

# Origine e principali cause dei cambiamenti climatici



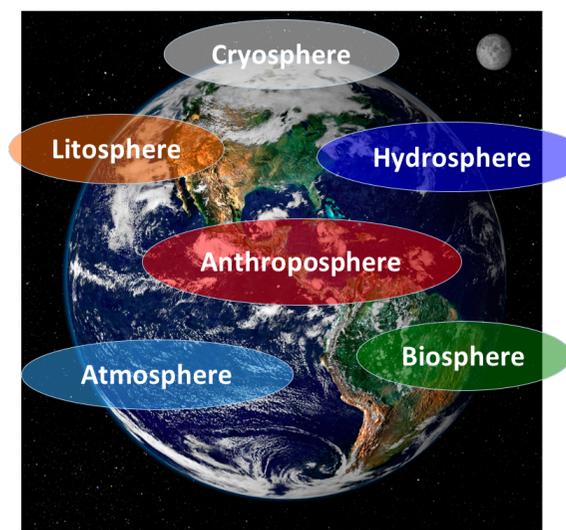
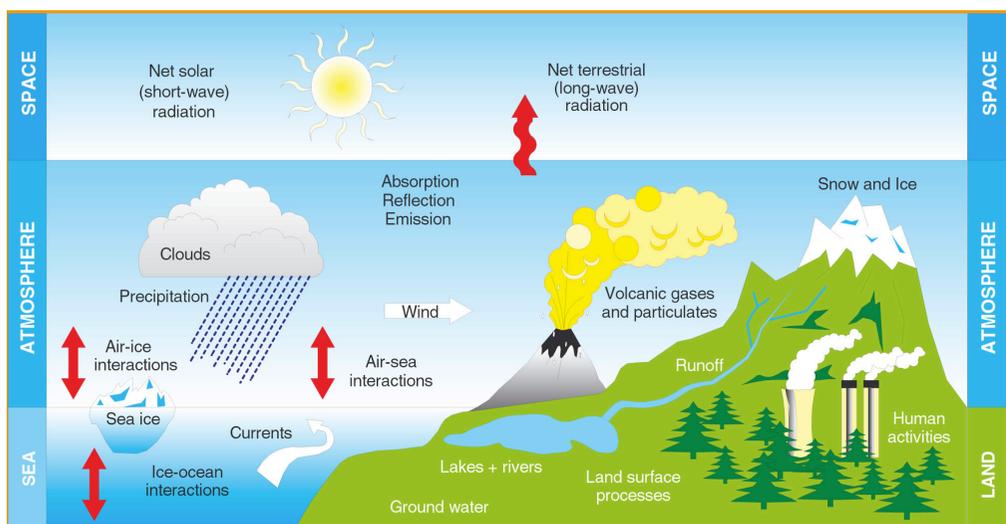
**Elisa Palazzi**

*Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima – CNR*

10/06/2021

# Il clima è un sistema complesso

Un **sistema dinamico e complesso**:  
Diverse componenti che interagiscono tra loro dando  
luogo a meccanismi di retroazione  
(**catene causa-effetto non lineari**).

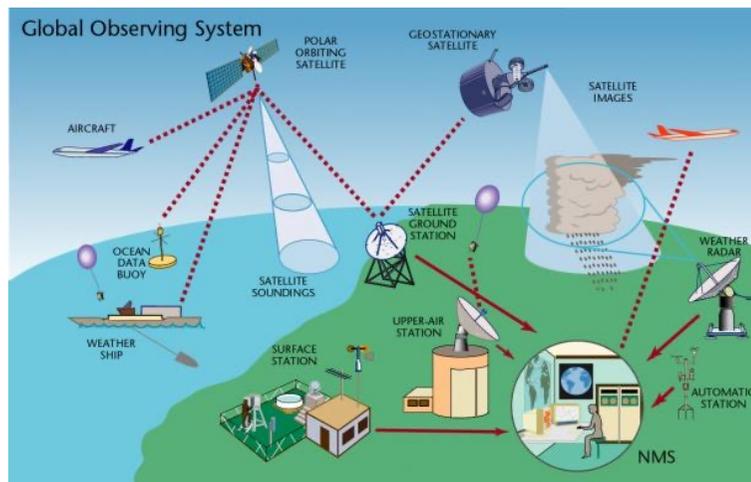


Il Sistema climatico è tipicamente trattato/simulato  
come un insieme di parti. Ogni parte descrive i  
processi che avvengono in una certa componente, e  
solo alla fine le componenti vengono tra loro  
accoppiate.

# Come si studia il clima

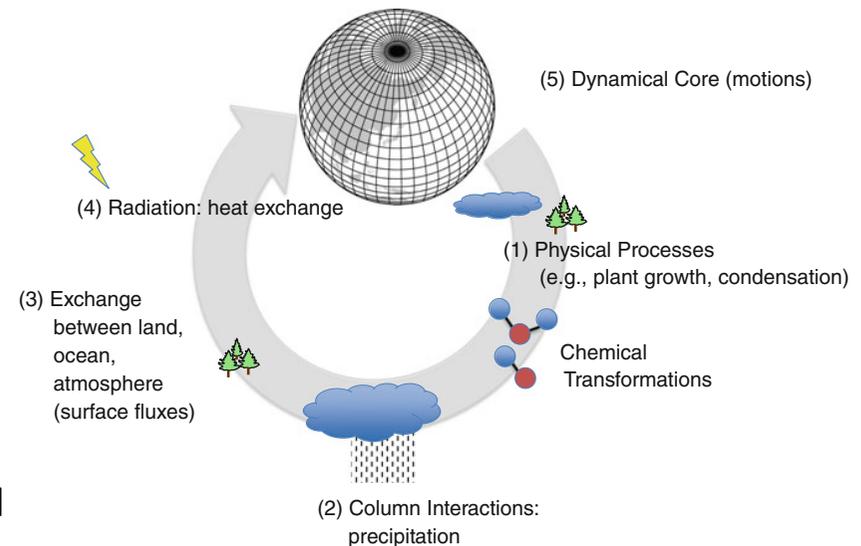
La complessità del clima richiede un insieme di **metodi e approcci diversi**, incluso quello di integrare **dati osservati e dati prodotti con modelli climatici di diverso tipo**, atti a analizzare e capire i processi che regolano il funzionamento del clima e studiare la sua possibile evoluzione futura.

## Osservazioni dirette

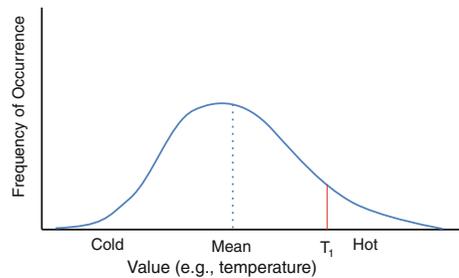


+ **DATI PROXY** per ottenere informazioni sulle variazioni del clima del passato (prima dell'era strumentale)

## Modelli



# Tempo meteorologico e clima



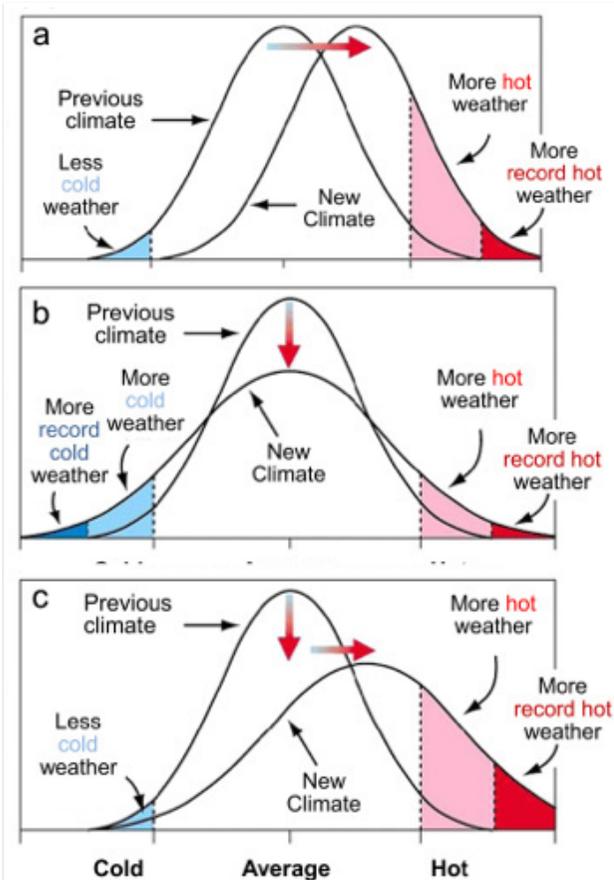
**Clima:** Analisi statistica, in termini di valori medi e variabilità, delle condizioni meteorologiche medie di una determinata regione, effettuata su dati disponibili per un periodo di tempo sufficientemente lungo (almeno 30 anni, WMO).

**Tempo meteorologico:** E' definito dalle condizioni istantanee (o mediate su brevi periodi, dal minuto alla settimana) delle variabili atmosferiche come temperatura, pressione, umidità, nuvolosità, precipitazione, venti, etc., in un dato luogo.



