

**CAPIAMO I
CAMBIAMENTI
CLIMATICI** 

8 incontri
per approfondire,
condividere, agire. 

Perché il clima cambia? Cause e conseguenze del cambiamento climatico dal lontano passato ad oggi

con Marco Bagliani ed Elisa Palazzi
conduce Giulia Fornaro

 DA NOVEMBRE 2019 AD APRILE 2020
AULA MAGNA CAVALLERIZZA REALE, TORINO



INFO SU GREEN.UNITO.IT



LESSICO e NUVOLE:

le parole del
cambiamento
climatico

Una guida linguistica e scientifica per
orientarsi nel dibattito sulla crisi climatica.
Una bussola per chiunque voglia acquisire
maggiore consapevolezza su uno dei temi
più urgenti del nostro tempo.

Scarica gratuitamente
il pdf di "Lessico e Nuvole" [su frida.unito.it](http://frida.unito.it)



...PRIMA CHE
SIA TROPPO TARDI!



CAPIAMO I CAMBIAMENTI CLIMATICI

Non perdere
i prossimi appuntamenti:

27 NOVEMBRE 2019

con MARCO BAGLIANI, ELISA PALAZZI

*Come funziona il sistema climatico?
I meccanismi fondamentali che regolano il clima sulla Terra.*

18 DICEMBRE 2019

con MARCO BAGLIANI, ELISA PALAZZI

*Perché il clima cambia? Cause e conseguenze
dei cambiamenti climatici dal lontano passato ad oggi.*

15 GENNAIO 2020

con ENRICO BORGOGNO MONDINO, CLAUDIO CASSARDO, ELISA PALAZZI

*Come si studia il clima? Dalle ricostruzioni del passato
alle misurazioni di oggi, fino ai modelli per le previsioni future*

29 GENNAIO 2020

con CLAUDIO CASSARDO, ELISA PALAZZI

*Quale futuro ci aspetta? Come cambierà il clima nei prossimi
decenni e quali rischi avremo di oltrepassare punti di non ritorno.*

12 FEBBRAIO 2020

con DARIO PADOVAN, ALESSANDRO PEZZOLI

*Quali sono le conseguenze del riscaldamento globale?
Studiare gli impatti del cambiamento climatico.*

26 FEBBRAIO 2020

con MARCO BAGLIANI, DARIO PADOVAN

*Quali sono le cause prime del cambiamento climatico e cosa si può
fare? Una analisi critica dei driver e delle politiche di mitigazione.*

25 MARZO 2020

con DARIO PADOVAN, ALESSANDRO PEZZOLI

*Cosa stiamo facendo per adattarci al cambiamento climatico?
Dalle migrazioni alle smart cities: analisi critica dell'adattamento.*

8 APRILE 2020

con MARIA CRISTINA CAIMOTTO, DANIELA FARGIONE, DARIO PADOVAN

*Chi ha paura del cambiamento climatico?
Narrazioni, reazioni, scetticismi, negazionismi*

Il primo incontro

- Definizione di tempo meteorologico e clima
- Il bilancio energetico terrestre: il motore del sistema climatico
- I componenti principali del sistema climatico:
 1. l'atmosfera e le sue correnti;
 2. l'oceano e la circolazione termoalina
 3. la biosfera e il suo contenuto di carbonio
 4. la criosfera e le sue proprietà di elevata albedo

Tempo meteorologico e clima (non sono la stessa cosa)

Unito Green Office Coordinamento Cambiamenti climatici ©
Marco Bagliani marco.bagliani@unito.it
Tommaso Orusa tommaso.orusa@unito.it

«**Weather is what you get**, **climate is what you expect**»

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.

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).

“If you don't like the weather in New England, just wait a few minutes.” [Mark Twain]

Perché il clima cambia?

Variazioni causate
dall'azione di fattori
esterni (FORZANTI) che
possono essere di
origine **naturale o
antropica**

Variazioni **dovute alla
propria dinamica
interna** (espressione
della complessità del
clima)

Forzante radiativo - Radiative forcing

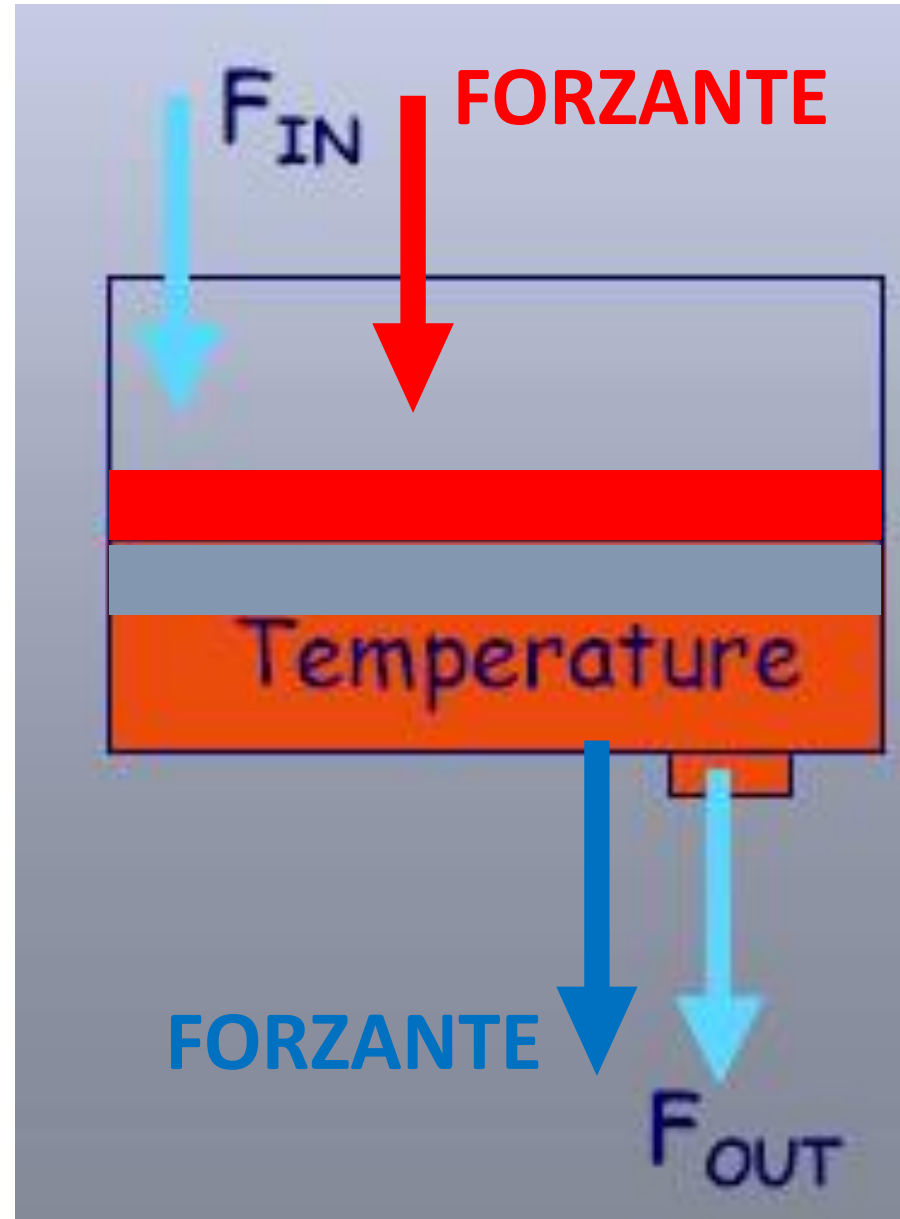
L'IPCC definisce il forzante radiativo (radiative forcing): esso è «il **cambiamento netto nel bilancio energetico** del sistema Terra **causato da** un qualche tipo di **perturbazione**.

Di solito è espresso in Watt al metro quadrato.

Quantifica lo squilibrio energetico che si verifica quando avviene la perturbazione».

Il forzante radiativo misura la potenziale capacità di alterazione del bilancio energetico terrestre, all'interno di un certo intervallo di tempo, da parte di un determinato fattore, ossia la **potenziale capacità di indurre un cambiamento nelle dinamiche del sistema climatico**.

Forzante radiativo - Radiative forcing



Forzanti

Forzanti esogeni: l'origine è esterna al sistema terra

variazione della radiazione solare
cicli di Milankovitch
impatto di asteroidi

origine naturale
origine naturale
origine naturale

Forzanti endogeni: l'origine è interna al sistema terra

emissioni di gas serra
emissioni di aerosol
cambiamenti di uso del suolo
eruzioni vulcaniche

origine naturale	e	antropica
origine naturale	e	antropica
origine naturale	e	antropica
origine naturale		

Forzanti esogeni

variazione della radiazione solare
cicli di Milankovitch
impatto di asteroidi

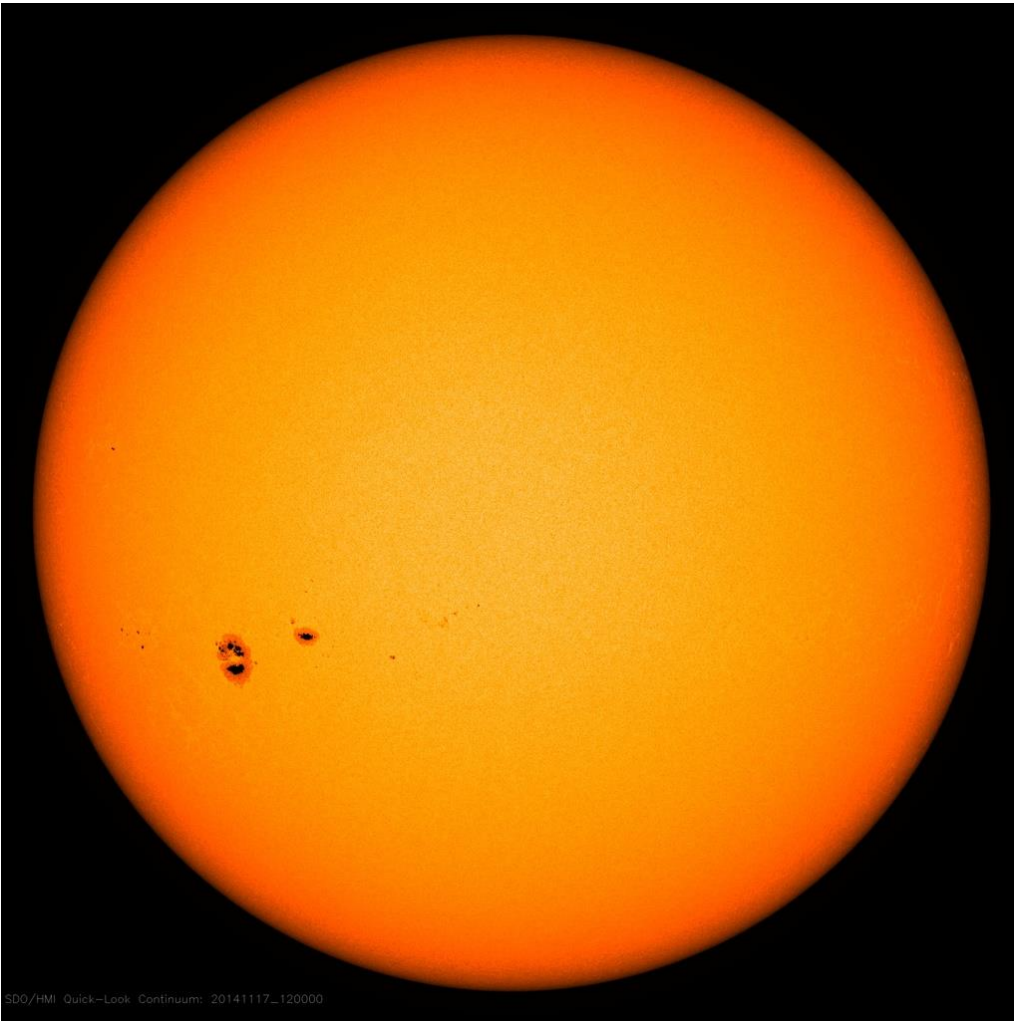
Variazione della radiazione solare

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

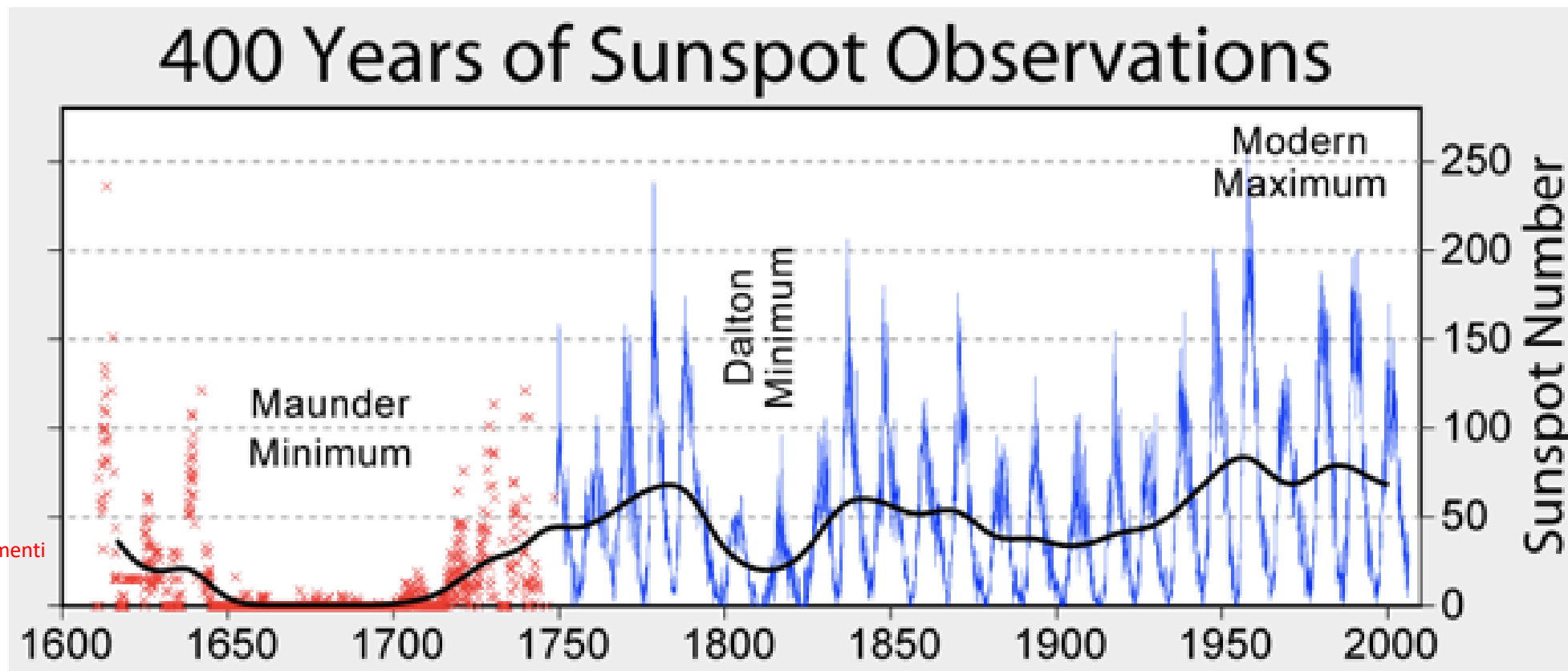
Le macchie solari sono regioni della superficie del Sole che si trovano a una temperatura inferiore rispetto alle aree vicine, perciò appaiono più scure, ma sono caratterizzate da una intensa attività magnetica.

Unito Green Office Coordinamento Cambiamenti climatici ©
Marco Bagliani marco.bagliani@unito.it
Tommaso Orusa tommaso.orusa@unito.it



Crediti: SDO/HMI/NASA

Variazione della radiazione solare

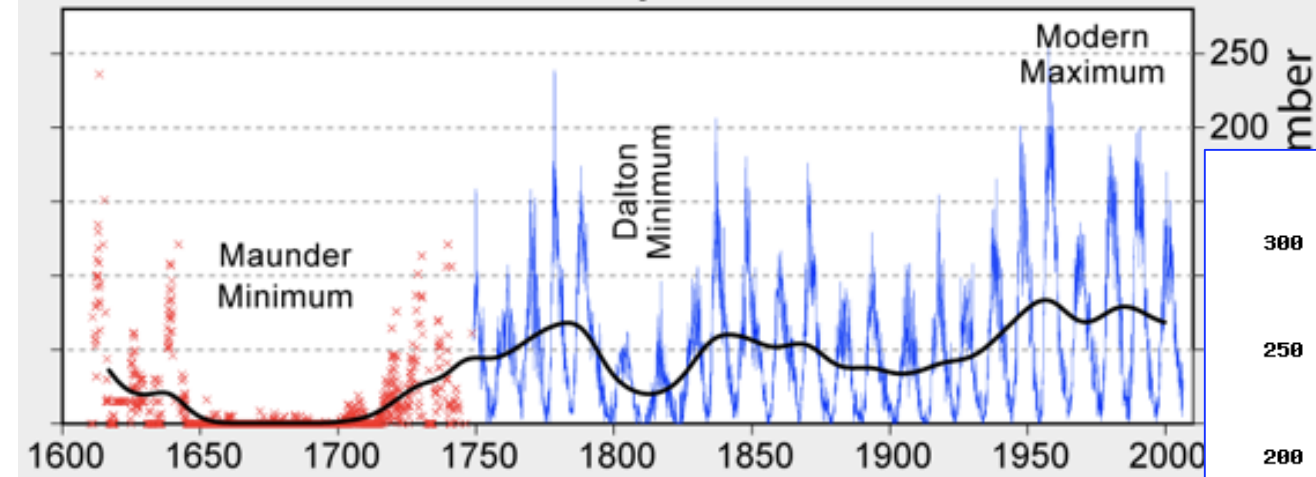


Unito Green Office
Coordinamento Cambiamenti
climatici ©
Marco Bagliani
marco.bagliani@unito.it
Tommaso Orusa
tommaso.orusa@unito.it

