

Il cambiamento climatico e le sue storie



Gianluca Lentini, Poliedra – Politecnico di Milano

PiDay 2024 – effediesse DMAT PoliMI

Cosa sta succedendo alla Terra?



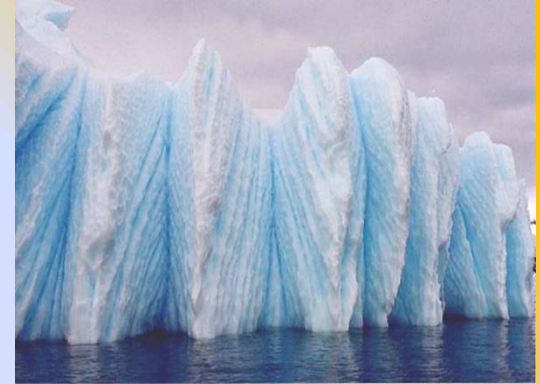
Da cosa è fatto il clima della Terra



TERRA 'SOLIDA'



ACQUE



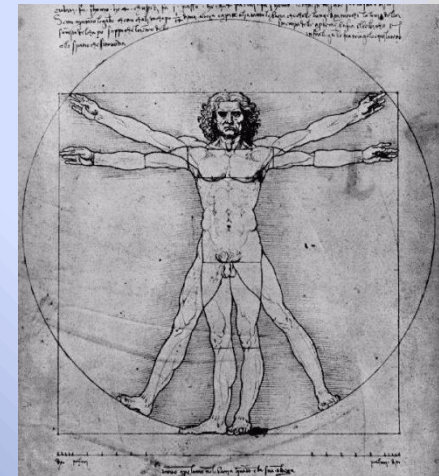
GHIACCI



ATMOSFERA



**VITA ANIMALE E
VEGETALE**

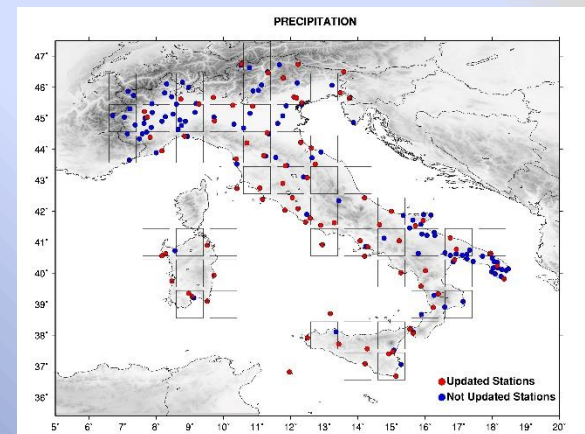
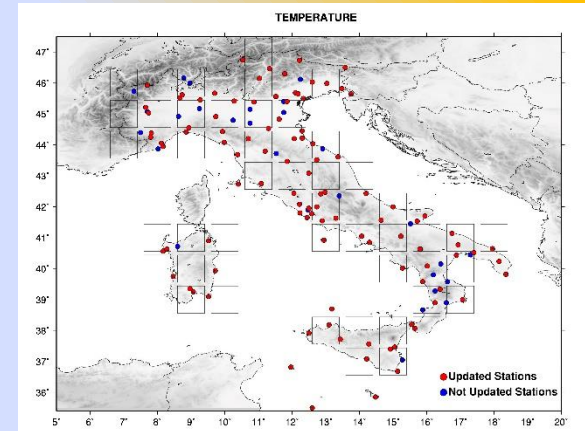


SPECIE UMANA

TERMINOLOGIA

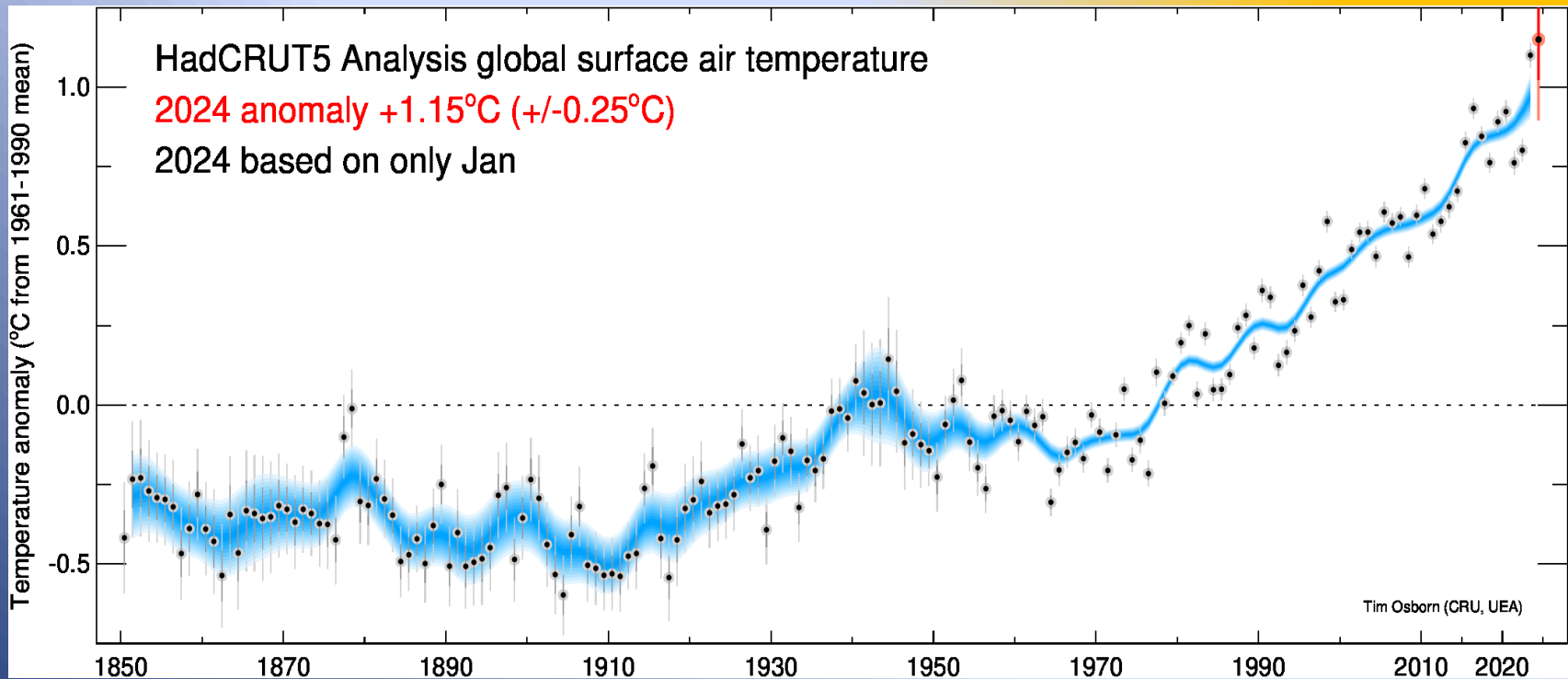
CAMBIAMENTO CLIMATICO:

*Variazione sistematica della distribuzione statistica di variabili meteorologiche
in intervalli di tempo di diversi decenni o superiori (30 anni, WMO)*



Database Climstor ISAC CNR

Il Riscaldamento Globale (1850- gen 2024)



Anomalie di Temperatura (°C) rispetto alla media 1971-2000

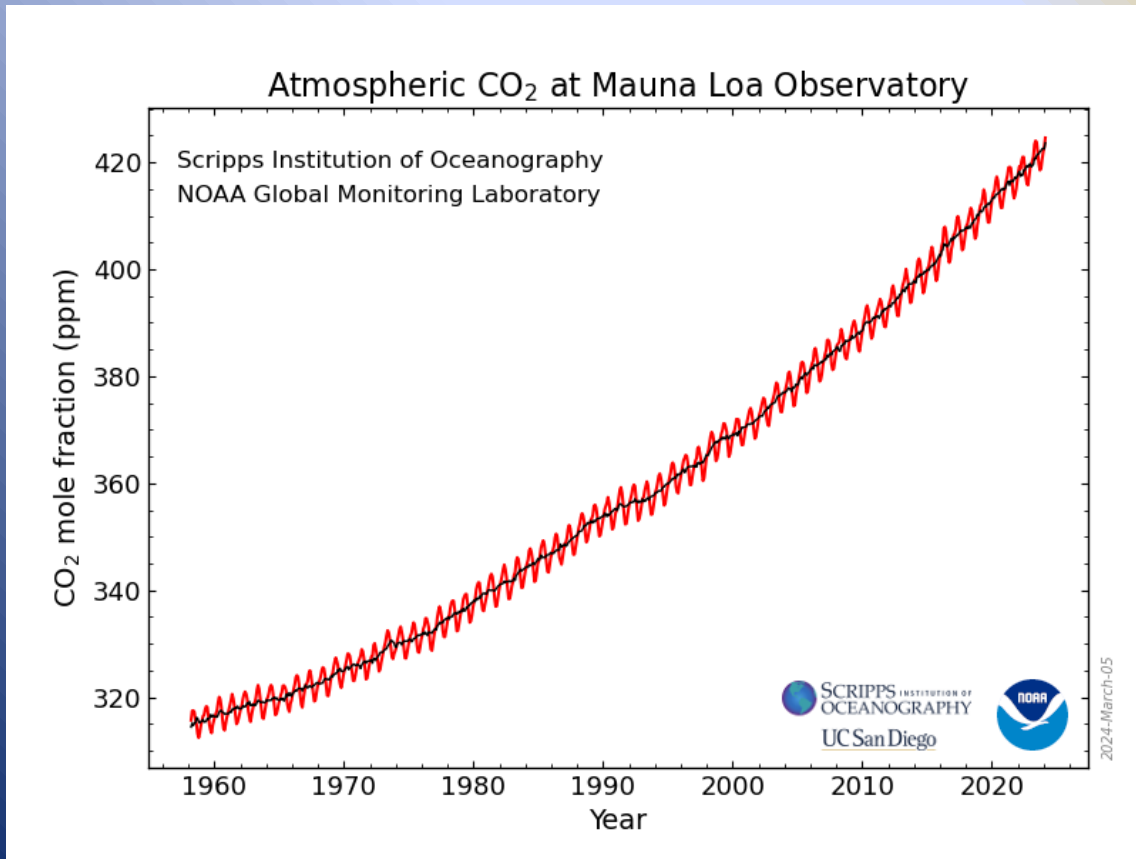
*da Climatic Research Unit, University of East Anglia,
<http://www.cru.uea.ac.uk/> - aggiornato a marzo 2022*