*“Weather is what you get;  
Climate is what you expect.”*

# Cambiamento nel clima



**AUMENTA LA MEDIA**  
Più estremi caldi (con record)  
Meno estremi freddi

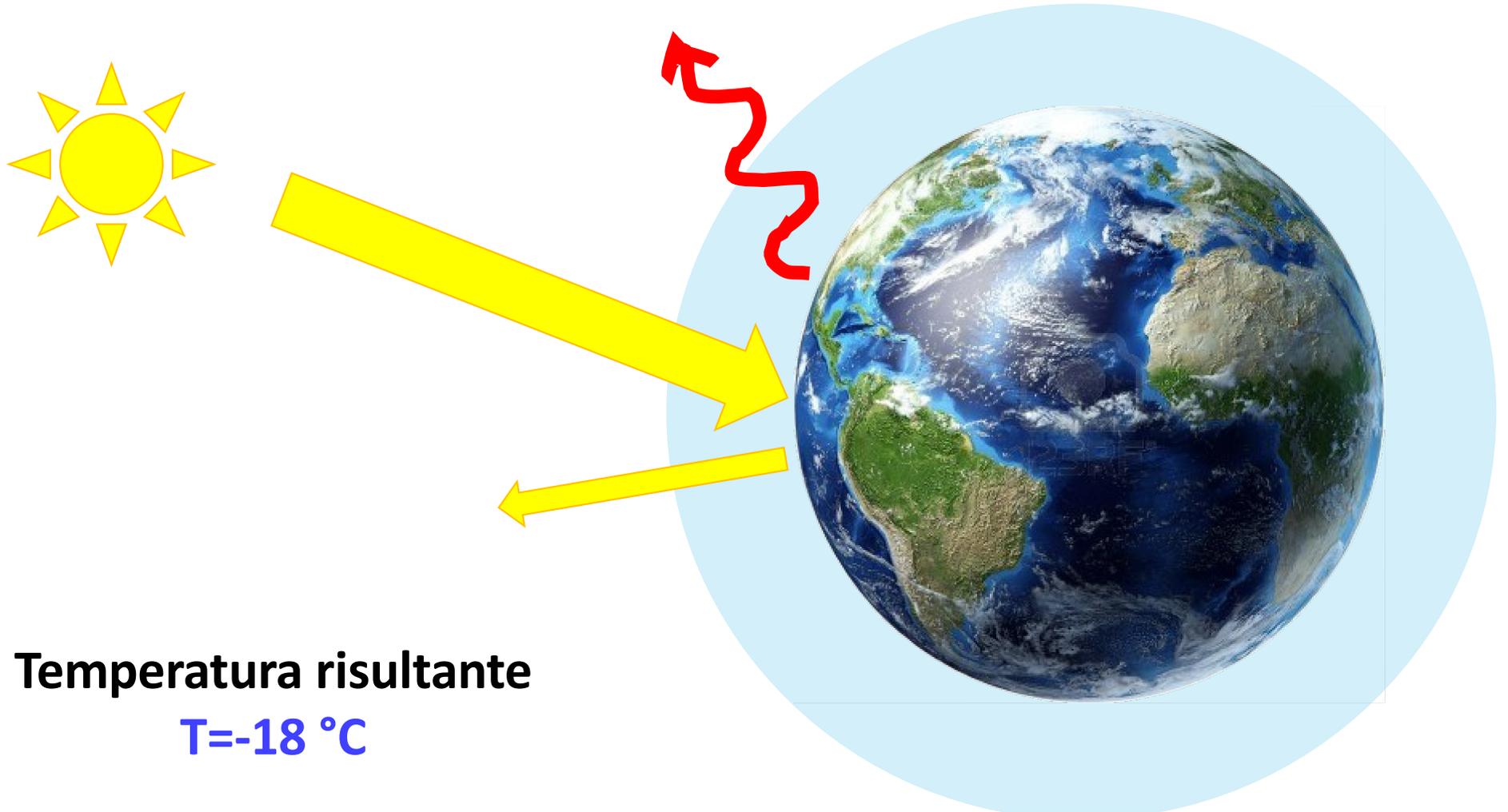
**AUMENTA LA VARIANZA**  
Più estremi caldi e freddi. Stessa  
media

**AUMENTANO MEDIA E VARIANZA**  
Più estremi caldi, da record. Meno  
estremi freddi, ma comunque  
presenti

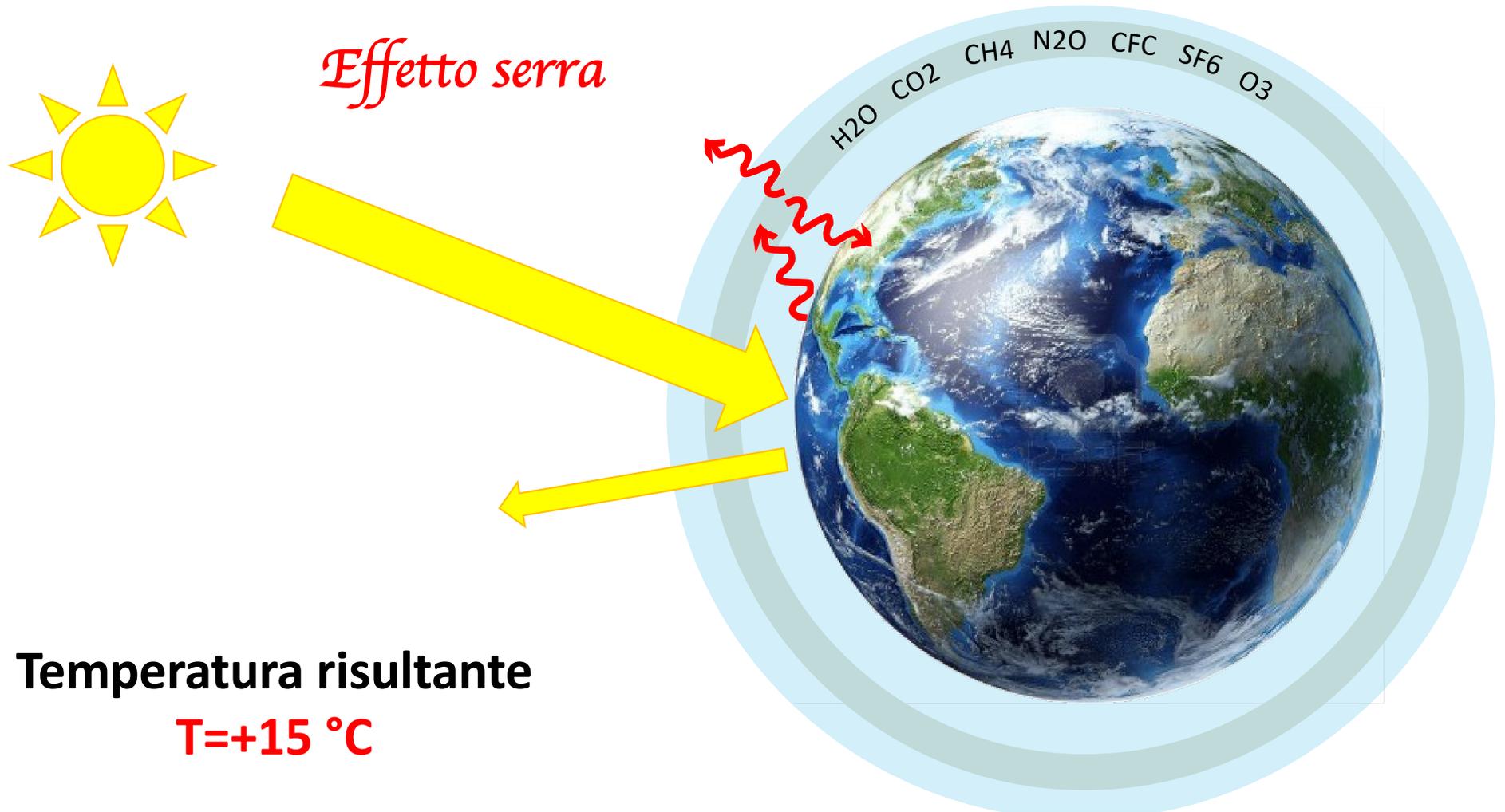
Un cambiamento nello stato del clima che può essere identificato attraverso cambiamenti nella media e/o variabilità delle sue proprietà che persistono per un periodo esteso di tempo, decenni o più.

[IPCC 2013, Glossario]

# Come funziona il clima e perchè può cambiare



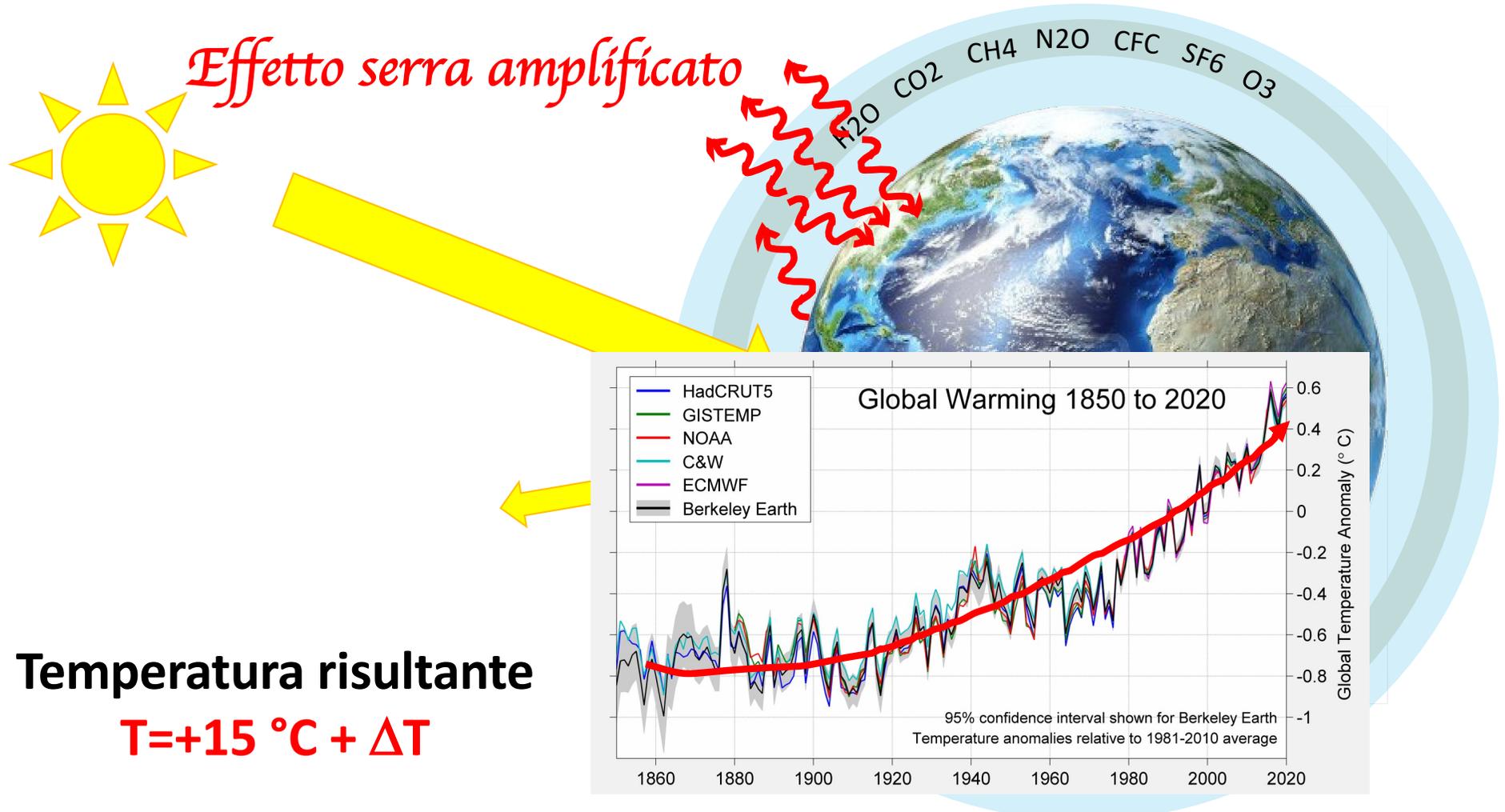
# Come funziona il clima e perchè può cambiare



