

Laurea in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio

CAMBIAMENTI CLIMATICI E ADATTAMENTI NEGLI ECOSISTEMI E NELLE SOCIETÀ

Docenti

Salvatore Pappalardo

Daniele Codato

Alessandro Ceppi (Politecnico di Milano)

Supporto didattico

Edoardo Crescini

- 6 CFU
- 48 ore
- 102 ore di studio individuale

Outline

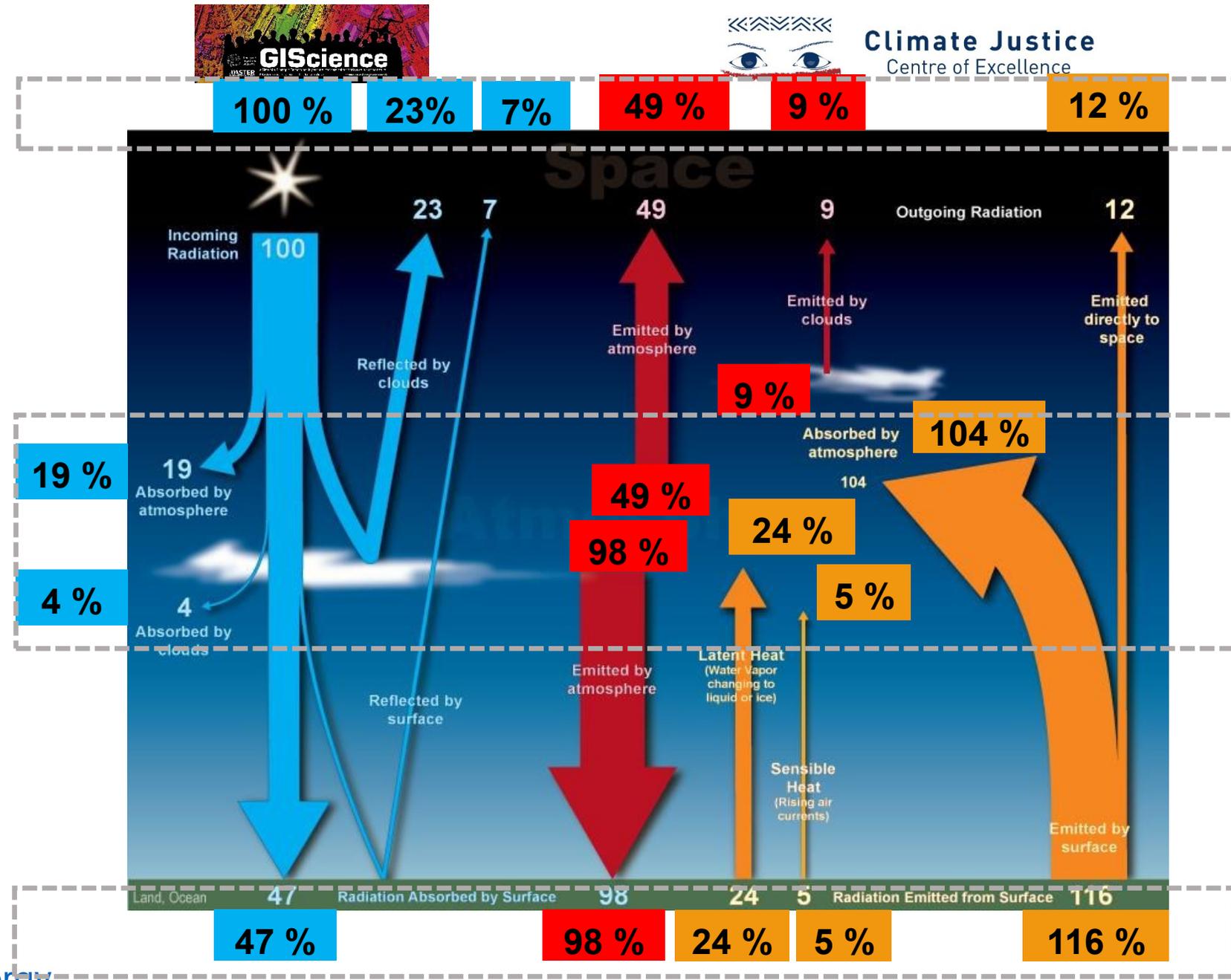
- Forzanti climatici
- Forzanti endogeni, esogeni
- Mitigazione e adattamento