ATTUALE MANIFESTAZIONE del cambiamento climatico sulla superficie terrestre, alla luce dei dati osservativi

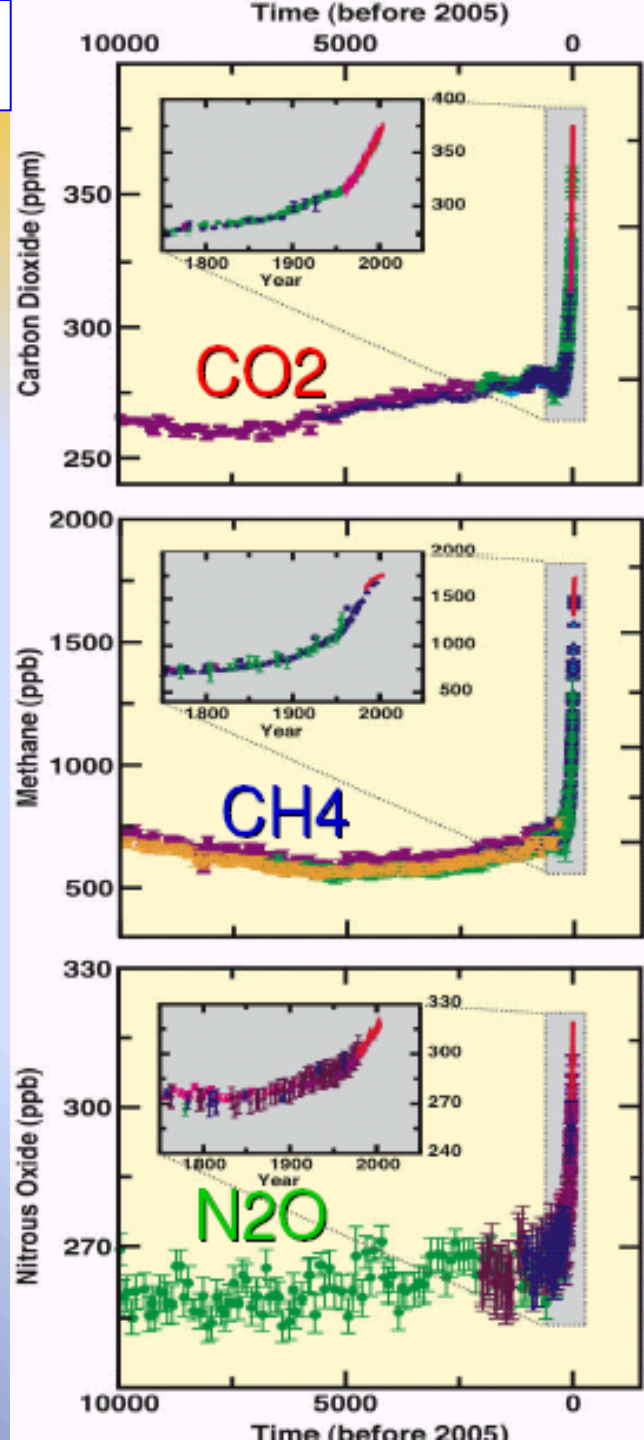
ATTRIBUZIONE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO

- Il riscaldamento di terre emerse e superficie degli oceani è **inequivocabile**. Molti degli impatti ad esso associati **non hanno precedenti** per intensità e per tasso.
 - È **inequivocabile** che l'influenza umana sia **la causa dominante** del riscaldamento globale osservato dopo il 1950.
 - Quanto più attenderemo a mitigare le emissioni, tanto più severe saranno le conseguenze.
-
- 2007, IV AR: 'molto probabile' (prob. >90%)
 - 2014, V AR: 'estremamente probabile' (prob. >95%)
 - 2022, VI AR: 'inequivocabile' (prob. >99%)