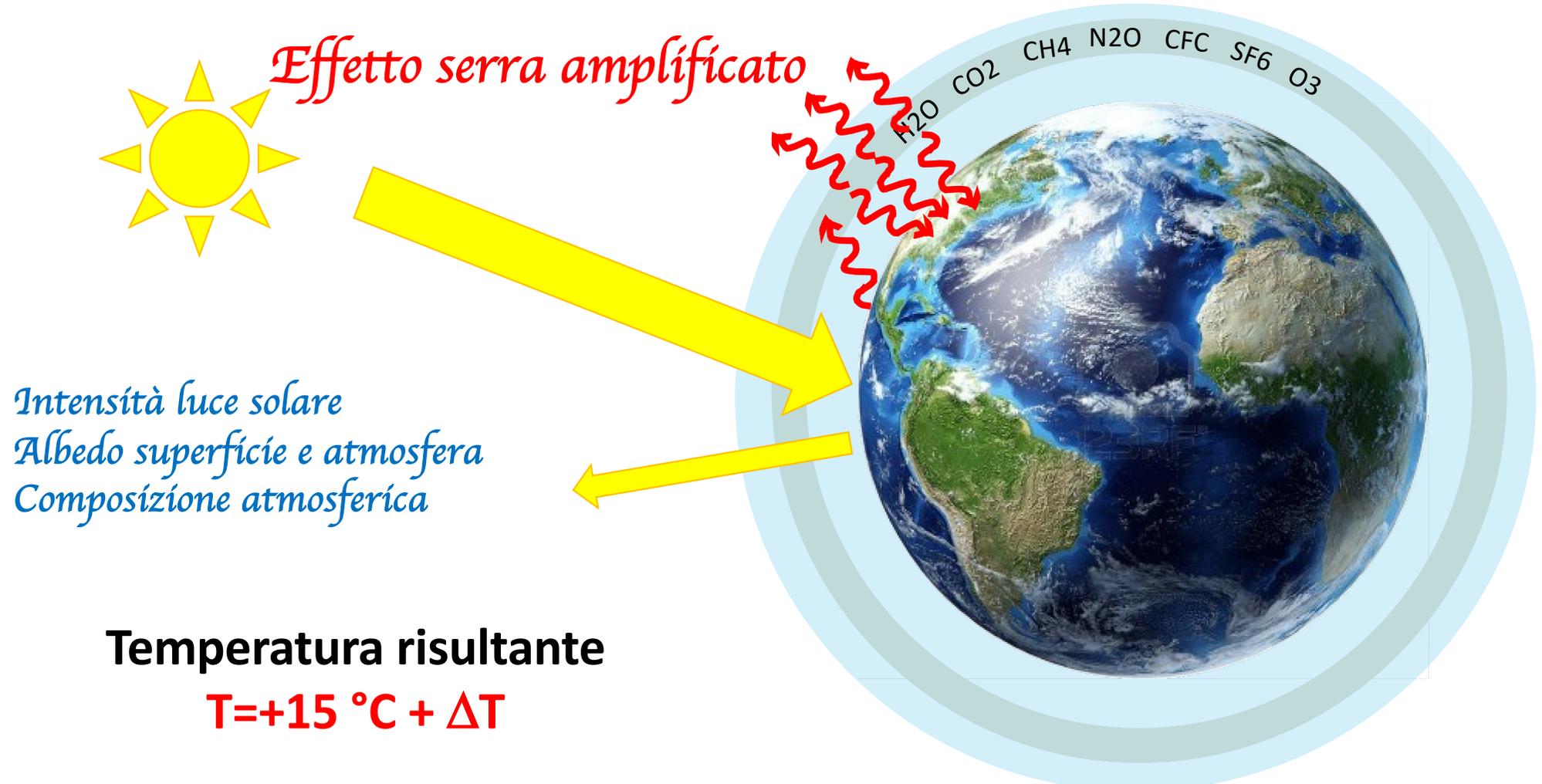
# Come funziona il clima e perchè può cambiare



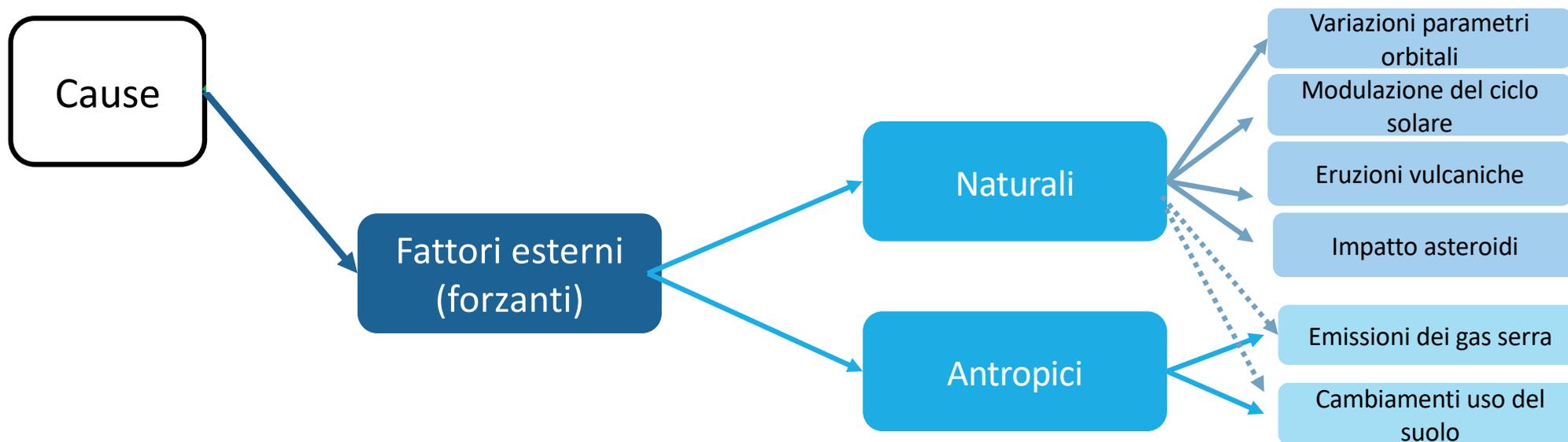
# Come funziona il clima e perchè può cambiare



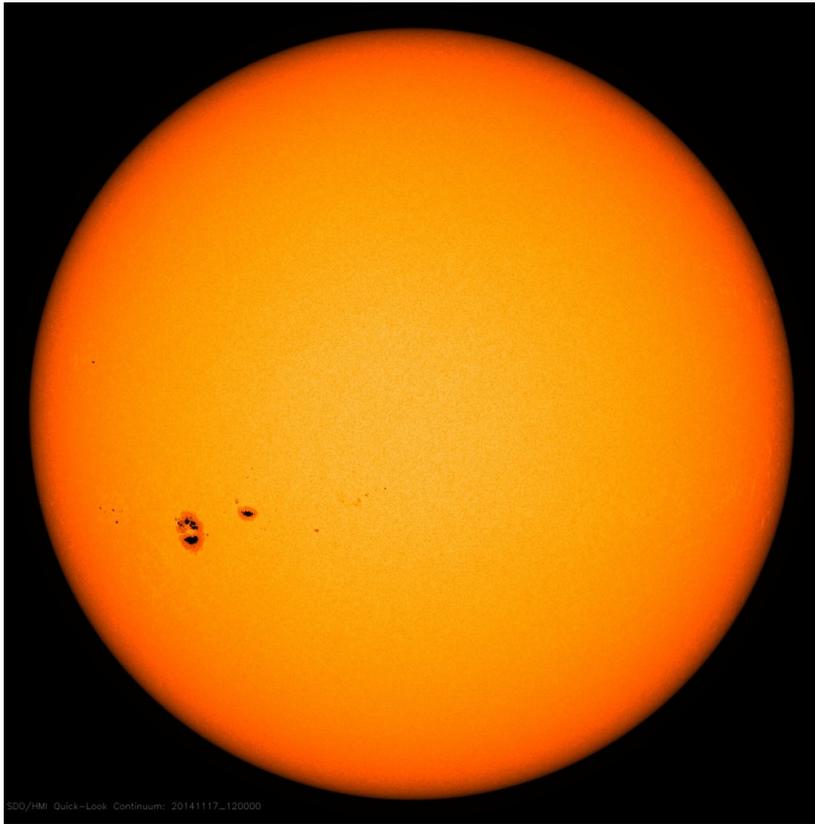
# Come funziona il clima e perchè può cambiare



# Cause della variabilità e cambiamenti del clima



# Variazione della radiazione solare



Il Sole alterna ciclicamente periodi di maggiore e di minore attività che si alternano, in media, ogni 11 anni.

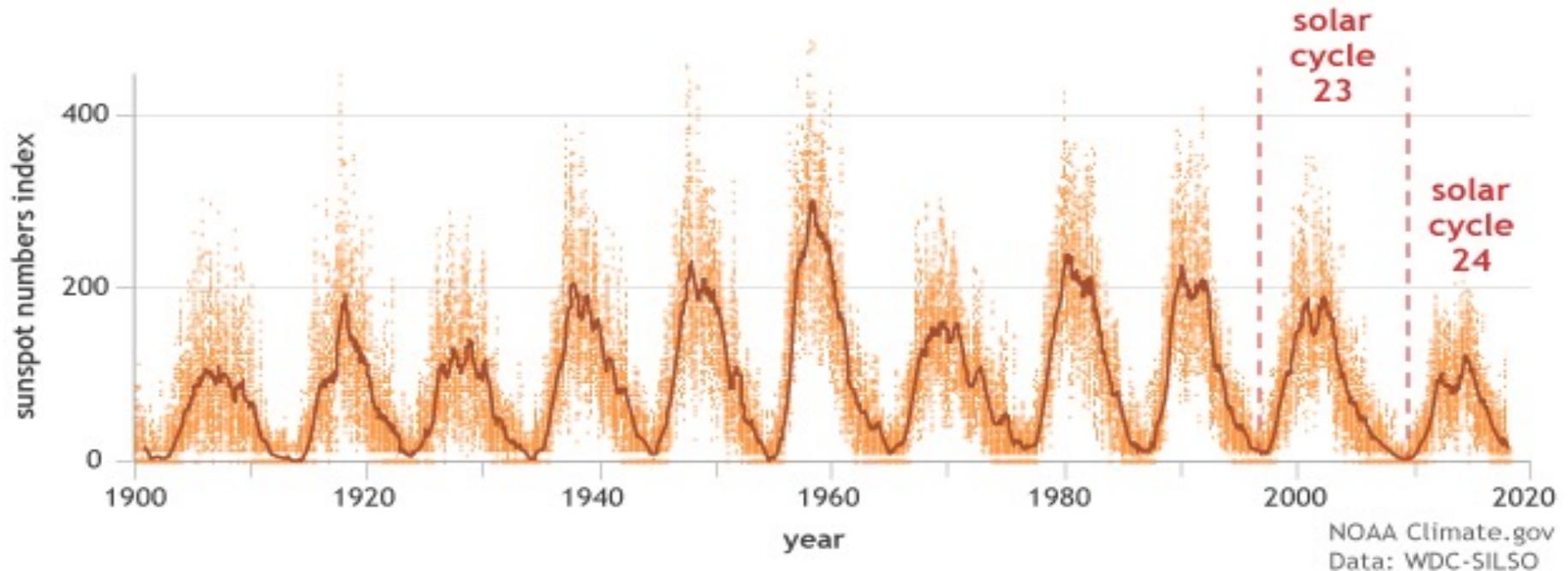
Il ciclo solare è spesso associato con il numero di **macchie solari** presenti sulla superficie del sole, la fotosfera

Le macchie solari sono regioni della superficie del Sole che si trovano a una temperatura inferiore rispetto alle aree vicine, perciò appaiono più scure, ma sono caratterizzate da una intensa attività magnetica.