In 100% | out -100%

Bilancio energetico terrestre

In 156% | out -156%

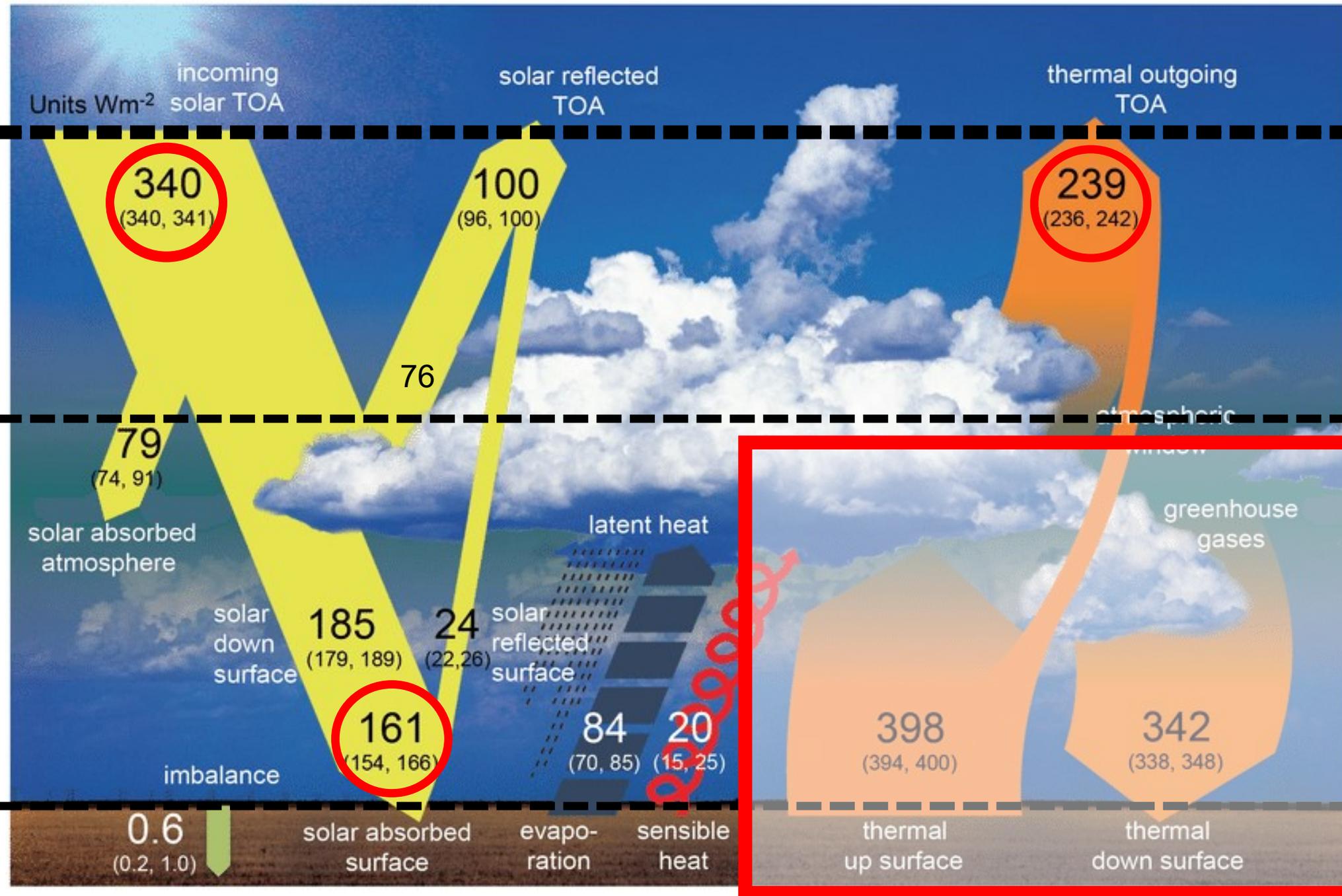
In 145% | out -145%

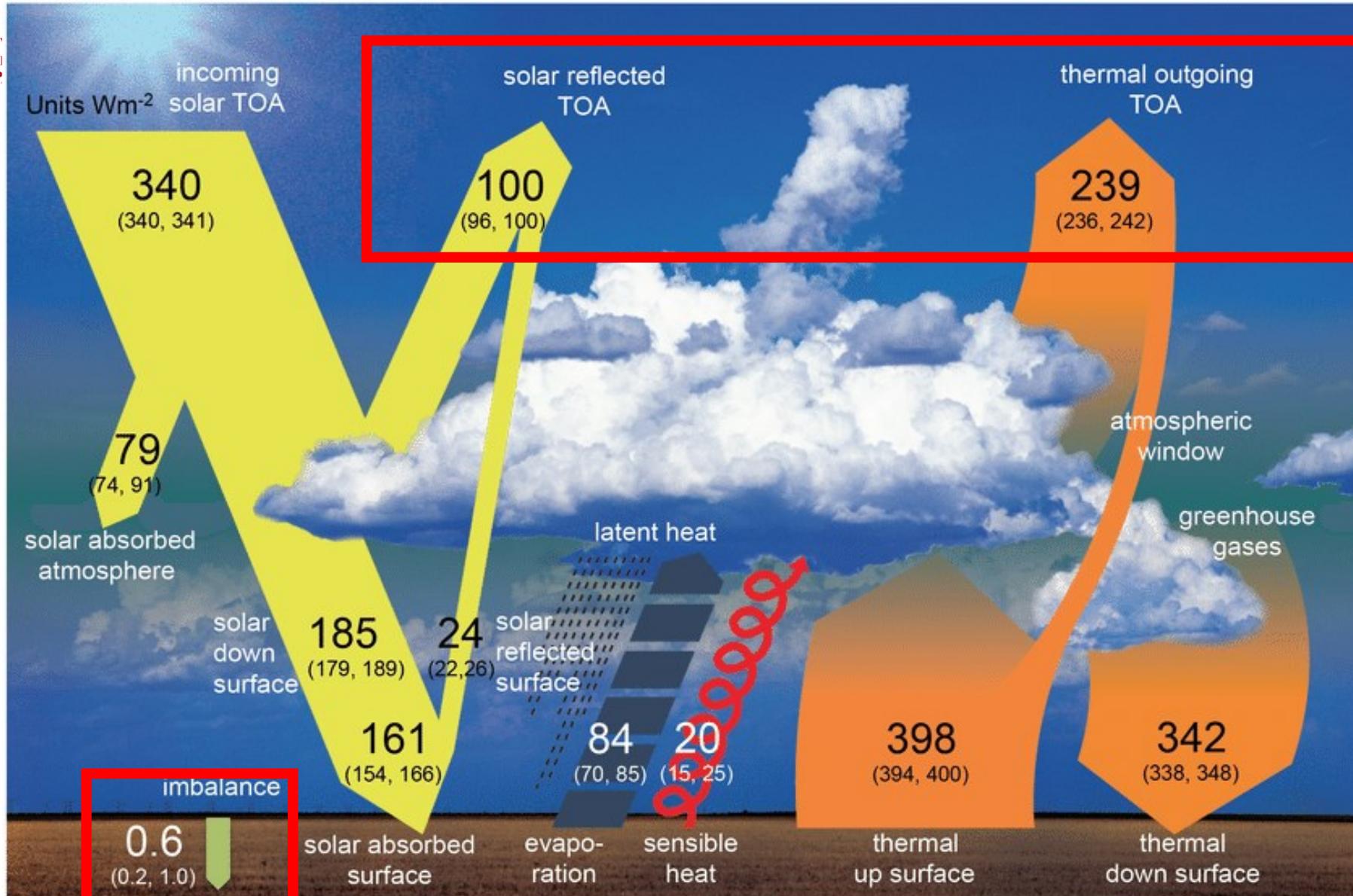


Bilancio energetico terrestre

Middle

Surface





Hartmann, D.L., A.M.G. Klein Tank, M. Rusticucci, L.V. Alexander, S. Brönnimann, Y. Charabi, F.J. Dentener, E.J. Dlugokencky, D.R. Easterling, A. Kaplan, B.J. Soden, P.W. Thorne, M. Wild and P.M. Zhai, 2013: Observations: Atmosphere and Surface. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K.

Wild, M., D. Folini, C. Schär, N. Loeb, E. G. Dutton, and G. König-Langlo, 2013: The global energy balance from a surface perspective. Clim. Dyn., 40, 3107-3134.

Bilancio energetico terrestre: *in a nutshell*

Quantità media di energia al **TOA** (Top Of Atmosphere) è circa **340 Watt m⁻²**
Sulla superficie terrestre (terre e oceani) arrivano **161 Watt m⁻²**

Tale energia (centrata **sulla luce visibile**) viene:

