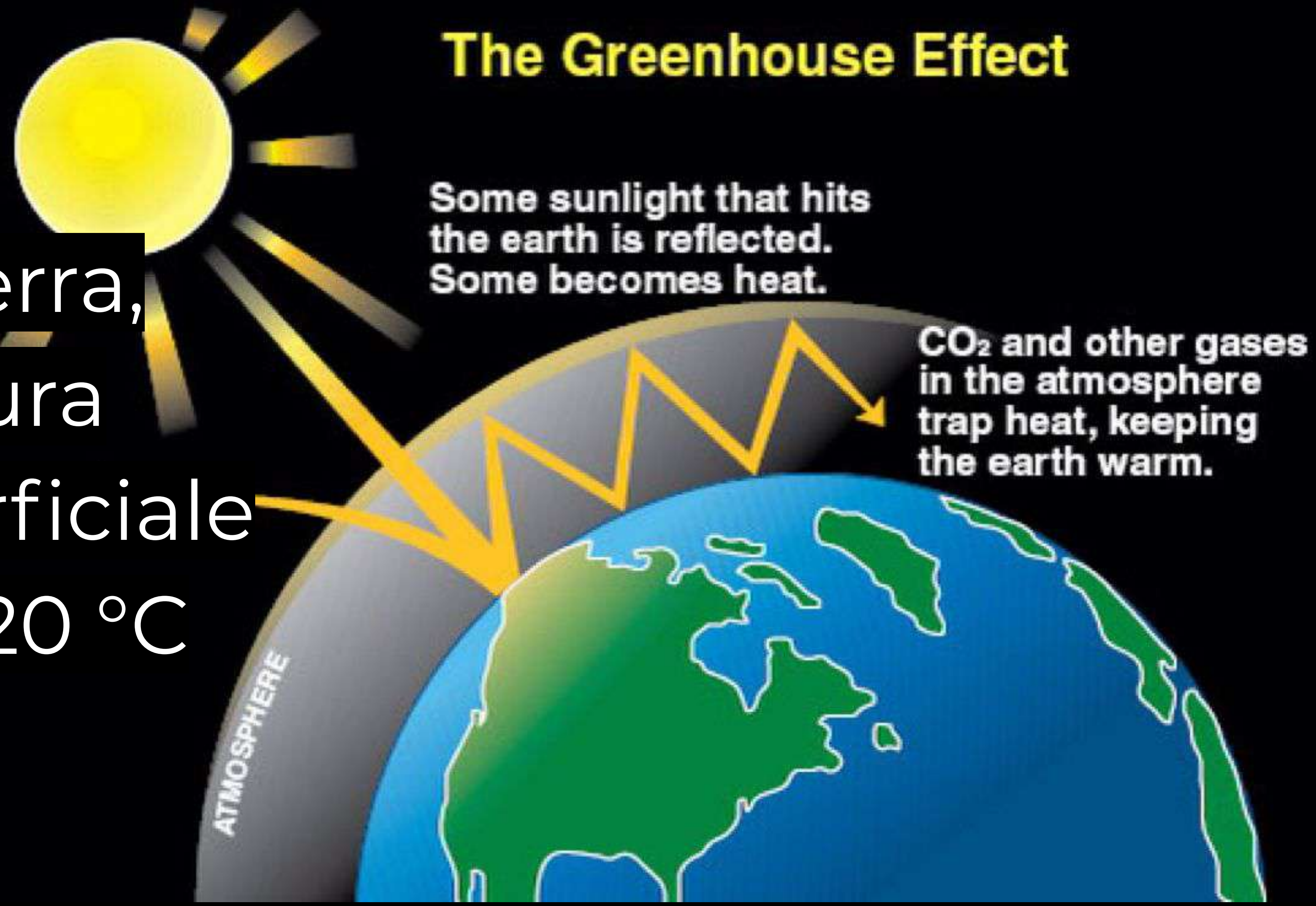

WHAT?
WHY?
WHO?
HOW?
WHERE?
WHEN?
WHICH?
HOW?
WHAT?
WHO?
WHERE?
HOW? WHO?

LE SCIENZE *live*


EARTH'S ENERGY BUDGET
Incoming solar energy 100%
Reflected by atmosphere 6%
Reflected by clouds 20%
Reflected from earth's surface 4%
64%
6%
Radiated to space from clouds and atmosphere
Absorbed by atmosphere 16%
Radiated directly to space from earth
Absorbed by clouds 3%
Radiation absorbed by atmosphere 15%
Conduction and rising air 7%
Carried to clouds and atmophere by latent heat in water vapor 23%
Absorbed by land and oceans 51%

LE SCIENZE *live*

Senza gas serra,
la temperatura
media superficiale
sarebbe di -20 °C


The Greenhouse Effect
Some sunlight that hits the earth is reflected. Some becomes heat.
CO_2 and other gases in the atmosphere trap heat, keeping the earth warm.
ATMOSPHERE

Da dove viene la CO_2 atmosferica?

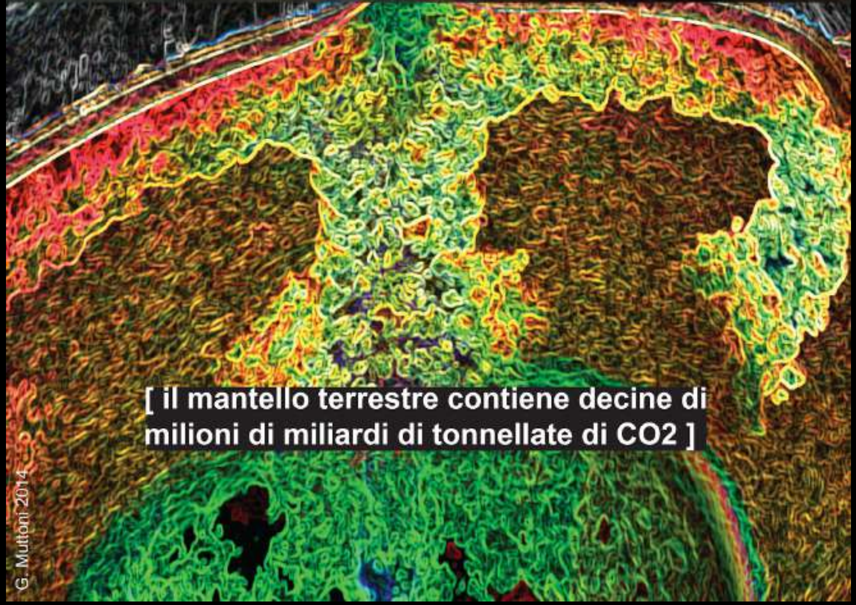
Atmosfera: ~10^3 Gig Ton di CaO_2
Oceani: ~10^5 Giga Ton di CO_2

Flusso vulcanico di CO_2
in Atmosfera/oceano =
0.26 Giga Ton/anno

Mantello: **~10^8 Giga Ton di CO_2**

Giga = 1 miliardo

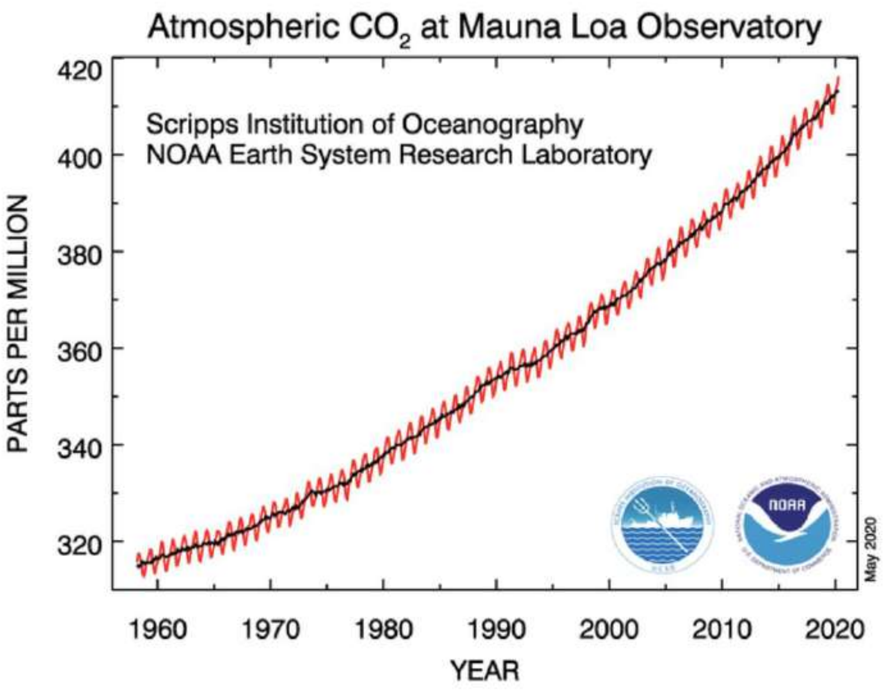
[i vulcani immettono in atmosfera 260 milioni di tonnellate di CO2 all'anno...

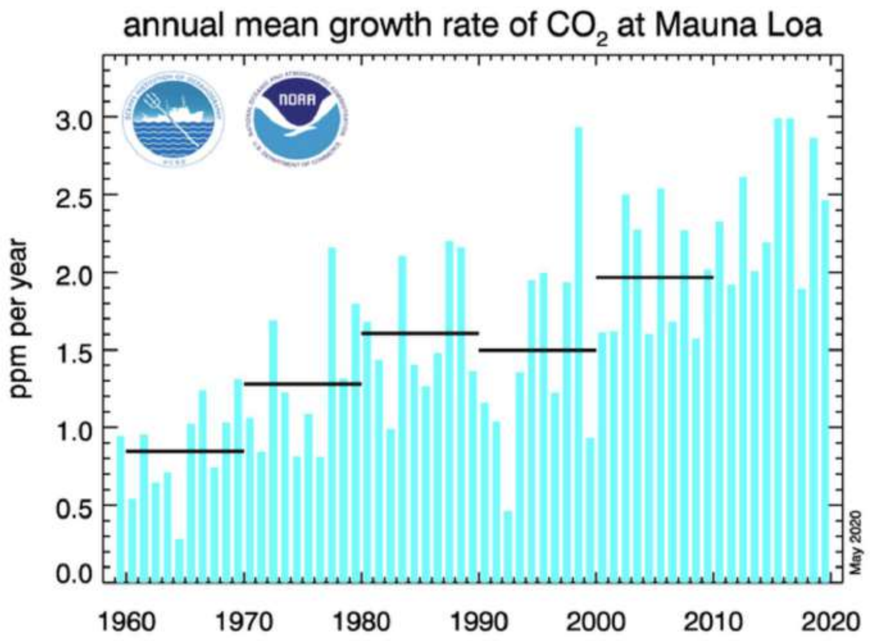


[il mantello terrestre contiene decine di milioni di miliardi di tonnellate di CO2]

G. Muttoni 2014

Quant'è la CO_2 atmosferica?