- 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

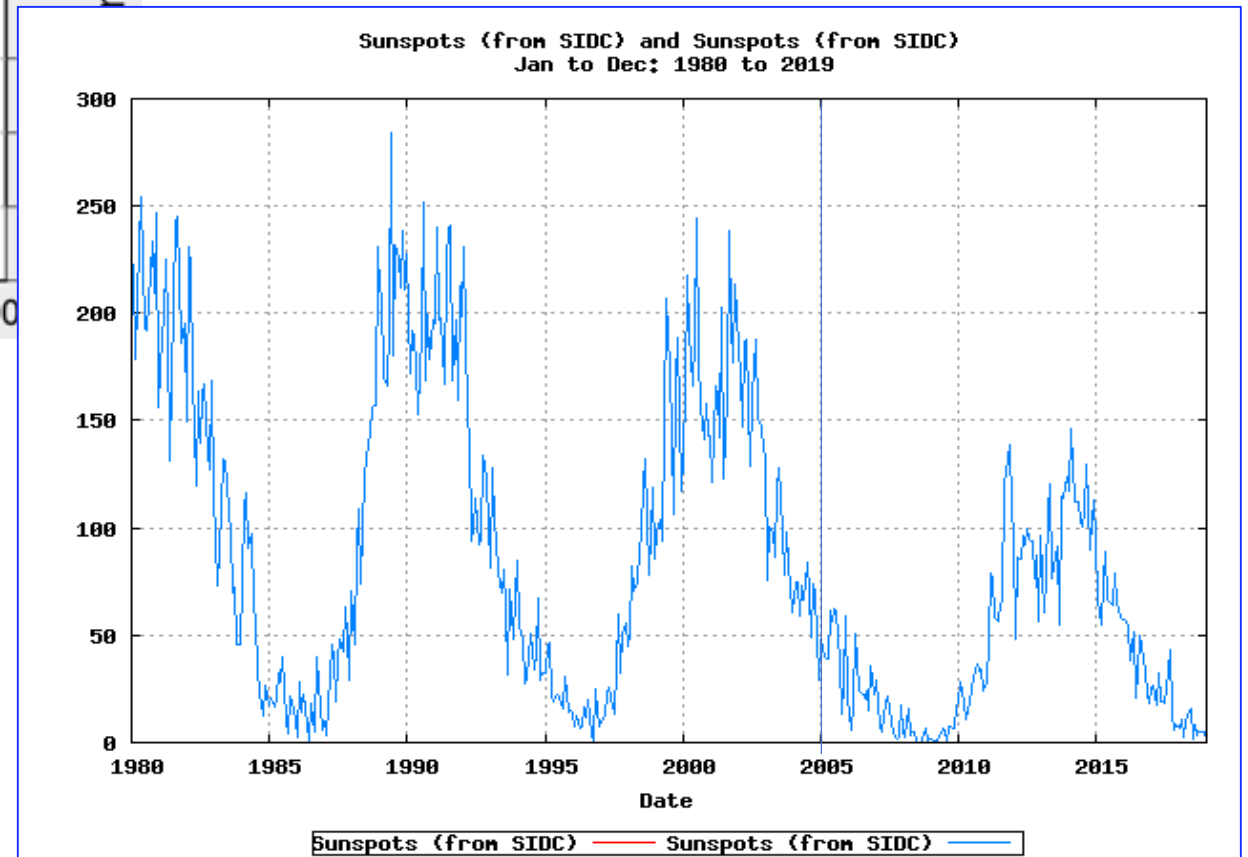
Variazione della radiazione solare

400 Years of Sunspot Observations



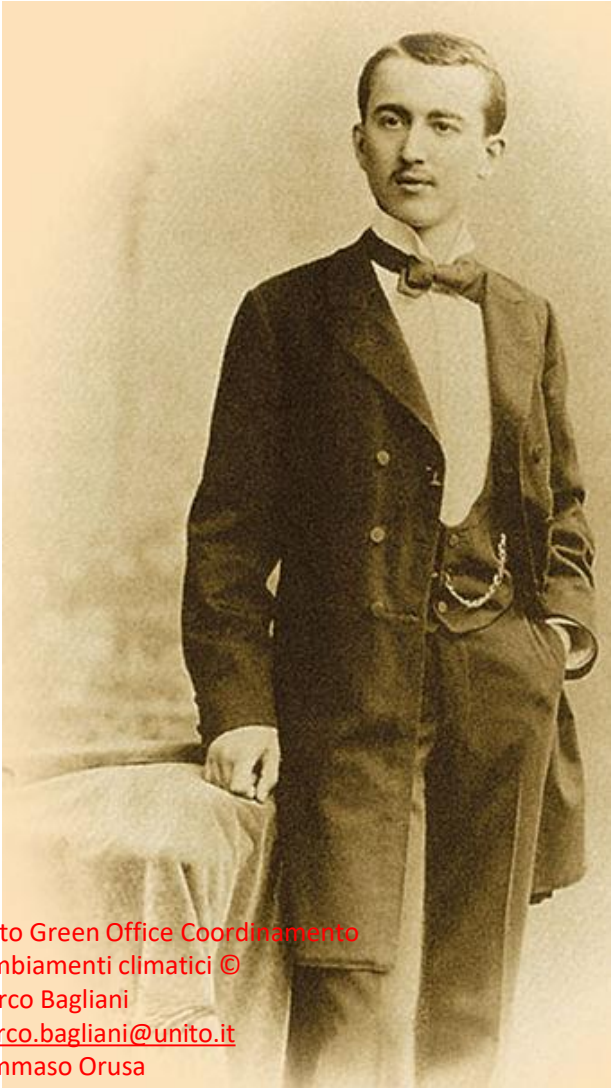
www.esrl.noaa.gov

Il 2019 sta registrando un minimo molto profondo di attività



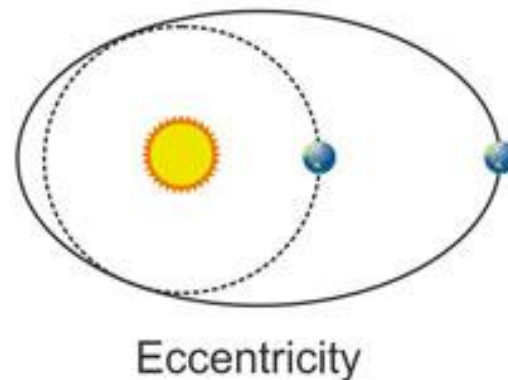
Cicli di Milankovitch

(Milutin Milankovic,
matematico serbo)



- 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

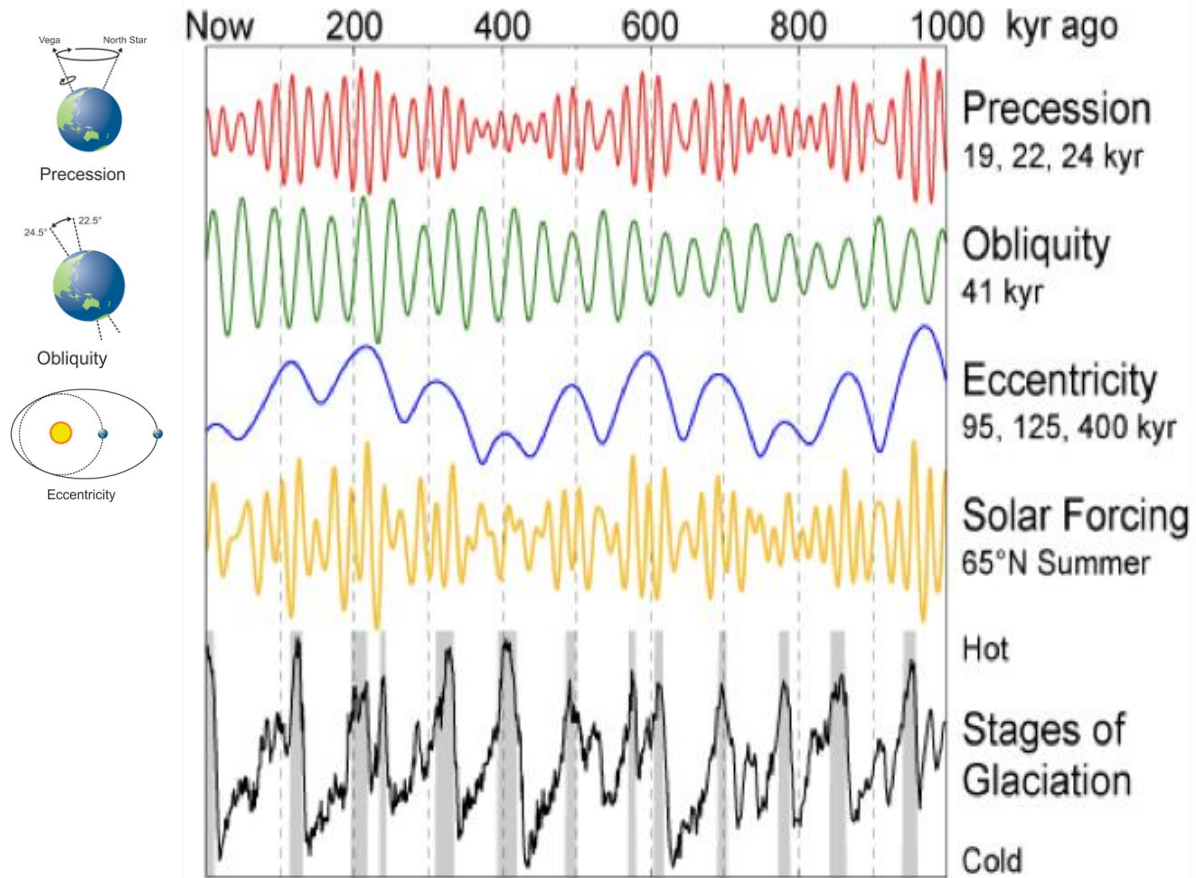


Cicli di Milankovitch

Unito Green Office Coordinamento Cambiamenti climatici ©

Marco Bagliani marco.bagliani@unito.it

Tommaso Orusa tommaso.orusa@unito.it

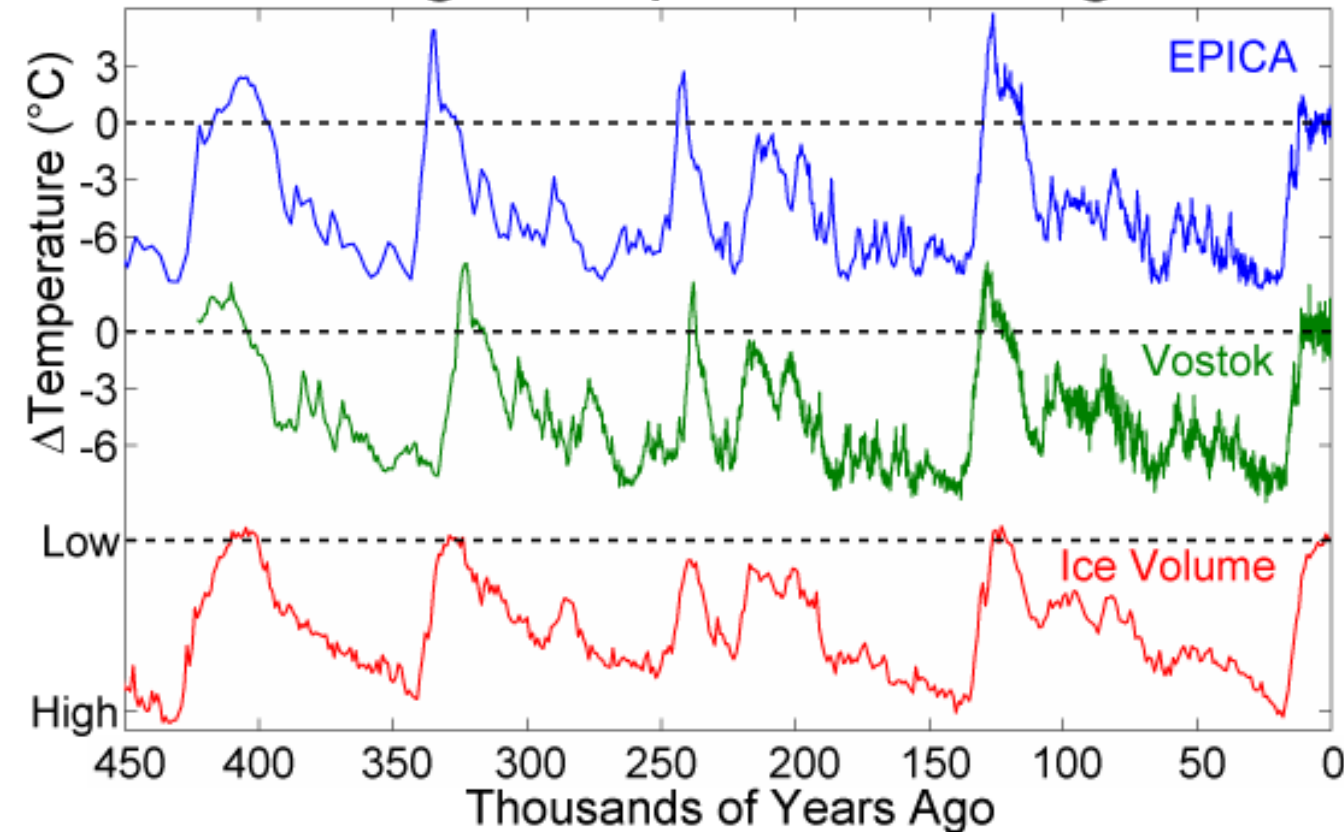


Le analisi delle **carote di ghiaccio antartico** hanno permesso di ricavare **serie di temperatura media superficiale con evidenti fluttuazioni, di circa 10 K**, tra i periodi freddi (glaciali) e periodi caldi (interglaciali). Queste **fluttuazioni sono avvenute con periodi pari a ~100 mila, ~ 41 mila, e ~20 mila anni**, corrispondenti a quelli della teoria di Milankovich.

Ultimo milione di anni → dominato dal ciclo di 100 mila anni. I periodi caldi si verificano quando l'eccentricità è al suo massimo, ovvero quando la Terra si trova in un punto dell'orbita più vicino al sole → questo non ha un impatto sulla quantità media di energia sulla terra ma su dove si concentra, a causa della inclinazione dell'asse,

Cicli di Milankovitch

Ice Age Temperature Changes



I soli cambiamenti nella quantità di energia in arrivo dal sole, legati alla periodicità dell'orbita e dell'asse di rotazione

- **non bastano a spiegare la differenza di temperatura tra un periodo glaciale e interglaciale**
- possono spiegare i lenti passaggi dalle fasi interglaciali a quelle glaciali
- Non possono spiegare i passaggi repentini dalle fasi fredde alle fasi calde, che avvengono in 2-3 mila anni

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.

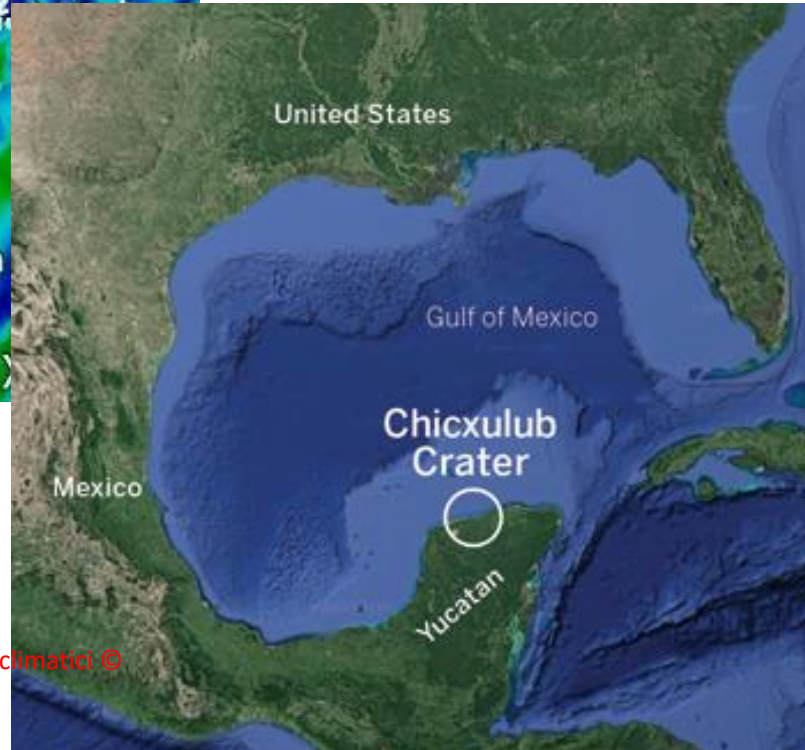
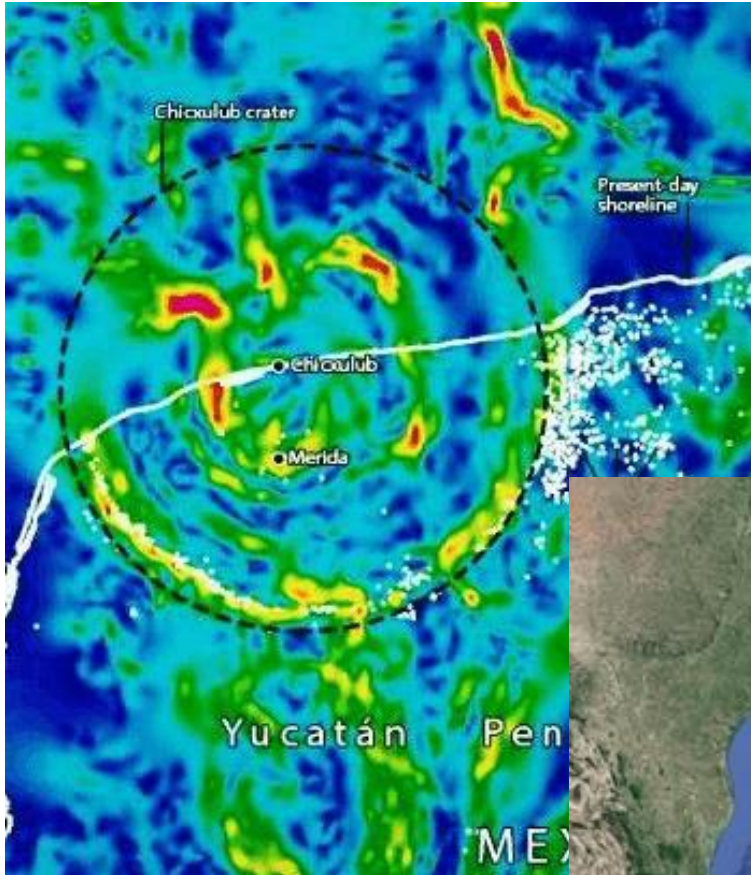
Espulsione di grandi quantità di polveri, ceneri, aerosol nell'atmosfera in grado di oscurare quasi totalmente la luce solare in entrata, provocando un grande abbassamento della temperatura



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 (polvere e cenere di grandezza inferiore a 1 micron) che sono rimaste in atmosfera parecchi mesi / anni creando un'azione schermante.



Impatto di asteroidi

Azione schermante:

- **calo della temperatura superficiale di 13 °C** già dopo 20 giorni che dura 1-3 anni
- **calo della temperatura superficiale di 26 °C** che dura fino a 30 anni.

Dopo 1 anno almeno un terzo delle terre emerse dell'emisfero nord è probabilmente ricoperto da neve.

Su tempi scala più lunghi, dopo la deposizione di aerosol e polveri, la Terra dovrebbe invece aver subito un forcing opposto, causato **dall'immissione in atmosfera di grandi quantità di biossido di carbonio, acqua e metano** a seguito dell'impatto dell'asteroide con le rocce e gli oceani terrestri.