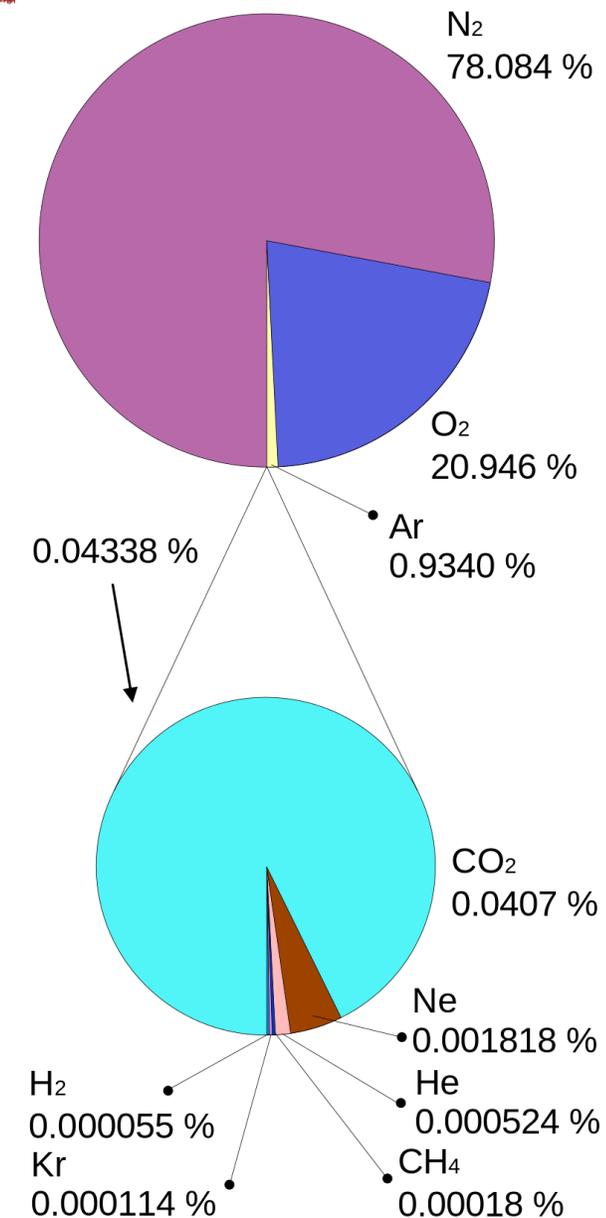
- **riflessa: 30%** del totale (da atmosfera 27%, nubi (3%))
- **assorbita: 70%** del totale, atmosfera (19%), nubi (4%), superficie terrestre (47%)

L'energia assorbita viene riemessa come radiazione infrarossa

(Bagliani, 2019)

Composizione chimica dell'atmosfera

Constituent	Percent by Volume	Concentration in Parts Per Million (PPM)
Nitrogen (N ₂)	78.084	780,840.0
Oxygen (O ₂)	20.946	209,460.0
Argon (Ar)	0.934	9,340.0
Carbon dioxide (CO ₂)	0.036	360.0
Neon (Ne)	0.00182	18.2
Helium (He)	0.000524	5.24
Methane (CH ₄)	0.00015	1.5
Krypton (Kr)	0.000114	1.14
Hydrogen (H ₂)	0.00005	0.5



https://www.ux1.eiu.edu/~cfjps/1400/atmos_origin.html

Variabilità del clima terrestre*

- Sistema terra in equilibrio dinamico (*steady state*)
- **Perturbazioni che possono alterare il bilancio energia: forzanti radiativi**
- Provenienza rispetto al sistema Terra: esogeni (esterni) endogeni (interni)
- Causalità: naturali o antropogenici

*Variazione dello stato medio (*SD, frequency*) che descrivono il clima su tutte le scale temporali e spaziali (IPCC)

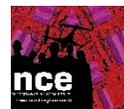
Evoluzione e cambi del clima sono legati ai *climate forcing* (forzanti radiativi)

Radiative forcing - Forzante radiativo

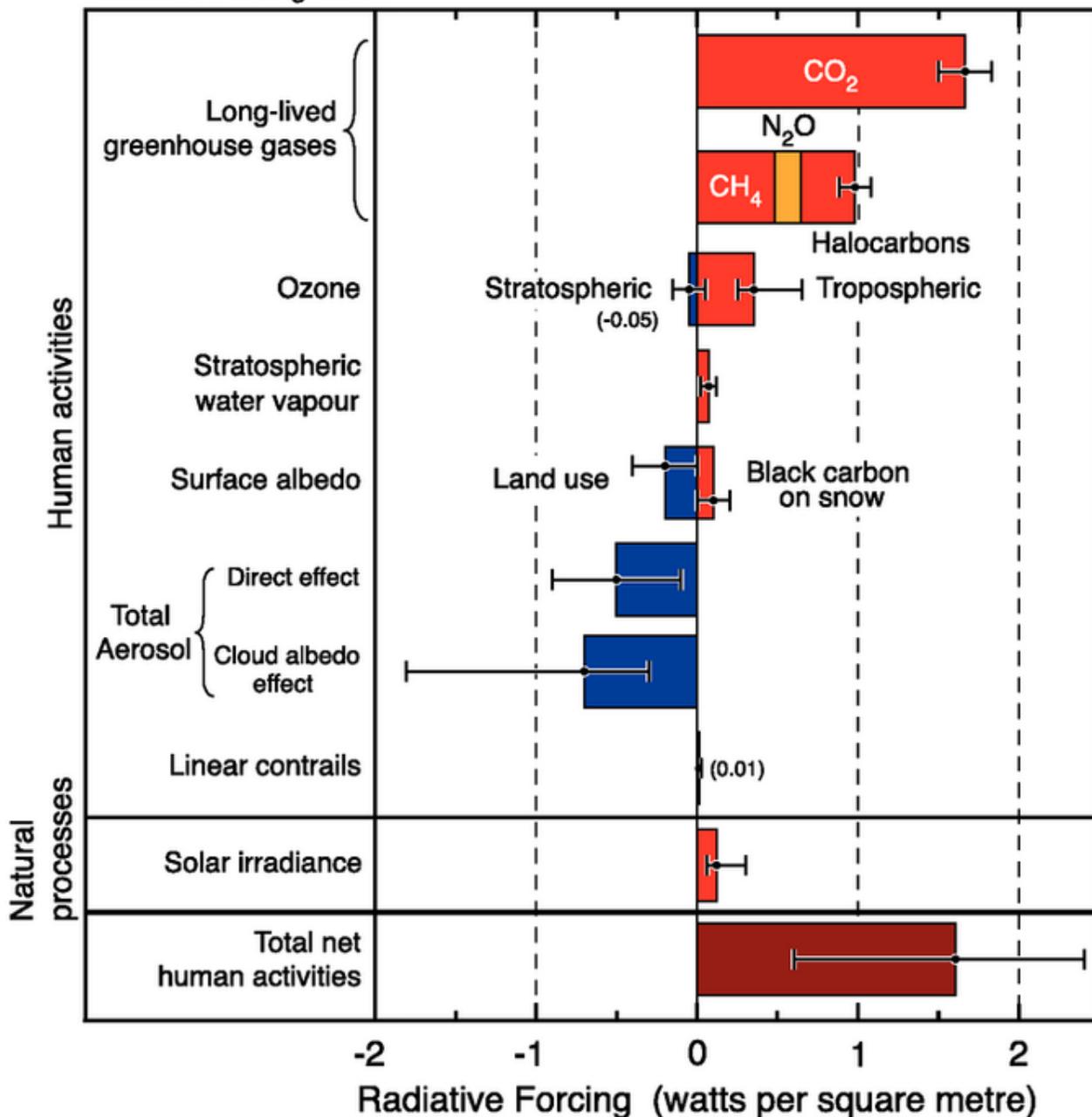
“[...] il **cambiamento netto nel bilancio energetico** del sistema Terra causato da un qualche tipo di perturbazione . Di solito è espresso in **Watt m²**, **mediati su un determinato periodo di tempo**, e quantifica lo squilibrio energetico che si verifica quando avviene la perturbazione” (IPCC, AR5, Myhre et al., 2013, p. 664).

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** (Bagliani, 2019)

Valori positivi del *radiative forcing* indicano alterazioni che portano ad un riscaldamento del sistema Terra, mentre **valori negativi** ad un raffreddamento.