Crediti: SDO/HMI/NASA

# Variazione della radiazione solare

Solar activity over the past 11 sunspot cycles



- I cicli solari sono designati con un numero; la numerazione è partita dal **1750**, da quando si hanno osservazioni continue su scala mensile delle macchie solari
- Fu Galileo nel **1610** ad osservare per primo le macchie solari
- Dal **1979**, con l'avvento dei satelliti le osservazioni sono diventate più frequenti e omogenee

## Naturali

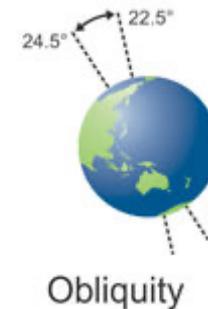
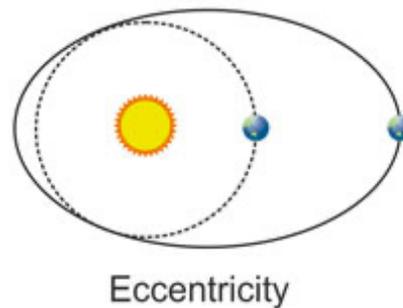
(Milutin Milankovic,  
matematico serbo)



# Cicli di Milankovitch

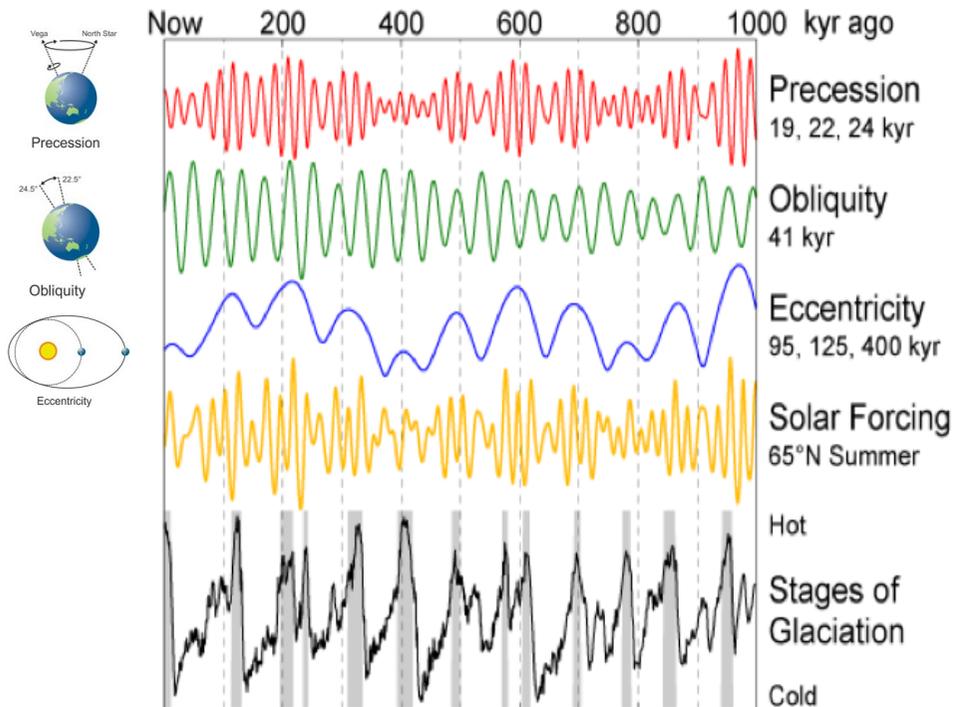
- La teoria di Milankovitch **lega le variazioni climatiche avvenute negli ultimi 3 milioni di anni al cambiamento nei parametri dell'orbita terrestre (eccentricità, obliquità dell'asse, precessione)**
- Questi cambiamenti provocano una variazione nella quantità di energia ricevuta da sole e nella sua **distribuzione geografica e stagionale.**

## Milankovitch Cycles



Naturali

# Cicli di Milankovitch



Le analisi delle **carote di ghiaccio antartico** hanno permesso di ricavare **serie di temperatura media superficiale con evidenti fluttuazioni, di circa 10 K**, tra i periodi freddi (glaciali) e periodi caldi (interglaciali).



**Ultimo milione di anni → dominato dal ciclo di 100 mila anni.** I periodi caldi si verificano quando l'eccentricità è al suo massimo.

Naturali

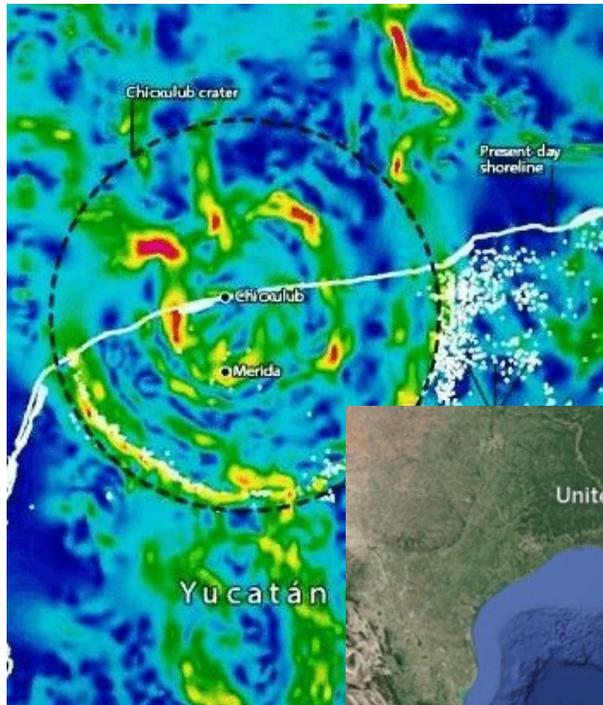
## Impatto di asteroidi

La caduta di un asteroide può avere effetti molto forti sul sistema climatico. Se il corpo ha dai 10 km di diametro in su, l'impatto può sprigionare un'energia da milioni a miliardi di volte superiore a quella della bomba atomica di Hiroshima.

Espulsione di grandi quantità di polveri, ceneri, aerosol nell'atmosfera in grado di oscurare quasi totalmente la luce solare in entrata, provocando un grande abbassamento della temperatura



Naturali



## Impatto di asteroidi

Esempio più studiato: 66 milioni di anni fa, impatto di un asteroide del diametro di circa 10-15 km avvenuto a **Chicxulub** nella penisola dello Yucatan in Messico, **ritenuto la causa dell'estinzione di massa dei dinosauri.**

Forza pari a miliardi di bombe atomiche, cratere di 180 km di diametro, immissione in atmosfera  $2,5 \times 10^{12}$  tonnellate di aerosol **che sono rimasti in atmosfera parecchi mesi / anni creando un'azione schermante ( ai tropici la temperatura media crollò da 27 a 5 gradi.)**.

Naturali

# Eruzioni vulcaniche

Le eruzioni vulcaniche sono in grado di influenzare il bilancio radiativo terrestre attraverso due meccanismi.



Azione di raffreddamento

Azione di riscaldamento

Che agiscono su tempi diversi ...