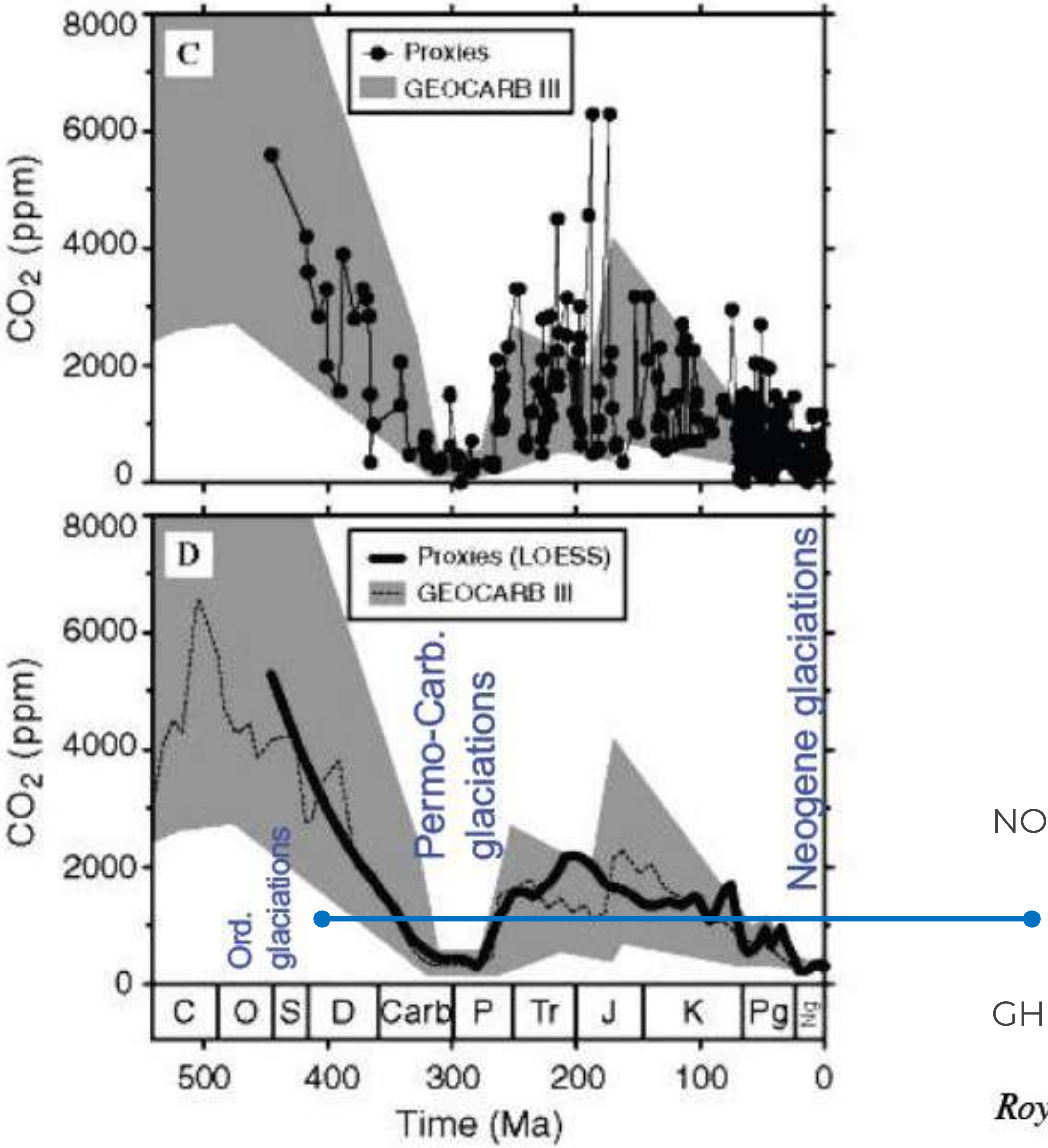
Attualmente ~415 ppm e in crescita +100 ppm in 60 anni.
I tassi sono di **~1.5 ppm/anno e in crescita (l'aumento accelera)**

https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/

... e nel passato?

LE SCIENZE live

Low $p\mathrm{CO_2}$ and Glacial Modes in Phanerozoic



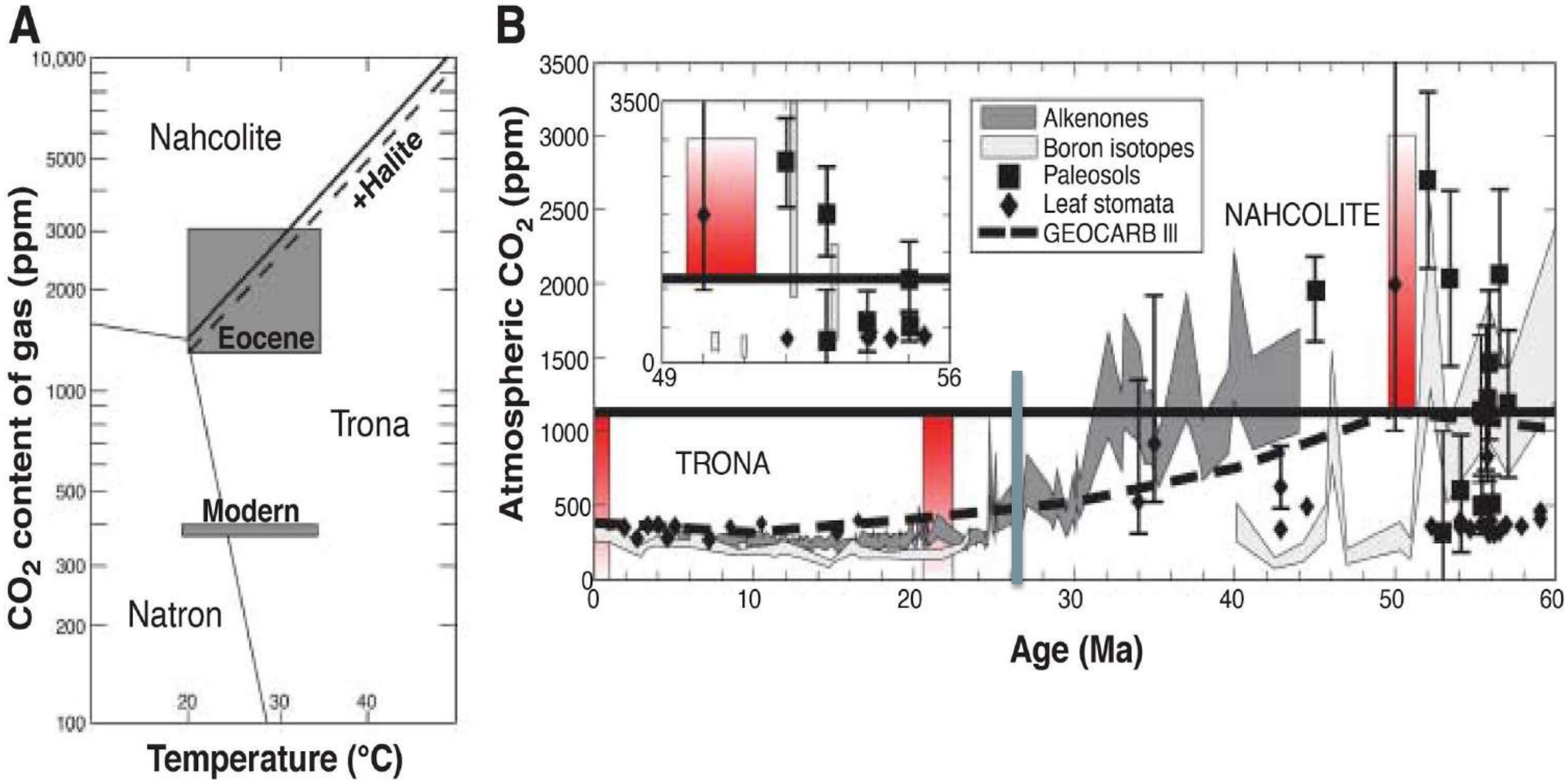
NO GHIACCIO

1000 ppm

GHIACCIO

Royer (2006)

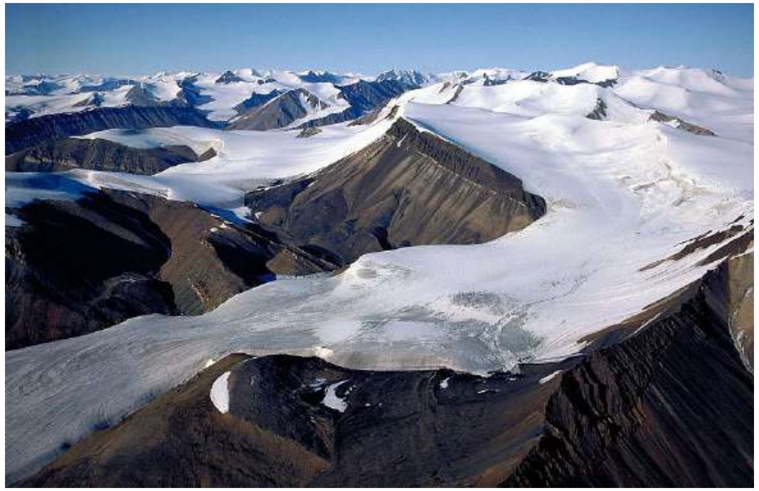
Glaciazioni neogeniche (recenti)
La soglia dei ~1000 ppmv CO_2 superata a circa 34 Ma

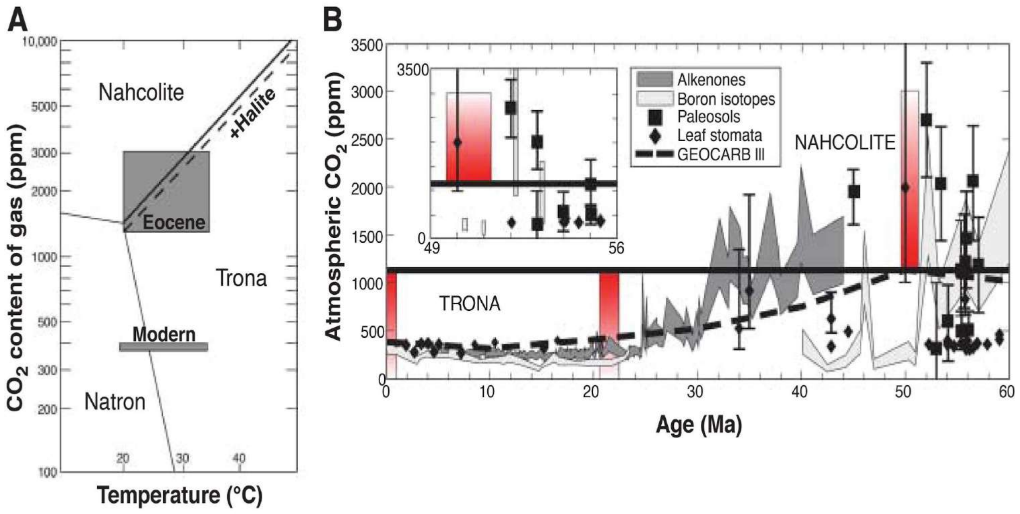


Lowenstein and Demicco (2006)

LE SCIENZE *live*

Axel Heiberg,
Canada, 79°N,
adesso





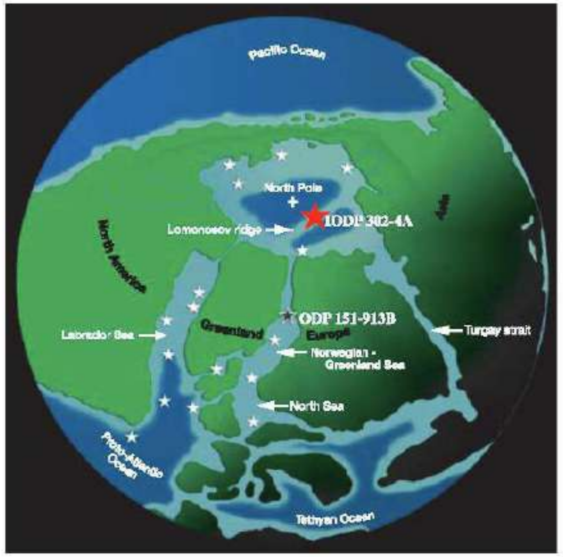

Pacific Ocean
North Pole
IODP 302-4A
Lomonosov ridge
North America
Asia
ODP 151-913B
Greenland
Europe
Turgay strait
Labrador Sea
Norwegian - Greenland Sea
North Sea
Proto-Atlantic Ocean
Tethyan Ocean

Figure 1 | The early Eocene Arctic basin, site locations, and geographic distribution of the *Azolla* pulse in adjacent basins.