Radiative Forcing Terms

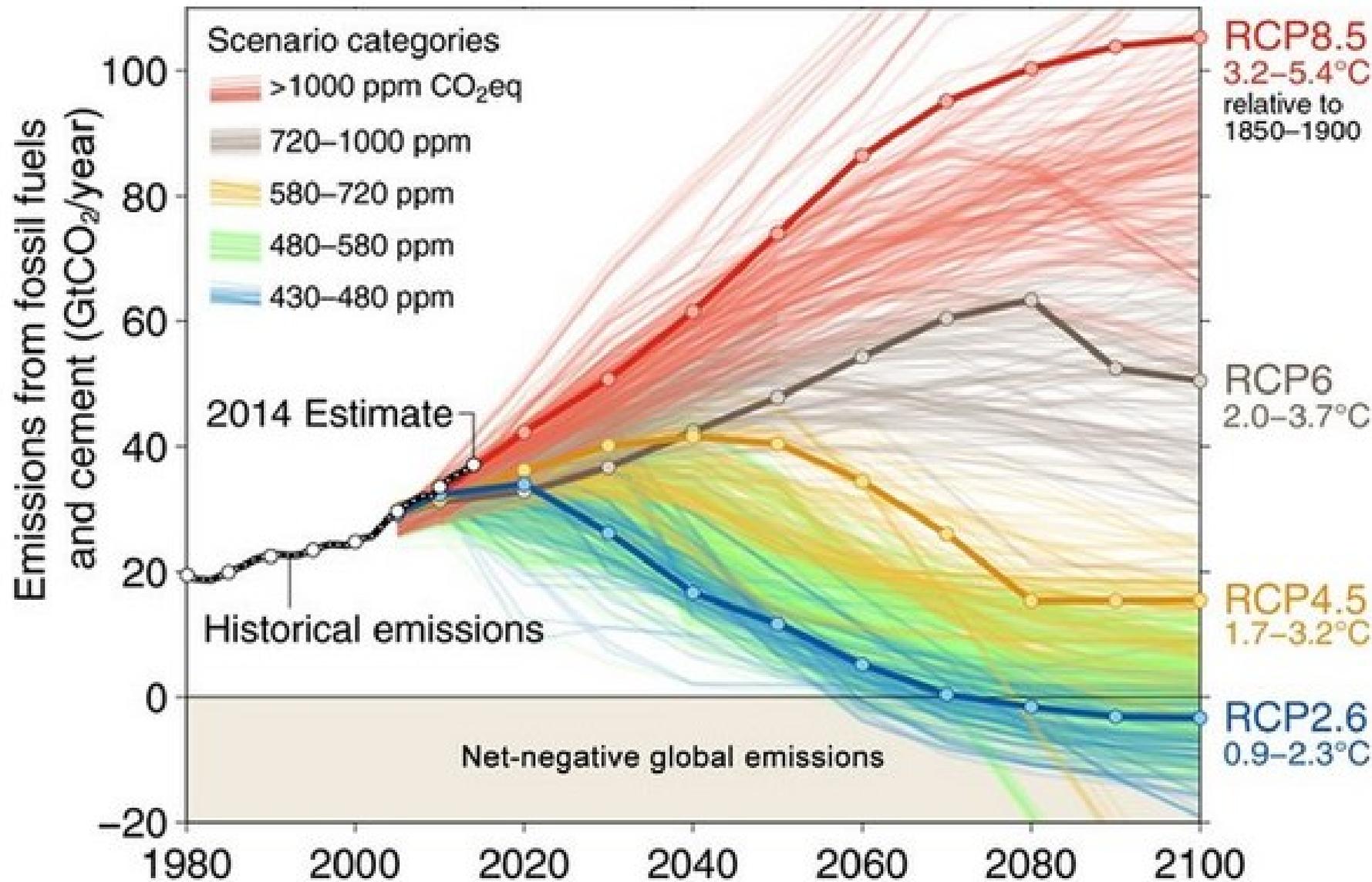


Climate Radiative Forcing

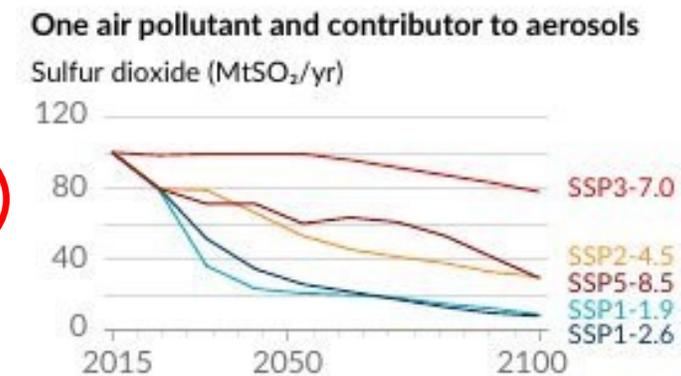
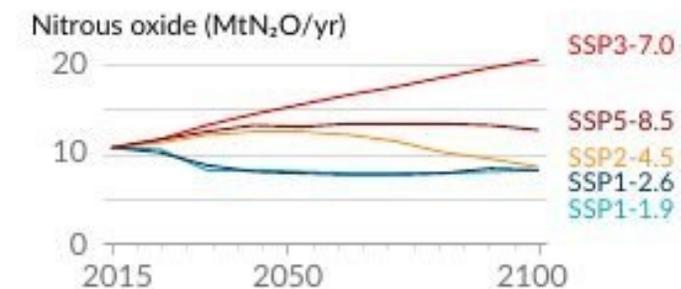
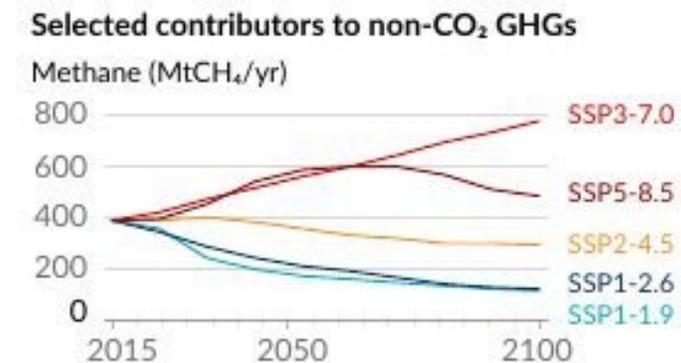
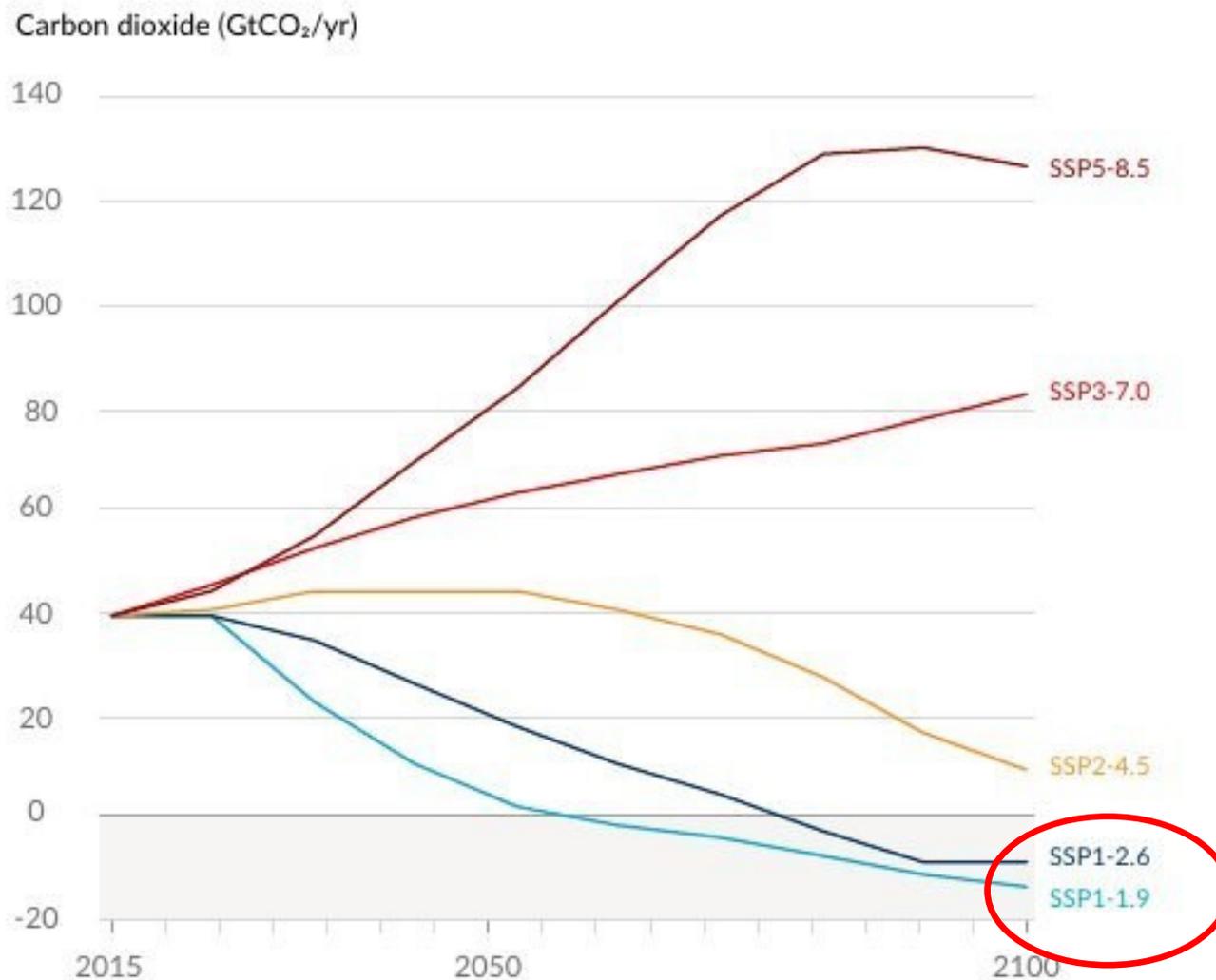
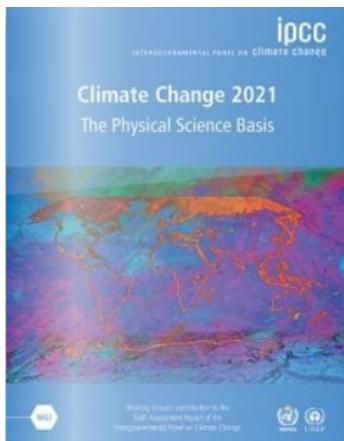