Il ruolo dei gas climalteranti

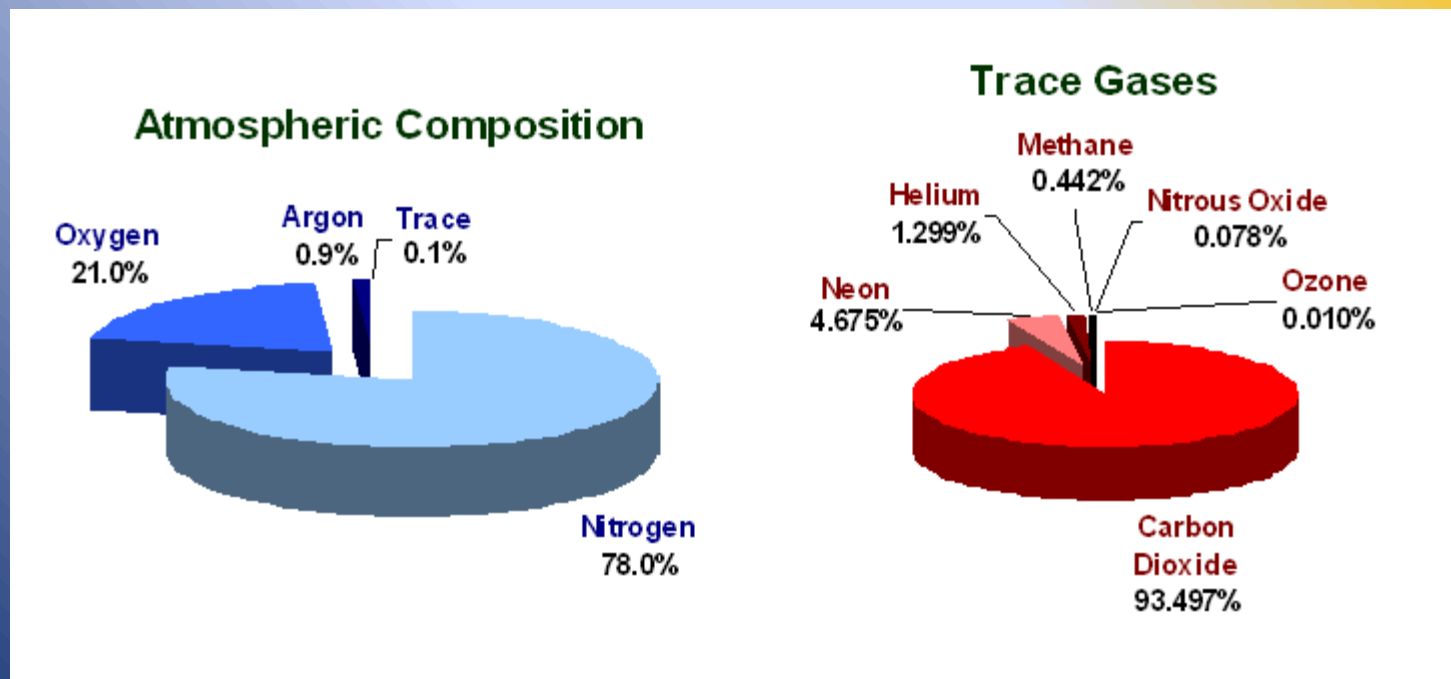


<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>



L'atmosfera della Terra – la terza atmosfera

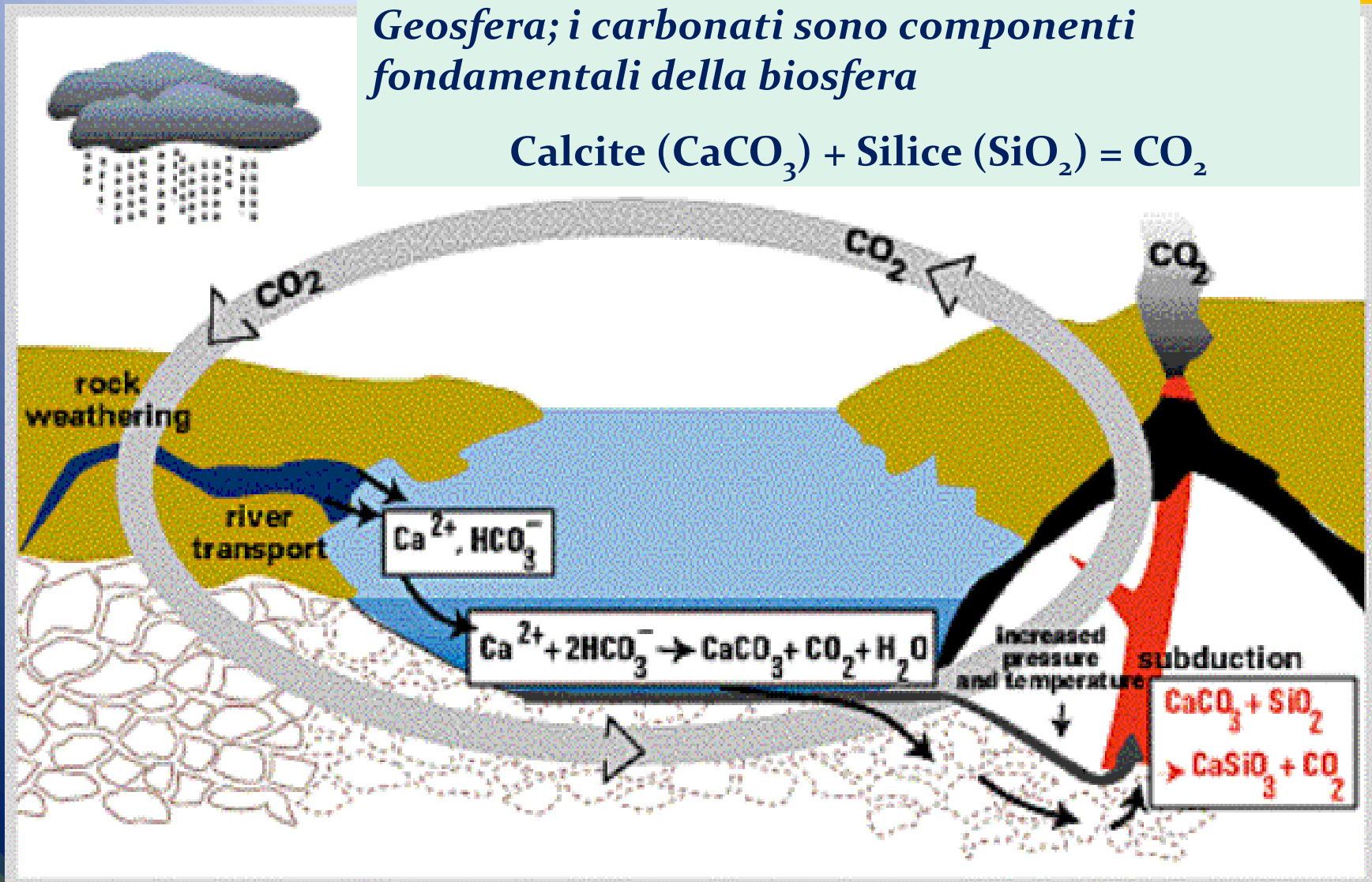
Uno sguardo all'atmosfera: la via privilegiata per comprendere un pianeta e la sua storia



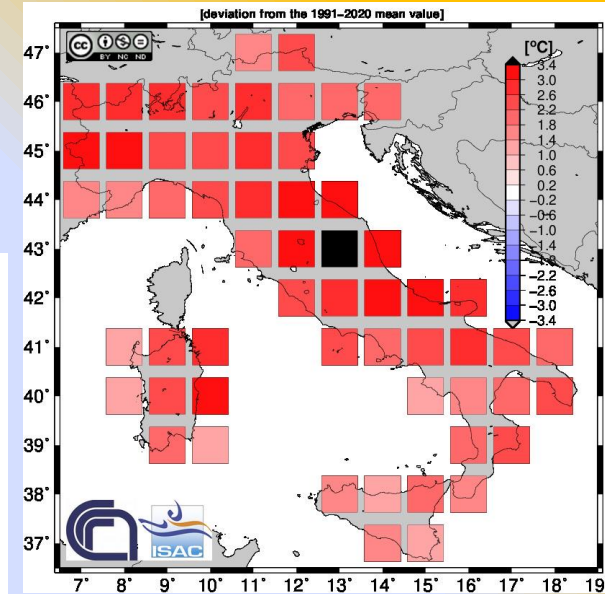
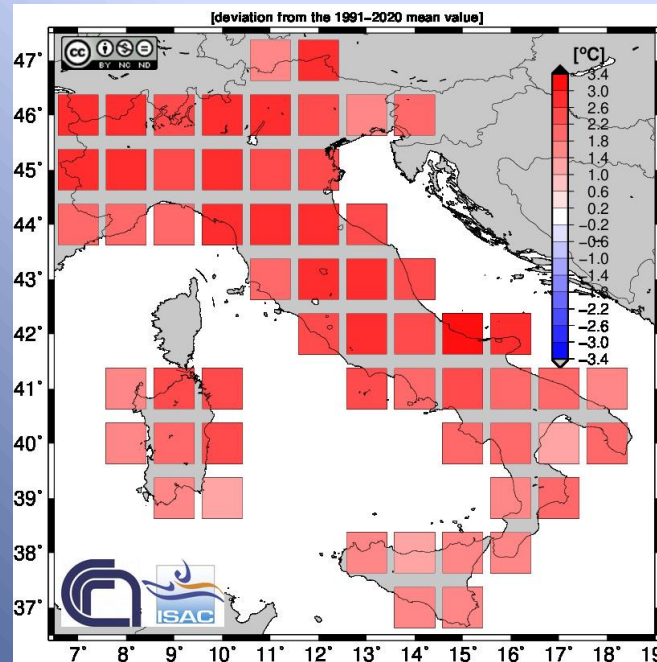
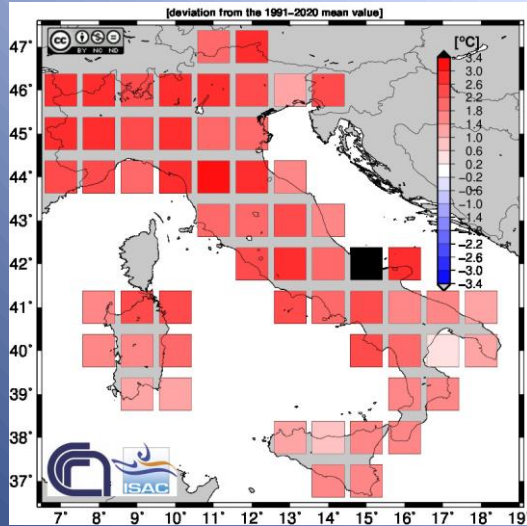
Informazioni essenziali sull'equilibrio o disequilibrio chimico

La CO₂ e i suoi cicli

I Silicati sono componenti fondamentali della Geosfera; i carbonati sono componenti fondamentali della biosfera

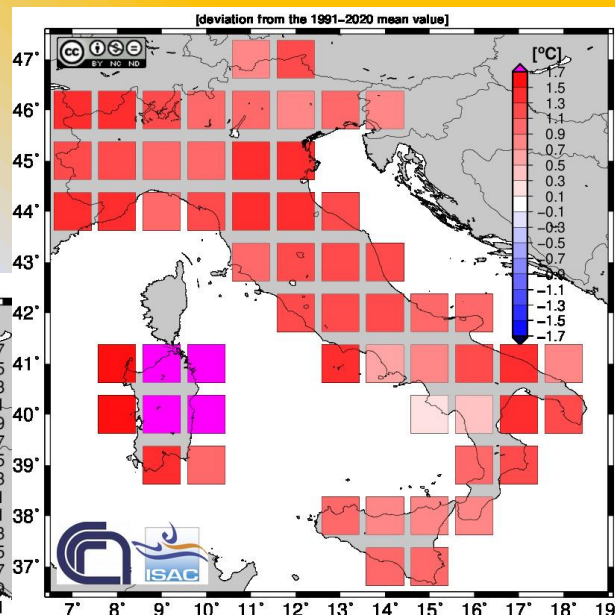
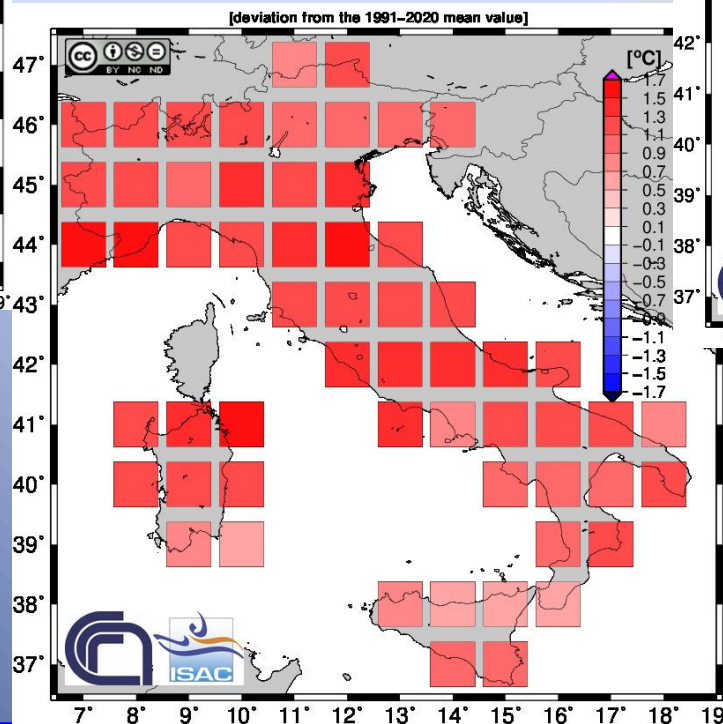
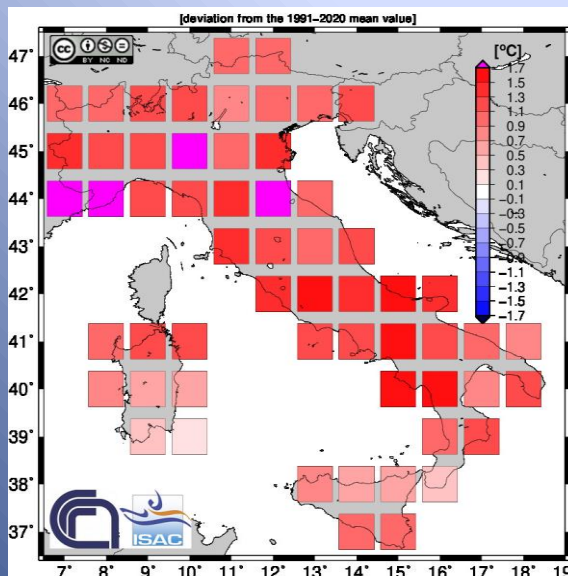