Brinkhuis et al. (2006)

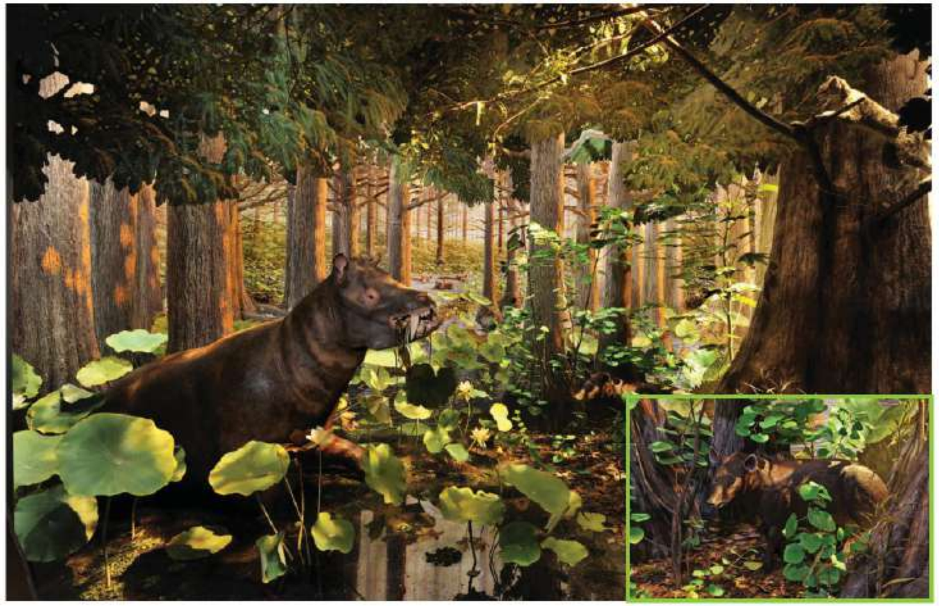
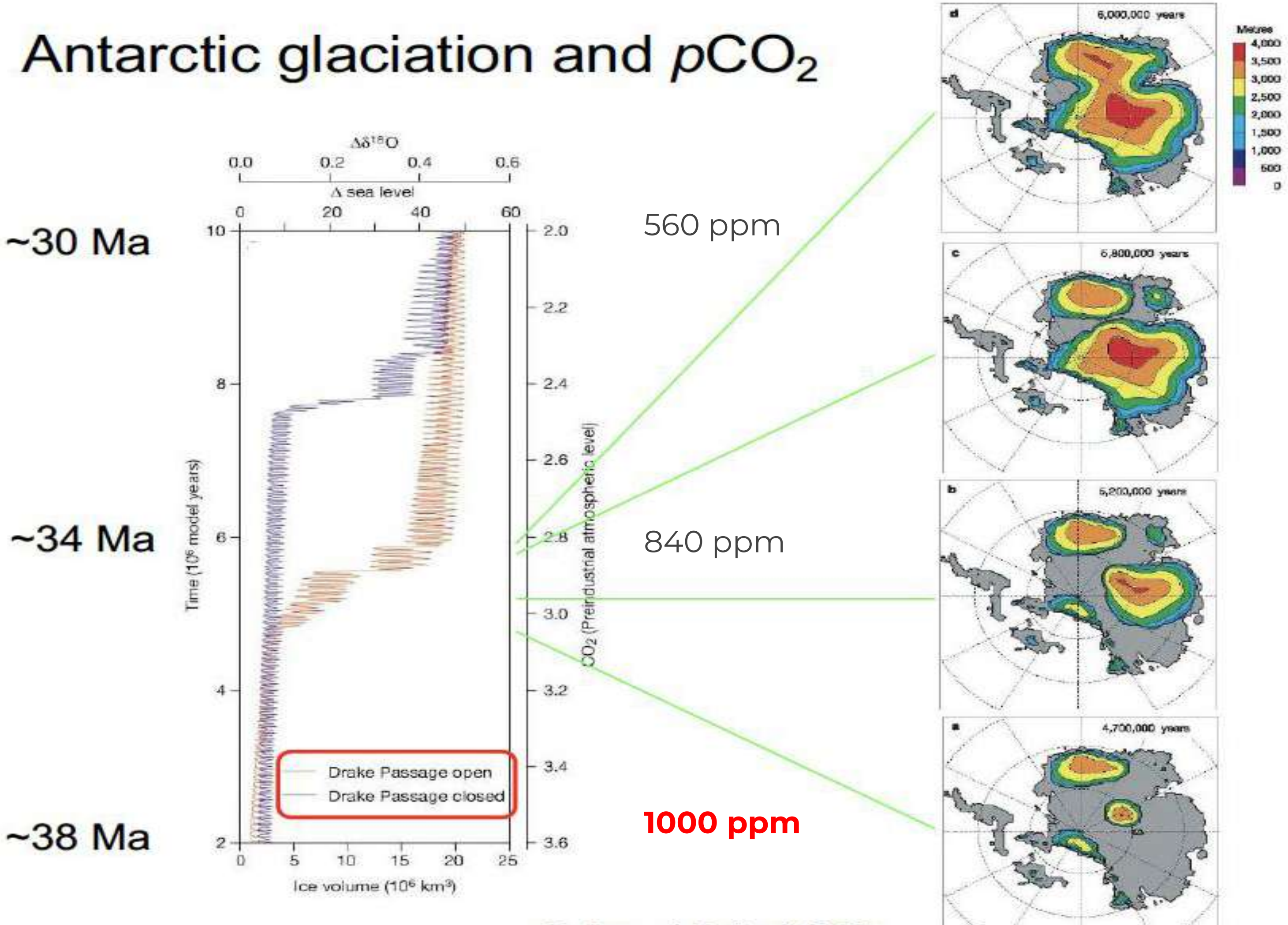


Figure 7. Reconstruction of Eocene High Arctic rain forest environment with hippo-like *Coryphodon* in the foreground; inset shows detail of Eocene Arctic tapir *Thuliadanta*. Both images are courtesy of the American Museum of Natural History (© AMNH/D. Finnin).

Axel Heiberg,
Canada, 75°N
50 milioni di anni fa
> 1000 ppmv CO$_2$

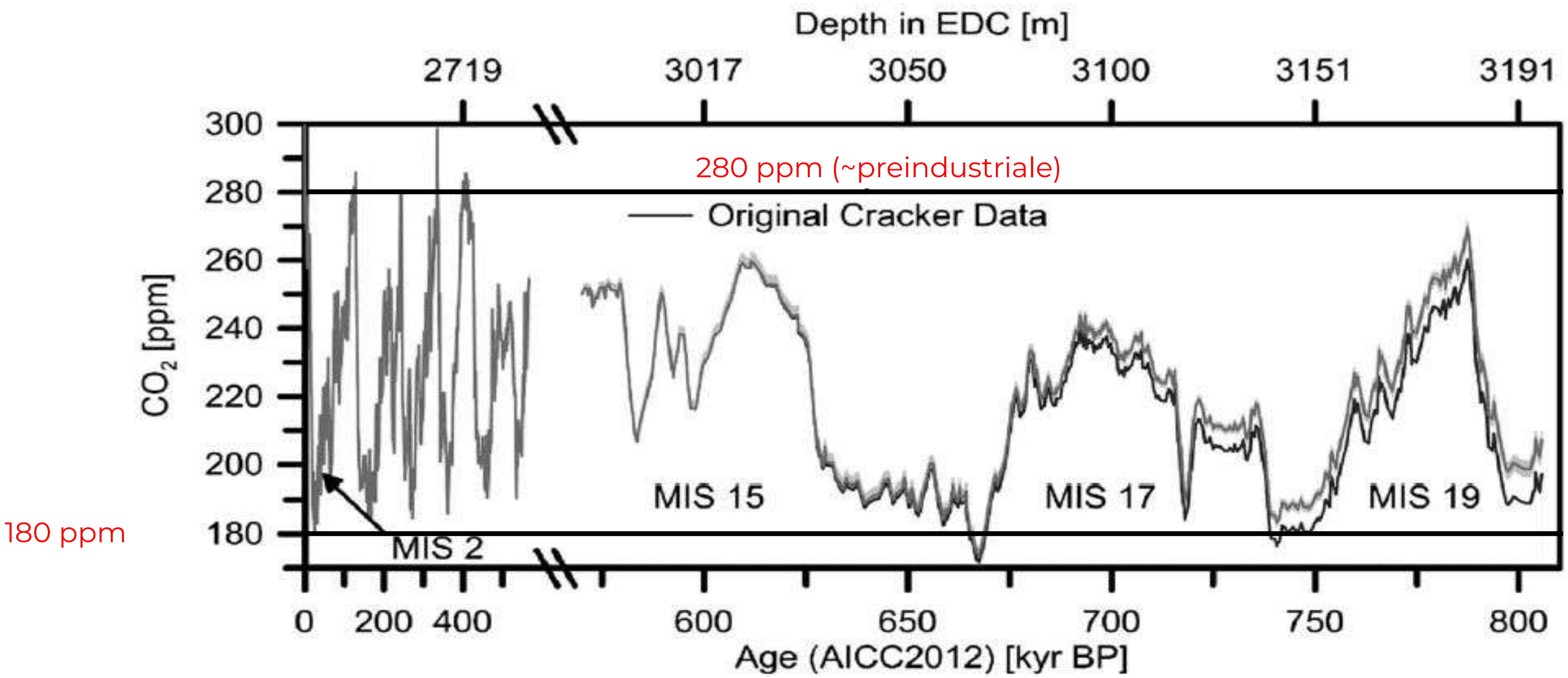
LE SCIENZE live

< 1000 ppmv CO_2



Antarctic glaciation and pCO_2

DeConto & Pollard (2003)



280 ppm (~preindustriale)