Forzante radiativo tra il 1750 e il 2005

I forzanti radiativi sono calcolati rispetto a condizioni preindustriali: l'intervallo di tempo utilizzato per il loro calcolo è convenzionalmente: 1750-oggi

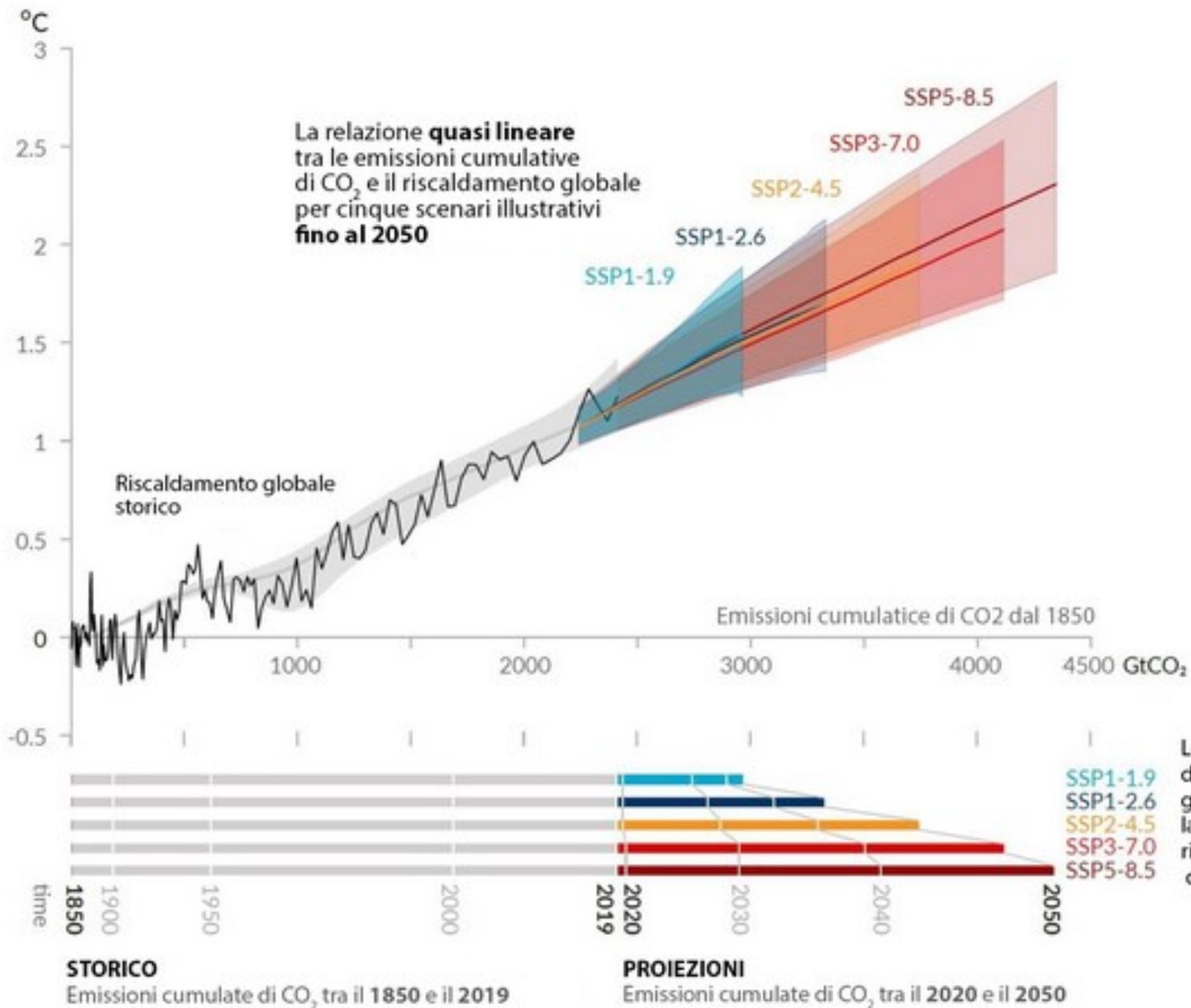
AR5, IPCC (Myhre et al 2013)