Il Riscaldamento Globale in Italia (inverno fino a febbraio 2024)



Anomalie di T invernali (min, ave, max) del 2022 rispetto al 1991-2020 (in ° C)

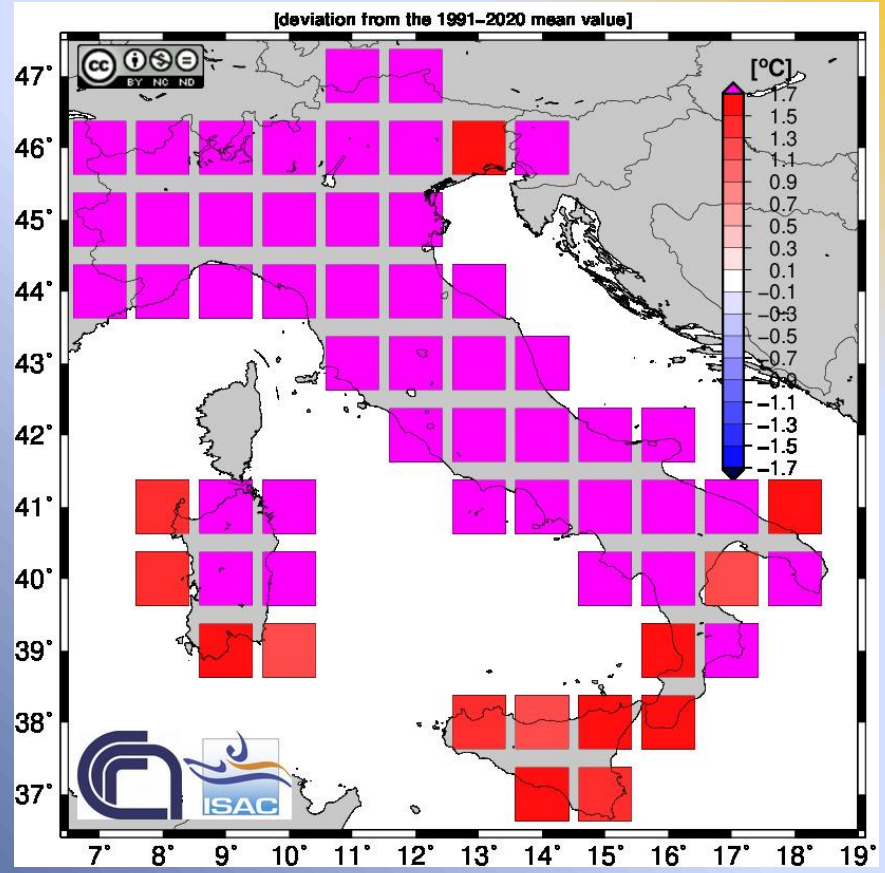
Il Riscaldamento Globale in Italia – Anno 2023



Anomalie di T (min, ave, max) del 2023 rispetto al 1991-2020 (in ° C)

https://www.isac.cnr.it/~climstor/climate_news.html

Il Riscaldamento Globale in Italia – Gen e Feb 2024



Anomalie di T dell'ottobre 2023 rispetto al 1991-2020 (in ° C)

Un po' di sano scetticismo

- **No, non è un ciclo:**

Previous climates can be explained by natural causes, while current climate change can only be explained by an excess of CO2 released by human fossil fuel burning. Records of past climates indicate that change happened on time scales of thousands to millions of years. The global rise in temperature that has occurred over the past 150 years is unprecedented and has our fingerprints all over it.*

- **No, non è il sole:**

In the last 35 years of global warming, the sun has shown a slight cooling trend. Sun and climate have been going in opposite directions.*

- **Davvero, il consenso scientifico sul tema è altissimo:**

97% of climate experts agree humans are causing global warming. The Nobel Prizes in Physics 2022 were assigned to climatologists and climate modellers.*

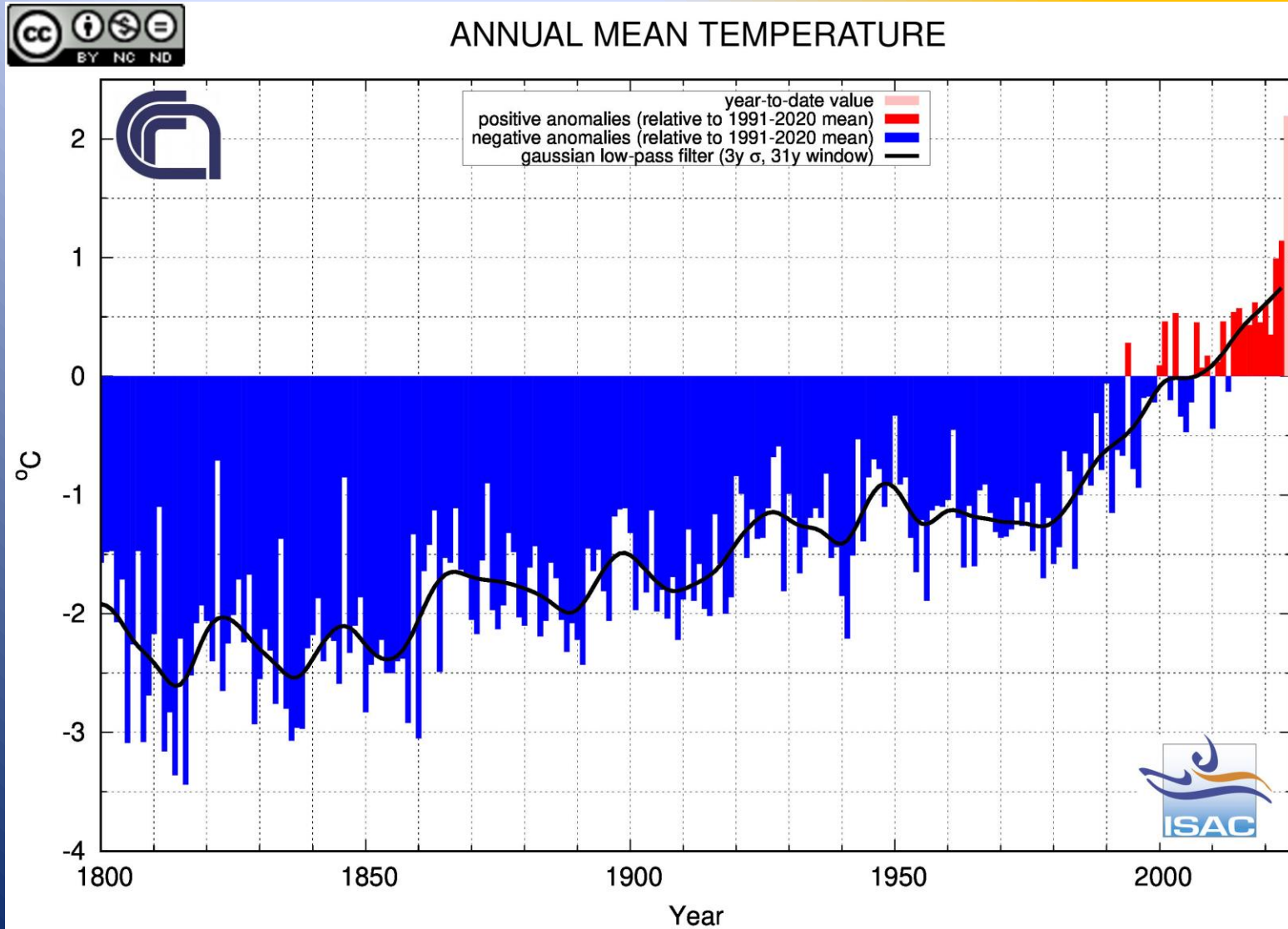
- **La Groenlandia era davvero verde?**

The Greenland ice sheet has existed for at least 400,000 years. There may have been regions of Greenland that were 'greener' than today but this was not a global phenomenon*

- **I modelli climatici non sono inadeguati:**

While there are uncertainties with climate models, they successfully reproduce the past and have made predictions that have been subsequently confirmed by observations.*