Forzanti endogeni

eruzioni vulcaniche
emissioni di gas serra
emissioni di aerosol
cambiamenti di uso del suolo

Operano su scale relativamente brevi ma tali da dar luogo a
cambiamenti significativi e apprezzabili

Eruzioni vulcaniche

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



Azione di raffreddamento

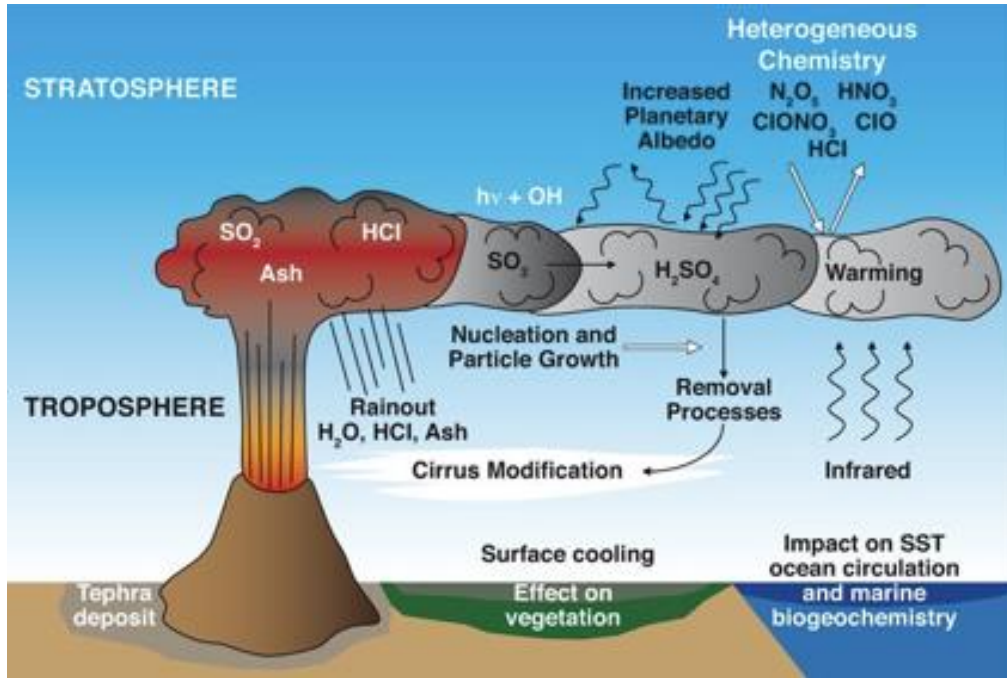
Azione di riscaldamento



Che agiscono su tempi diversi ...

Eruzione dell'Etna

Azione di raffreddamento



Le eruzioni iniettano in atmosfera numerosi gas, ceneri, frammenti minerali (tefra).

- Le ceneri si depositano a causa della loro dimensione e massa.
- Gli aerosol solfati che si formano a partire dai gas contenenti zolfo (SO₂) hanno un effetto radiativo di raffreddamento della superficie perché si tratta di particelle chiare che riflettono la luce del sole

Se l'eruzione esplosiva inietta grandi quantità di biossido di zolfo direttamente nella stratosfera il tempo di residenza dell'aerosol vulcanico può raggiungere l'anno. In questo caso il raffreddamento è notevole.

Azione di raffreddamento

Una delle eruzioni più forti del XX secolo è quella del Pinatubo (Filippine, 1991), che scagliò ceneri e aerosol fino ad una altezza di 24 km, direttamente nella stratosfera.

Il forzante climatico risultante fu pari a circa $-4,0 \text{ Wm}^{-2}$, con un abbassamento della temperatura superficiale media globale di circa $-0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ che perdurò nel quadriennio 1991-94.



Durante le eruzioni viene emessa CO₂. Si tratta di piccole quantità bassa per esercitare un forcing significativo sul breve periodo.

La media annua globale delle emissioni totali di biossido di carbonio di origine vulcanica dal 1750 ad oggi è circa 100 volte inferiore a quelle antropiche (Gerlach, 2011).

Questo tipo di forzante potrebbe avere giocato, nella storia climatica della Terra, un ruolo importante: in particolari condizioni climatiche, del tipo Terra palla di neve (snowball Earth), il biossido di carbonio emesso dai vulcani avrebbe potuto progressivamente accumularsi in atmosfera senza interagire con la terraferma e gli oceani.

In questo modo avrebbe potuto raggiungere concentrazioni così elevate da esercitare un forzante radiativo in grado di mettere fine all'era glaciale stessa.

I gas serra

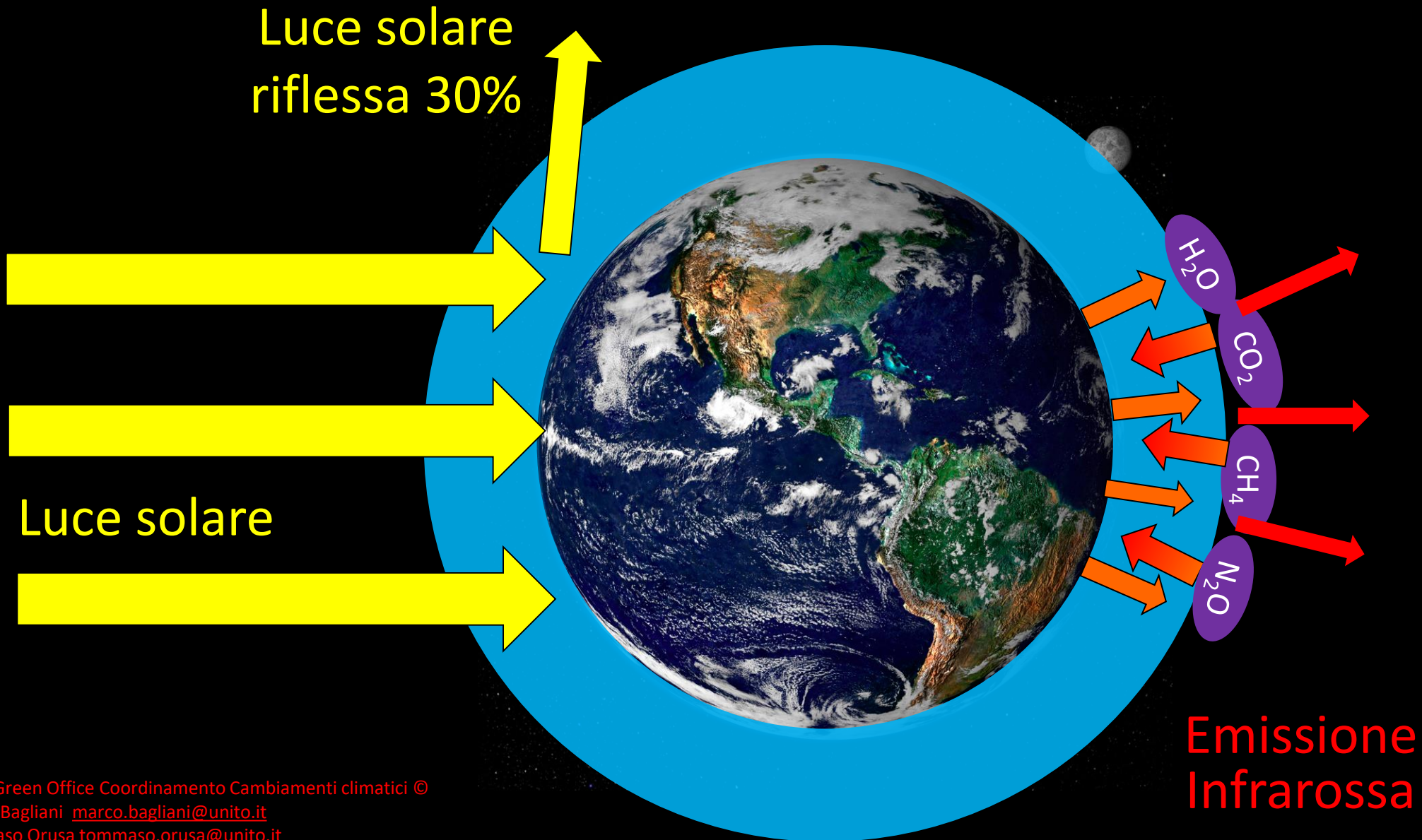
I gas serra sono forzanti di origine naturale (alcuni) e antropica

Sono presenti in piccole concentrazioni misurate in ppm, ppb, ppt

Il GWP (Global Warming Potential) misura la capacità di un gas di esercitare una azione forzante (un effetto serra) rispetto alla CO₂

Sono gas trasparenti alla radiazione luminosa ma parzialmente opachi alla radiazione infrarossa

Effetto serra



I gas serra

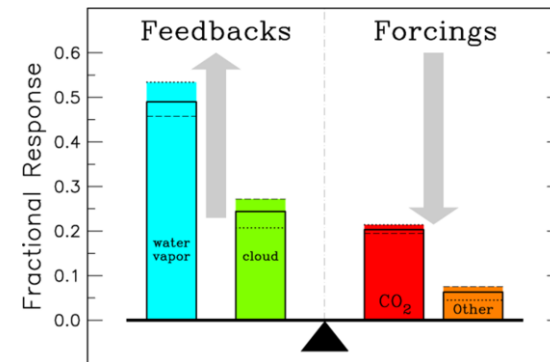
	Gas	Concentrazione atmosferica pre-industriale (1750)	Concentrazione atmosferica (2019)	Tempo di residenza in atmosfera (anni)	Global Warming Potential (100 yr)
GHG condensante	Vapore acqueo	Variabile	variabile	pochi giorni	
GHG ben rimescolato	Biossido di carbonio (CO ₂)	278 ppm	415 ppm	30-95	1
GHG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

Vapore acqueo

Il vapore acqueo (H₂O) è il gas a effetto serra più abbondante e più importante in termini di contributo all'effetto serra naturale (circa 75%), nonostante sia caratterizzato da una vita media piuttosto breve e soggetto a molte trasformazioni.

La concentrazione globale di vapore acqueo non è una conseguenza delle sue emissioni ma è controllata dalla temperatura, attraverso la legge di Clausius-Clapeyron (per ogni grado di aumento della temperatura, la concentrazione di vapore acqueo aumenta del 7%).

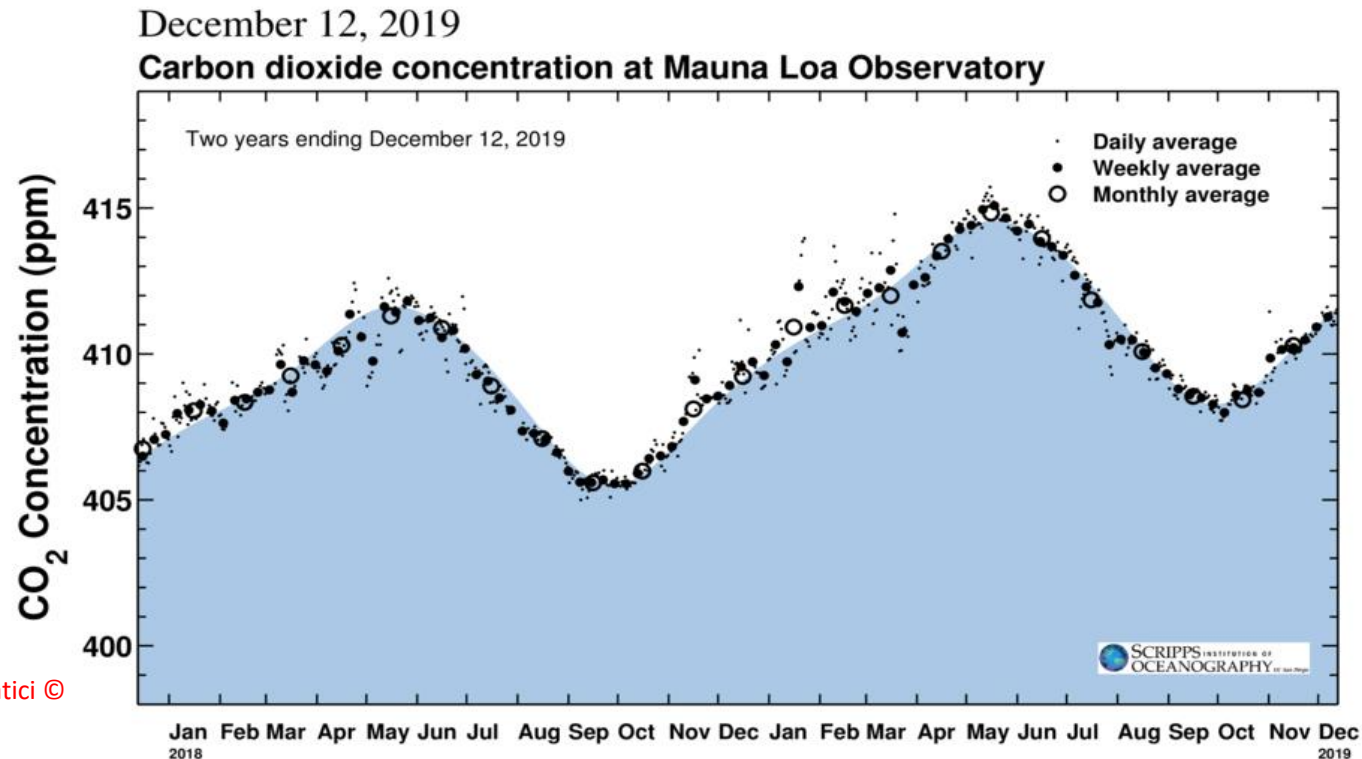
Questo porta a considerare l'effetto serra provocato dal vapore acqueo non un semplice forzante ma una retroazione, come si vedrà dopo.



Biossido di carbonio: il respiro della Terra

Autunno-inverno nell'emisfero nord: le concentrazioni di CO₂ nell'atmosfera aumentano a causa della decomposizione di molte biomassa (foglie e piante)

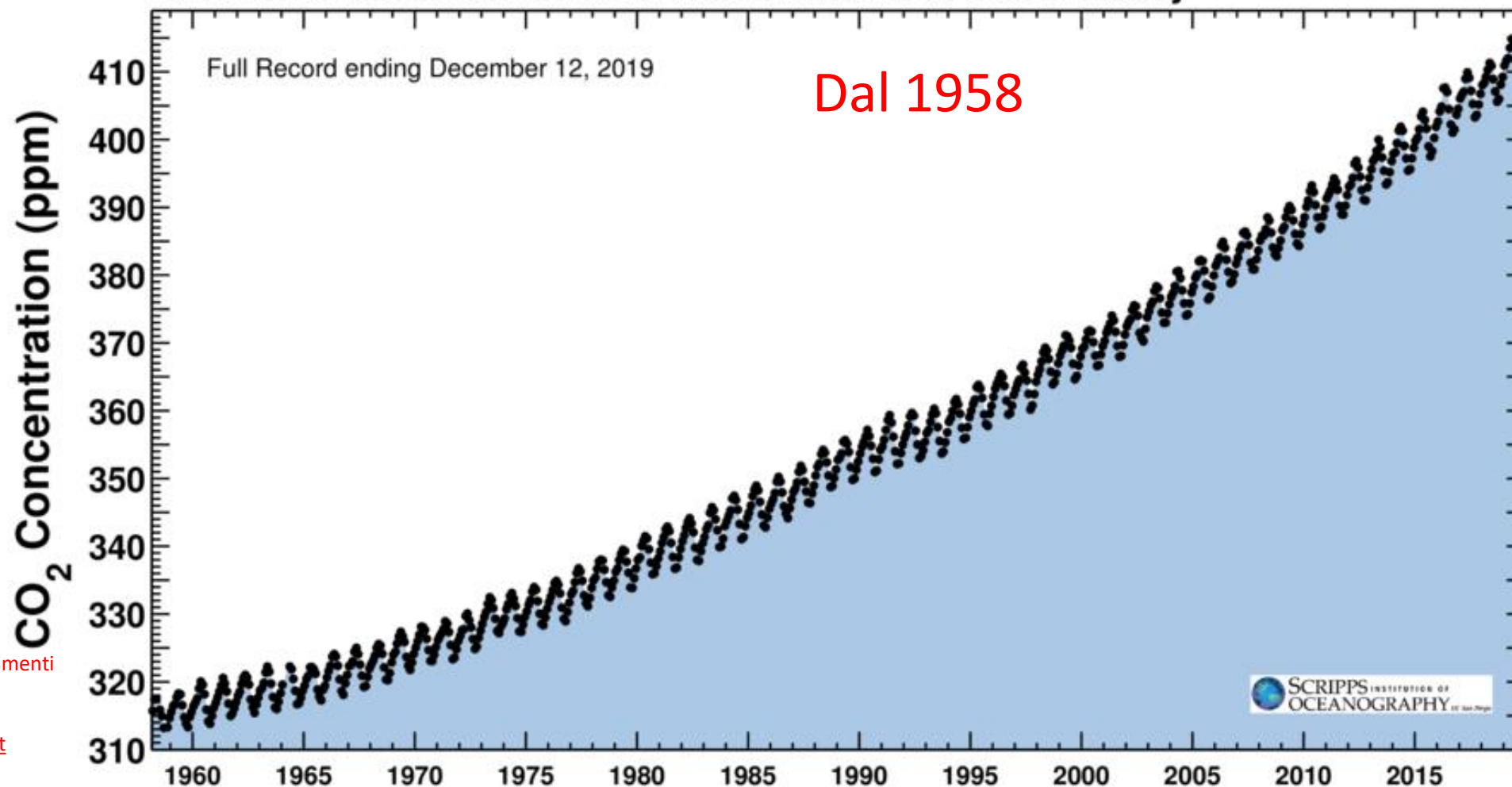
Primavera-estate nell'emisfero nord: le concentrazioni di CO₂ nell'atmosfera diminuiscono perchè le piante ricominciano a crescere



Biossido di carbonio: la curva di Keeling

December 12, 2019

Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory



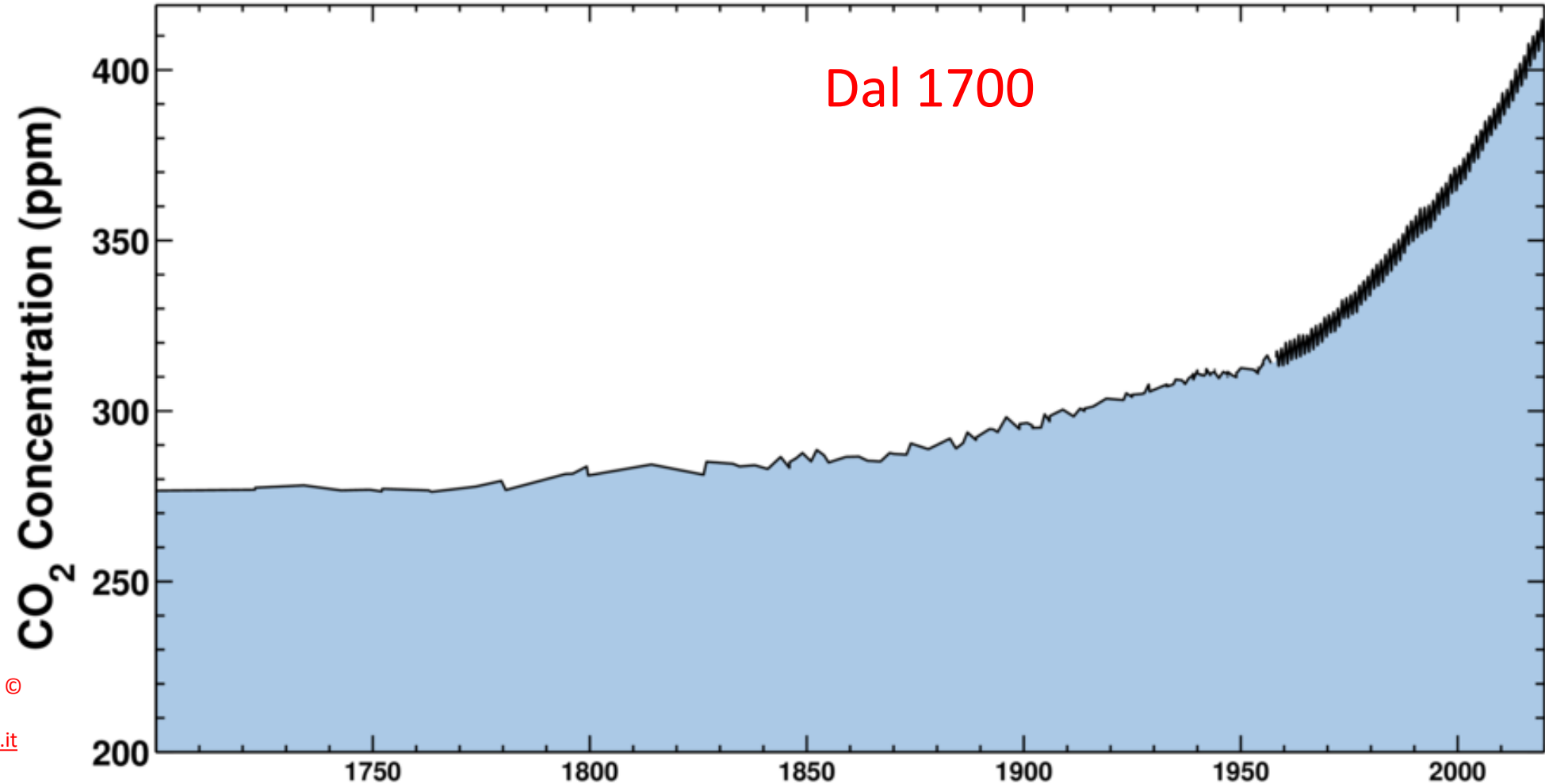
Unito Green Office
Coordinamento Cambiamenti
climatici ©
Marco Bagliani
marco.bagliani@unito.it
Tommaso Orusa
tommaso.orusa@unito.it