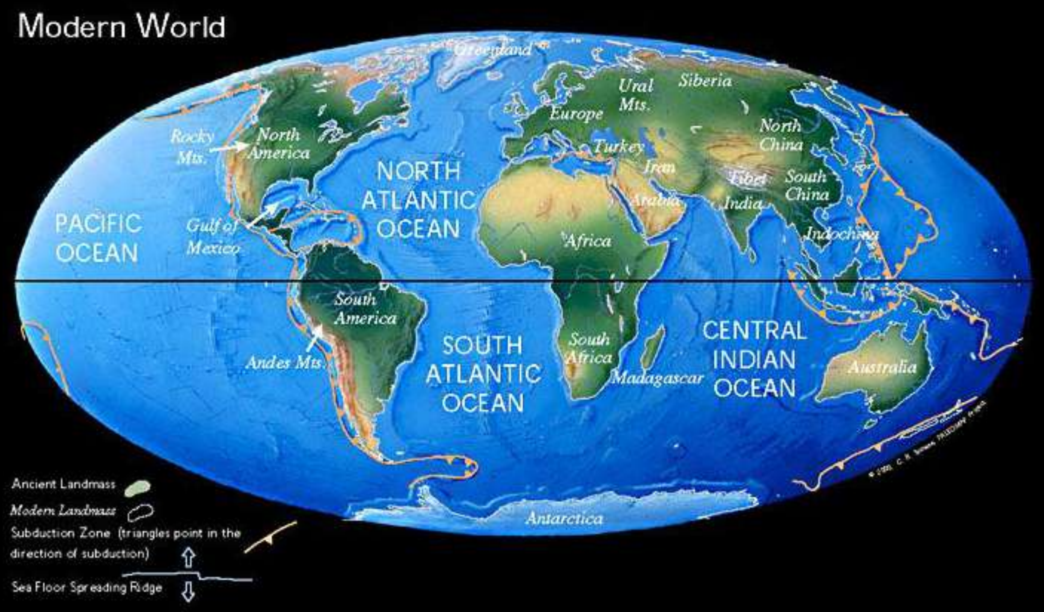
180 ppm

Figure 2. Comparison of the original data (black line) and an updated version of the 800 kyr CO_2 composite (see supporting information) including the corrected data (gray line) and its 95% uncertainty range (light gray area behind). The record low value at 667 kyr B.P. as found by *Lüthi et al.* [2008] remains as such; however, the average value for the period of 650–799 kyr B.P. changes significantly by +5.6 ppm.

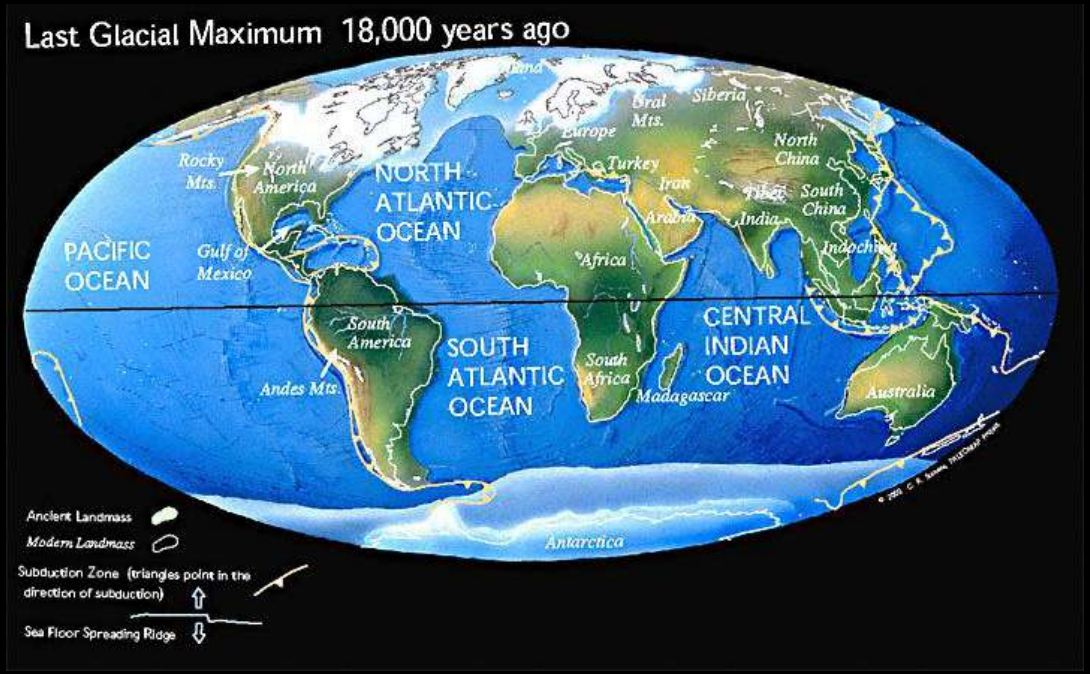
Bereiter et al. (2015)

~280 ppmv CO_2

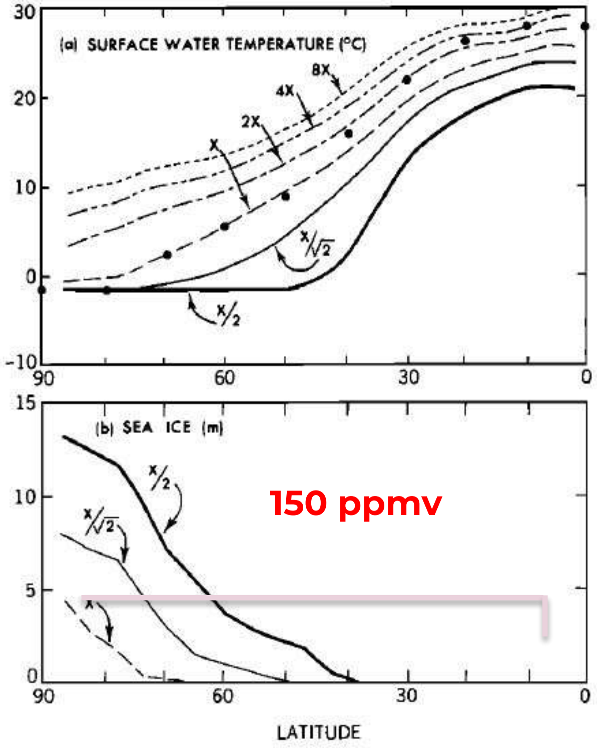
preindustrial


Modern World
Greenland
Ural Mts.
Siberia
Europe
Rocky Mts.
North America
Turkey
North China
Iran
Tibet
South China
NORTH ATLANTIC OCEAN
Arabia
India
PACIFIC OCEAN
Gulf of Mexico
Africa
Indochina
South America
SOUTH ATLANTIC OCEAN
South Africa
CENTRAL INDIAN OCEAN
Andes Mts.
Madagascar
Australia
Antarctica
Ancient Landmass
Modern Landmass
Subduction Zone (triangles point in the direction of subduction)
Sea Floor Spreading Ridge

~180 ppmv CO_2


Last Glacial Maximum 18,000 years ago
Ural Mts.
Siberia
Europe
Rocky Mts.
North America
NORTH ATLANTIC OCEAN
Turkey
North China
Iran
Tibet
South China
Arabia
India
PACIFIC OCEAN
Gulf of Mexico
Africa
Indochina
South America
CENTRAL INDIAN OCEAN
SOUTH ATLANTIC OCEAN
South Africa
Andes Mts.
Madagascar
Australia
Antarctica
Ancient Landmass
Modern Landmass
Subduction Zone (triangles point in the direction of subduction)
Sea Floor Spreading Ridge

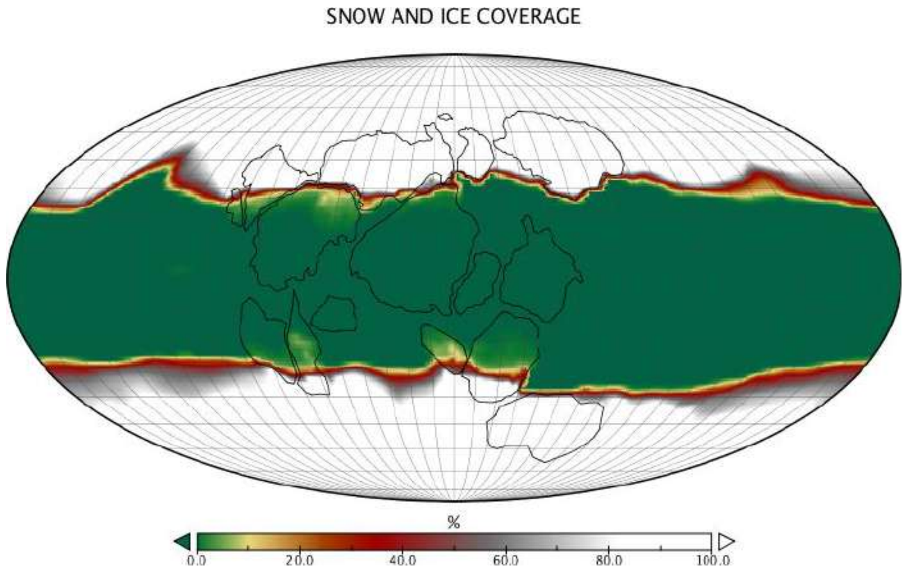
Cosa potrebbe succedere sotto la soglia dei ~180 ppmv?



150 ppmv

Fig. 10. (*a*) Zonal mean surface water temperature (in degrees Celsius) of the model ocean obtained from the six experiments. Dots indicate the observed values in the northern hemisphere from the *U.S. Navy Hydrographic Office* [1964]. (*b*) Zonal mean thickness of sea ice (in meters) in the model ocean from the 1X, X/$\sqrt{2}$, and X/2 experiments.

Manabe and Bryan (1985)



Ghiaccio a livello del mare fino alle nostre latitudini

-> iceberg a Genova?