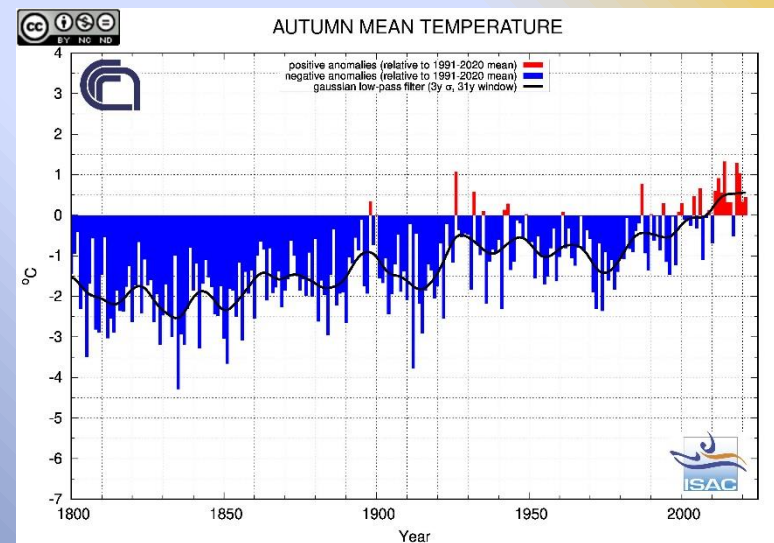
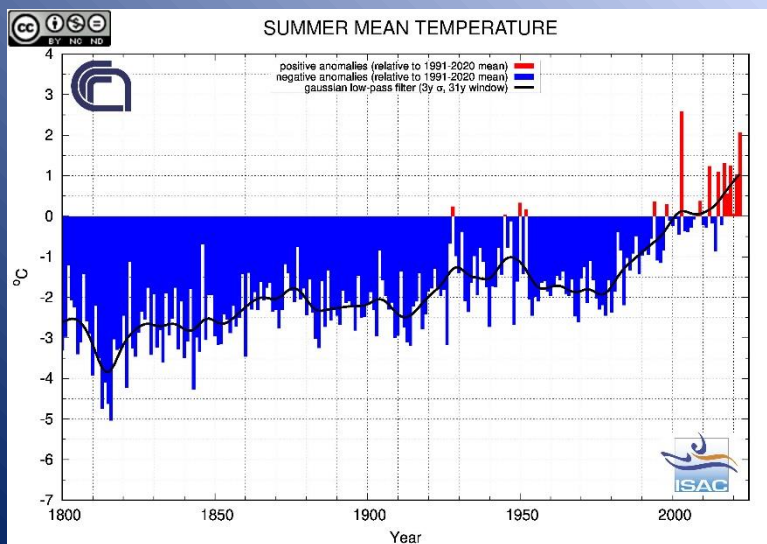
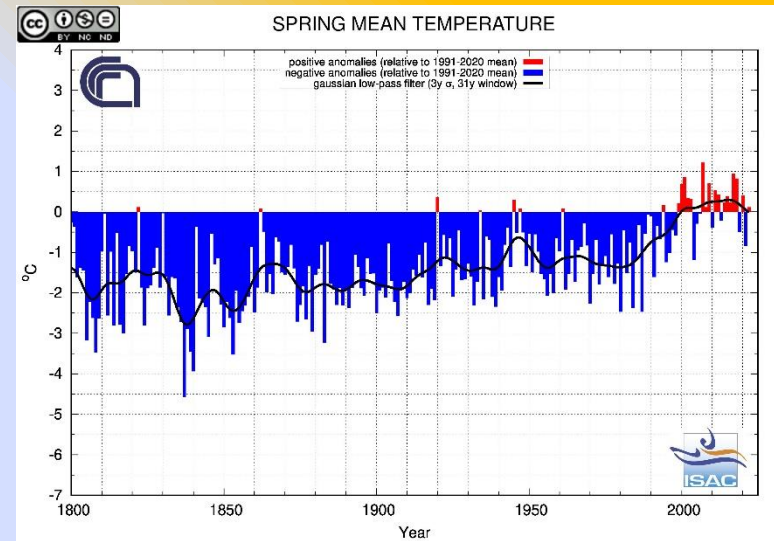
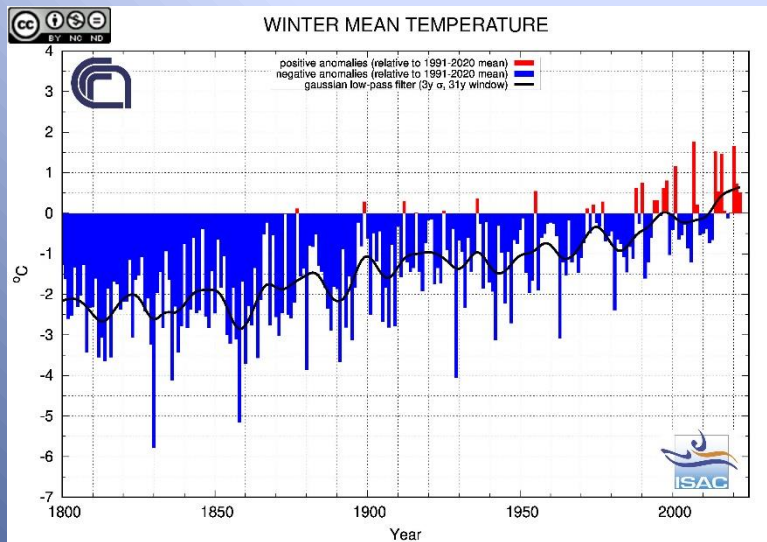
Il Riscaldamento Globale in Italia



Anomalie di T (medie) 1800-2022 rispetto al 1991-2020 (in $^{\circ}\text{C}$)

https://www.isac.cnr.it/~climstor/climate_news.html

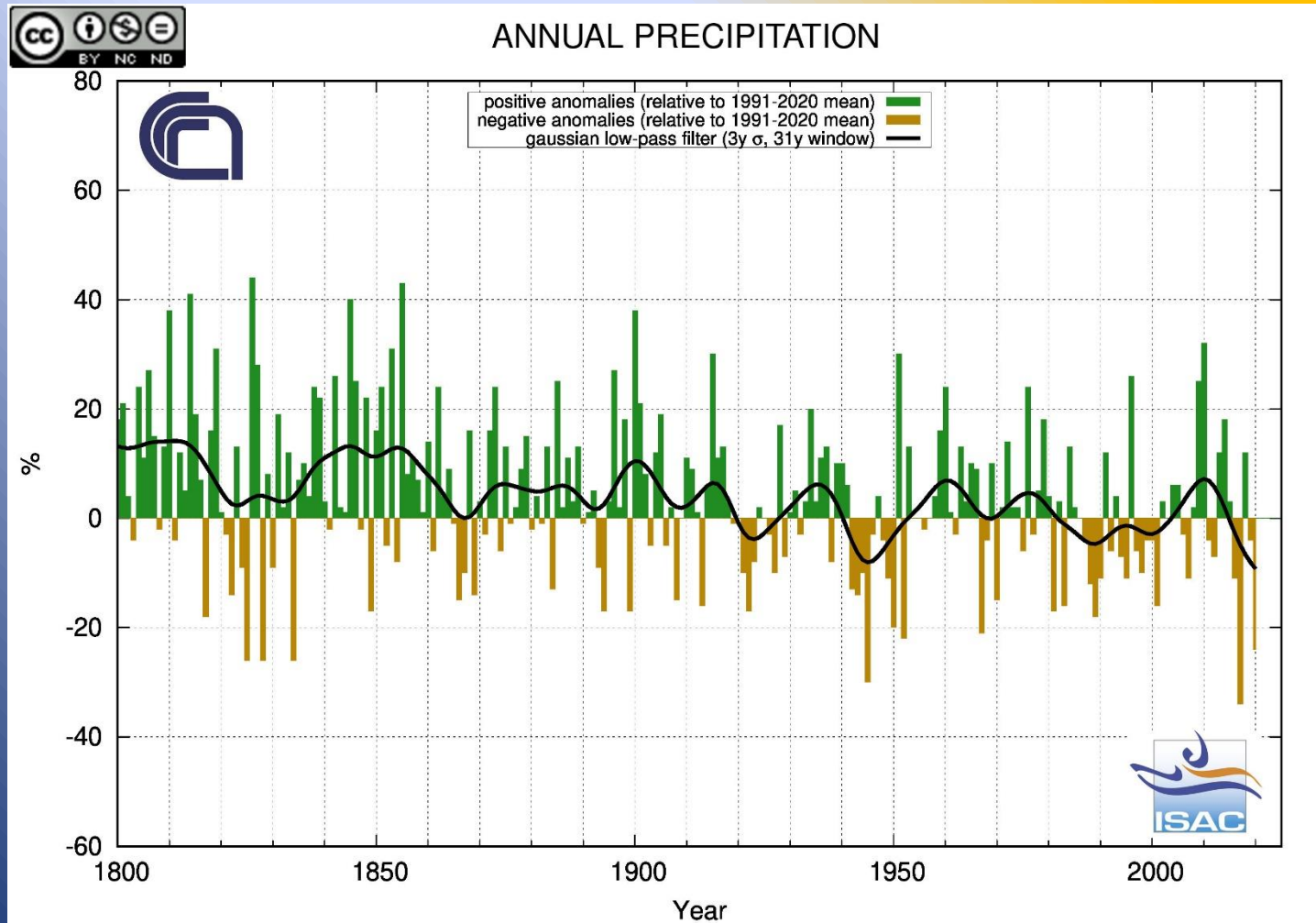
Il Riscaldamento Globale in Italia



Anomalie di T (medie) stagionali 1800-2022 rispetto al 1991-2020 (in ° C)

https://www.isac.cnr.it/~climstor/climate_news.html

Il Riscaldamento Globale in Italia



Anomalie di PREC (cumulato annuale) rispetto al 1991-2020 (in %)

https://www.isac.cnr.it/~climstor/climate_news.html

Proiezioni future

Every tonne of CO₂ emissions adds to global warming

Global surface temperature increase since 1850-1900 (°C) as a function of cumulative CO₂ emissions (GtCO₂)

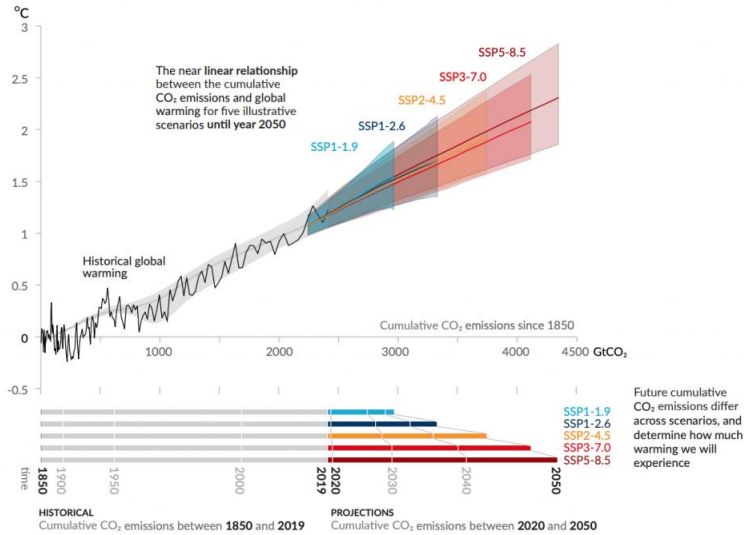


Figure SPM.10: Near-linear relationship between cumulative CO₂ emissions and the increase in global surface temperature.