<https://scripps.ucsd.edu/>

Biossido di carbonio

December 12, 2019

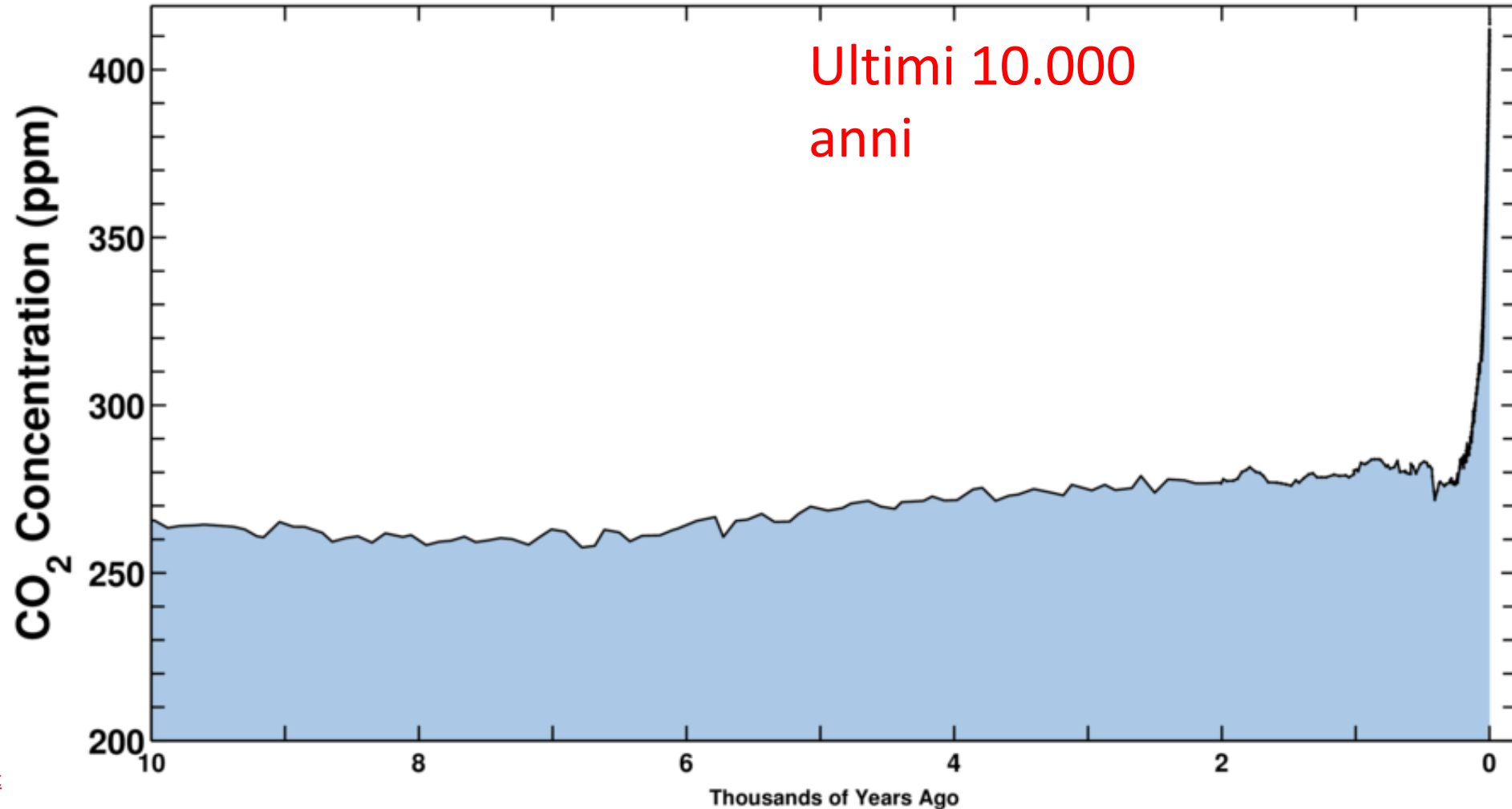
Ice-core data before 1958. Mauna Loa data after 1958.



Biossido di carbonio

December 12, 2019

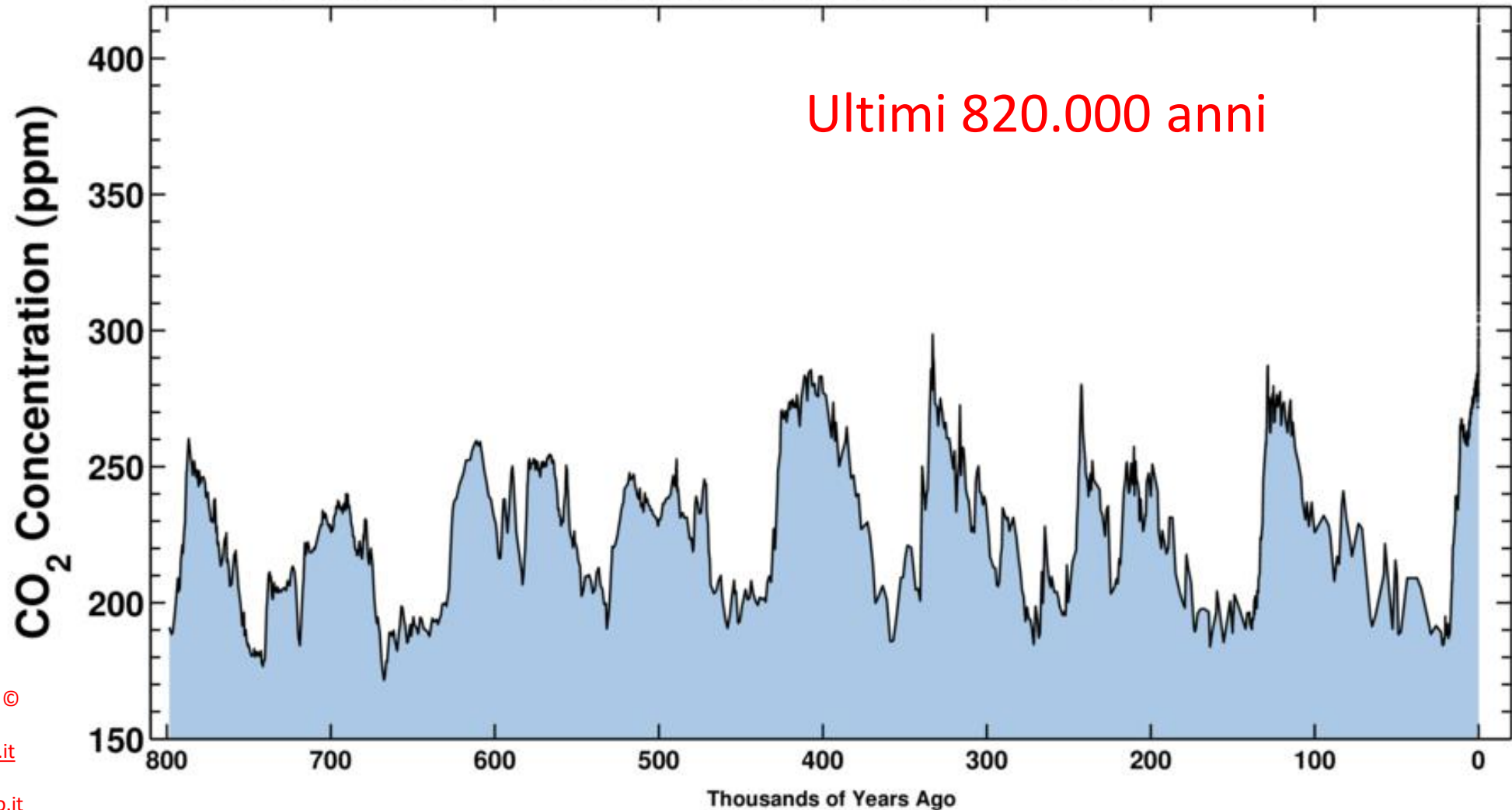
Ice-core data before 1958. Mauna Loa data after 1958.



Biossido di carbonio

December 12, 2019

Ice-core data before 1958. Mauna Loa data after 1958.



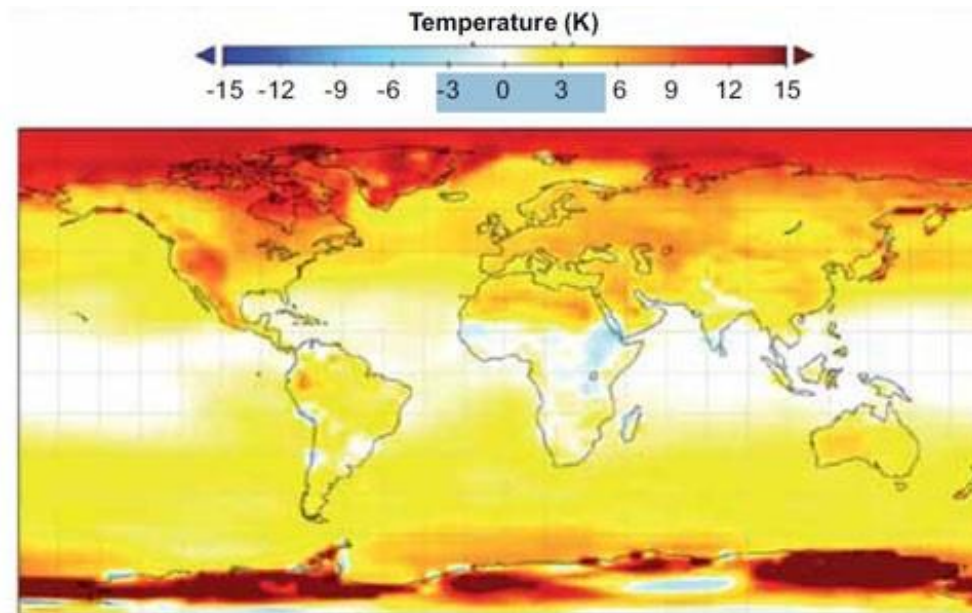
Quanto bisogna risalire nel tempo per trovare un livello come quello attuale?

Stime basate su carotaggi oceanici suggeriscono che per trovare valori di CO₂ in atmosfera simili a quelli odierni occorra andare indietro di almeno **3 milioni di anni, fino al Pliocene**. Era il tempo dell'*Australopithecus*, prima della comparsa del genere *Homo*.



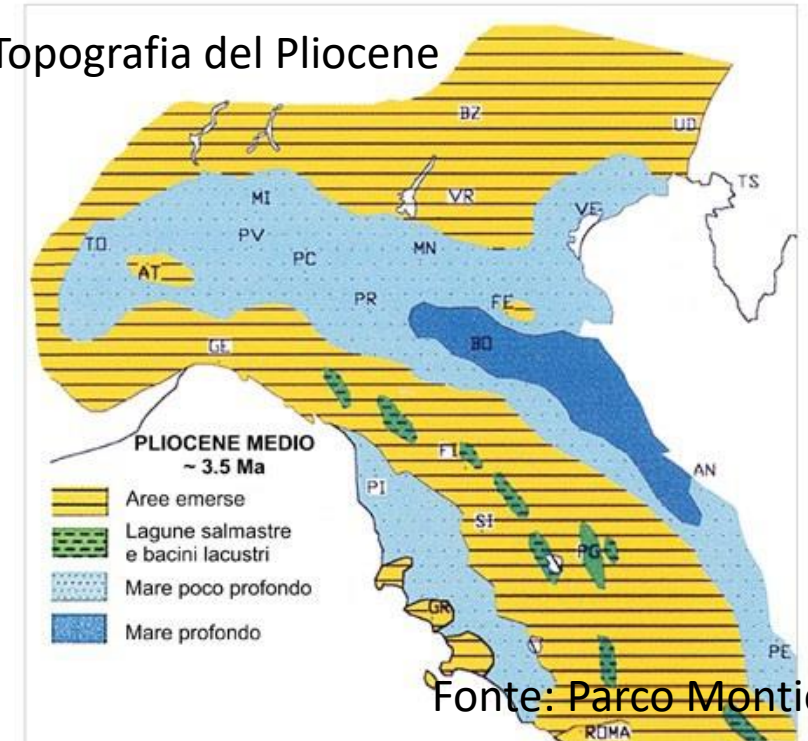
British Geological Survey

Noi oggi siamo i primi dell'intero nostro genere a vivere a questi livelli di concentrazione di CO₂ atmosferica.



Unito Green Office Coordinamento Cambiamenti climatici ©
Marco Bagliani marco.bagliani@unito.it
Tommaso Orusa tommaso.orusa@unito.it

Topografia del Pliocene



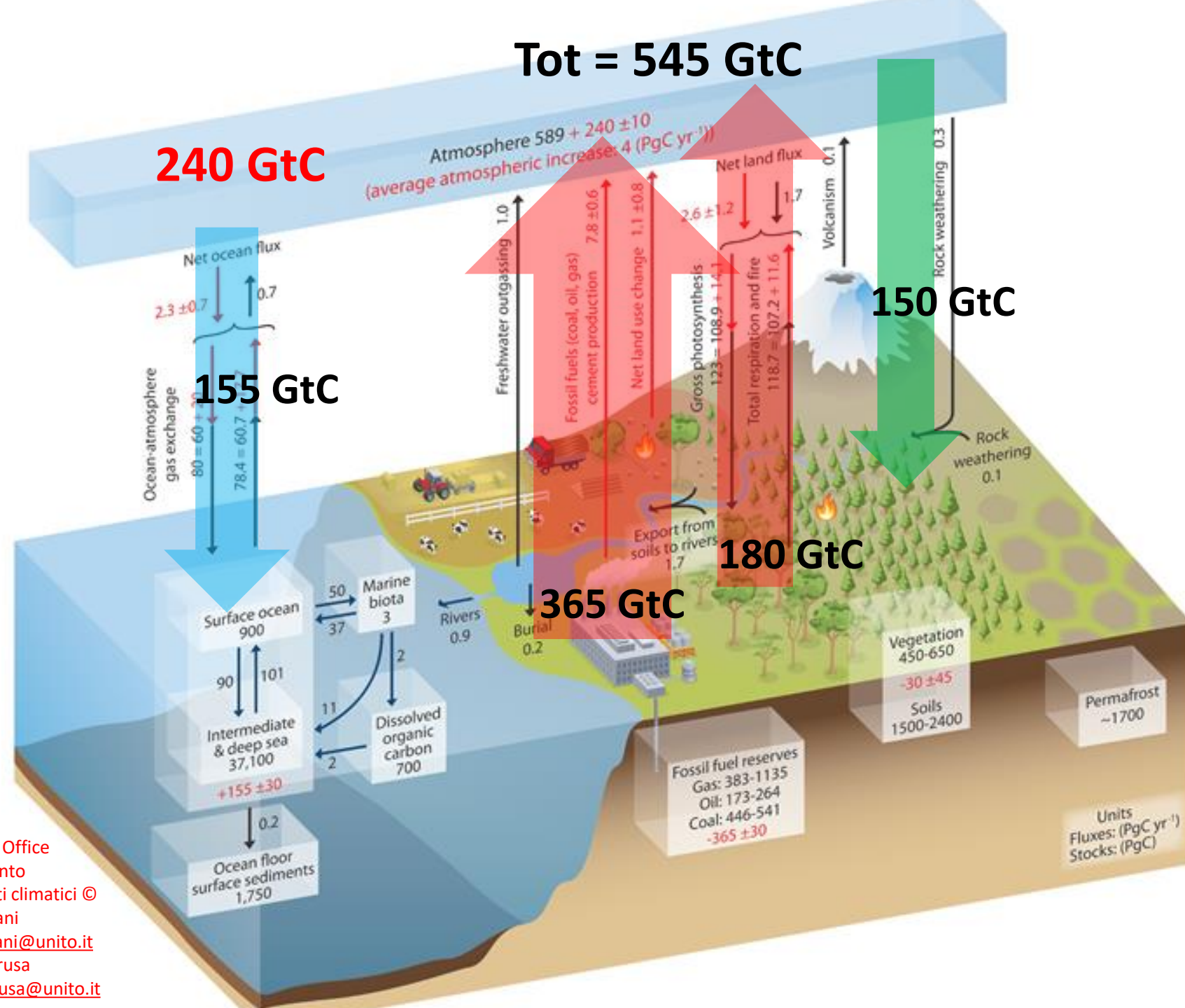
Fonte: Parco Monticino

Il ciclo del carbonio

Finora, la **vegetazione** e **l'oceano** hanno **assorbito circa il 55% del carbonio** che gli esseri umani hanno immesso nell'atmosfera.

- L'eccesso di carbonio nell'atmosfera riscalda il pianeta.
- L'eccesso di carbonio nell'oceano rende l'acqua più acida, mettendo in pericolo la biosfera marina.

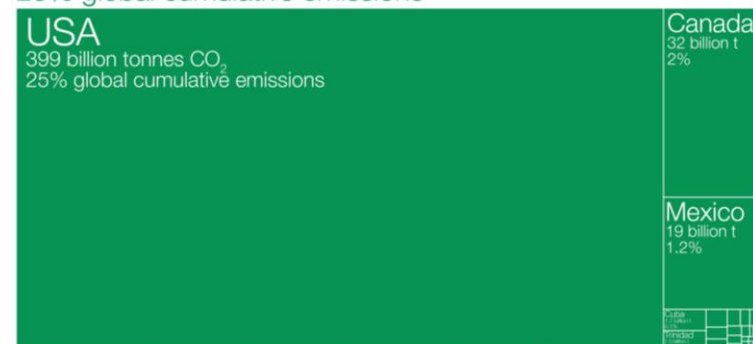
Unito Green Office
Coordinamento
Cambiamenti climatici ©
Marco Bagliani
marco.bagliani@unito.it
Tommaso Orusa
tommaso.orusa@unito.it



Tutti i gas serra: quali settori emettono?