LE SCIENZE live

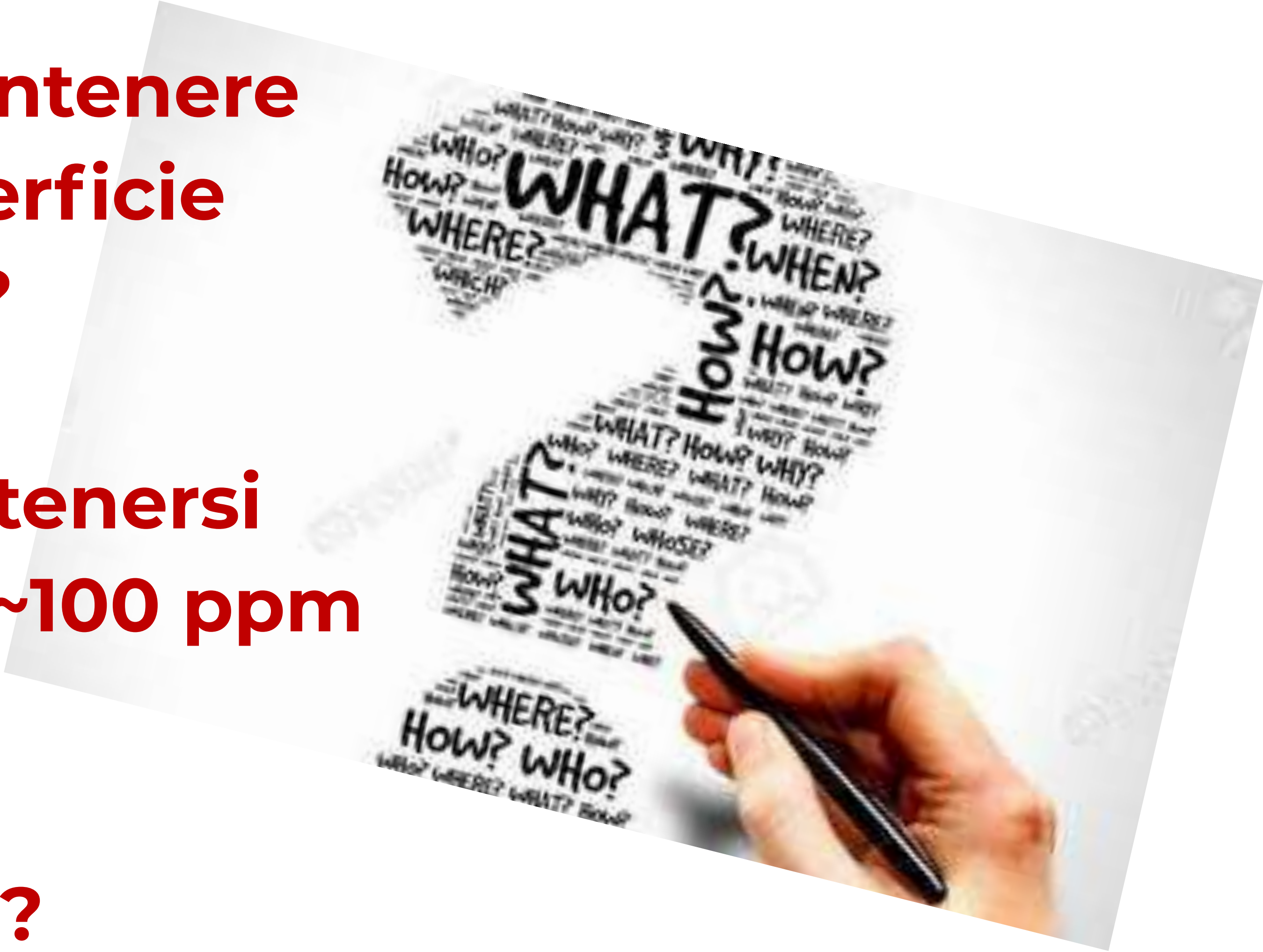
E sotto i ~100 ppm?

albedo fuori controllo
Snowball Earth(s) 700-650 Ma

Come fa la Terra a mantenere l’acqua liquida in superficie da ~4 miliardi di anni?

OVVERO

Come fa la CO_2 a mantenersi (quasi sempre) sopra ~100 ppm (Terra ghiacciata) e sotto ~30.000 ppm (oceani in ebollizione)?


WHAT?
WHERE?
WHEN?
HOW?
WHO?
WHY?
WHERE?
HOW? WHO?

LE SCIENZE live

Da ppmv a Giga tonnellate

Un modo per eseguire il passaggio di unità di misura è esprimere ppmv in % di volume, indi % di massa e procede conoscendo massa molare della CO_2, massa molare dell’aria standard e massa totale dell’atmosfera.

1 ppmv di CO_2 in atmosfera = 0.0001% del volume totale (100%) dell’atmosfera

Massa molare CO_2 = **44 g/mol**
Massa molare aria (composta da 78% N2, 21%O_2 e 1%Ar) = **32.6 g/mol**

Una mole di CO_2 pesa (44 / 32.6) = 1.3 volte una mole d’aria

0.0001% in volume di CO2 = 0.00013% in massa di CO_2

La massa dell’atmosfera terrestre è di circa 5.1*10E18 kg

Lo 0.00013% in massa di questa atmosfera è fatto di CO_2, ovvero **6.6 Giga tonnellate di CO2**

Regola generale: 1 ppmv CO_2 = ~6.6 Gt CO_2

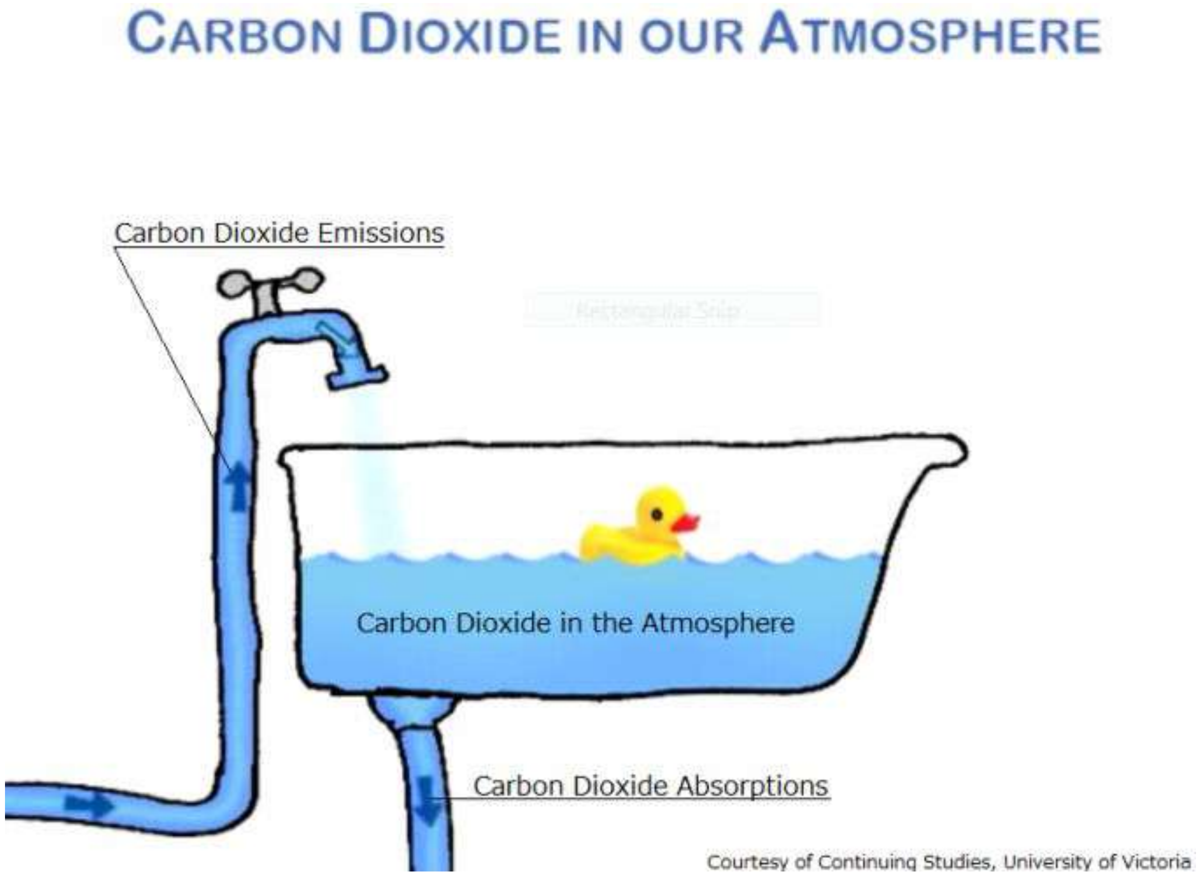
LE SCIENZE live

INPUT di CO_2 dai vulcani ~0.26 GTon CO_2/anno

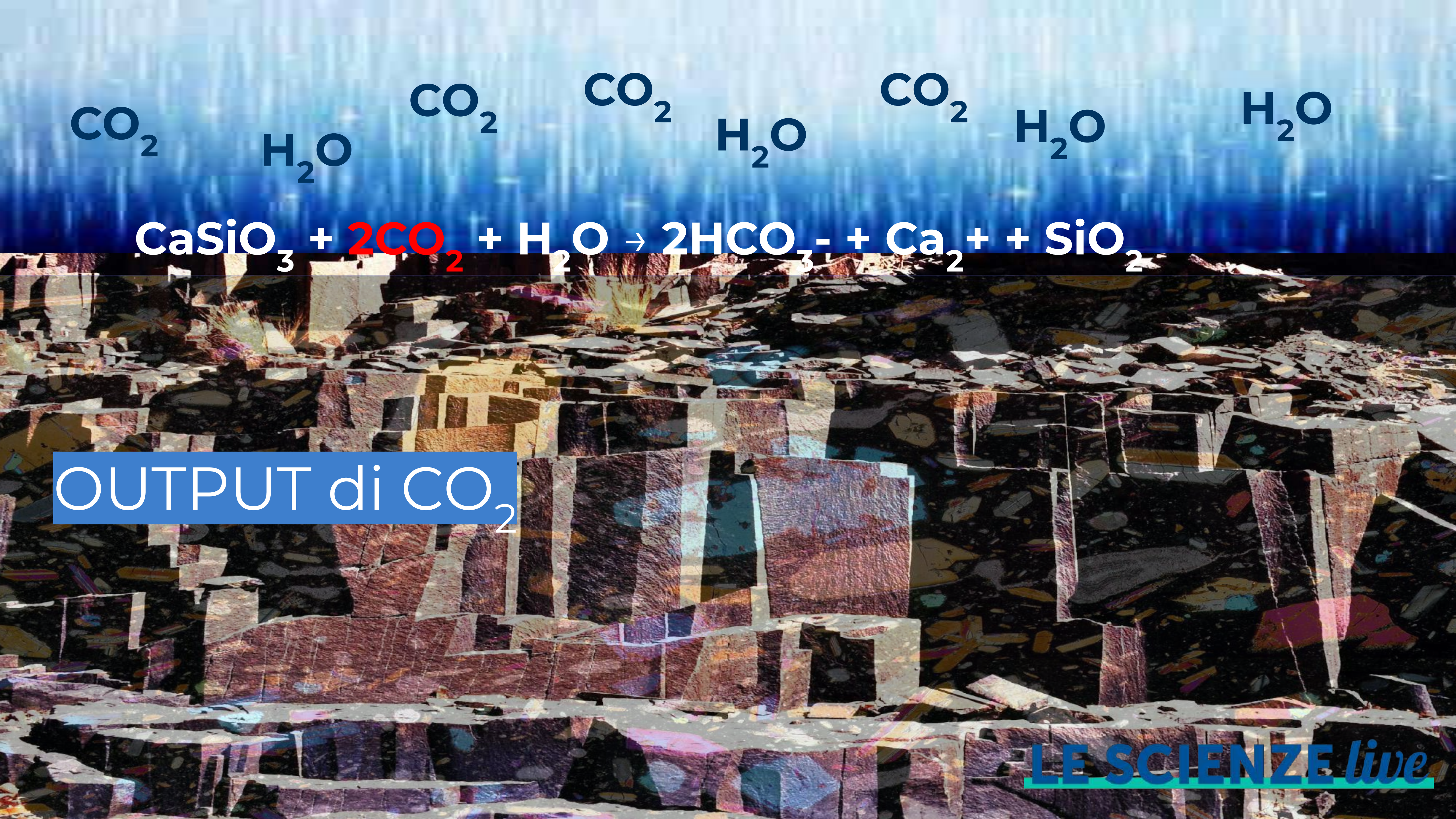
Senza output in meno di un milione
di anni si accumulerebbero decine
di migliaia di ppmv di CO_2
e gli oceani non esisterebbero…