Scenario	Near term, 2021–2040		Mid-term, 2041–2060		Long term, 2081–2100	
	Best estimate (°C)	Very likely range (°C)	Best estimate (°C)	Very likely range (°C)	Best estimate (°C)	Very likely range (°C)
SSP1-1.9	1.5	1.2 to 1.7	1.6	1.2 to 2.0	1.4	1.0 to 1.8
SSP1-2.6	1.5	1.2 to 1.8	1.7	1.3 to 2.2	1.8	1.3 to 2.4
SSP2-4.5	1.5	1.2 to 1.8	2.0	1.6 to 2.5	2.7	2.1 to 3.5
SSP3-7.0	1.5	1.2 to 1.8	2.1	1.7 to 2.6	3.6	2.8 to 4.6
SSP5-8.5	1.6	1.3 to 1.9	2.4	1.9 to 3.0	4.4	3.3 to 5.7

Gli impegni della COP26 intendono mantenere il limite di riscaldamento entro i +1.5° C rispetto ai livelli pre-industriali. Gli impegni al momento presi non garantiscono il raggiungimento di questo risultato

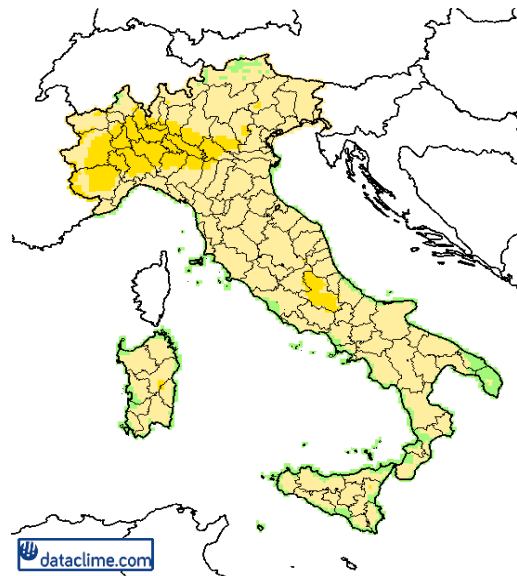
SESTO ASSESSMENT REPORT DELL'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2022

Modelli Climatici – CMCC Data Clime

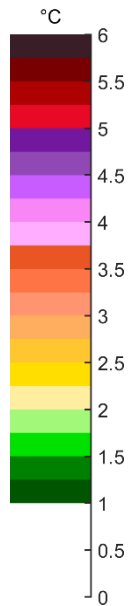
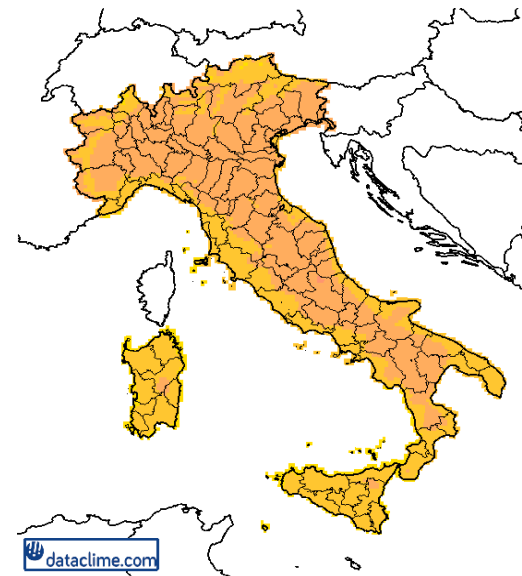
2021-2040