Emissioni cumulate 1750-2017: circa 1756 GtCO₂

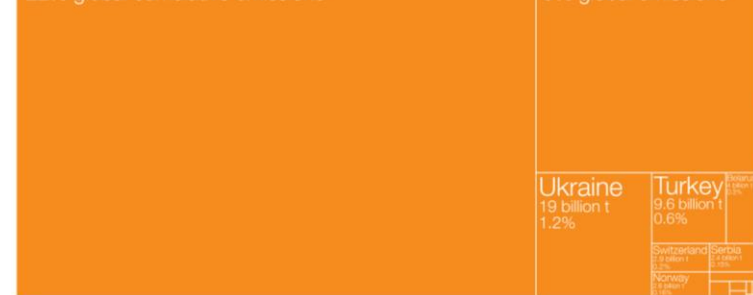
North America
457 billion tonnes CO₂
29% global cumulative emissions



Asia
457 billion tonnes CO₂
29% global cumulative emissions



EU-28
353 billion tonnes CO₂
22% global cumulative emissions



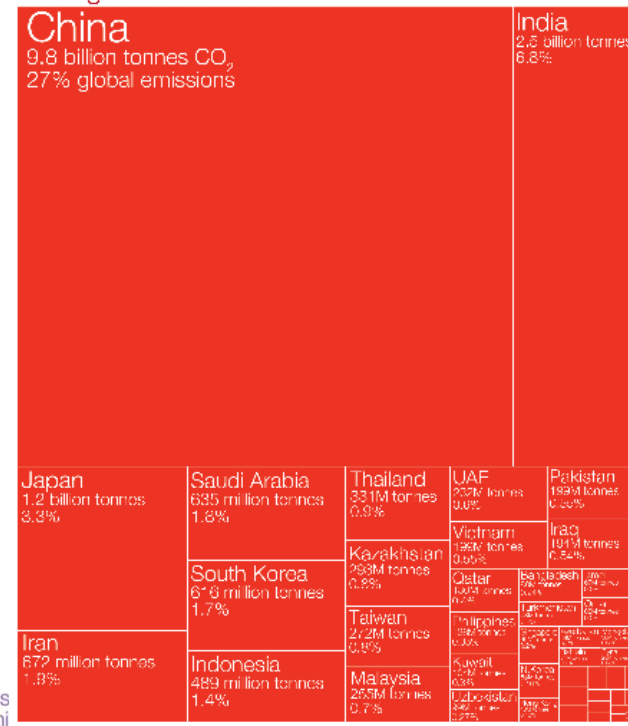
Europe
514 billion tonnes CO₂
33% global cumulative emissions

Africa
43 billion tonnes CO₂
3% global emissions

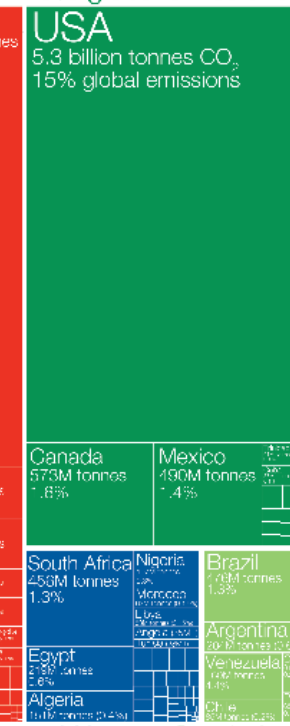
South America
40 billion tonnes CO₂
3% global emissions

Emissioni 2017: circa 36 GtCO₂

Asia
19 billion tonnes CO₂
53% global emissions



North America
6.5 billion tonnes CO₂
18% global emissions



Europe
6.1 billion tonnes CO₂
17% global emissions

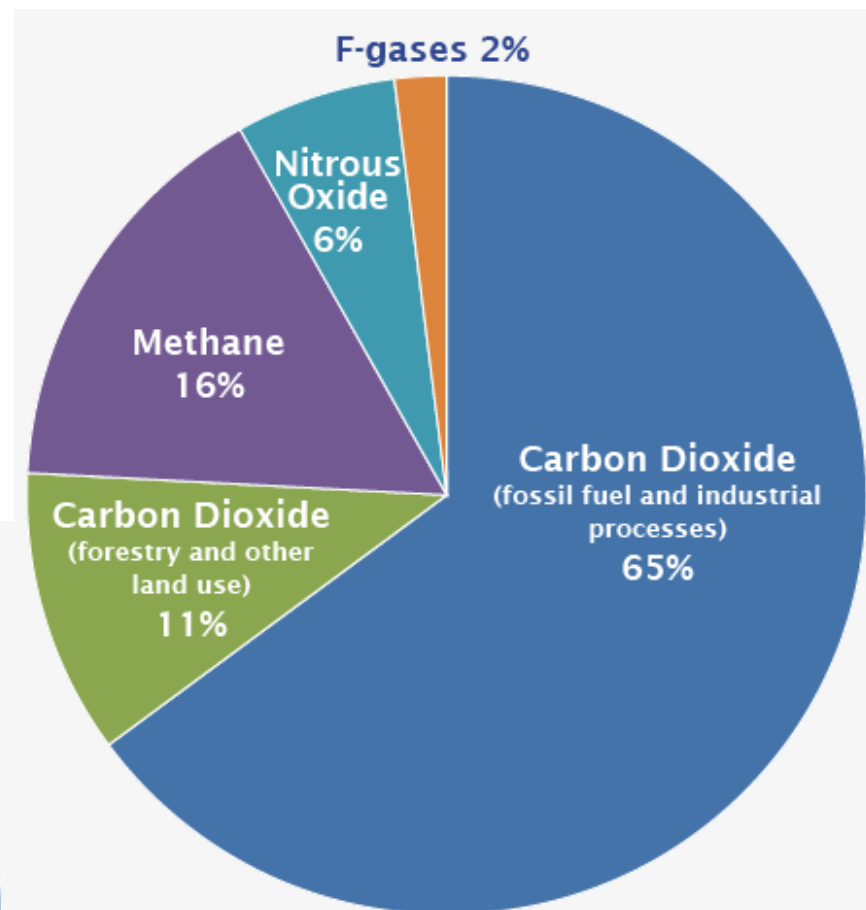
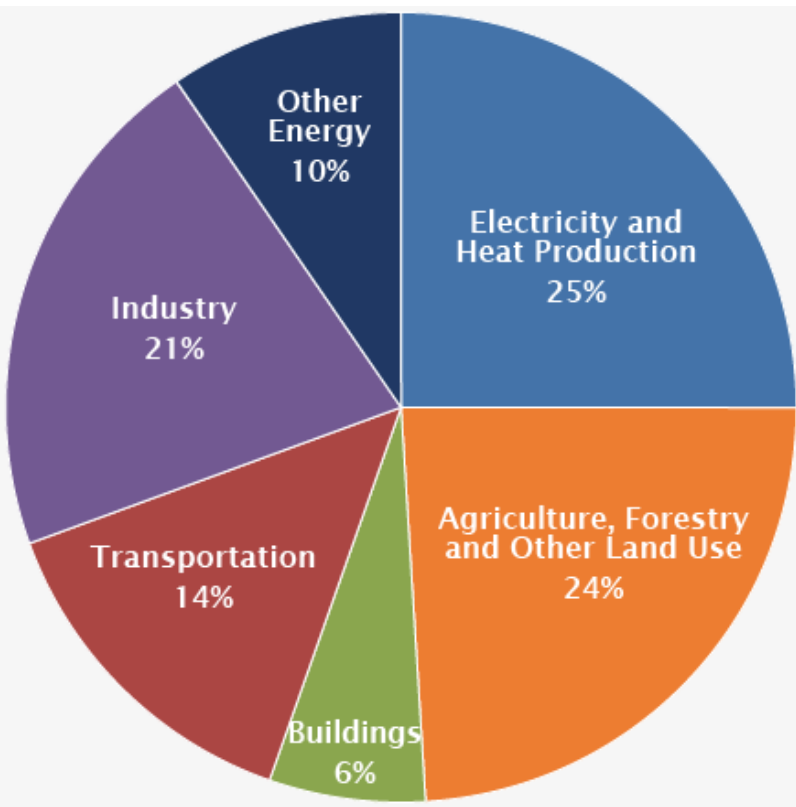


Africa
1.3 billion tonnes CO₂
3.7% global emissions

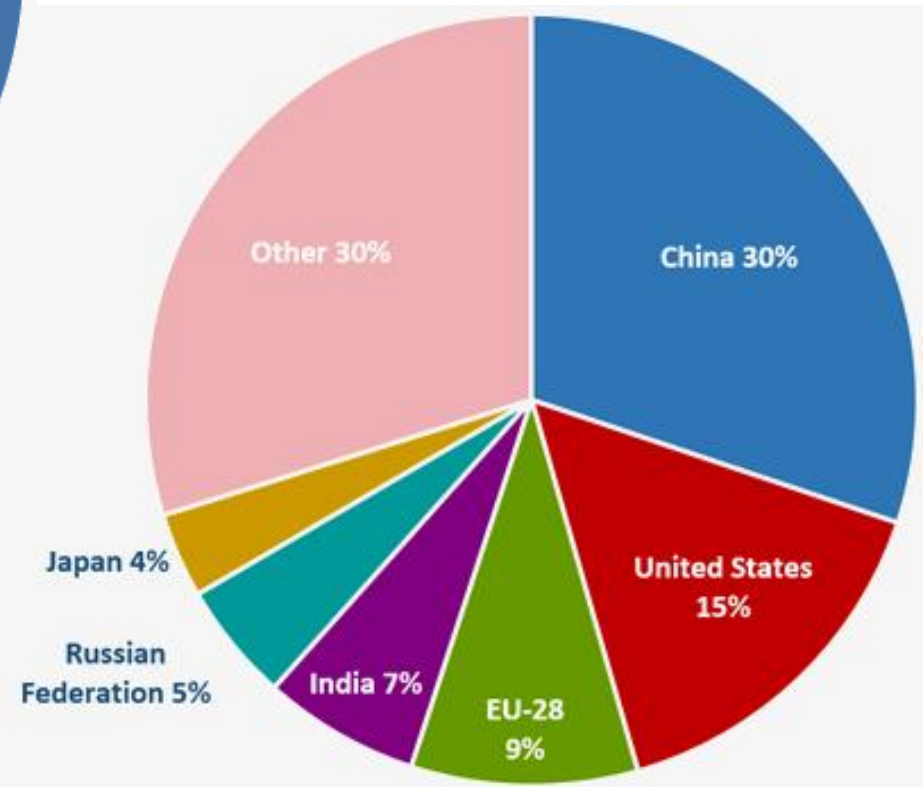
South America
1.1 billion tonnes CO₂
3.2% global emissions

Oceania
0.5 billion tonnes CO₂
1.3% global emissions

I gas serra ben rimescolati



Unito Green Office Coordinamento Cambiamenti climatici ©
Marco Bagliani marco.bagliani@unito.it
Tommaso Orusa tommaso.orusa@unito.it



Aerosol

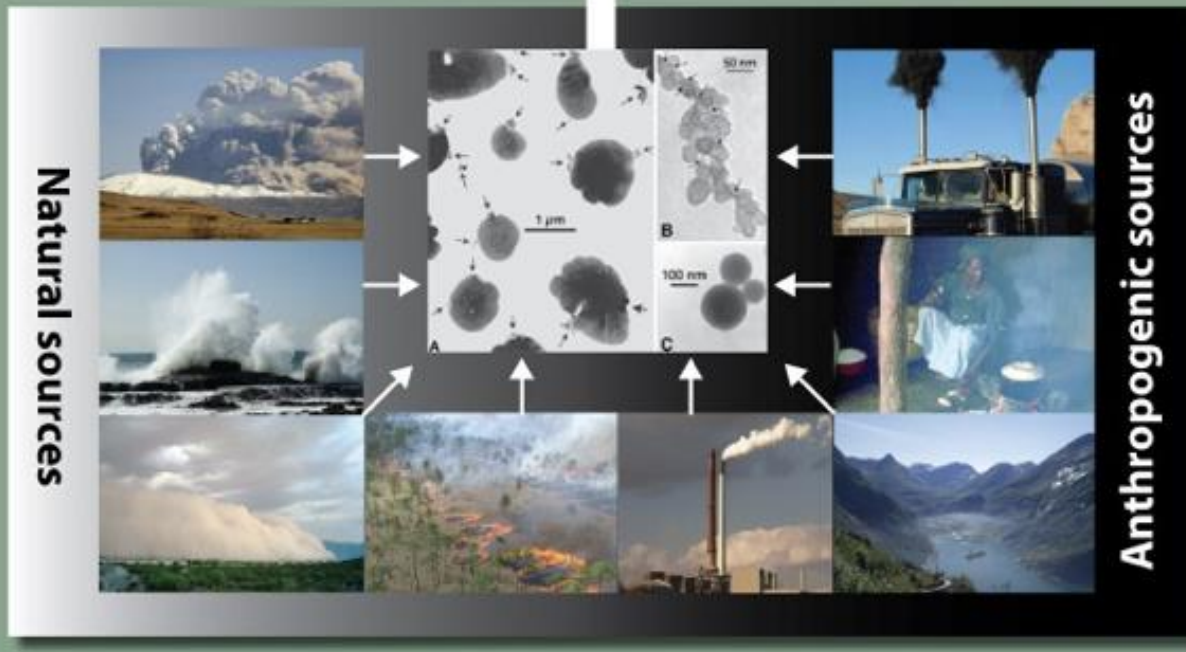


Sospensioni di particelle liquide, solide, o in fase mista caratterizzate da una composizione chimica e una distribuzione dimensionale estremamente variabile, da **$0.001 \mu\text{m} < d < 0.01 \mu\text{m}$**

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

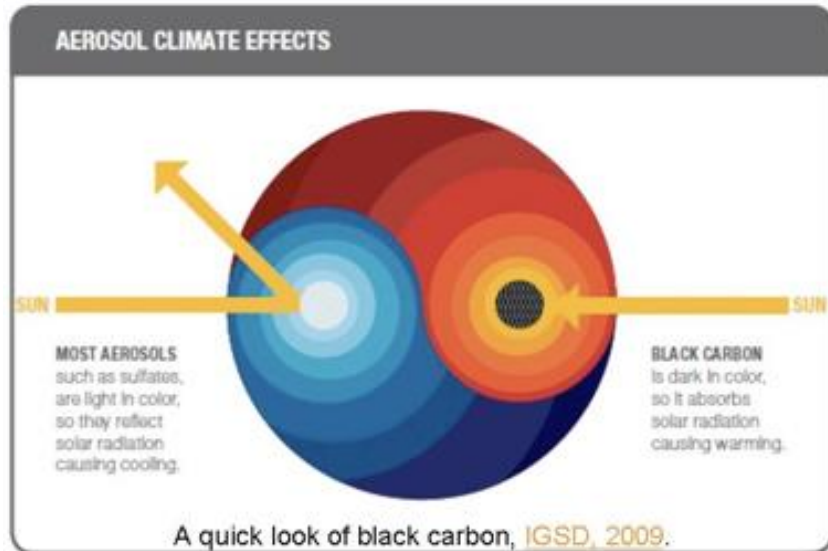
Le particelle di aerosol possono essere emesse direttamente in atmosfera (aerosol primari) o prodotti da gas precursori (aerosol secondari) in seguito a reazioni chimiche in atmosfera.

Possono essere di origine naturale o antropica



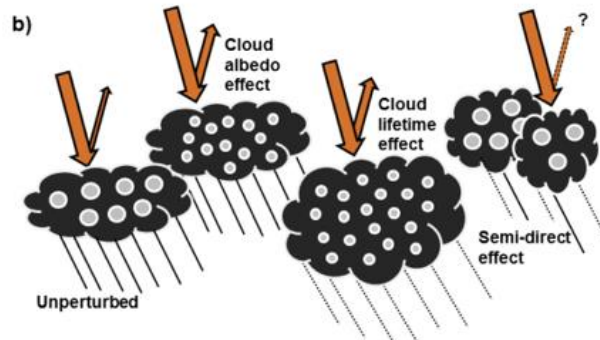
Aerosol – effetti sul clima

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

Uso del suolo

I cambiamenti nell'uso del suolo fanno variare la riflettività della superficie terrestre

Albedo: frazione della radiazione riflessa rispetto a quella incidente.