Eruzione dell'Etna



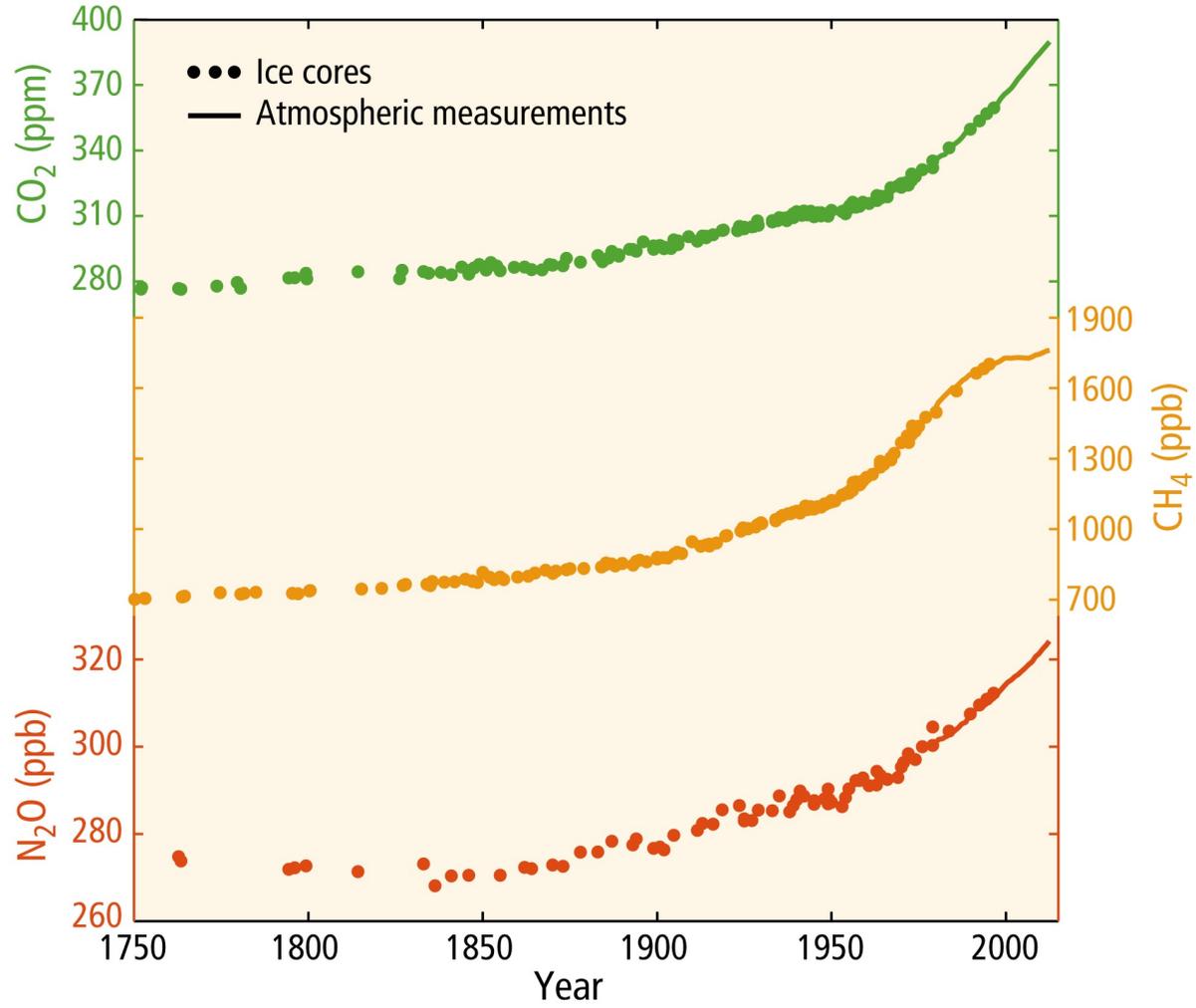
Naturali

Antropici

# I gas serra

Gas		Concentrazione atmosferica pre-industriale (1750)	Concentrazione atmosferica (2019)	Tempo di residenza in atmosfera (anni)	Global Warming Potential (100 yr)
GHG condensante	Vapore acqueo	Variabile	variabile	pochi giorni	
GHG ben rimescolato	Biossido di carbonio (CO <sub>2</sub> )	278 ppm	415 ppm	30-95	1
GHG ben rimescolato	Metano (CH <sub>4</sub> )	722 ppb	1870 ppb	12	28
GHG ben rimescolato	Protossido di azoto (N <sub>2</sub> O)	270 ppb	324 ppb	121	265
GHG ben rimescolato	CFC-13	0	2,7 ppt	640	13.900
GHG ben rimescolato	Esafluoruro di zolfo (SF <sub>6</sub> )	0	7,28 ppt	3.200	23.500
GHG non ben rimescolati	Ozono troposferico Ozono stratosferico Vapore acqueo stratosferico	variabile	variabile		

# Globally averaged greenhouse gas concentrations



# Aerosol

Naturali

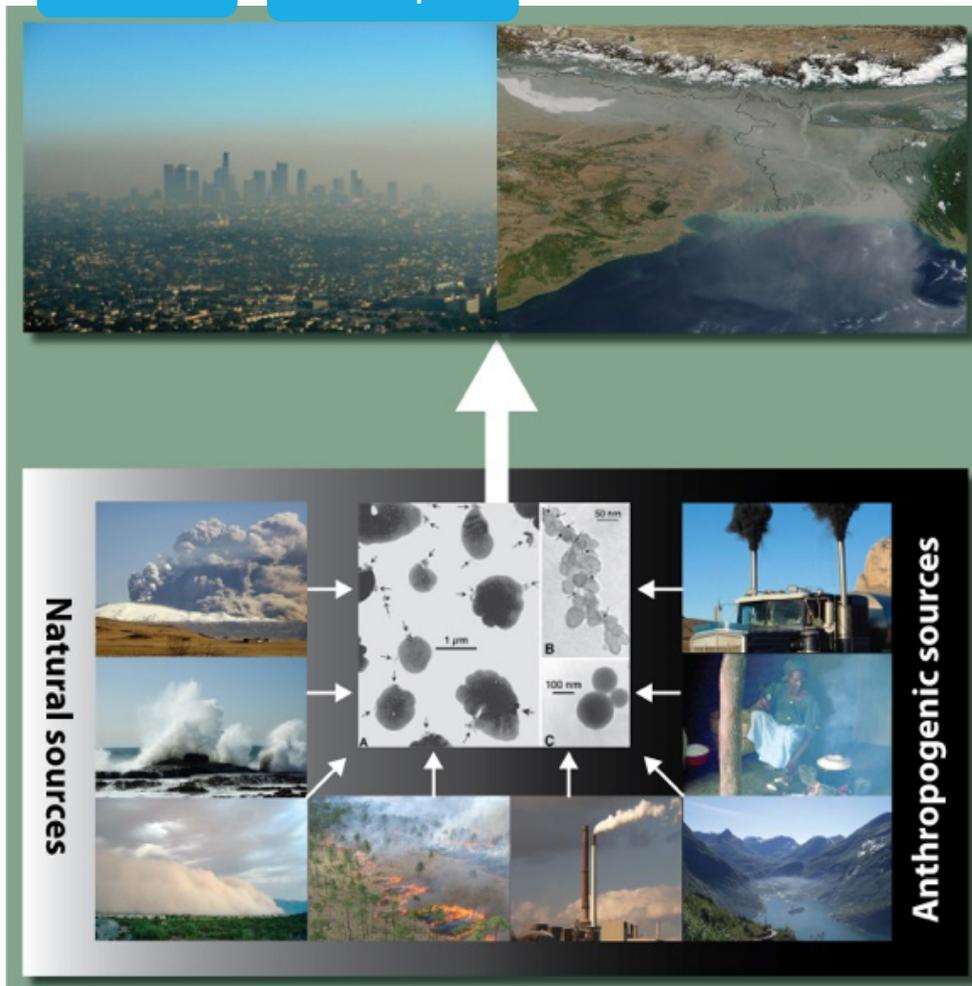
Antropici

Sospensioni di **particelle liquide, solide, o in fase mista** caratterizzate da una composizione chimica e una distribuzione dimensionale estremamente variabile, da  **$0.001 \mu\text{m} < d < 0.01 \mu\text{m}$**

Questa variabilità è dovuta alla variabilità delle possibili sorgenti e ai diversi meccanismi di formazione.

**Le particelle di aerosol possono essere emesse direttamente in atmosfera (aerosol primari) o prodotti da gas precursori (aerosol secondari) in seguito a reazioni chimiche in atmosfera.**

Possono essere di origine **naturale o antropica**

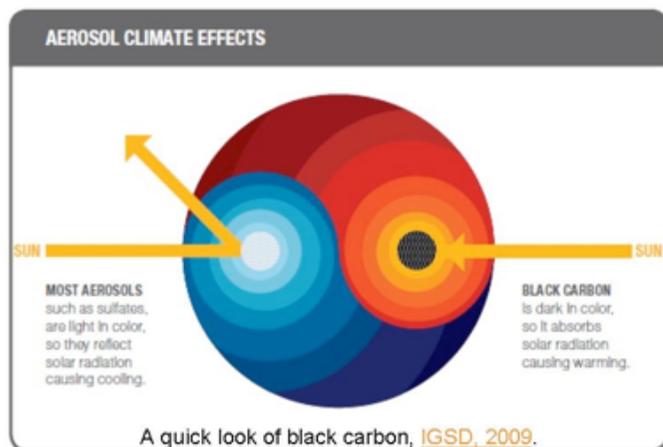


Naturali

Antropici

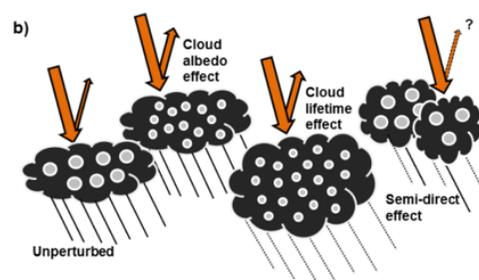
# Aerosol – effetti sul clima

## Effetto diretto



**Gli aerosol** interagiscono direttamente con la radiazione solare incidente, la riflettono (raffreddando) o assorbono (riscaldando)

## Effetto indiretto



- Maggior riflettività delle nubi (Cloud Albedo o Twomey effect)
- Tempo di vita più lungo e minor precipitazione (Cloud lifetime effect)

Legato all'interazione con le nubi di cui gli aerosol costituiscono nuclei di condensazione.

**Complessivamente l'effetto delle nubi è quello di raffreddare il clima**

Naturali

Antropici

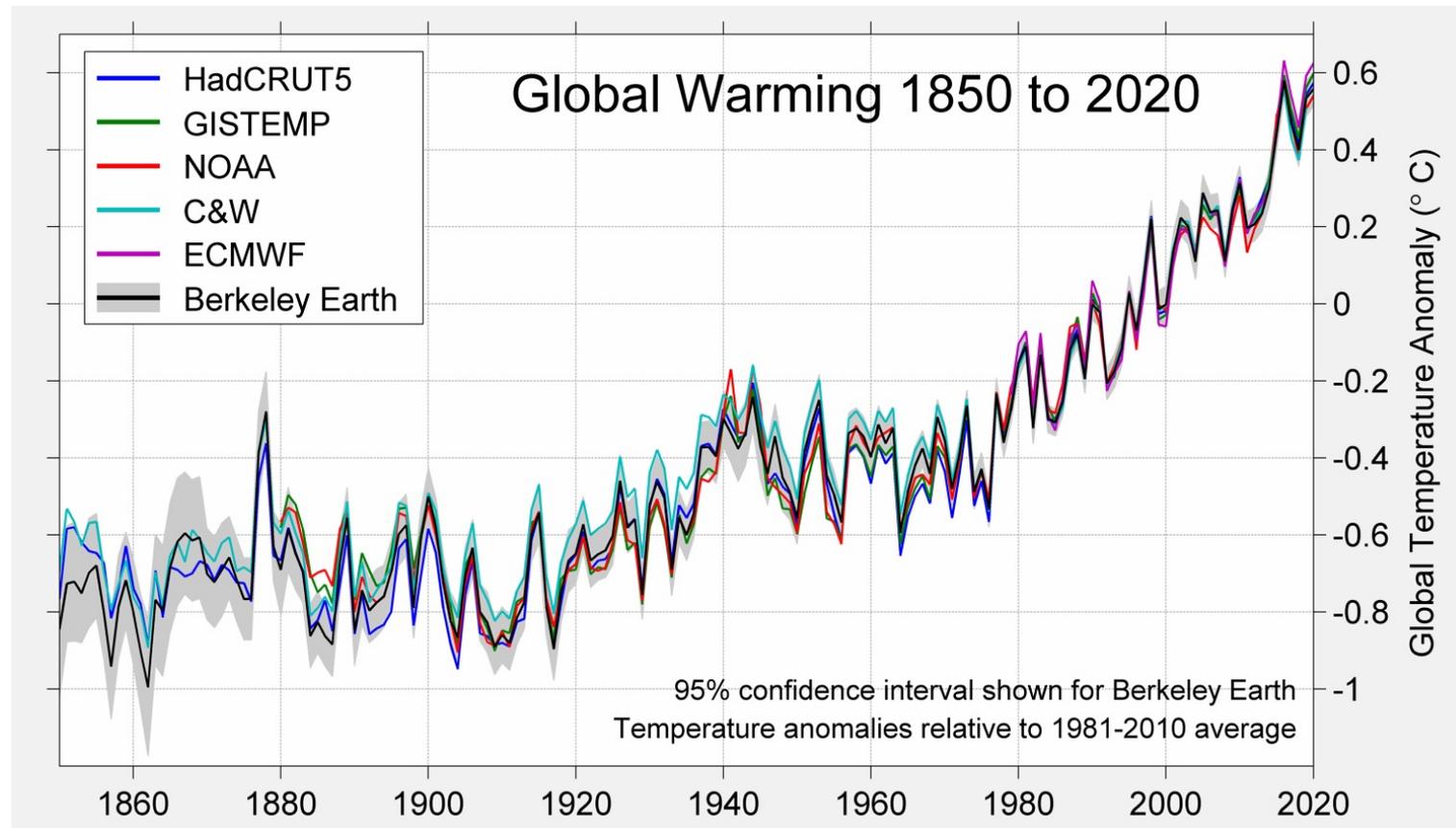
## Uso del suolo

I cambiamenti nell'uso del suolo fanno variare la **riflettività** della superficie terrestre (albedo), il **bilancio idrico, di calore e di energia su scala locale**.