Occorre che la CO_2 esca dall’atmosfera a una velocità simile a quella di entrata. Occorre un output

Flussi, livelli, stati stazionari: l’esempio della vasca da bagno


CARBON DIOXIDE IN OUR ATMOSPHERE
Carbon Dioxide Emissions
Carbon Dioxide in the Atmosphere
Carbon Dioxide Absorptions

Courtesy of Continuing Studies, University of Victoria


CO_2
H_2O
CO_2
CO_2
H_2O
CO_2
H_2O
H_2O

$CaSiO_3 + 2CO_2 + H_2O \rightarrow 2HCO_3- + Ca_2+ + SiO_2$

OUTPUT di CO_2

Principale ‘macchina’ di sottrazione di CO_2: rocce silicatiche basaltiche all’equatore

OUTPUT di CO_2

$2HCO_3^-$

Ca_2^+

$2HCO_3^-$

Ca_2^+

$2HCO_3^-$

Ca_2^+

$2HCO_3^- + Ca_2^+ \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$

OUTPUT di CO_2

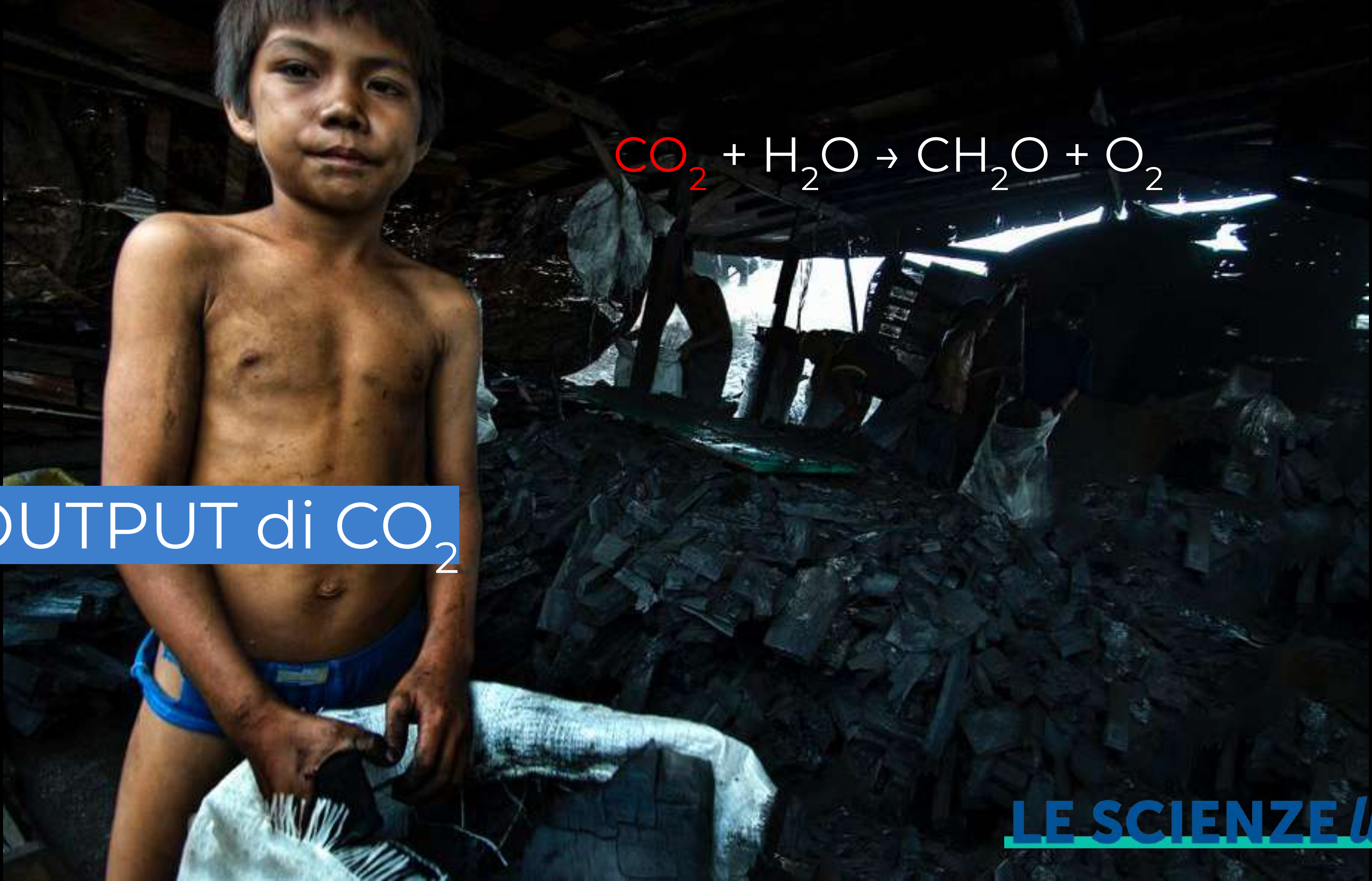
OUTPUT di CO_2

2 moli di CO_2 sottratte per alterazione rocce silicatiche;
1 mole reimmessa durante la precipitazione dei carbonati;
1 mole sottratta nei carbonati che diventano rocce calcaree

2-1 = 1

$CO_2 + H_2O \rightarrow CH_2O + O_2$

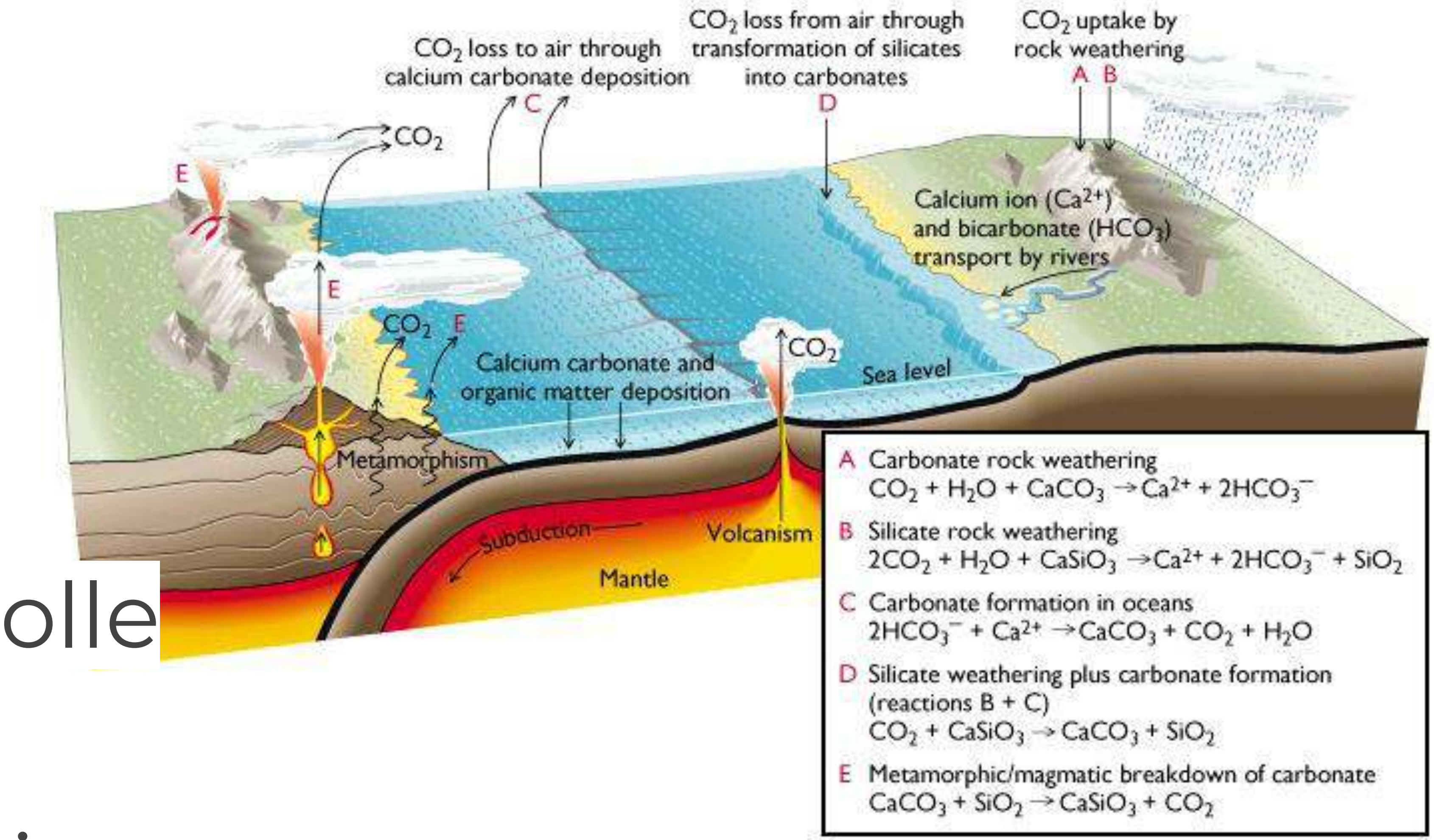
OUTPUT di CO_2



$CO_2 + H_2O \rightarrow CH_2O + O_2$

OUTPUT di CO_2

Tettonica a Zolle e ciclo del C a lungo termine


CO$_2$ loss to air through calcium carbonate deposition
C
CO$_2$ loss from air through transformation of silicates into carbonates
D
CO$_2$ uptake by rock weathering
A B
E
CO$_2$
E
CO$_2$
E
Calcium ion (Ca^{2+}) and bicarbonate (HCO$_3$) transport by rivers
Calcium carbonate and organic matter deposition
CO$_2$
Sea level
Metamorphism
Subduction
Volcanism
Mantle

A Carbonate rock weathering
$CO_2 + H_2O + CaCO_3 \rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$

B Silicate rock weathering
$2CO_2 + H_2O + CaSiO_3 \rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^- + SiO_2$

C Carbonate formation in oceans
$2HCO_3^- + Ca^{2+} \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$

D Silicate weathering plus carbonate formation (reactions B + C)
$CO_2 + CaSiO_3 \rightarrow CaCO_3 + SiO_2$

E Metamorphic/magmatic breakdown of carbonate
$CaCO_3 + SiO_2 \rightarrow CaSiO_3 + CO_2$

