

# **CHIMICA AMBIENTALE**

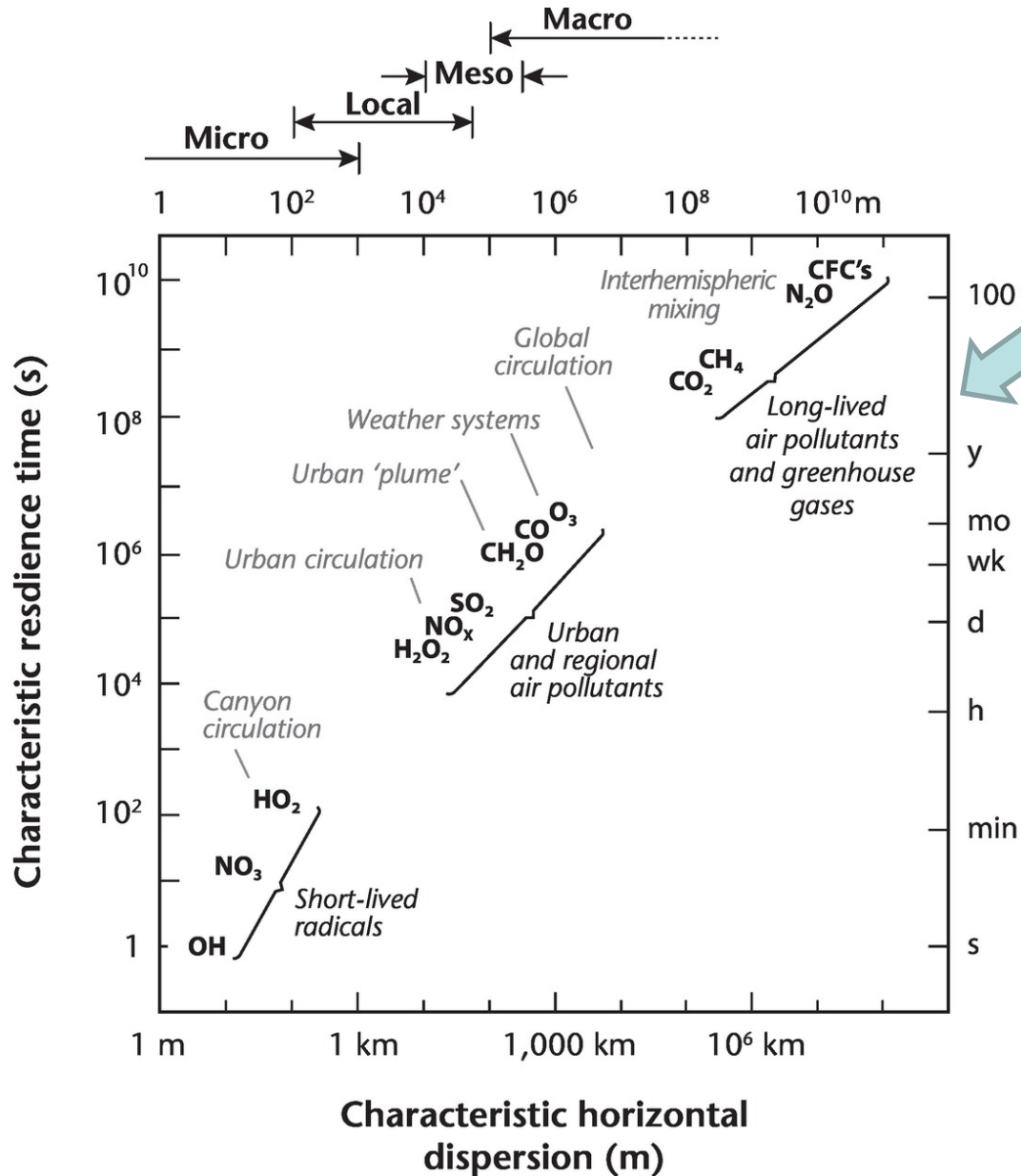
CdL triennale in  
Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e la Natura

Docente  
Pierluigi Barbieri

**SSD Chimica dell'ambiente e dei beni culturali, CHIM/12**

***Chimica  
della Troposfera***

# Relazione tra scala temporale e spaziale dell'impatto delle emissioni in atmosfera



Characteristic atmospheric residence times for selected gaseous air pollutants along with the characteristic horizontal scale of dispersion and the relevant atmospheric phenomena causing dispersion

(Data sources: Seinfeld and Pandis 2006, and Hobbs, 2000). Cambridge Core / Air Pollution

<https://www.cambridge.org/core/books/urban-climates/air-pollution/4BD54EBBBCD5BAF32E275FA44667CE96/core-reader>