Inoltre possono provocare emissioni/sequestri biossido di carbonio verso/dalla atmosfera



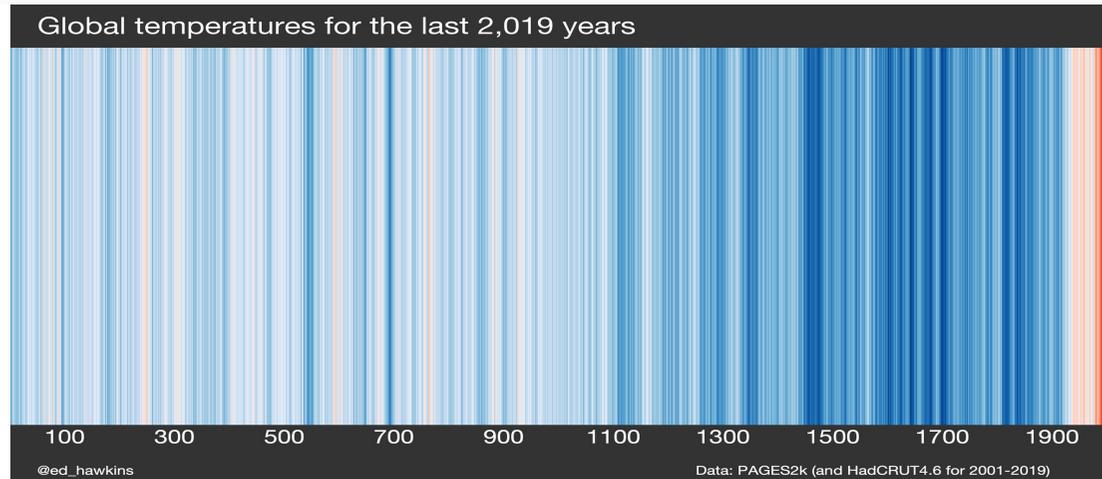
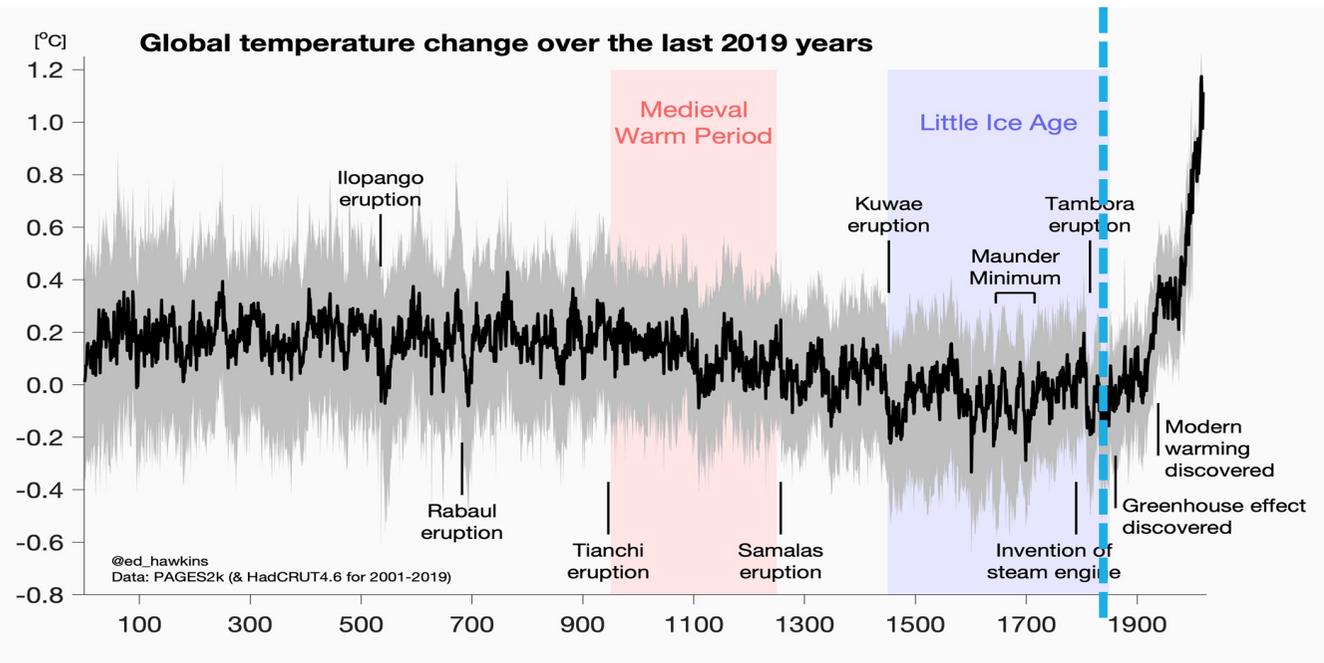
# Riscaldamento globale dal 1850