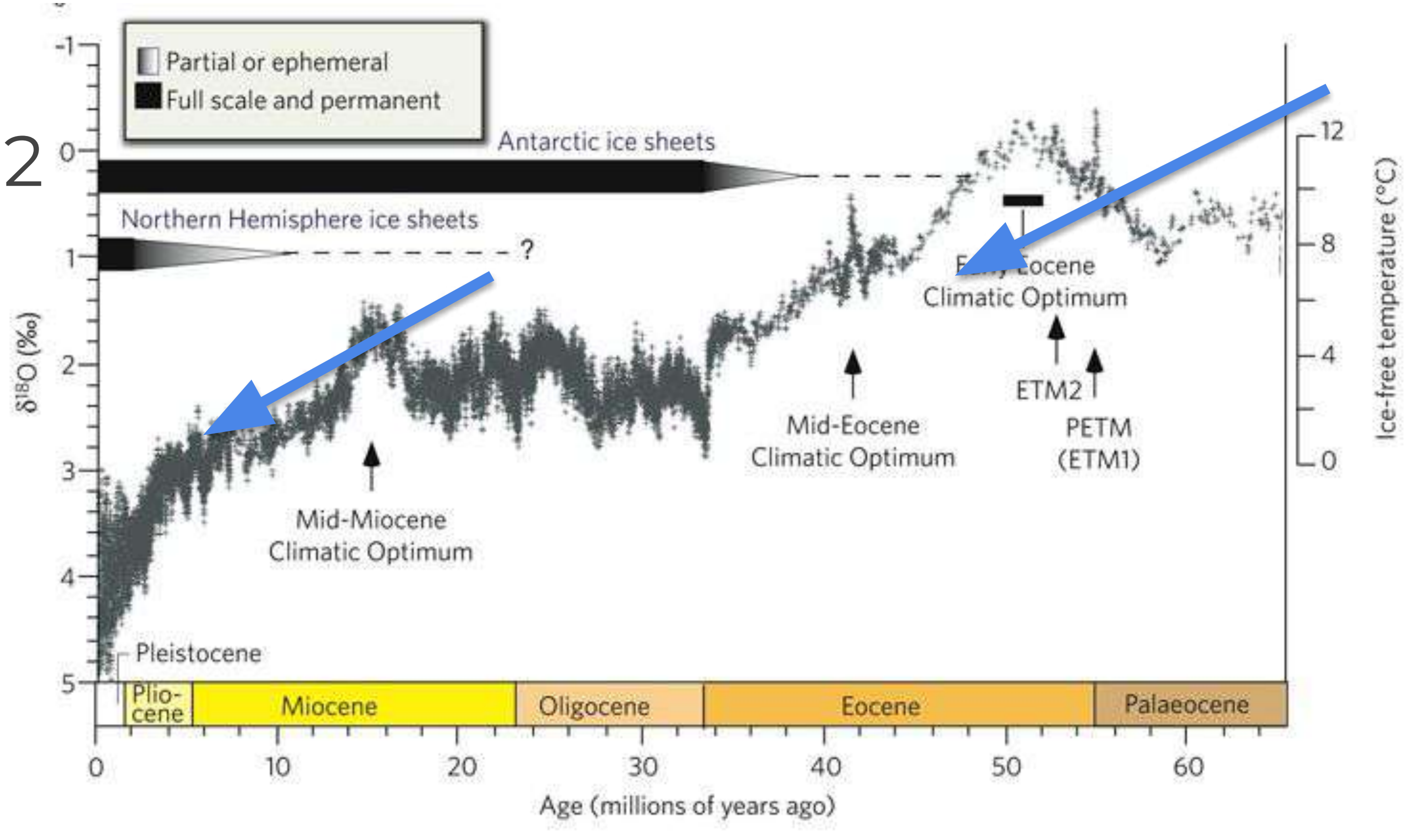
+ organic carbon cycle:

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow CH_2O + O_2$$

LE SCIENZE *live*

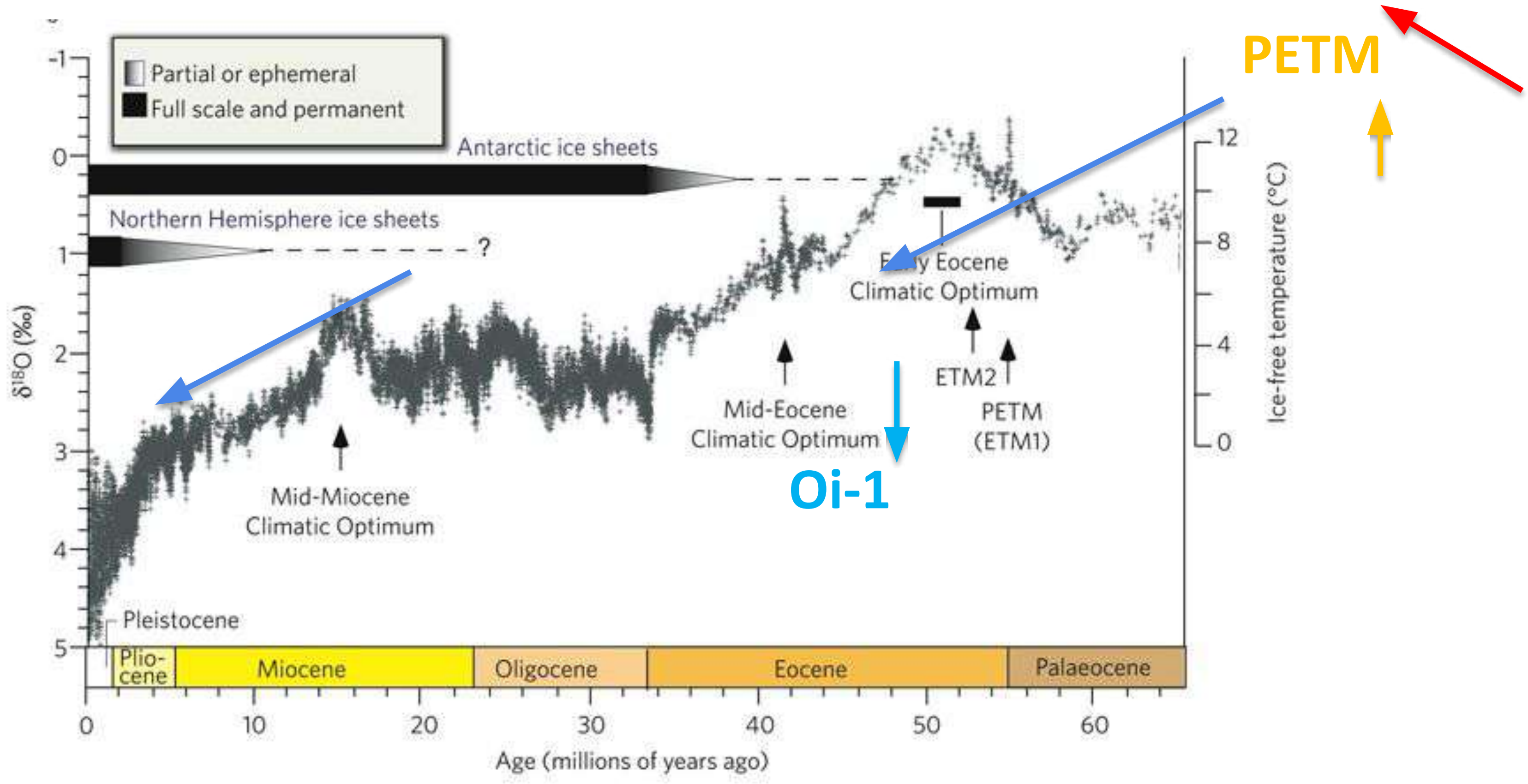
Trend climatici: minimi disequilibri tra INPUT e OUTPUT di CO_2 integrati nel tempo geologico

Se CO_2 input > CO_2 output
tendenza al riscaldamento
Se CO_2 input < CO_2 output
tendenza al raffreddamento



Trend climatici geologici avvengono su scala dei milioni di anni a tassi di 0.0001-0.001 ppm/yr.

Escursioni climatiche rapide (PETM, Oi-1) avvengono su scala dei 100.000 anni a tassi di 0.1-0.5 ppm/yr.



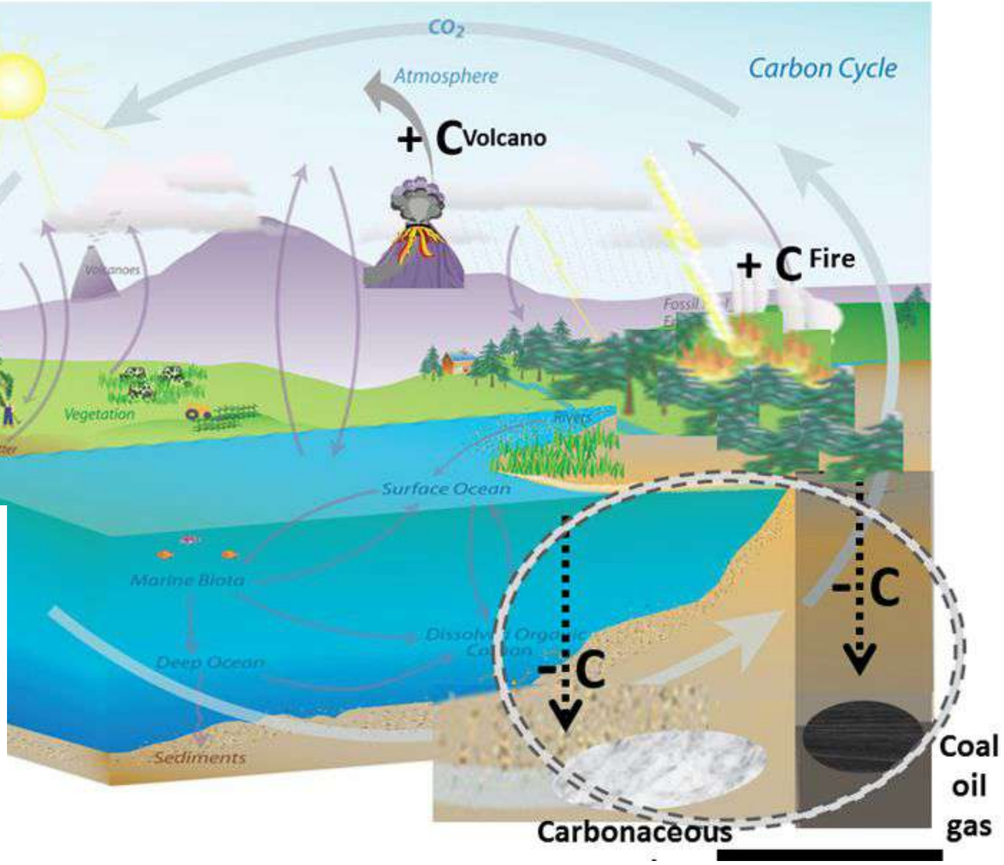
LE SCIENZE live

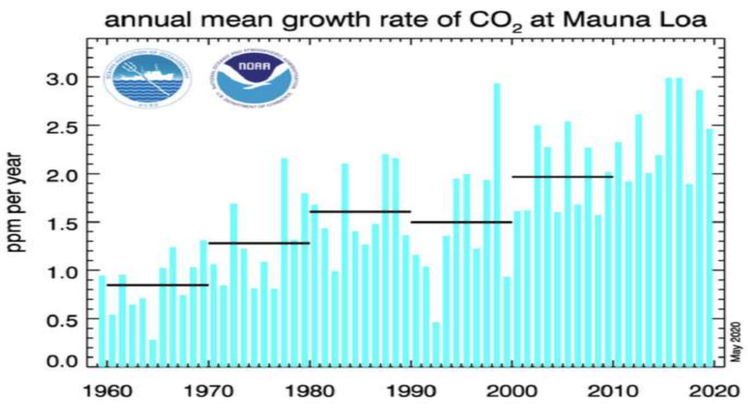
Ultimi 60 anni: tassi di 1.5 ppm/yr e in crescita

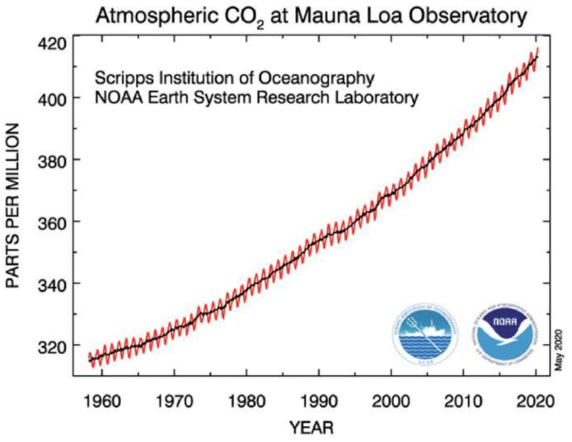
Una riserva di CO_2 fossile, accumulata in milioni di anni sotto forma di carbon fossile, è immessa rapidamente nel ciclo del carbonio a breve termine (atmosfera, idrosfera, biosfera).