1 = riflessione totale

0,8-0,9 neve fresca

0,7-0,5 ghiaccio marino

0,25 prato

0,1 foresta

0,06 acqua oceanica

0 = assorbimento totale

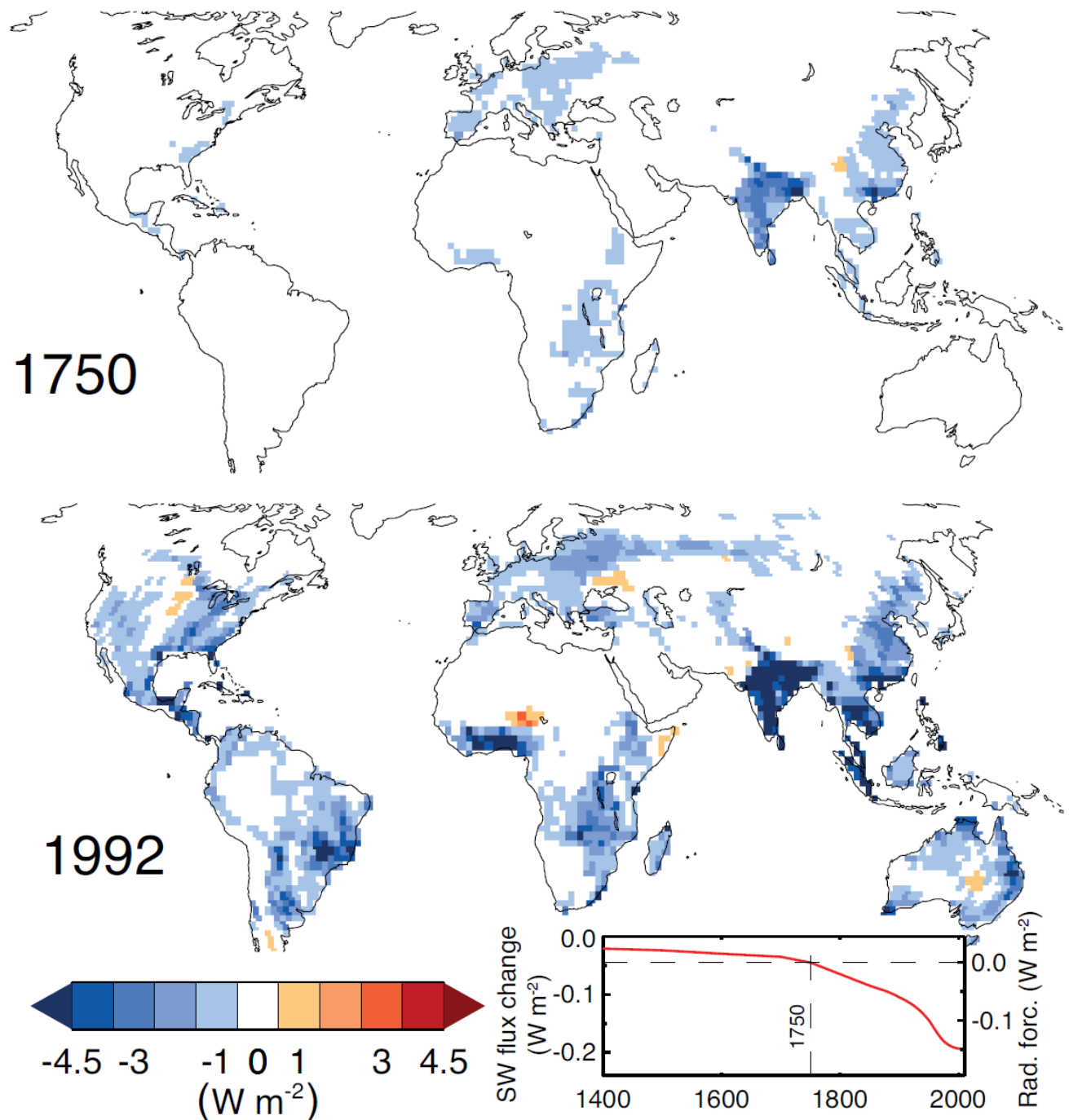


Uso del suolo

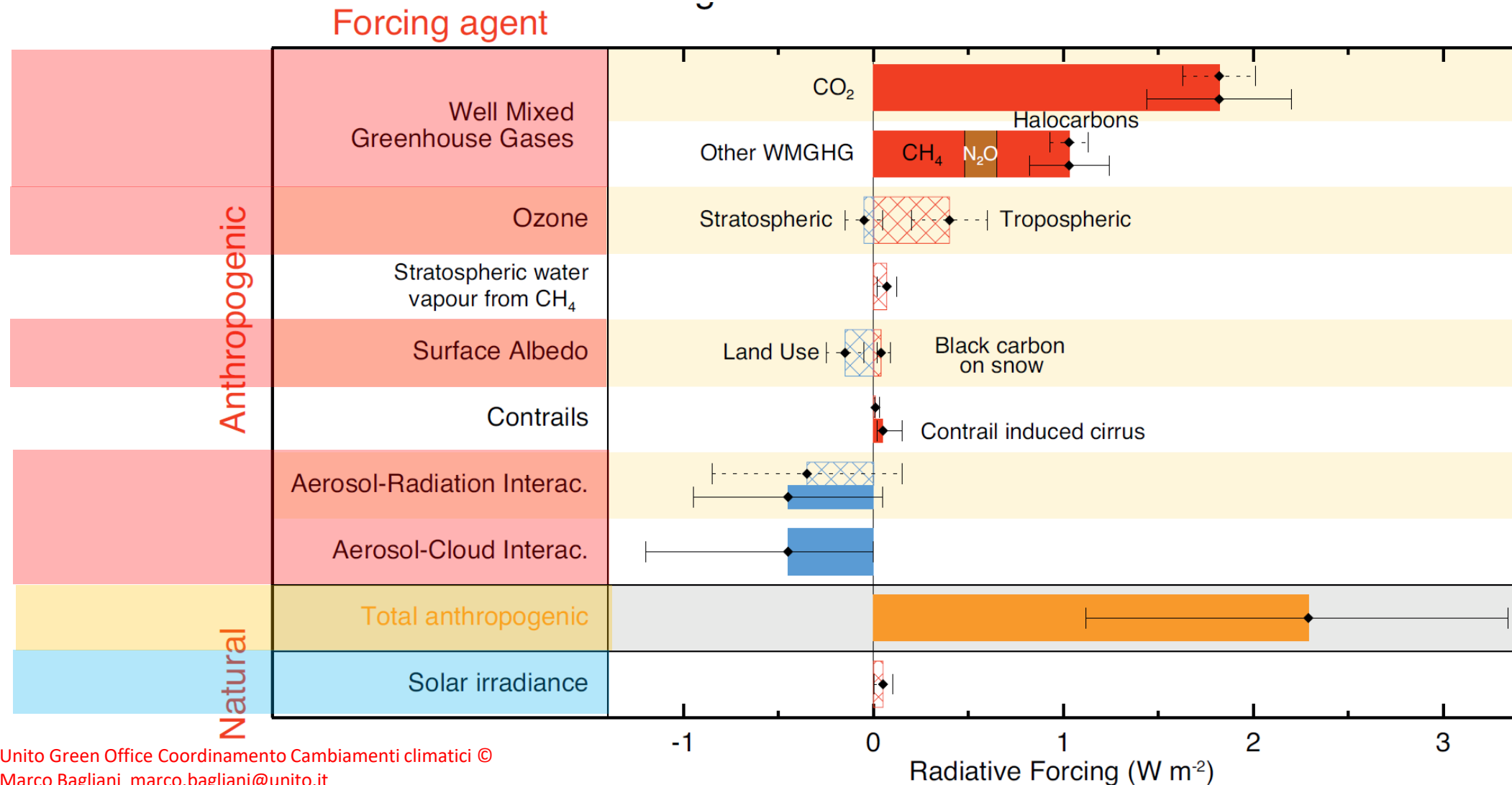
Processi di **deforestazione**, **riforestazione**, **desertificazione**, **coltivazione**, **cementificazione**, **urbanizzazione** possono alterare: l'albedo, il **bilancio idrico**, di **calore** e di **energia** su scala locale.

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

Unito Green Office Coordinamento Cambiamenti climatici ©
Marco Bagliani marco.bagliani@unito.it
Tommaso Orusa tommaso.orusa@unito.it



Il forzante radiativo totale dal 1750 ad oggi



La variabilità interna naturale

- **Interazioni tra le componenti del sistema climatico, circolazioni**
- **Teleconnessioni (ENSO, NAO, PDO)**
 - *modi di variabilità a scala sinottica (da centinaia a migliaia di km) a bassa, media e alta frequenza, espressione di parte della variabilità meteorologica e climatica interna; possono cambiare per effetto dell'innalzamento della temperatura globale.*
- **Meccanismi di retroazione**

La criosfera

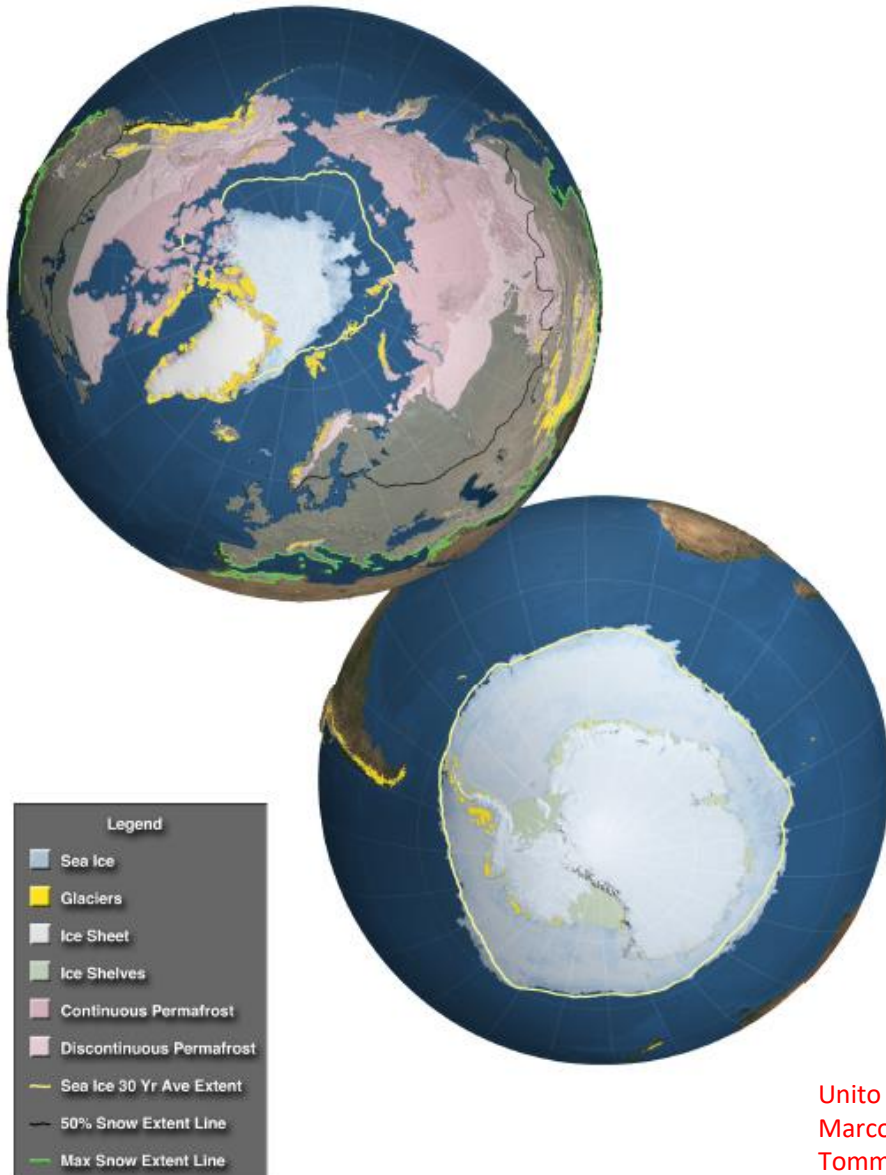
Calotte glaciali dell'Antartide e della Groenlandia

Ghiacciai montani

Ghiaccio marino (banchisa)

Permafrost

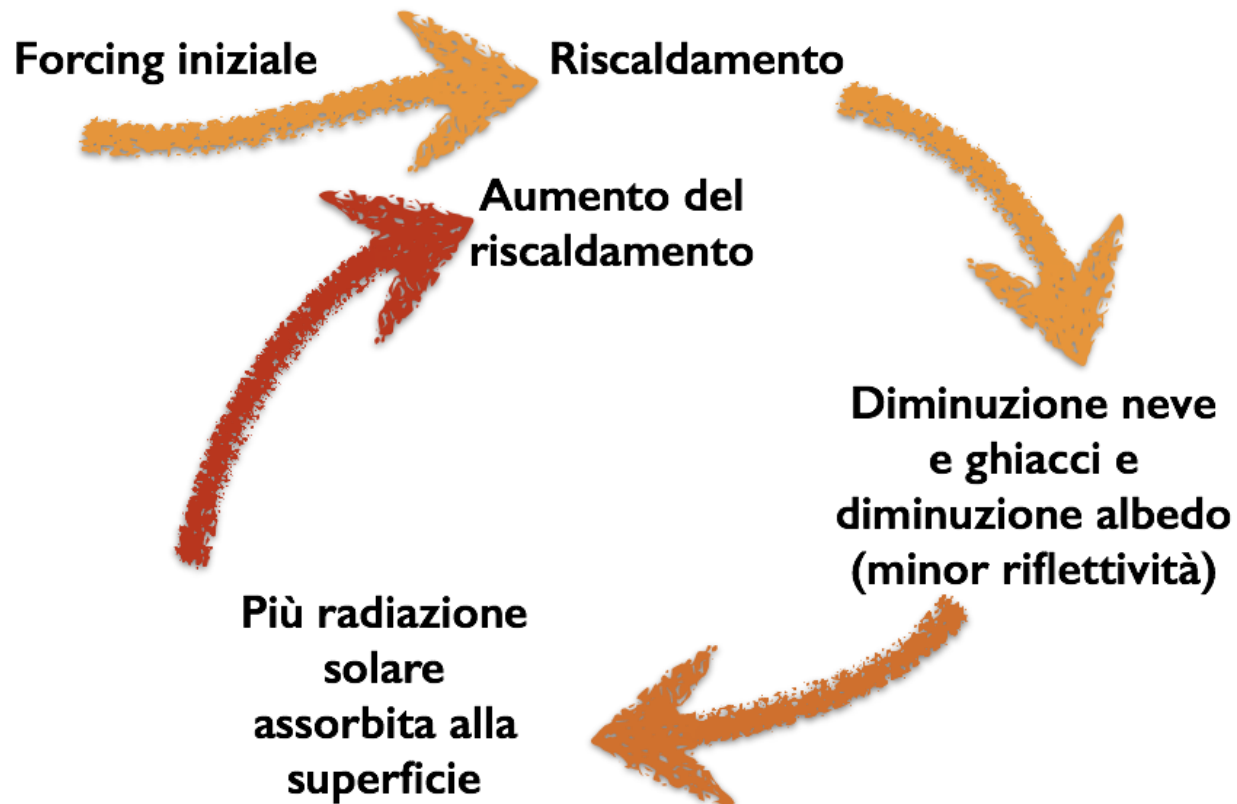
Neve (terreno coperto da neve)



1- La retroazione ghiaccio-albedo

Ghiaccio-Albedo

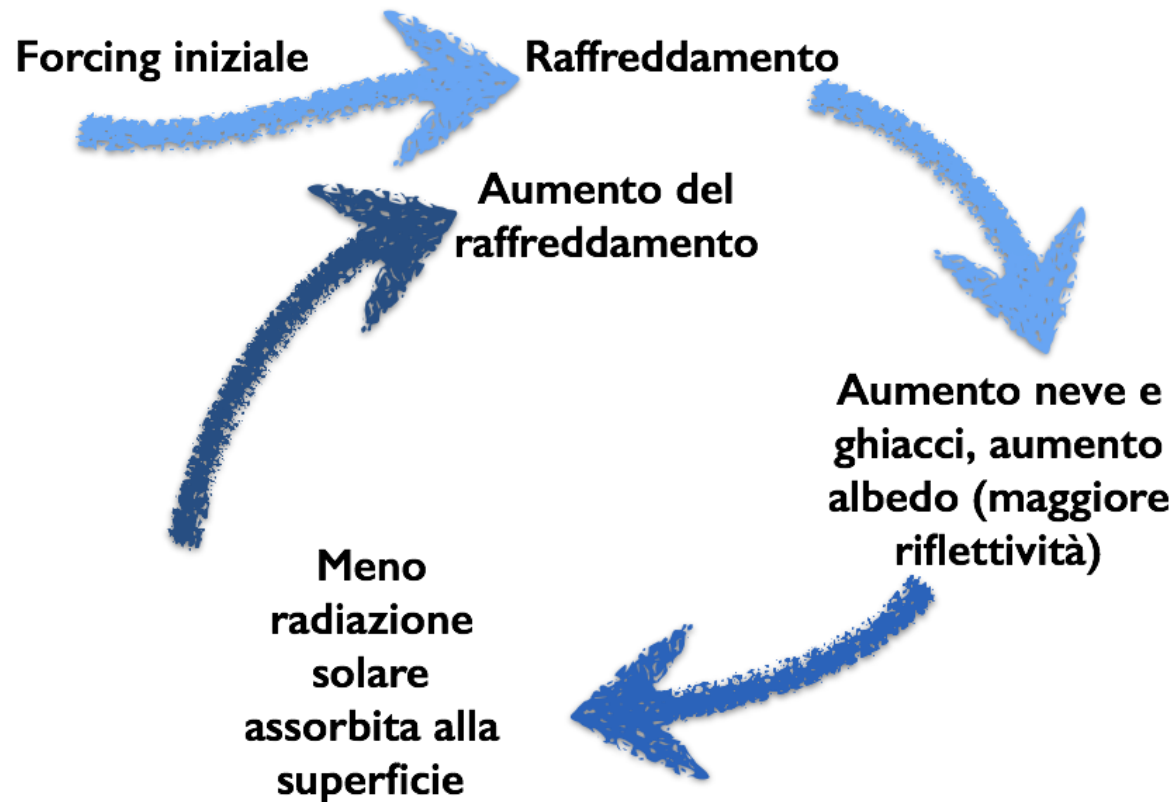
Feedback Positivo



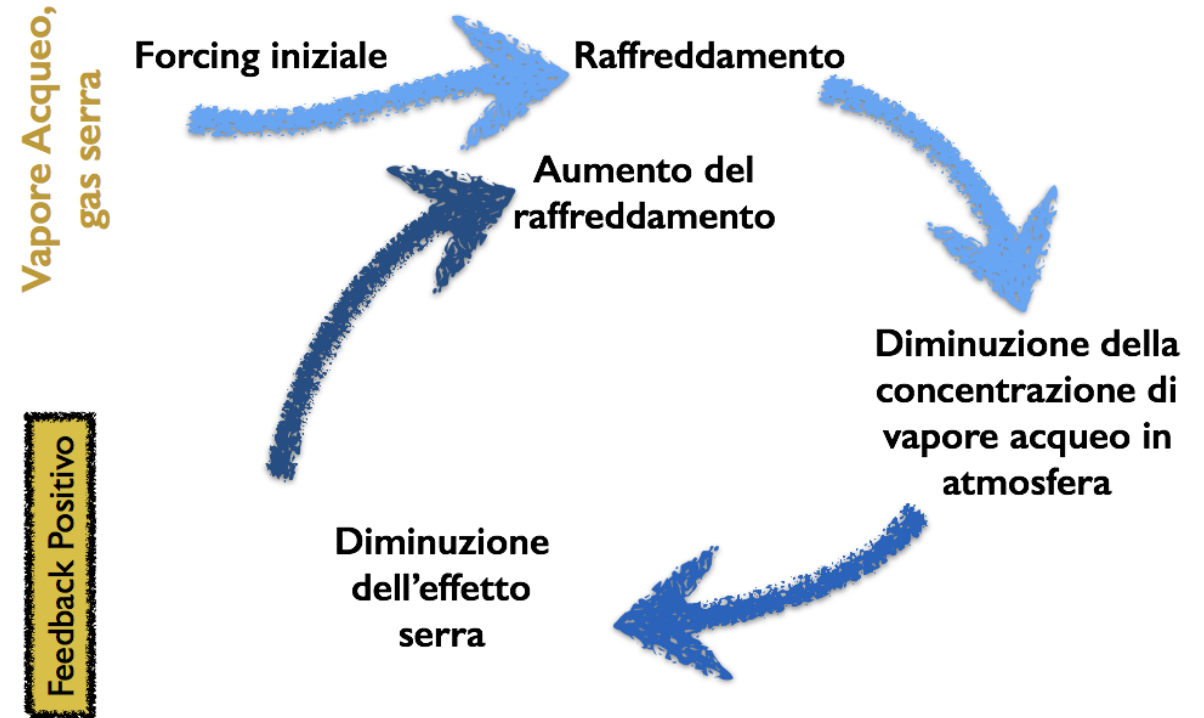
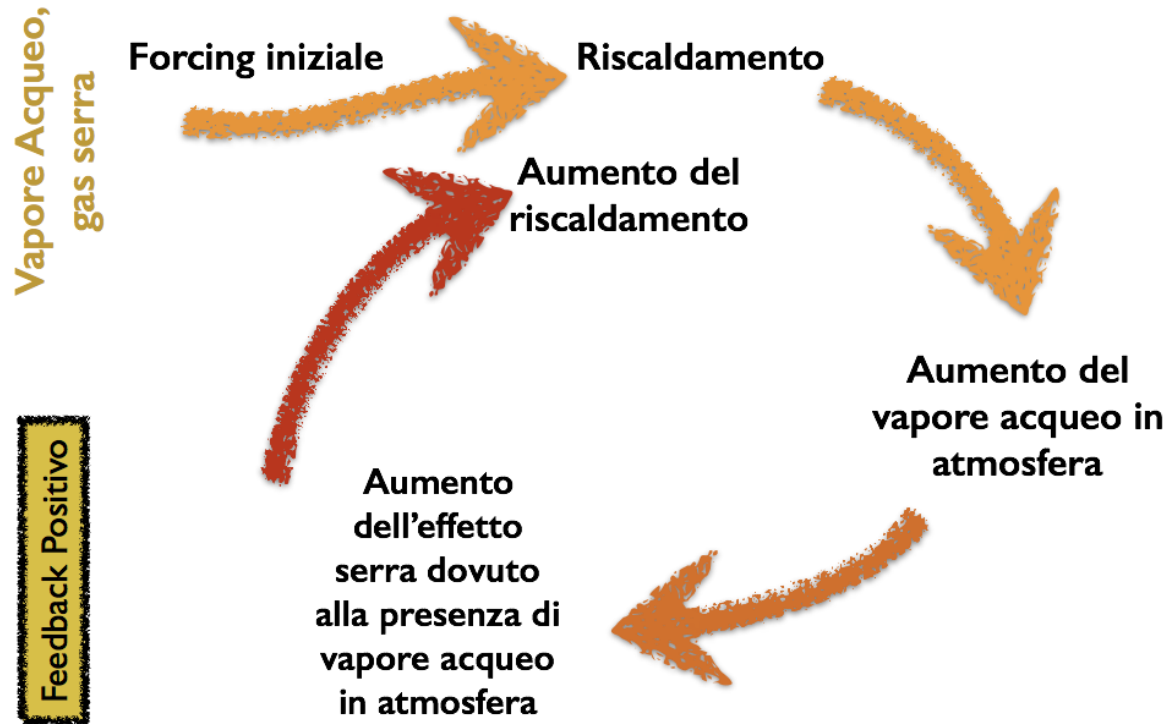
1- La retroazione ghiaccio-albedo