<http://berkeleyearth.org/global-temperature-report-for-2020/>

# Hockey stick

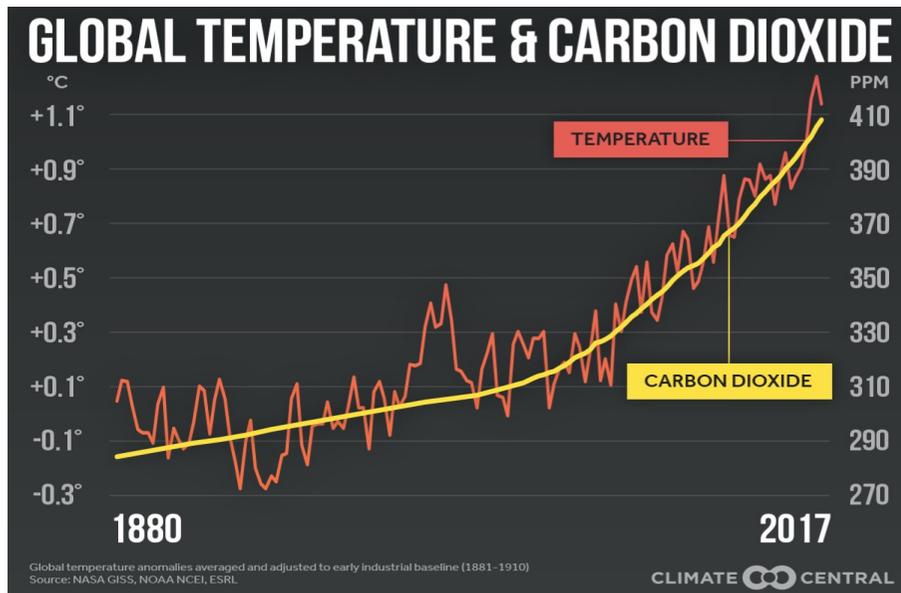
Ultimi 2000  
anni



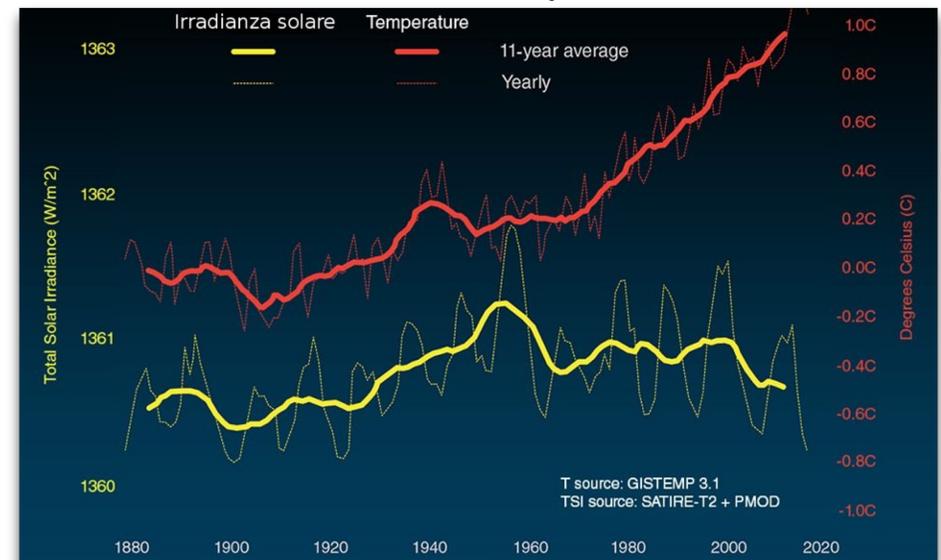
<https://showyourstripes.info/>

# A che cosa è dovuto l'aumento di temperatura?

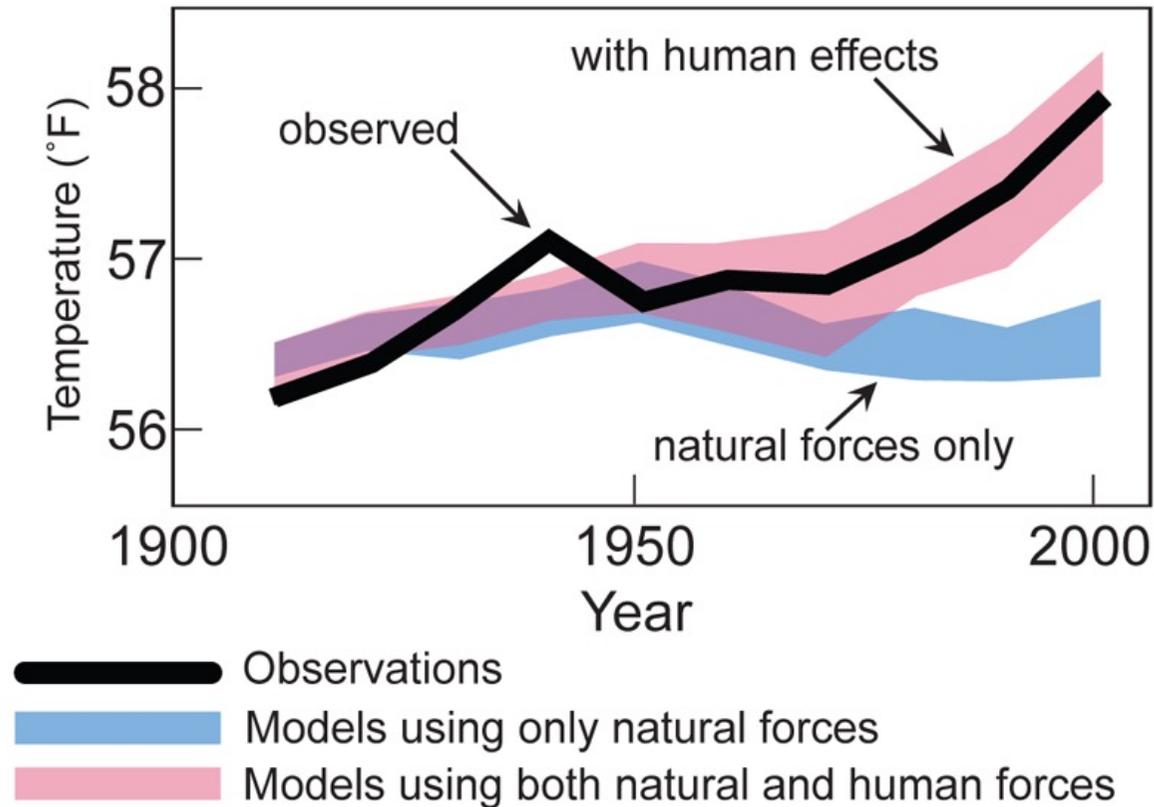
## Temperatura – CO2



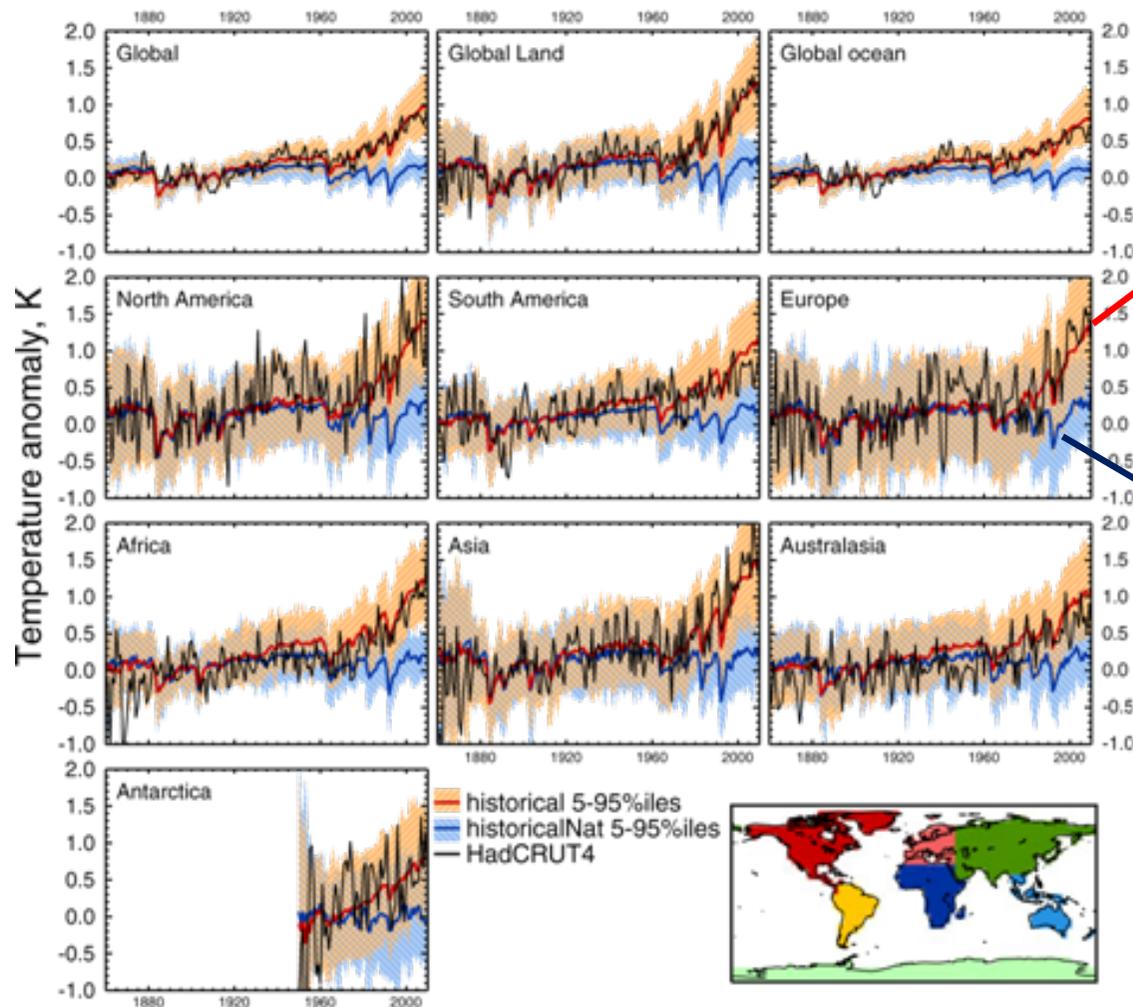
## Temperatura – Sole



A che cosa è dovuto l'aumento di temperatura?



# A che cosa è dovuto l'aumento di temperatura?



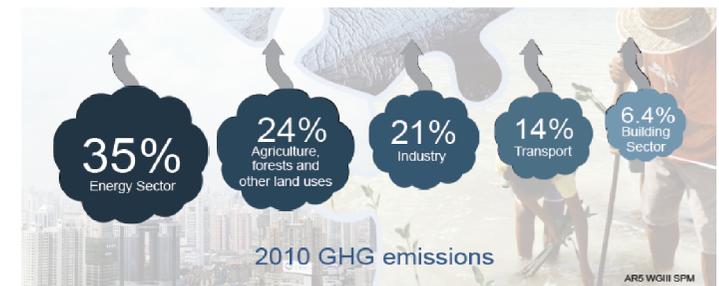
**Modello con forzanti naturali e antropiche**

**Modello con forzanti solo naturali**

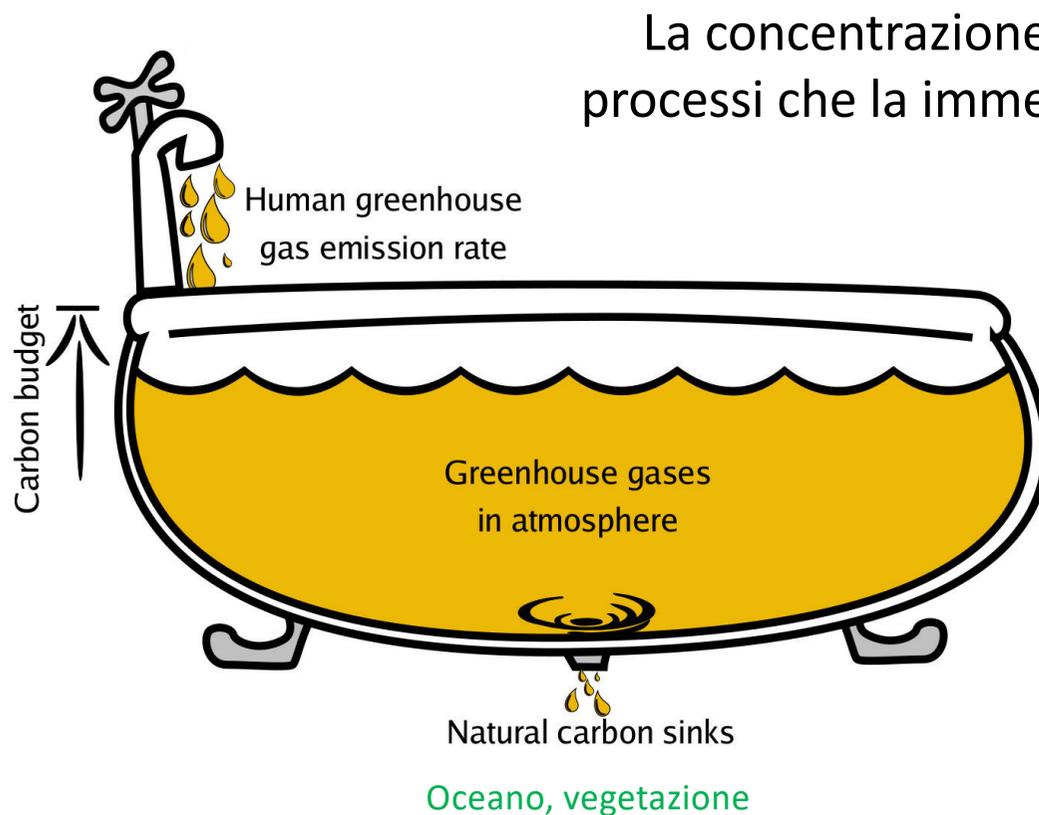
# Da dove viene e dove va a finire la CO2 antropica?