Ultra long term carbon cycle

The short term land and ocean cycle is shown by the thin lines inside the thick lines of the long term ocean cycle.


CO2
Atmosphere
Carbon Cycle
+ C Volcano
+ C Fire
Volcanoes
Fossil Fuels
Vegetation
soil organic matter
Rivers
Surface Ocean
Marine Biota
Dissolved Organic Carbon
Deep Ocean
Sediments
-C
-C
Coal
oil
gas
Carbonaceous


annual mean growth rate of CO_2 at Mauna Loa


Atmospheric CO_2 at Mauna Loa Observatory

Spunti di riflessione

- La vita sulla Terra esiste da quando gli oceani di acqua liquida hanno potuto stabilizzarsi – probabilmente a partire da circa 3.9 Gy.
- Senza CO_2 non ci sarebbe vita poiché la Terra sarebbe un pianeta completamente e perennemente gelato.
- Durante la maggior parte (~80%) degli ultimi ~600 milioni di anni, la Terra non ha avuto coperture glaciali significative e la CO_2 si è mantenuta sopra la soglia dei ~1000 ppm.
- Due intervalli glaciali hanno caratterizzato gli ultimi ~600 milioni di anni: da 320 a 280 milioni di anni fa e da 34 milioni di anni ai giorni nostri. In entrambe i casi si è scesi sotto la soglia dei ~1000 ppm di CO_2
- Episodi glaciali estremi sono accaduti tra 700 e 650 milioni di anni fa con coperture glaciali estese anche a basse latitudini a livello del mare e CO2 sotto i 150 ppm.
- Durante tutte queste fluttuazioni climatiche, la CO_2 aumenta/diminuisce a tassi a lungo termine (trend) di 0.0001-0.001 ppm CO_2/anno. Esistono ‘aberrazioni’ climatiche rapide (PETM) con velocità di 0.1-0.3 ppm CO_2/anno.

Spunti di riflessione

- Il trend degli ultimi 60 anni è di **1.5 ppm CO_2/anno e in crescita.** Sarebbe comunque molto più alto (3-6 ppm/anno) se la Terra non avesse comunque attivato meccanismi di rimozione di CO_2 negli oceani, nelle rocce carbonatiche, e tramite il seppellimento di materia organica.
- Le attuali immissioni antropogeniche di CO_2 sono ~10 volte maggiori di quelle dell'episodio di riscaldamento più rapido e massiccio conosciuto nel record geologico (PETM).
- Le attuali immissioni antropogeniche di CO_2 sono ~140 volte maggiori di quelle di tutti i vulcani terrestri combinati (che regolano i livelli di CO_2 geologica a lungo termine).

Riflessione personale

- Un pianeta privo di ghiacci non è di per sé una brutta notizia (punto di vista neutrale oggettivo scientifico). Il problema è che con gli attuali tassi di immissione di CO_2, stiamo raggiungendo tale condizione (superamento soglia dei ~1000 ppm di CO_2) in tempi troppo rapidi (secoli) e ingestibili per la società contemporanea, numerosa, complessa e statica.
- La terra possiede meccanismi naturali di rimozione della CO_2, e quando l'immissione antropogenica cesserà, la terra ritornerà (con i suoi tempi) alle condizioni pre-disturbo (preindustriali).
- **Dunque, non dobbiamo salvare la Terra, ma la nostra civiltà.**

Grazie

LE SCIENZE *live*

~30.000 ppmv CO_2 = ~200.000 Gt CO_2: gli oceani terrestri vanno in ebollizione
(mai successo)

1000-4000 ppmv CO_2 = 6600-26000 Gt CO_2: valori ‘comuni’ presenti nell’80% del tempo geologico relativo agli ultimi ~550 milioni di anni

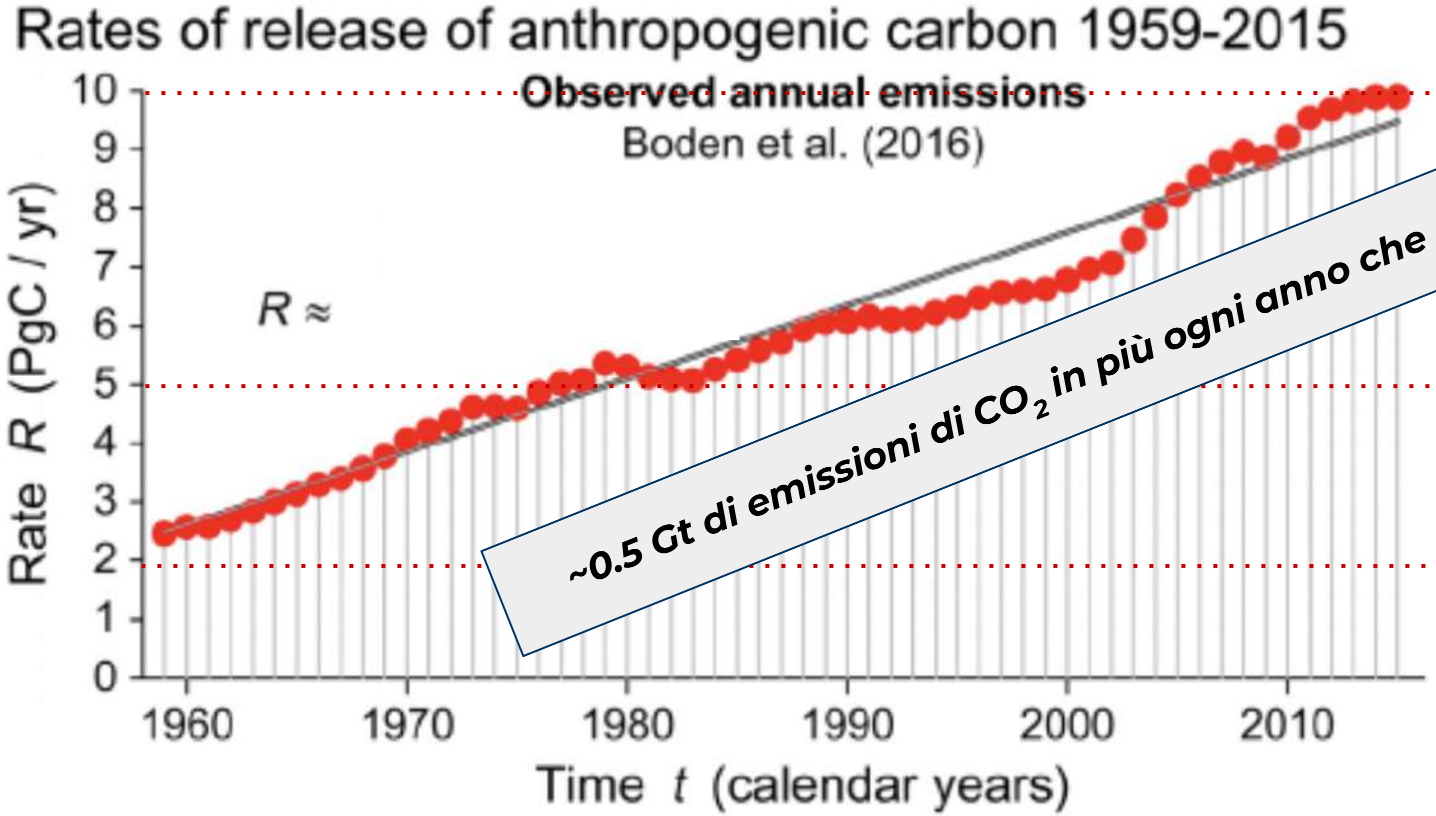
Solo per un ~20% di tempo geologico la Terra è scesa sotto ~1000 ppmv CO_2 = ~6600 Gt CO_2: soglia tra terra senza ghiacci e terra con inizio formazione ghiacci alle alte latitudini
(ad esempio Antartide e Artide)

~280 ppmv CO_2 = ~1800 Gt CO_2: interglaciali pleistocenici
(calotte glaciali alle alte latitudini ben sviluppate)

~180 ppmv CO_2 = ~1200 Gt CO_2: massime espansioni glaciali pleistoceniche
(i ghiacci coprono buona parte dell’Europa centro-settentrionale e del Nord America)

~150-100 ppmv CO_2 = ~1200 Gt CO_2: iceberg a Genova?

<100 ppmv CO_2 = < 660 Gt CO_2: Snowball Earth (è successo)

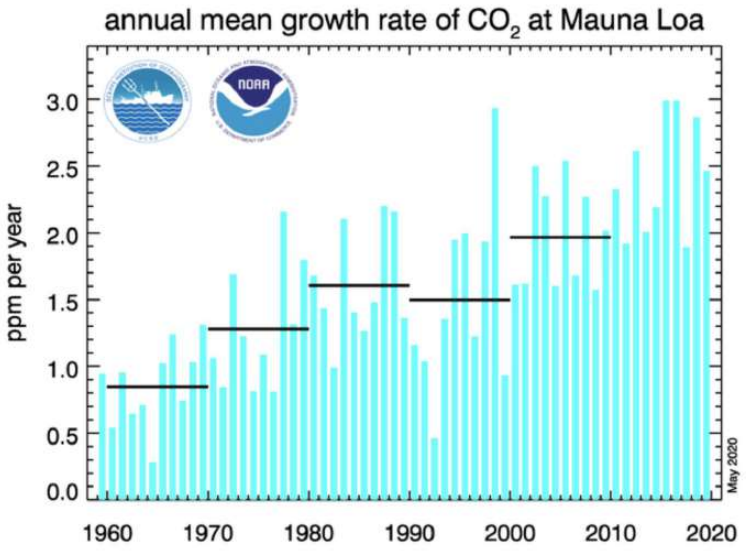


~0.5 Gt di emissioni di CO_2 in più ogni anno che passa

37 Gt CO_2/anno
~6 ppm/anno

18 Gt CO_2/anno
~3 ppm/anno

7 Gt CO_2/anno
~1 ppm/anno



I TASSI DI IMMISSIONE DI CO_2 ANTROPOGENICA NON CORRISPONDONO AI TASSI DI CRESCITA DI CO_2 ATMOSFERICA!

LA TERRA REAGISCE !

MONDADORI EDUCATION

Rizzoli EDUCATION

FORMAZIONE SU MISURA

WWW.FORMAZIONESUMISURA.IT

LE SCIENZE *live*