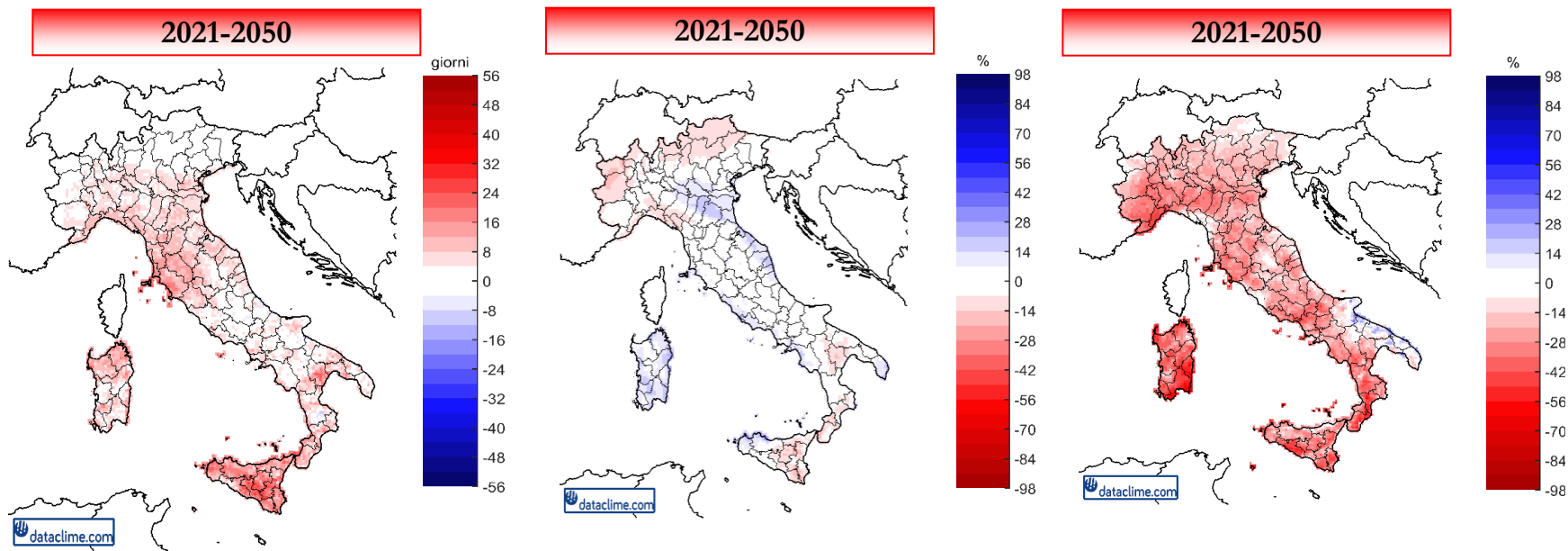
2041-2070



2071-2100



Modelli Climatici – CMCC Data Clime



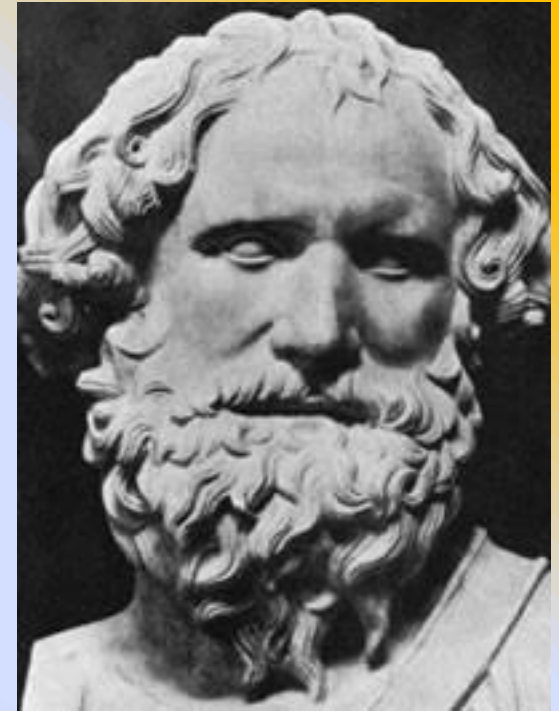
Giorni consecutivi senza precipitazioni

Giorni invernali con precipitazioni

Giorni estivi con precipitazioni

Clima e climatologia

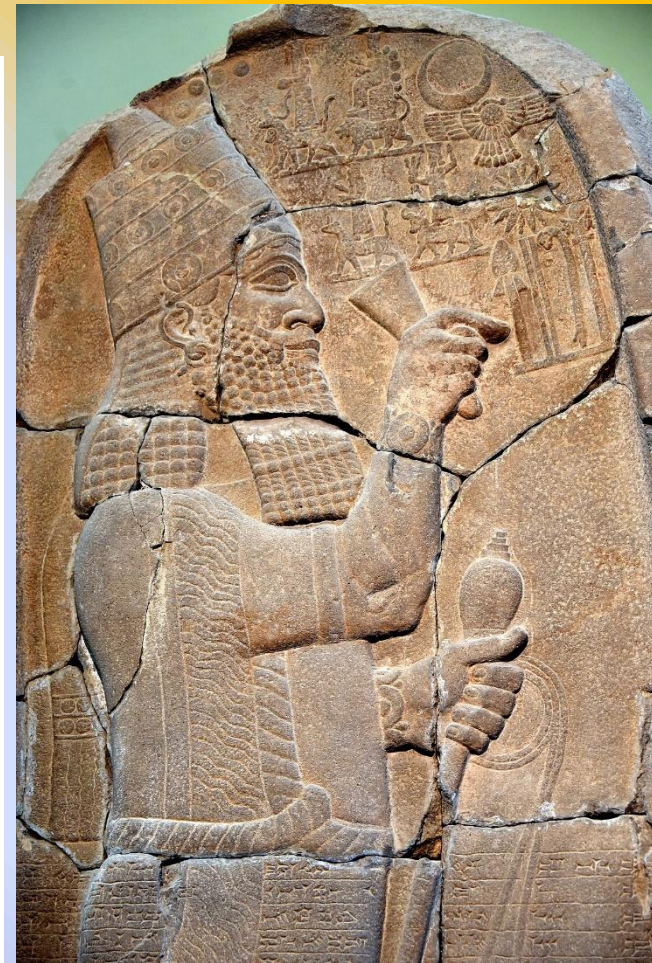
- **Termini meteorologici e climatici** fanno parte della Lista di Swadesh, che include i termini più antichi delle lingue, quelli meno soggetti a prestiti, alla base della linguistica comparativa.
- **Clima** è una parola il cui significato, nella storia della scienza, è *cambiato più velocemente del clima stesso* (Feldman, 2005)
- Il termine **climatologia** è del 1806 (come titolo di un capitolo in W. A. Lampadius) e poi del 1813, con una sua definizione (in W. Butte)
- **Eratostene di Cirene** (III sec. a. C.) usa per primo la parola 'clima' nel suo significato greco di **inclinazione**, nella sua *Geografia*. Clima è sia l'inclinazione, sia la fascia di superficie -> 5 climi.



Eratostene

Se la Città è costruita su un'altura

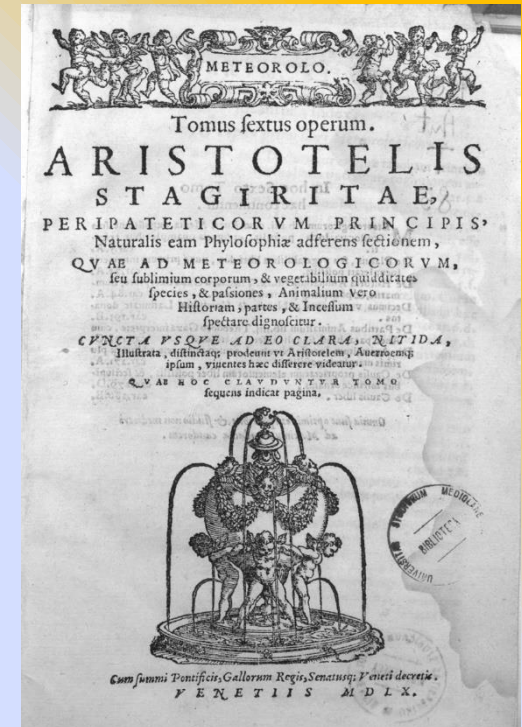
- **120 tavolette con non meno di 15.000 presagi, anche di tipo meteorologico e climatico, in particolare connessi ai venti.**
- **Speculazione mistica supportata dall'osservazione:** presagi e determinismo mistico.
- Corpus meteorologico mesopotamico copre 6 secoli, con notevole costanza di terminologia e procedure, e con la figura 'professionale' dell'aeromante/meteoromante.
- **Anche per gli Hittiti il cielo, e in particolare le piogge, determinano esiti per il sovrano, o per un'impresa bellica: Diari e Trattati di Mursili II – Preghiera dell'Epidemia**



Esarhaddon, un
monarca che
dipende dal vento

Razionalizzazione greca ed equilibri romani

- ***Meteorologica* di Aristotele** introducono ciclo dell'acqua, dinamica atmosferica, prime idee di gradiente termico verticale. I quattro elementi e la struttura del mondo sublunare.
- ***Sulle Acque, sulle Arie e sui Luoghi* di Ippocrate di Kos** instaura un determinismo climatico razionale, tra *clima e salute*.
- **Teofrasto**, nel suo ***Sui Segni delle Tempeste***, crea le prime previsioni del tempo dell'Occidente.
- **A Roma è Seneca** a fornire gli spunti più interessanti nelle sue ***Naturales Quaestiones***: aequitas portionum non turbata – omnia in omnibus, omnia ex omnibus.



Meteorologica

E intanto, in Asia e in Oceania...

- **In Cina** il clima è strumento per un'accurata pianificazione: si raccolgono informazioni per un'armonico controllo del territorio e della popolazione (*Guanzi, Huananzi, II-I sec. a.C.*)
- **In Cina** vi è la prima diffusione pianificata di pluviometri e nivometri.
- **In India il periodo pre-vedico** già si interroga sul ruolo del monzone e sulla possibilità di prevederlo, in una mescolanza di divinazione e razionalizzazione.
- **In Giappone** si inaugura la raccolta di proxy data, in particolare connessi alla piena fioritura del ciliegio e al lago Suwa.
- **In Australia** si consolidano le Indigenous Weather Knowledge, in Nuova Zelanda le Maori Environmental Knowledges.



Laozi, iniziatore della visione taoista della climatologia

La rivoluzione scientifica dell'800-'900

- **Nell'800 e '900** si completano e si affermano le leggi scientifiche, in particolare dinamiche e termodinamiche, per la comprensione del clima e dei suoi cambiamenti.
- **Nell'800 e nel '900** la climatologia si alimenta delle esplorazioni glaciologiche, dell'evoluzione della geologia, della matematica, nonché della fisica e della chimica.
- **Eunice Newton Foote** è la prima a individuare il ruolo climalterante del biossido di carbonio
- **Bjerknes, Arrhenius, Fourier, Tyndall** saldano dinamica a termodinamica, e meteorologia a climatologia. Svante Arrhenius prova, nel 1896, che la CO₂ in atmosfera riscalda la superficie.
- **Visione positiva** del riscaldamento globale, per 'climi più equi'.

382

On the Heat in the Sun's Rays.

ART. XXXI.—*Circumstances affecting the Heat of the Sun's Rays;*
by EUNICE FOOTE.

(Read before the American Association, August 23d, 1856.)

MY investigations have had for their object to determine the different circumstances that affect the thermal action of the rays of light that proceed from the sun.

Several results have been obtained.

Eunice Foote, 1856



Vilhelm Bjerknes, autore
del *Problema della
Previsione del Tempo*

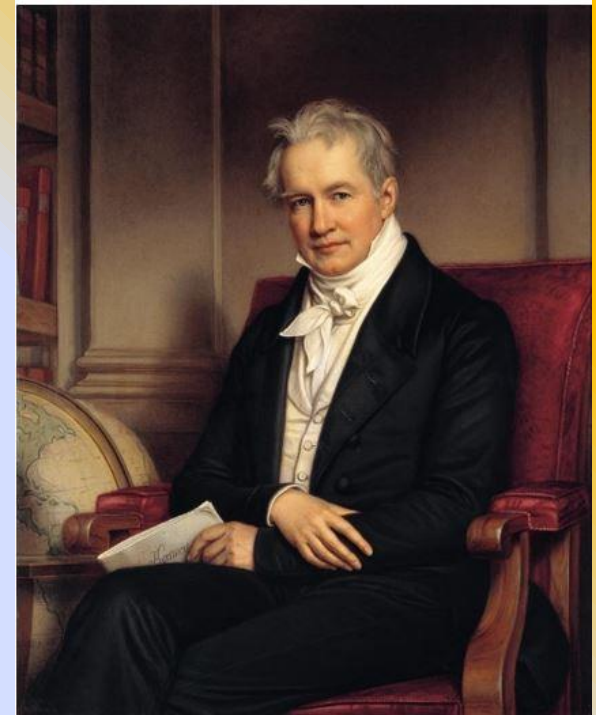
Eunice Newton Foote e l'articolo del 1856



- ***Un esperimento semplice, ma eccezionale:*** due tubi di vetro, uno riempito d'aria, l'altro di CO₂. Il secondo si riscalda di più e rilascia il calore molto più lentamente.
- **Un'interpretazione storica:** "Immaginate se la Terra avesse un'atmosfera più ricca di questo gas: sarebbe senz'altro più calda."
- Un contributo relegato a una rivista d'arte, e dimenticato per quasi 150 anni.

Alexander von Humboldt e l'ecologia

- La sua esperienza di esploratore lo porta a trovare **relazioni tra i climi e gli ecosistemi** che osserva in Sudamerica e i climi e gli ecosistemi che aveva osservato in Europa, e a riflettere in particolare su tre aspetti innovativi per il tempo:
- **l'estendersi in tre dimensioni delle fasce climatiche terrestri**, il loro estendersi su **diversi continenti**, e il ruolo dell'uomo nel cambiare il clima di un luogo, modificando in particolare il paesaggio, in termini di **uso del suolo**.
- La visione humboldtiana è alla base del concetto di **'ecologia'** coniato da Ernst Haeckel nel 1866, come **"la scienza delle relazioni tra l'organismo e l'ambiente nel senso ampio, tutte le 'condizioni dell'esistenza'"**.



*Alexander von
Humboldt (1769-
1859)*



Il cambiamento climatico oggi

- ***Guy Callendar*** è il primo a quantificare l'effetto delle emissioni climalteranti umane, nel 1938.
- ***Negli anni '50 e '60 si afferma la modellistica climatica, con computer sempre più potenti.*** Viene studiato anche il ruolo degli oceani, da Roger Revelle e Hans Suess.
- ***Negli anni '80 e '90 si diffonde sempre più la consapevolezza del ruolo dell'umanità nell'alterare il clima, e la necessità di porvi rimedio.*** Appello di James Hansen al Congresso USA.
- ***Nascono l'UNFCCC, l'IPCC e le COP:*** la climatologia al centro del dibattito politico ed economico mondiale.
- ***Cominciano le esplorazioni esoplanetarie,*** verso la comprensione del clima degli altri pianeti. Primo esopianeta confermato nel 1995, ora oltre 4.000.