Assessment Report 6 WGI 2021-2022



5 scenari emissivi 2015-2100 (SSP, Shared Socioeconomic Pathways)



<https://www.climalteranti.it/2021/12/08/emissioni-nette-zero-non-zero/>

Le emissioni cumulative di CO₂ differiscono tra gli scenari e determinano la quantità di riscaldamento che dovremo affrontare

Radiative forcing - Forzante radiativo

1) 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

2) Forzanti endogeni: l'origine è interna al sistema terra

- emissioni di gas climalteranti
- emissioni di aerosol
- cambiamenti di uso del suolo
- eruzioni vulcaniche

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

(Bagliani, 2019)

1) Forzanti esogeni

a) Variazione della radiazione solare

Flusso radiativo dal Sole (costante solare) aumenta la sua irradianza totale del 10% ogni 10^9 anni

Il suo effetto è totalmente trascurabile per tempi scala di centinaia di anni

b) Cicli variazione solare:

- 27 giorni (rotazione interna del Sole). Non agisce come forzante radiativa
- 11 anni (ciclo di Schwabe): evoluzione delle macchie solari. **Irradianza totale varia al massimo dello 0,1%** (IPCC stima che il forzante radiativo dovuto al ciclo di Schwabe (dal 1750), vada da 0.0 fino a 0.10 W m^2)

1) Forzanti esogeni

I cicli di Milankovitch

Variazione dei parametri orbitali

1. oscillazione dell'asse

terrestre (*tilting* tra 22.1° e

24.5° , ciclo di 44.000 anni ca)

2. variazione dell'eccentricità

orbitale (100.000 e 400.000

anni)

3. precessione degli equinozi

(21.000-23.000 anni)

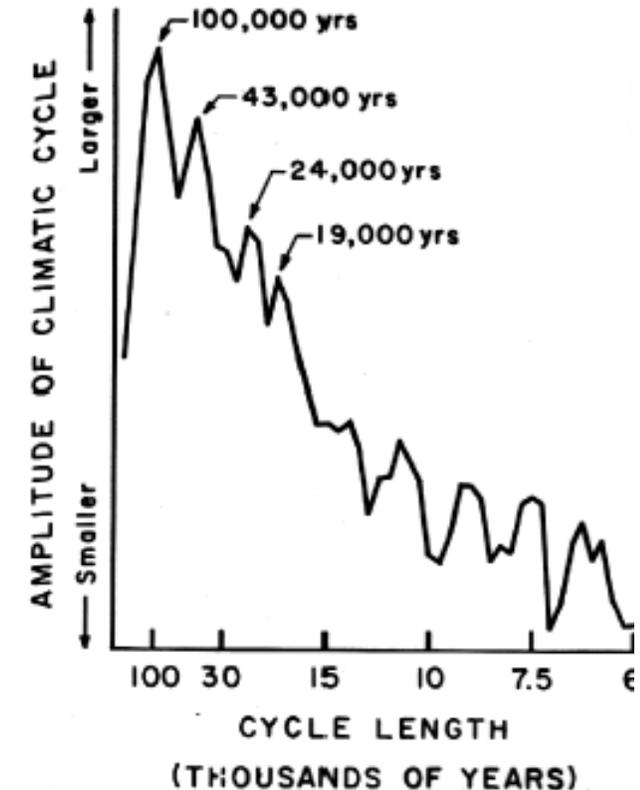
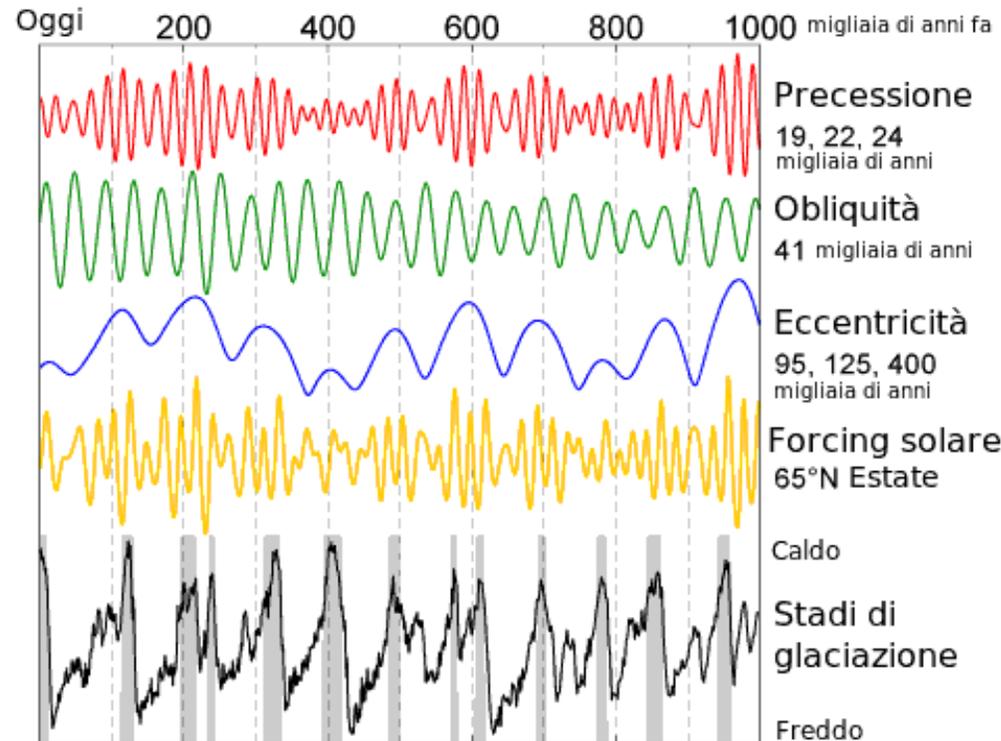


Figure 42. Spectrum of climatic variation over the past half-million years. This graph—showing the relative importance of different climatic cycles in the isotopic record of two Indian Ocean cores—confirmed many predictions of the Milankovitch theory. (Data from J.D. Hays et al., 1976.)