## Contributo percentuale dei vari settori economici alle emissioni globali di gas serra



# Emissioni di gas serra vs concentrazioni in atmosfera

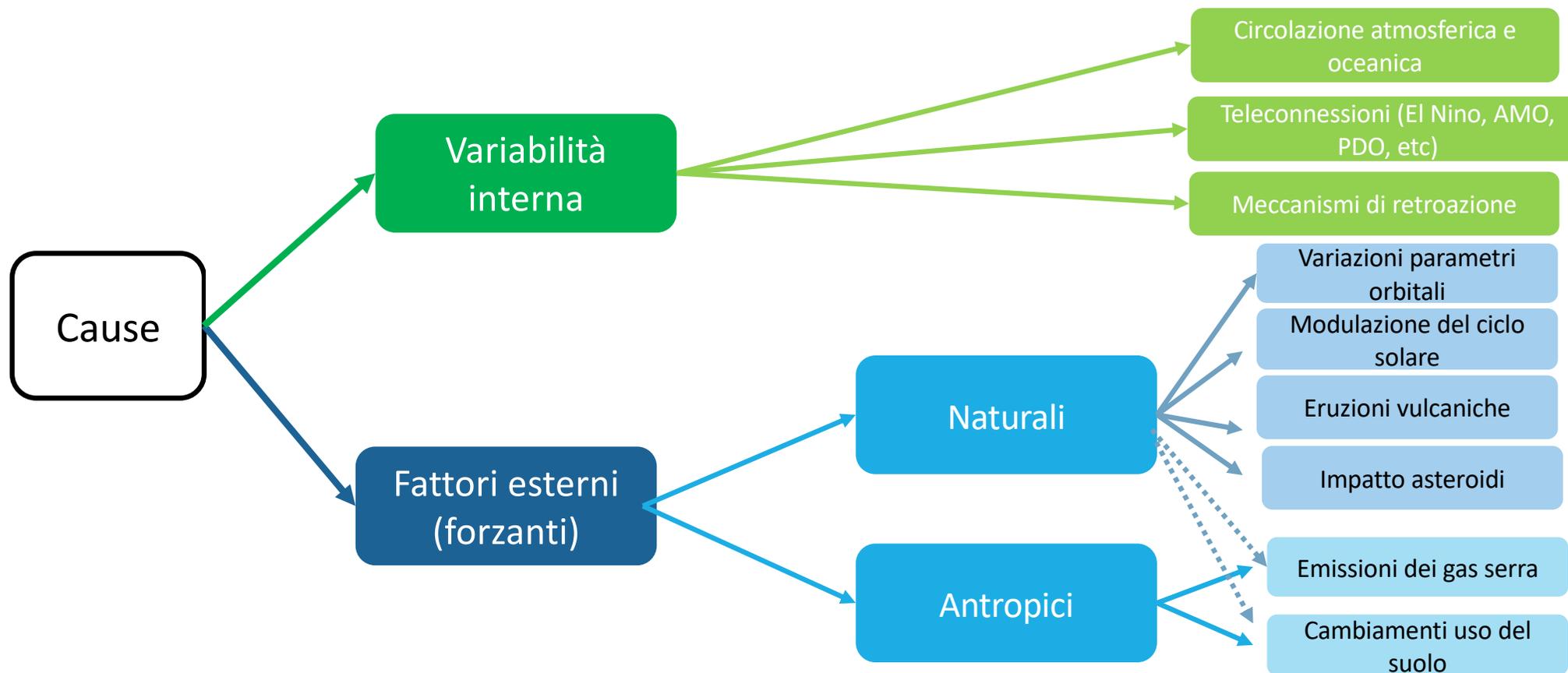


La concentrazione di CO<sub>2</sub> in atmosfera è il risultato dei processi che la immettono (emissioni) e la rimuovono (pozzi naturali di CO<sub>2</sub>).

**La concentrazione di CO<sub>2</sub> in atmosfera è costante se quanto si immette = quanto viene rimosso (equilibrio dinamico)**

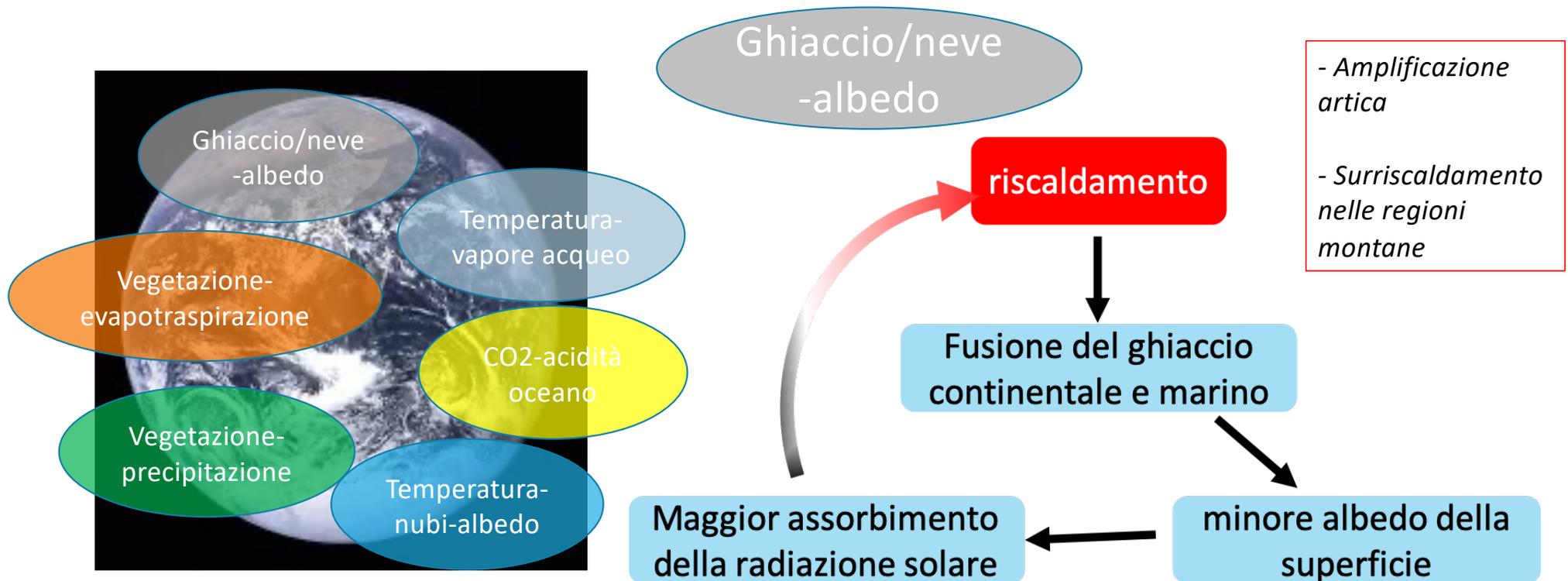
**Oceani e vegetazione oggi rimuovono il 50% delle emissioni antropiche di CO<sub>2</sub>. Il resto rimane in atmosfera**

# Cause della variabilità e cambiamenti del clima



# Meccanismi di retroazione (feedback)

Amplificano o smorzano gli effetti di una forzante iniziale



## Impatti del riscaldamento: parla la natura

Riduzione dei ghiacci marini e terrestri e del permafrost

Innalzamento del livello del mare

Intensificazione del ciclo idroclimatico (estremi) \*

Diminuzione della biodiversità

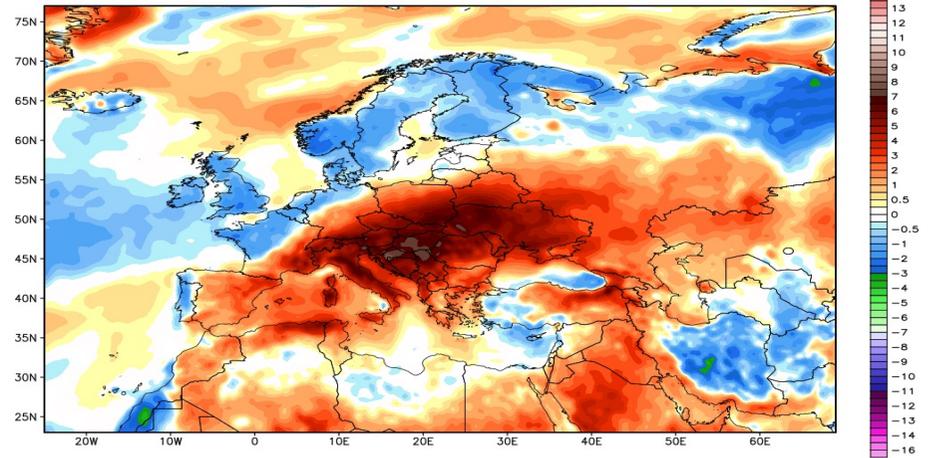
Cambiamenti negli ecosistemi marini e terrestri



**Molti di questi effetti non trovano riscontro nei due millenni precedenti (IPCC 2013)**



Temperature (2-meter) Anomaly [°C] 00Z01AUG2017 --> 06Z06AUG2017 | Average  
NCEP CFSv2



NCEP CFSR 1981-2010 Climatology | T574 CFSv2 Analysis Grid | Ryan N. Maue | WeatherBELL

#### Arctic region

- Temperature rise much larger than global average
- Decrease in Arctic sea ice coverage
- Decrease in Greenland ice sheet
- Decrease in permafrost areas
- Increasing risk of biodiversity loss
- Some new opportunities for the exploitation of natural resources and for sea transportation
- Risks to the livelihoods of indigenous peoples

#### Coastal zones and regional seas

- Sea level rise
- Increase in sea surface temperatures
- Increase in ocean acidity
- Northward migration of marine species
- Risks and some opportunities for fisheries
- Changes in phytoplankton communities
- Increasing number of marine dead zones
- Increasing risk of water-borne diseases

#### Mediterranean region

- Large increase in heat extremes
- Decrease in precipitation and river flow
- Increasing risk of droughts
- Increasing risk of biodiversity loss
- Increasing risk of forest fires
- Increased competition between different water users
- Increasing water demand for agriculture
- Decrease in crop yields
- Increasing risks for livestock production
- Increase in mortality from heat waves
- Expansion of habitats for southern disease vectors
- Decreasing potential for energy production
- Increase in energy demand for cooling
- Decrease in summer tourism and potential increase in other seasons
- Increase in multiple climatic hazards
- Most economic sectors negatively affected
- High vulnerability to spillover effects of climate change from outside Europe

#### Atlantic region

- Increase in heavy precipitation events
- Increase in river flow
- Increasing risk of river and coastal flooding
- Increasing damage risk from winter storms
- Decrease in energy demand for heating
- Increase in multiple climatic hazards

#### Boreal region

- Increase in heavy precipitation events
- Decrease in snow, lake and river ice cover
- Increase in precipitation and river flows
- Increasing potential for forest growth and increasing risk of forest pests
- Increasing damage risk from winter storms
- Increase in crop yields
- Decrease in energy demand for heating
- Increase in hydropower potential
- Increase in summer tourism

#### Mountain regions

- Temperature rise larger than European average
- Decrease in glacier extent and volume
- Upward shift of plant and animal species
- High risk of species extinctions
- Increasing risk of forest pests
- Increasing risk from rock falls and landslides
- Changes in hydropower potential
- Decrease in ski tourism

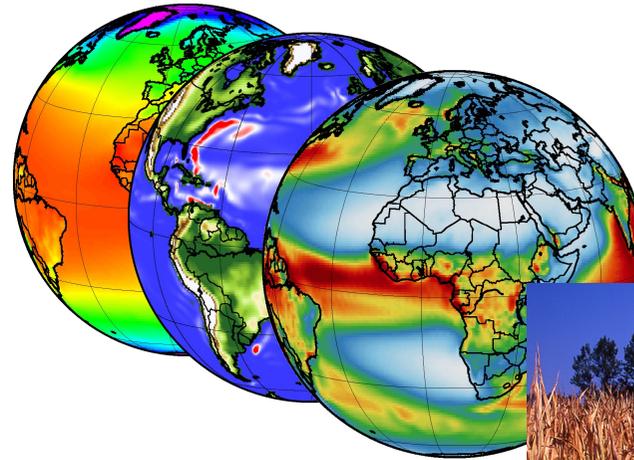
#### Continental region

- Increase in heat extremes
- Decrease in summer precipitation
- Increasing risk of river floods
- Increasing risk of forest fires
- Decrease in economic value of forests
- Increase in energy demand for cooling



# Impatti osservati e attesi in Europa (Report EEA, 2017)

<https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016>



Grazie!



10/06/2021

Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima – CNR

**Elisa Palazzi**