THE ARTIFICIAL PRODUCTION OF CARBON DIOXIDE AND ITS INFLUENCE ON TEMPERATURE

By G. S. CALLENDAR

(Steam technologist to the British Electrical and Allied Industries Research Association.)

(Communicated by Dr. G. M. B. Dobson, F.R.S.)

(Manuscript received May 19, 1937—read February 16, 1938.)

SUMMARY

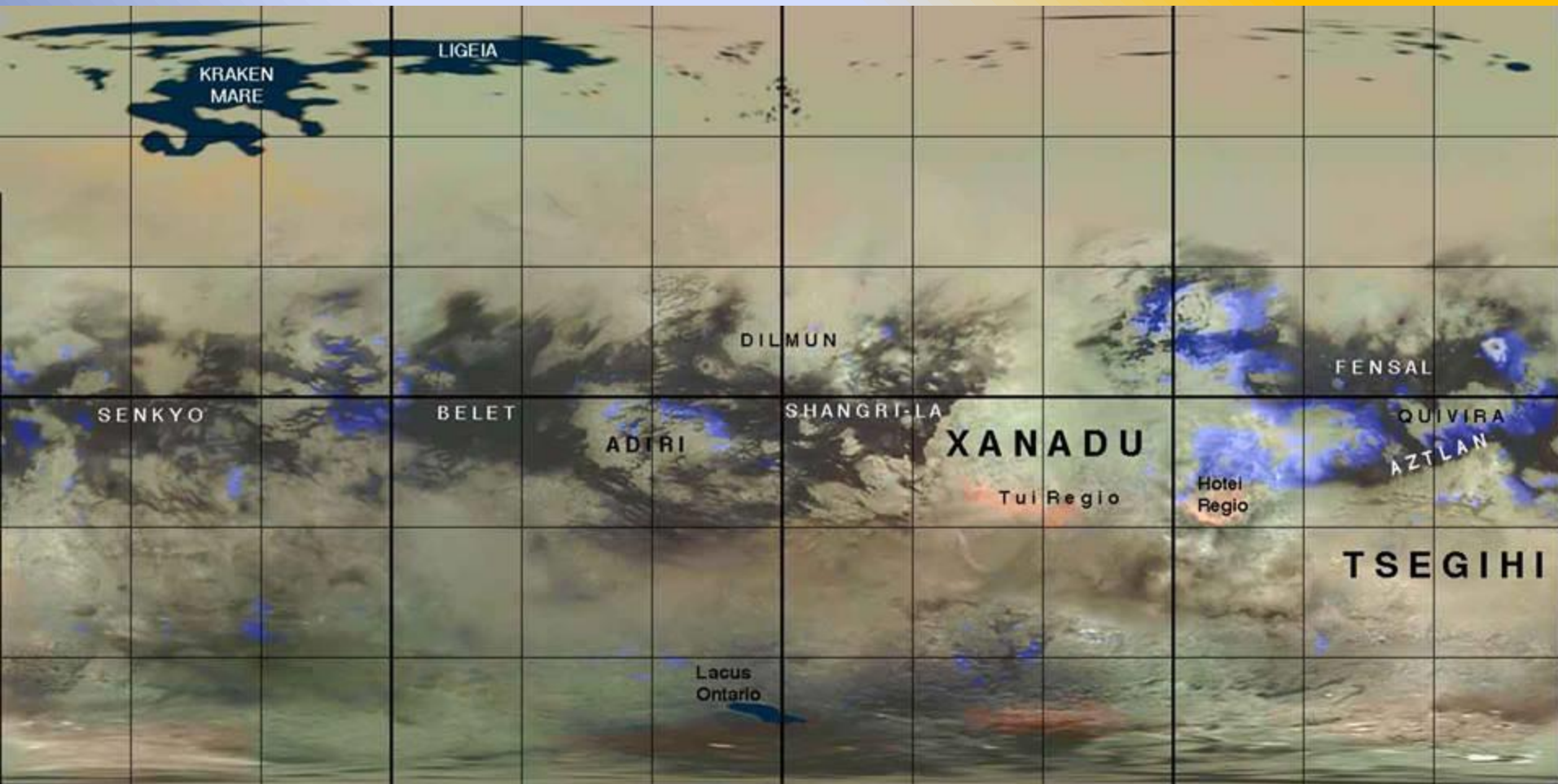
By fuel combustion man has added about 150,000 million tons of carbon dioxide to the air during the past half century. The author estimates from the best available data that approximately three quarters of this has remained in the atmosphere.

The radiation absorption coefficients of carbon dioxide and water vapour are used to show the effect of carbon dioxide on "sky radiation." From this the increase in mean temperature, due to the artificial production of carbon dioxide, is estimated to be at the rate of 0.003°C . per year at the present time.

The temperature observations at 200 meteorological stations are used to show that world temperatures have actually increased at an average rate of 0.005°C . per year during the past half century.

Guy Callendar e il biossido di carbonio 'artificiale'

Una gita al lago?



Il raffreddamento globale su Titano...

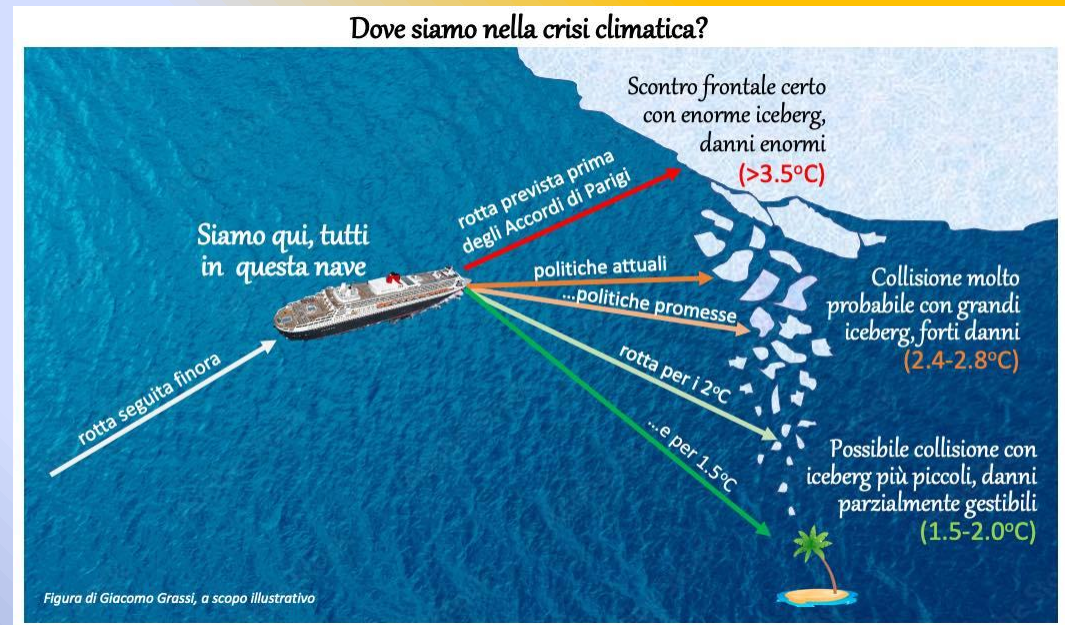
Le Nazioni Unite e la sostenibilità



*Mantenere le risorse – per le generazioni attuali e quelle future
– siamo in ritardo*

I 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile – l'Agenda 2030

Le decisioni da prendere

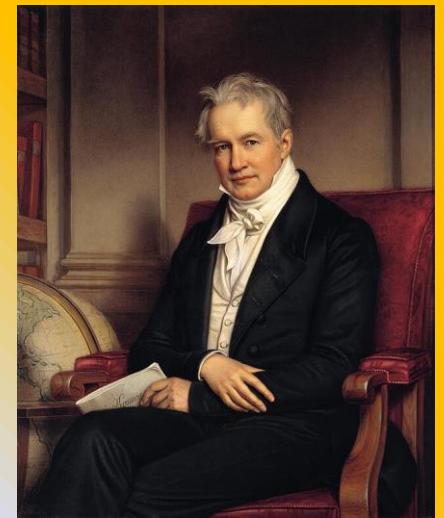
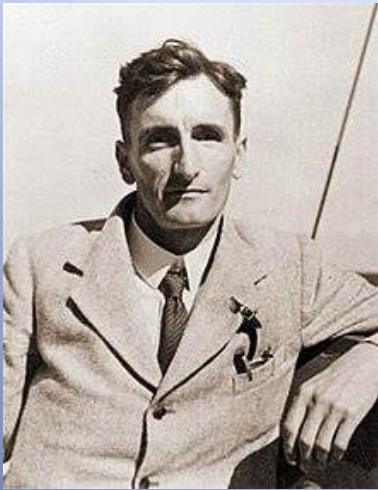


*Mantenere l'incremento di temperatura **tra 1.5 e 2° C** rispetto ai livelli pre-industriali. Non stiamo rispettando gli impegni presi.*

La COP27 ha dato risultati interlocutori, ma gli impegni presi dagli Stati sono precisi, e devono essere monitorati.

Non c'è più tempo da perdere!

<https://www.climalteranti.it/>



Grazie per l'attenzione!



gianluca.lentini@polimi.it