1) Forzanti esogeni

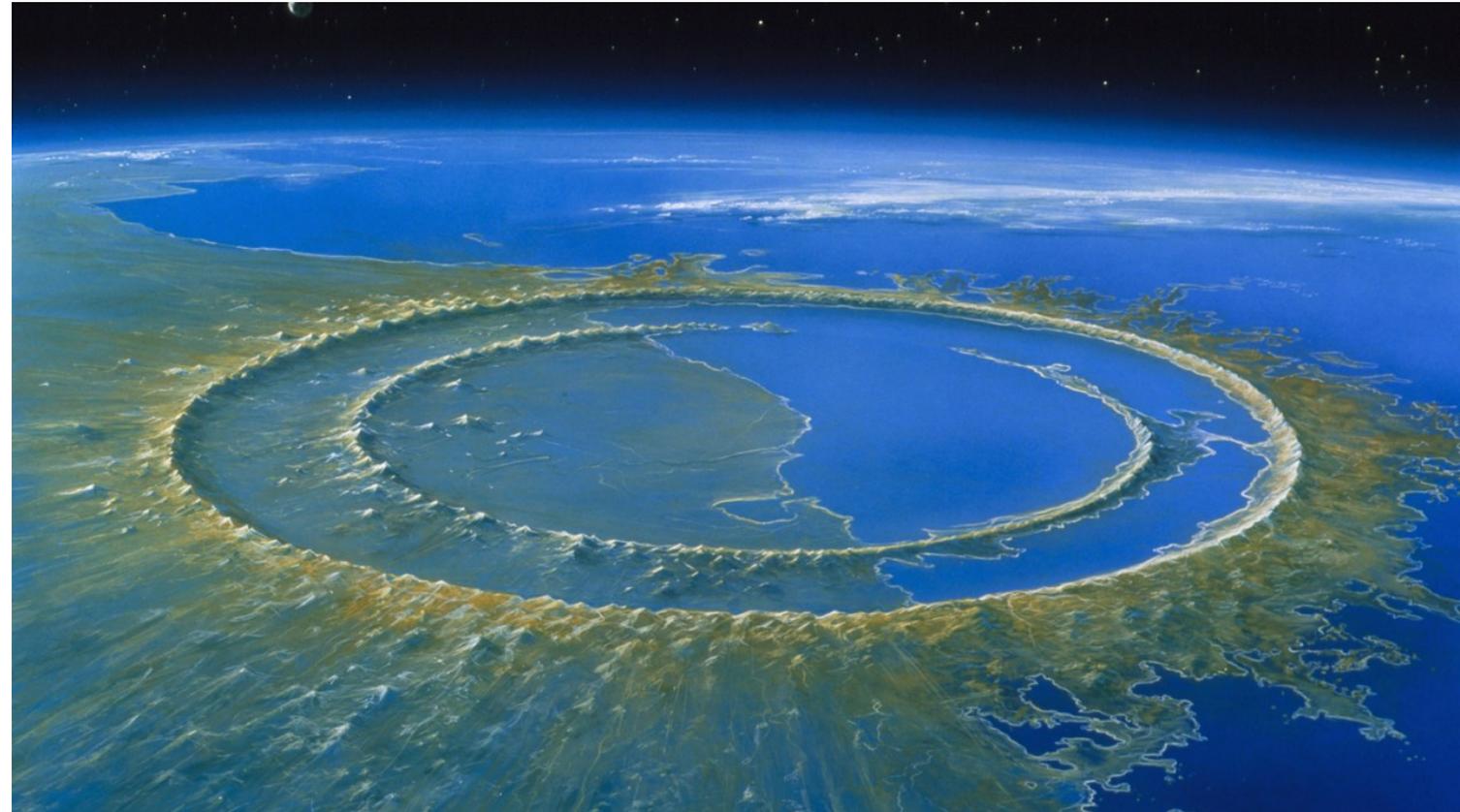
Impatto di asteroidi

- quantità di polveri, ceneri, aerosol in atmosfera
- riduzione quasi totalmente la luce solare in entrata,
- grande abbassamento della temperatura (*forcing*)



- calo della temperatura superficiale di 13 °C già dopo 20 giorni, 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

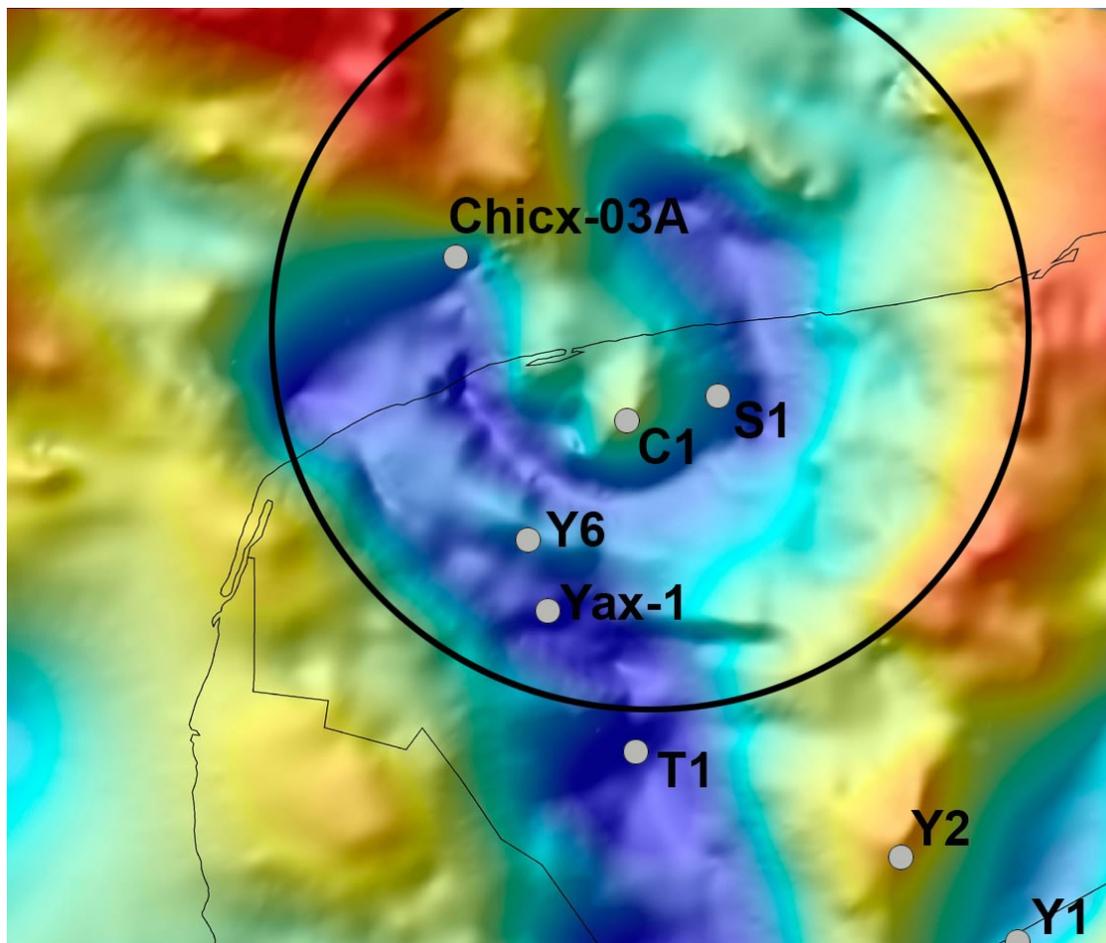
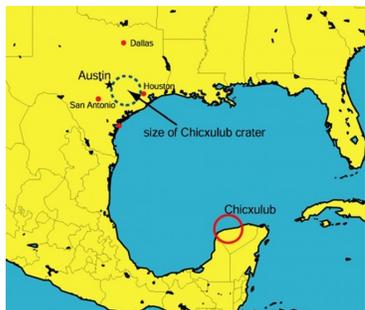
Impatto di asteroidi