Ghiaccio-Albedo

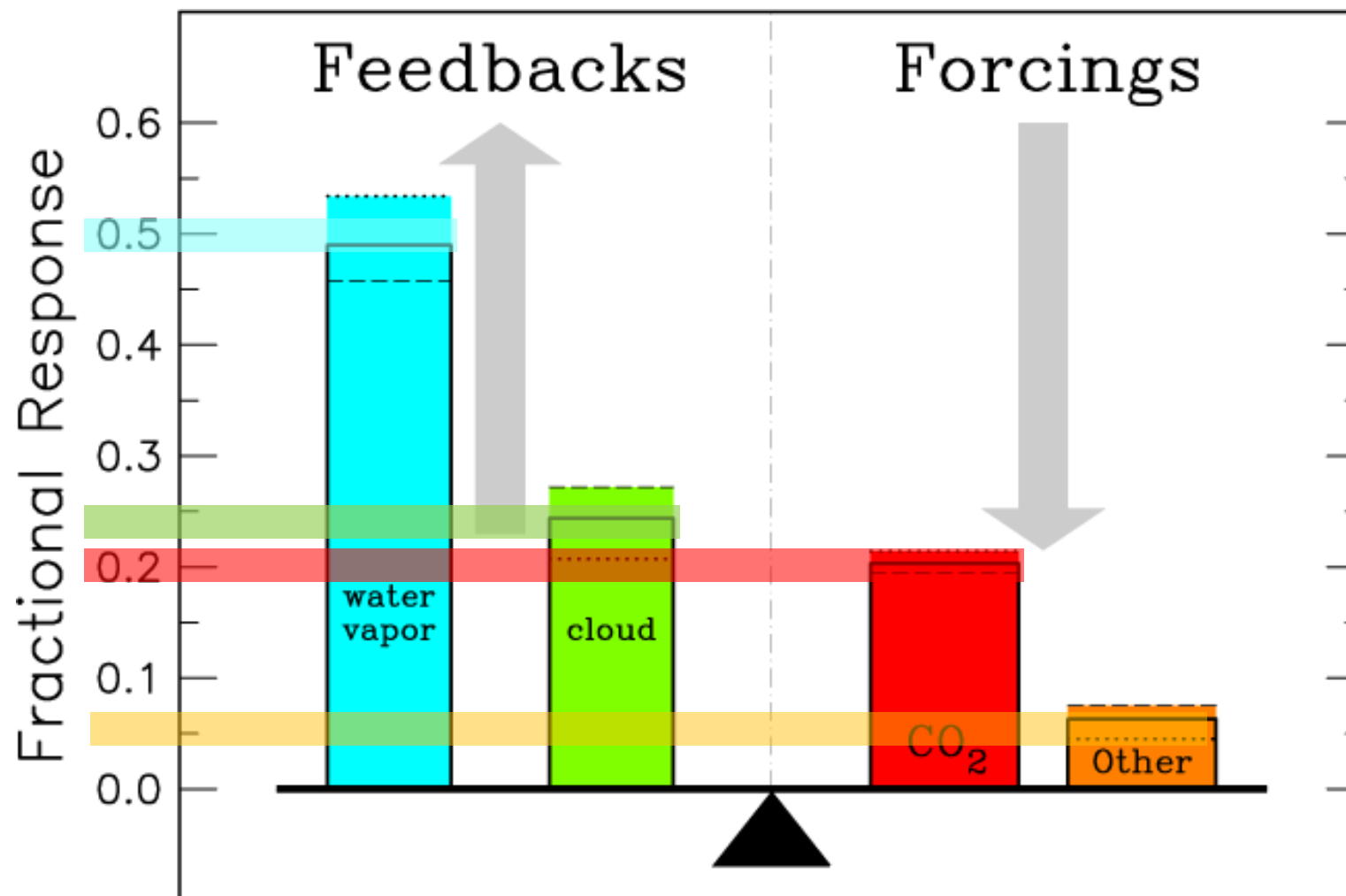
Feedback Positivo



2- La retroazione del vapore acqueo

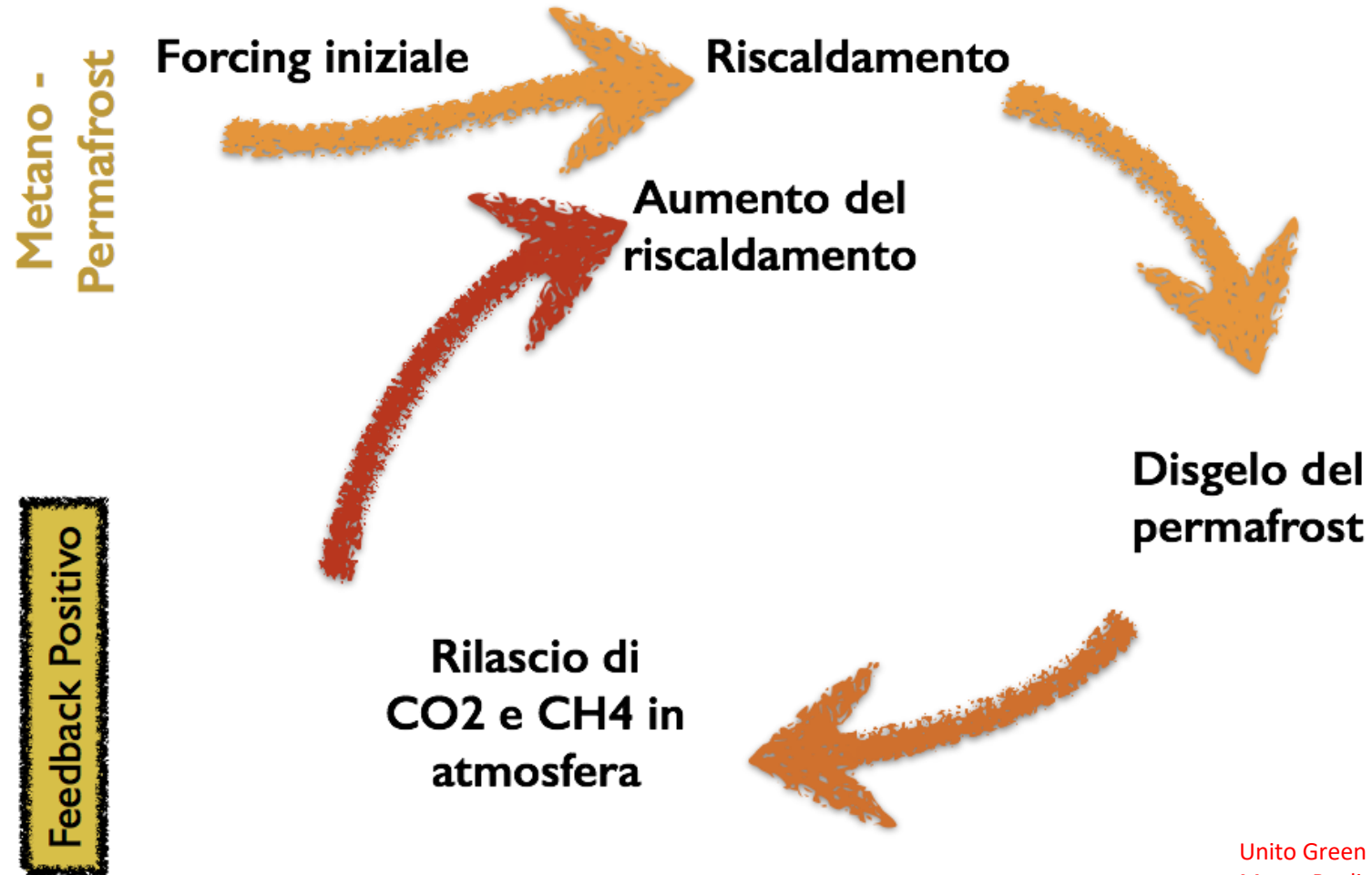


L'effetto serra in percentuale

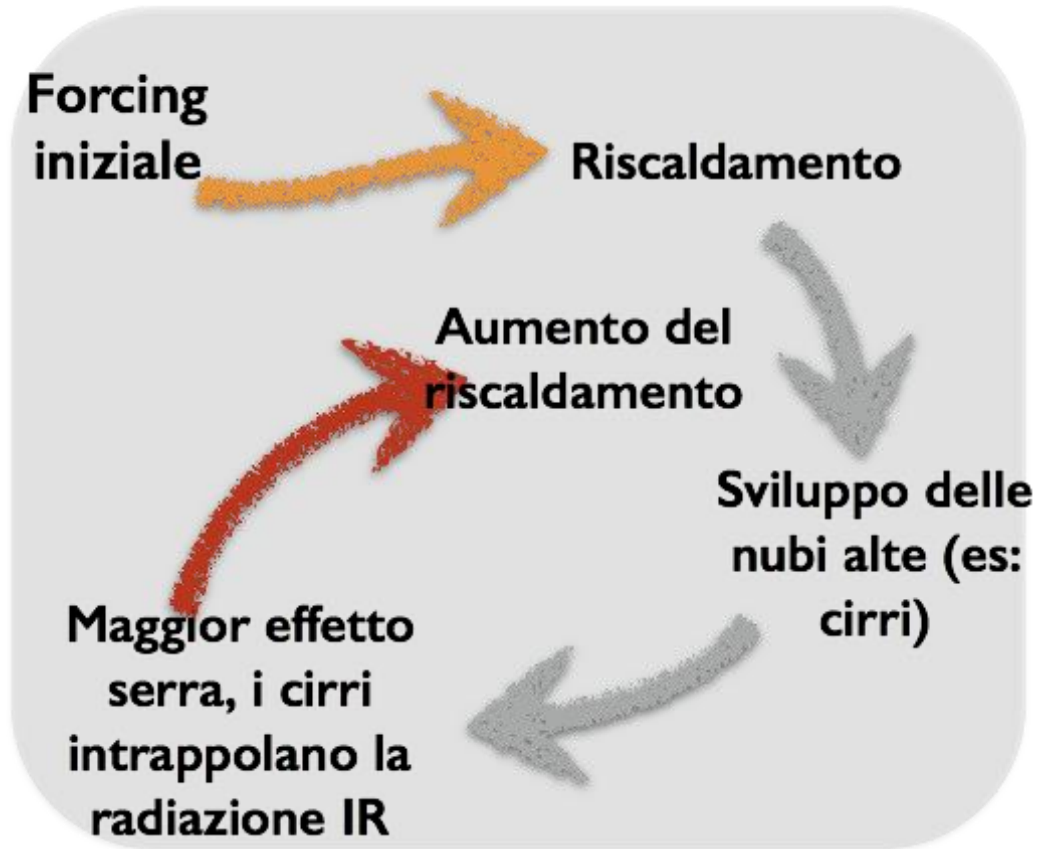


Fonte Lacis et al. (2010)

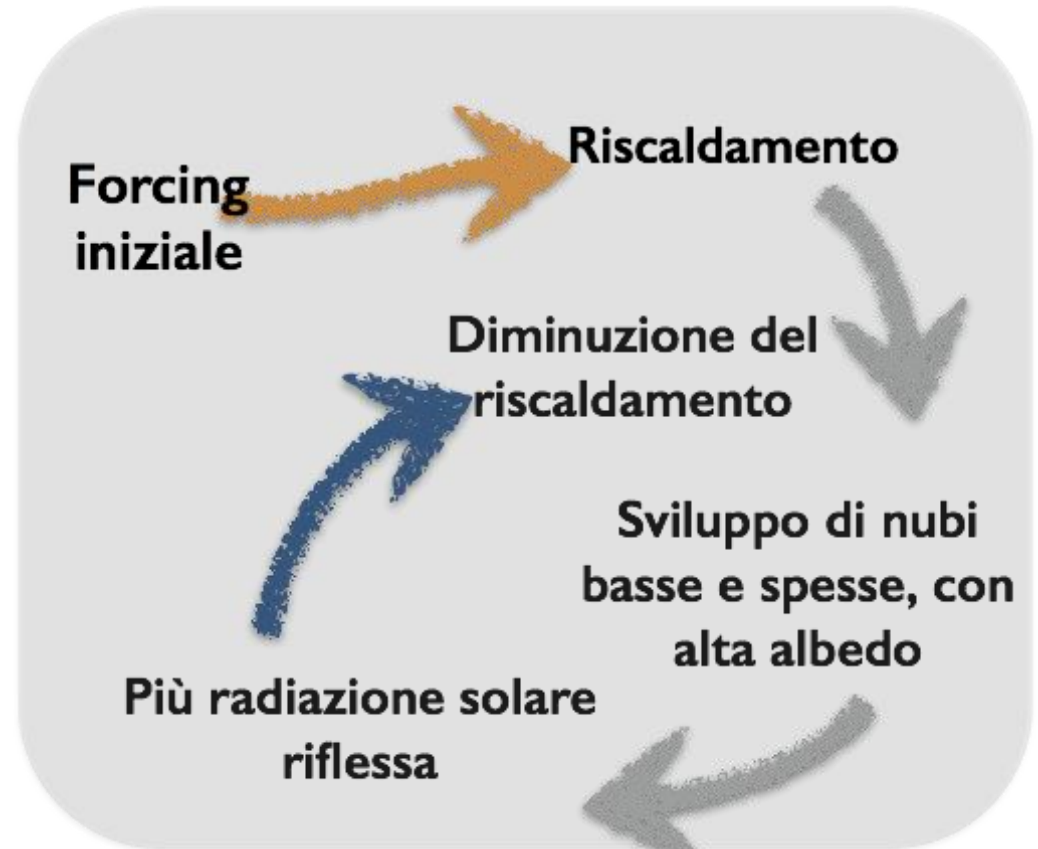
2- La retroazione del metano-permafrost



3- Le retroazioni legate alle nubi

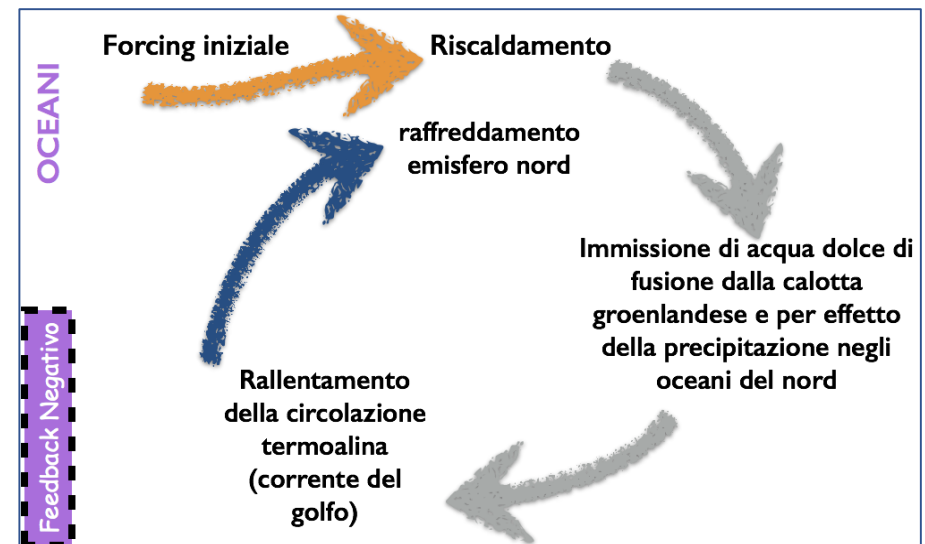
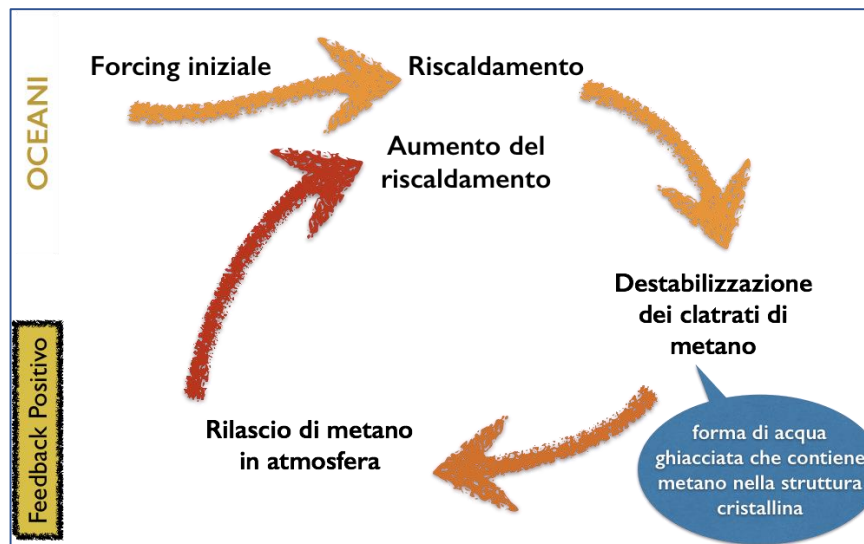
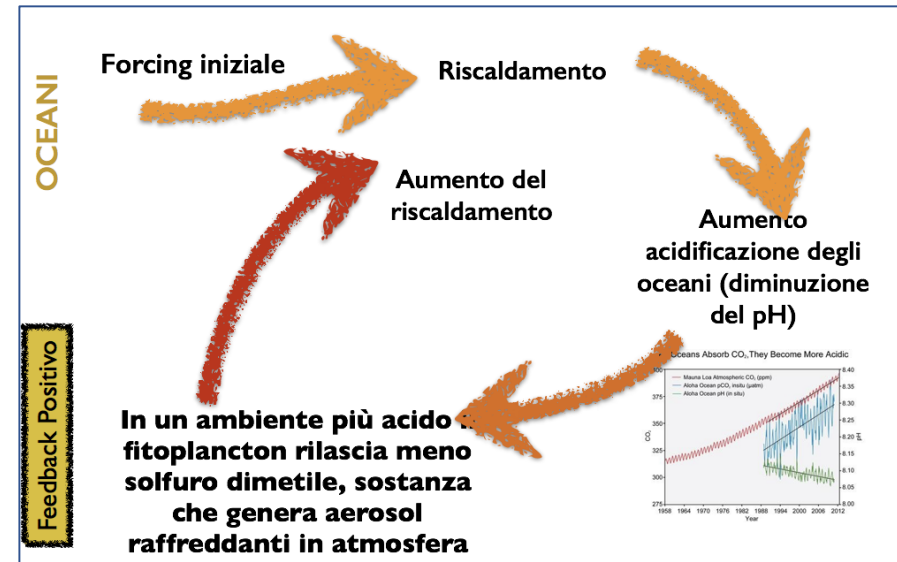
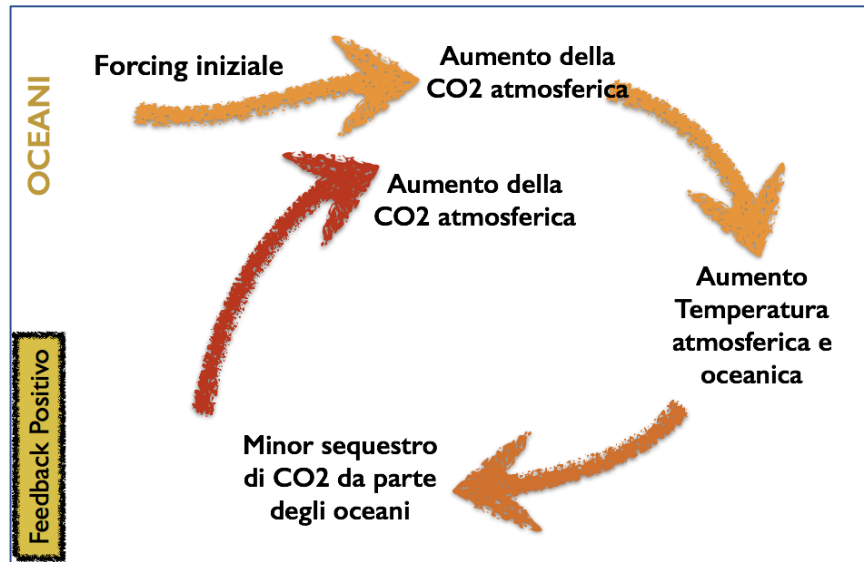


Feedback positivo

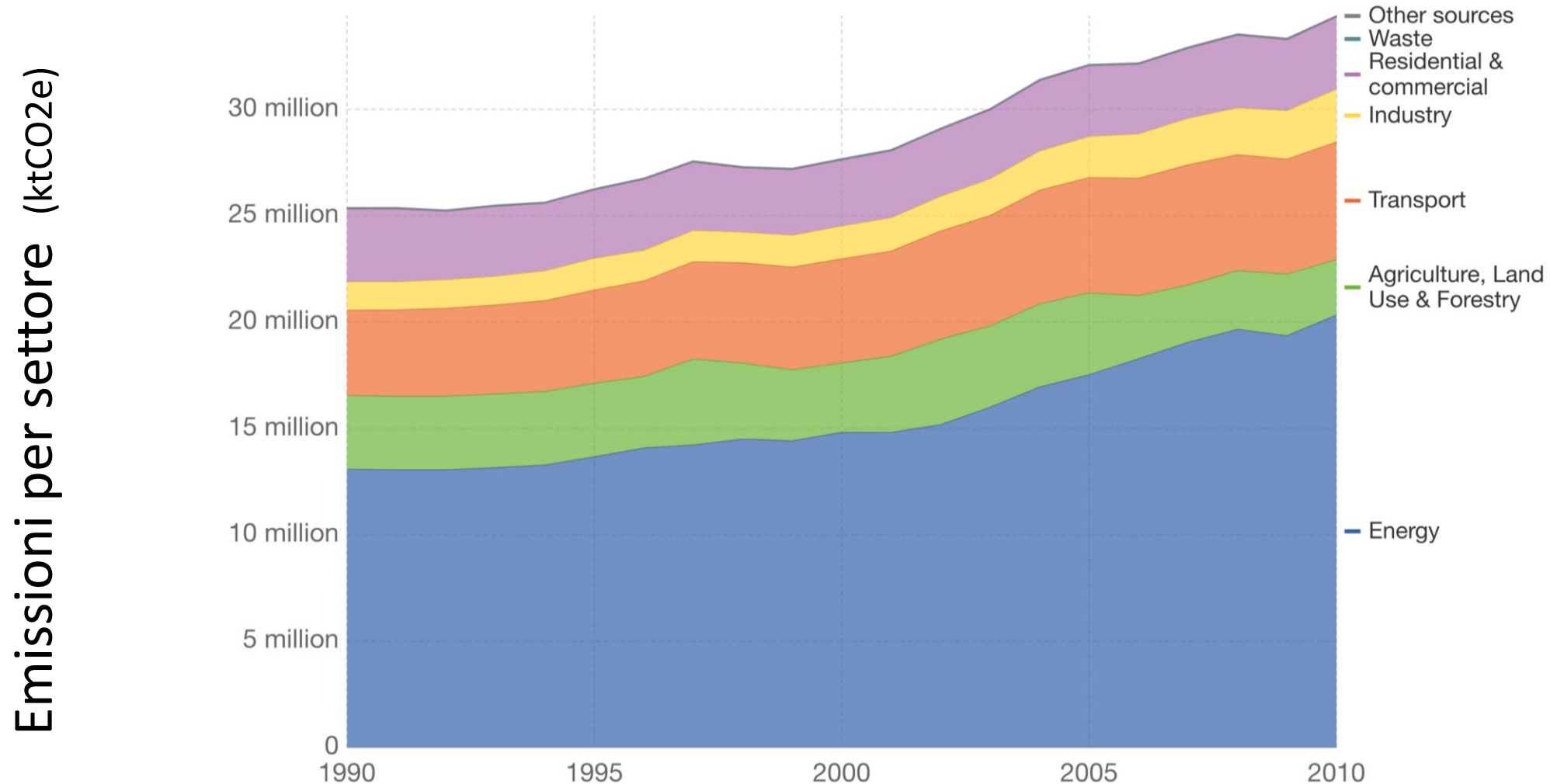


Feedback negativo

4- Altre retroazioni legate agli oceani

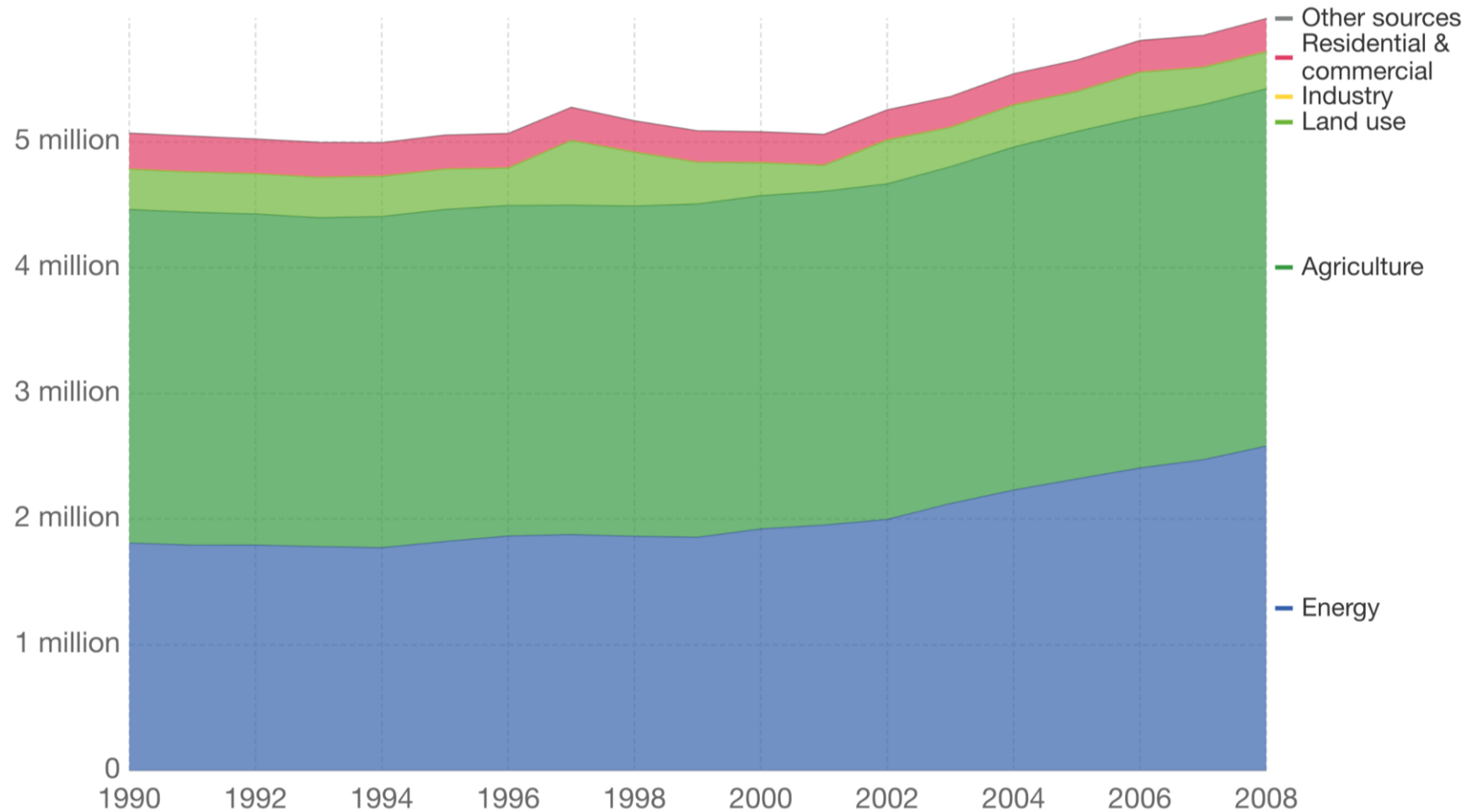


Biossido di carbonio: quali settori emettono?



Metano : quali settori emettono?

Emissioni per settore (ktCO₂e)



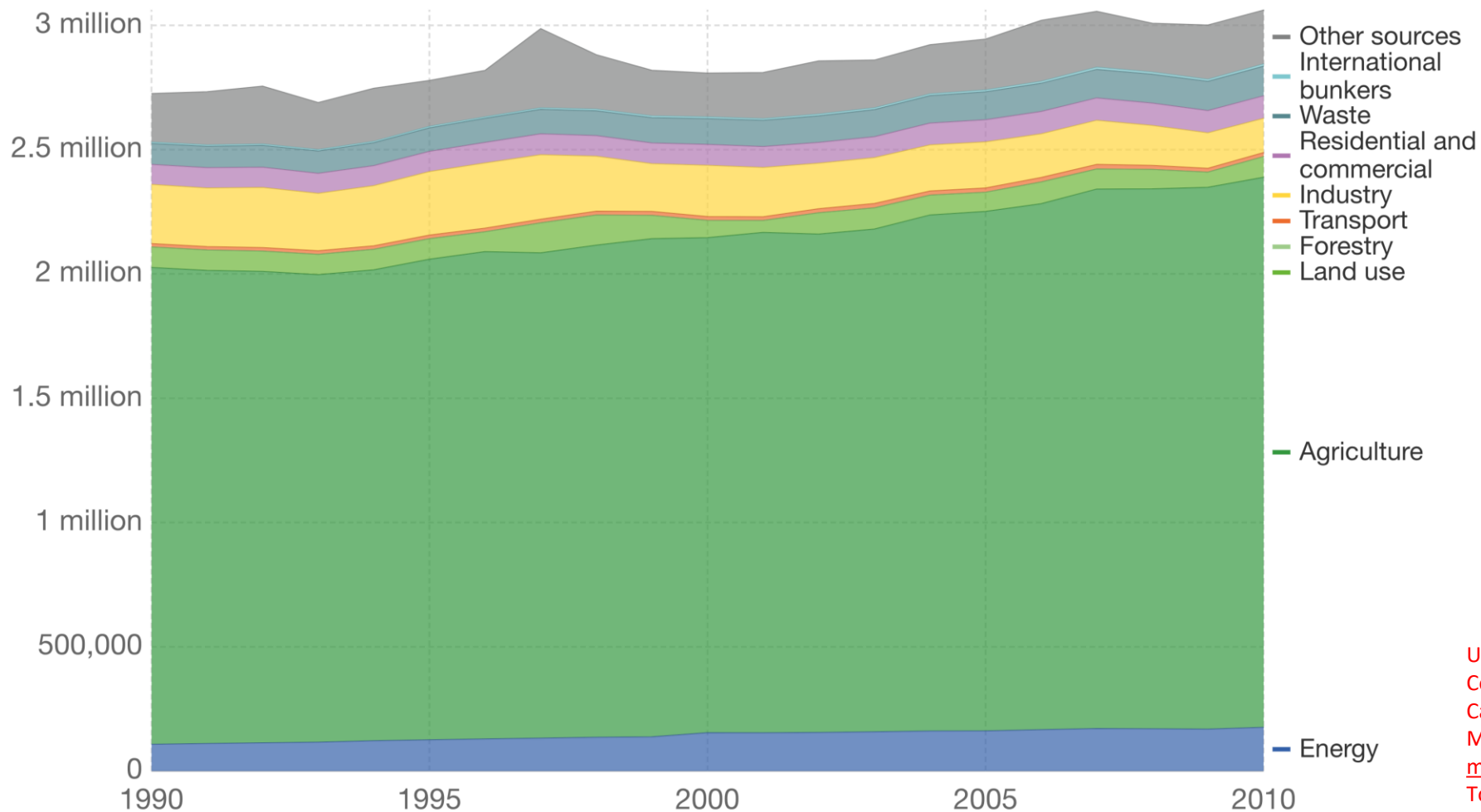
Source: UN Food and Agricultural Organization (FAO)

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY-SA

Unito Green Office
Coordinamento
Cambiamenti climatici ©
Marco Bagliani
marco.bagliani@unito.it
Tommaso Orusa
tommaso.orusa@unito.it

Protossido di azoto : quali settori emettono?

Emissioni per settore (ktCO₂e)

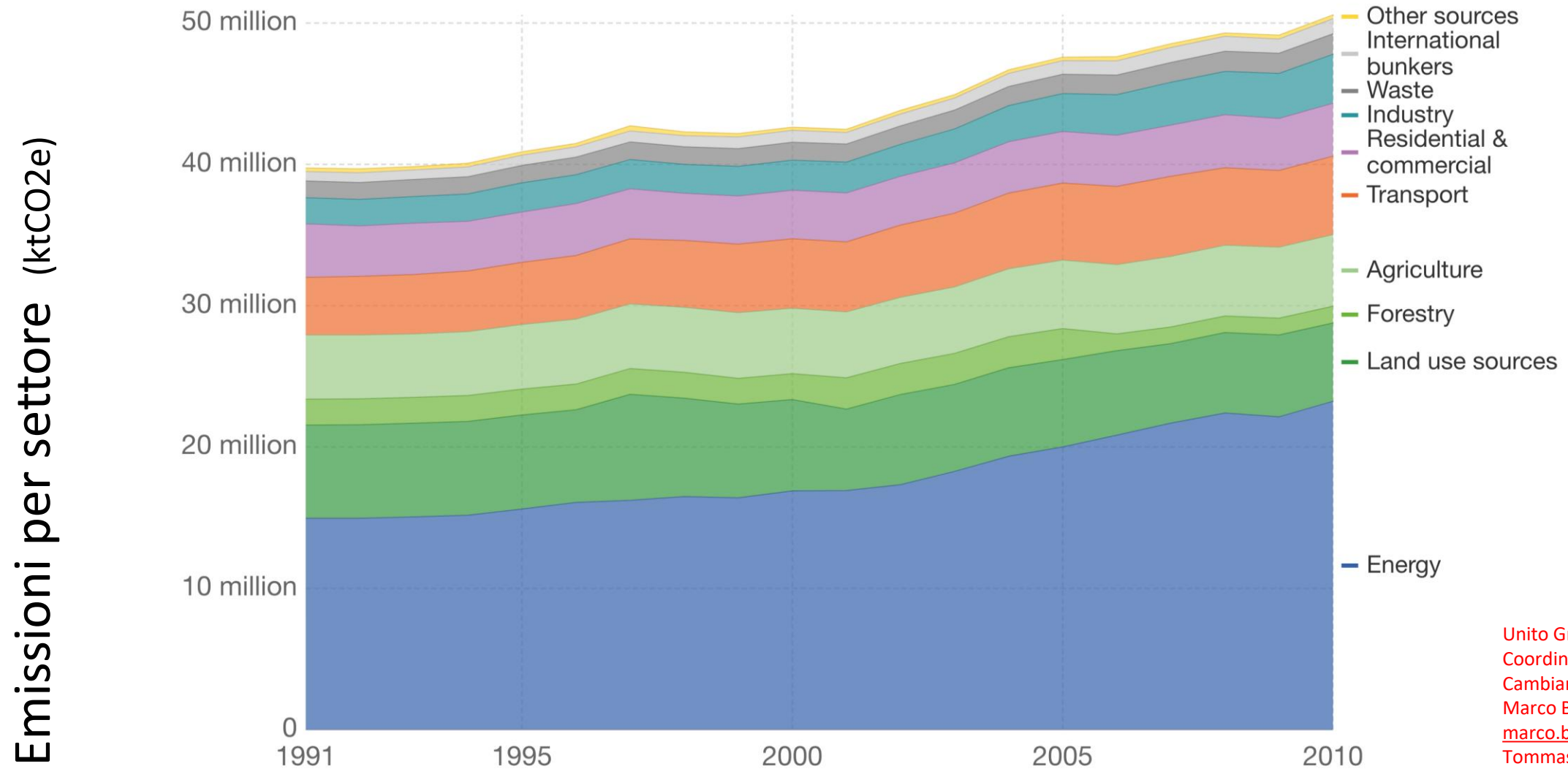


Source: UN Food and Agricultural Organization (FAO)

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY-SA

Unito Green Office
Coordinamento
Cambiamenti climatici ©
Marco Bagliani
marco.bagliani@unito.it
Tommaso Orusa
tommaso.orusa@unito.it

Tutti i gas serra: quali settori emettono?



Source: UN Food and Agricultural Organization (FAO)

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY-SA

Unito Green Office
Coordinamento
Cambiamenti climatici ©
Marco Bagliani
marco.bagliani@unito.it
Tommaso Orusa
tommaso.orusa@unito.it