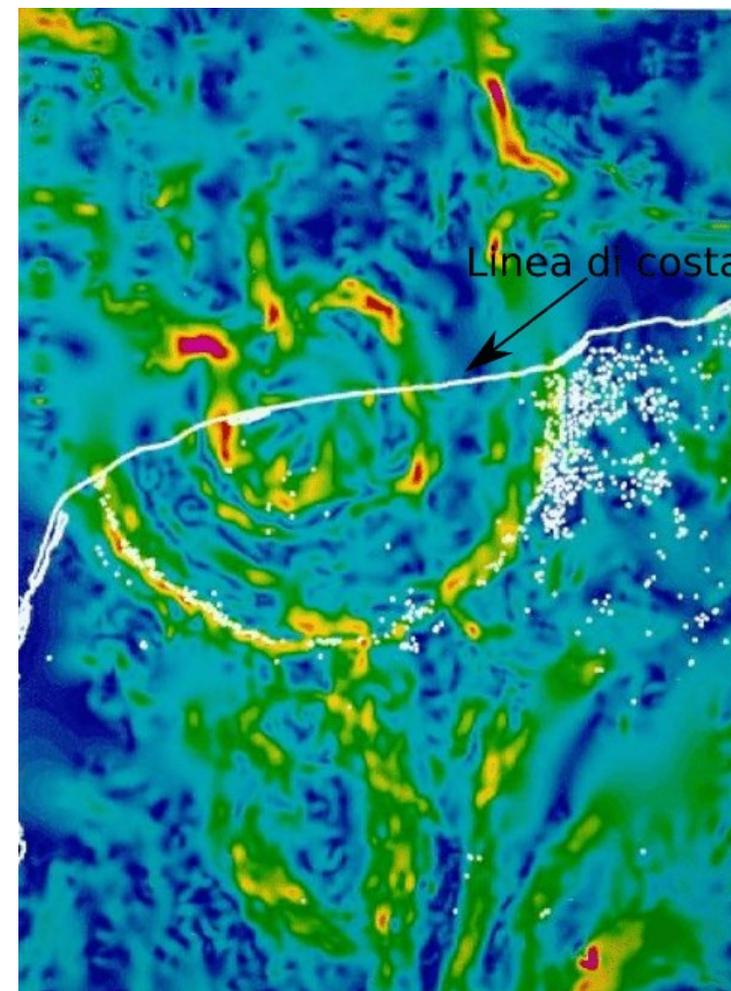
Chicxulub crater

<https://www.science.org/content/article/updated-drilling-dinosaur-killing-impact-crater-explains-buried-circular-hills>

Impatto di asteroidi



Cratere di Chicxulub



<https://www.youtube.com/watch?v=ME3yoMMU5ME>

<https://www.media.inaf.it/2013/02/07/ora-e-ufficiale-e-stato-lasteroide/>

<https://www.intrageo.it/geologia/cratere-chicxulub/>

<https://www.lpi.usra.edu/science/kring/Chicxulub/discovery/>



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Climate Justice
Centre of Excellence

Quali sono i tempi scala dei forzanti esogeni?

2) Forzanti endogeni

Forzanti endogeni di origine naturale

1. eruzioni vulcaniche
2. *land-cover change* di origine **non** antropica
3. deriva dei continenti

Forzanti endogeni di origine antropica

1. emissioni di gas serra
2. emissioni di aerosol
3. *land-use change* di origine antropica

2) Forzanti endogeni

Eruzioni vulcaniche



Etna eruzione 2018 (immagine: scitechdaily.com)

Le eruzioni iniettano in atmosfera numerosi gas, aerosol e frammenti minerali (tefra).
Gli aerosol formati da piccole particelle di cenere e i gas precursori di aerosol solfati (soprattutto biossido di zolfo) hanno un effetto radiativo di raffreddamento.
Se l'eruzione esplosiva inietta grandi quantità di biossido di zolfo direttamente nella stratosfera il tempo di residenza può raggiungere l'anno. In questo caso il raffreddamento è notevole.

- Emissioni CO₂ (piccole quantità) *forcing* significativo sul breve periodo
- Media annua globale 1750-presente è 1/100 rispetto alle emissioni CO₂ antropogeniche (Gerlach, 2011)

2) Forzanti endogeni

Eruzioni vulcaniche



Eruzione Pinatubo (Filippine) 1991 (immagine: NOAA)

(immagine: Alberto Garcia, Manila Bulletin 1991)

- **Climate forcing** = -4.0 W/m^2
- **Abbassamento T media globale di $-0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ tra 1991 e 1994 (McCromick et al. 1995)**

2) Forzanti endogeni

Land-cover change naturale



2) Forzanti endogeni

land-use change (antropogenico)



2) Forzanti endogeni

Land Use Change

“Land use change is a process by which human activities transform the natural landscape, referring **to how land has been used**, usually **emphasizing the functional role** of land for economic activities.

Land use changes are **often nonlinear** and might trigger feedbacks to the system, stress living conditions, and threaten people with vulnerability” (Bimal & Harun 2017)

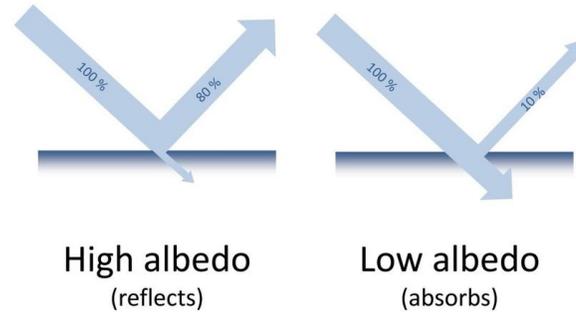
“*Land-use change*” è associato a variazioni di origine antropica

I cambiamenti dell'uso del suolo influenzano il bilancio radiativo in modo diretto ed indiretto

land-use change: influenza diretta sul forcing

LULC è responsabile della variazione la riflettività della superficie terrestre

Albedo: frazione della radiazione riflessa rispetto a quella incidente (da 1 a 0)



Black built-up roof	0.04 - 0.05
Built-up roof (white gravel)	0.30 - 0.50
Asphalt	0.04 - 0.15
Light gray asphalt	0.25 - 0.27
Dark concrete tiles	0.05 - 0.35
White concrete tiles	0.70
Metal roof unpainted, corrugated	0.30 - 0.50

Table Albedo values of different types of materials.

Table 1 Reflectivity Values of Various Surfaces

Surface	Details	Albedo
Soil	Dark and wet	0.05
	Light and dry	0.40
Sand		0.15–0.45
Grass	Long	0.16
	Short	0.26
Crops		0.18–0.25
Tundra		0.18–0.25
Forests	Deciduous	0.15–0.20
	Coniferous	0.05–0.15
Water	Small zenith angle	0.03–0.10
	Large zenith angle	0.10–1.0
Snow	Old	0.40
	Fresh	0.95
Ice	Sea	0.30–0.45
	Glacier	0.20–0.40
Clouds	Thick	0.60–0.90
	Thin	0.30–0.50