# ***I gas serra (greenhouse gases) e gli equilibri radiativi planetari***

Baird & Cann «Chimica Ambientale»  
ENERGIA E CAMBIAMENTO CLIMATICO  
CAPITOLO 5 *L'effetto Serra*

<https://www.acs.org/content/acs/en/climatescience/energybalance.html>

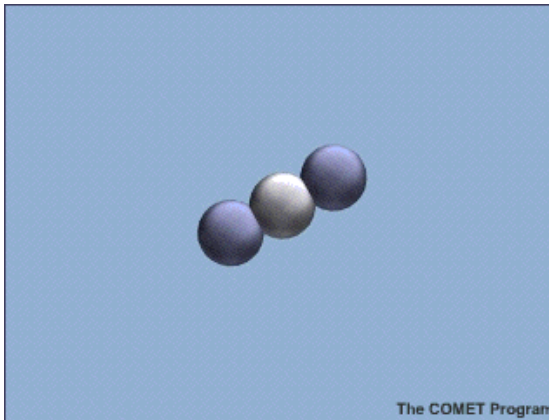
“Earth's Global Energy Budget”

<http://www.cgd.ucar.edu/staff/trenbert/trenberth.papers/BAMSmrTrenberth.pdf>

# *Effetto Serra*

## **Il meccanismo di base**

- Consideriamo un semplice modello radiativo, senza convezione, evaporazione e condensazione
- La radiazione solare scalda la superficie, che a sua volta scalda l'atmosfera
- L'atmosfera emette verso l'alto e verso il basso
- Il flusso infrarosso verso l'alto deve essere bilanciato non soltanto dal flusso in entrata dal sole ma anche quello infrarosso verso la terra
- La temperatura superficiale deve salire fin quando riesce a produrre una radiazione termica che bilancia il flusso termico solare



Nella parte superiore dell'atmosfera terrestre, una superficie alla distanza media Terra-Sole perpendicolare ai raggi riceve circa  $1368 \text{ W / m}^2$ . Questo è spesso chiamato Total Solar Irradiance (TSI) o **costante solare  $S_0$** .

In media, la **quantità totale di energia solare in entrata al di fuori dell'atmosfera terrestre** è la costante solare moltiplicata per la superficie della sezione trasversale (ovvero, la superficie che intercetta i raggi solari, che corrisponde a una superficie  $\pi R^2$  dove  $R$  è il raggio terrestre di  $6371 \text{ km}^2$ ); trascureremo lo spessore dell'atmosfera rispetto al raggio terrestre nei nostri calcoli di distanze o superfici.

Parte di questo flusso in arrivo viene riflessa nello spazio dall'atmosfera, dalle nuvole e dalla superficie terrestre. La frazione della radiazione che viene riflessa è chiamata **albedo della Terra** o albedo planetario ( $\alpha_p$ ). Nelle condizioni attuali, ha un valore di circa 0,3.

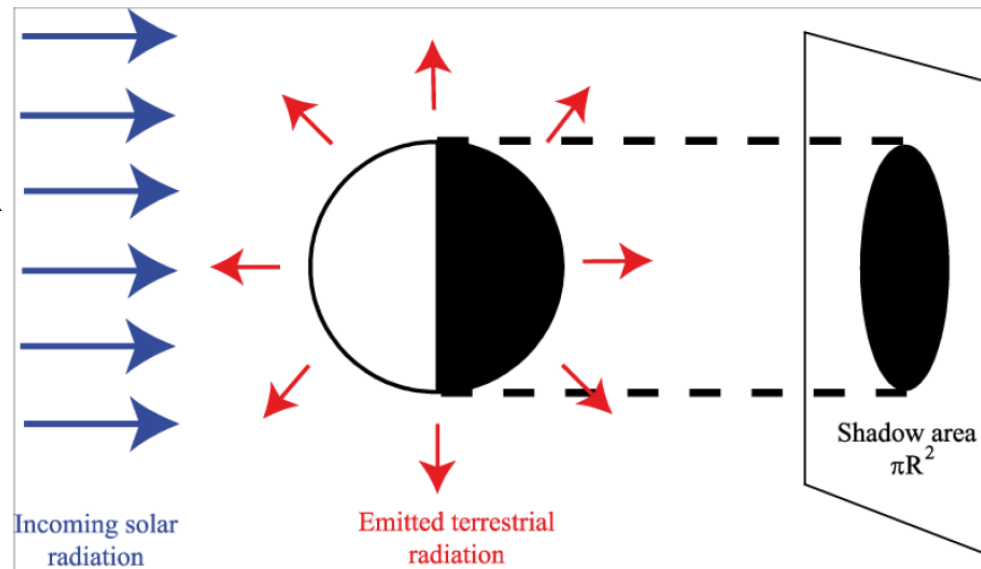
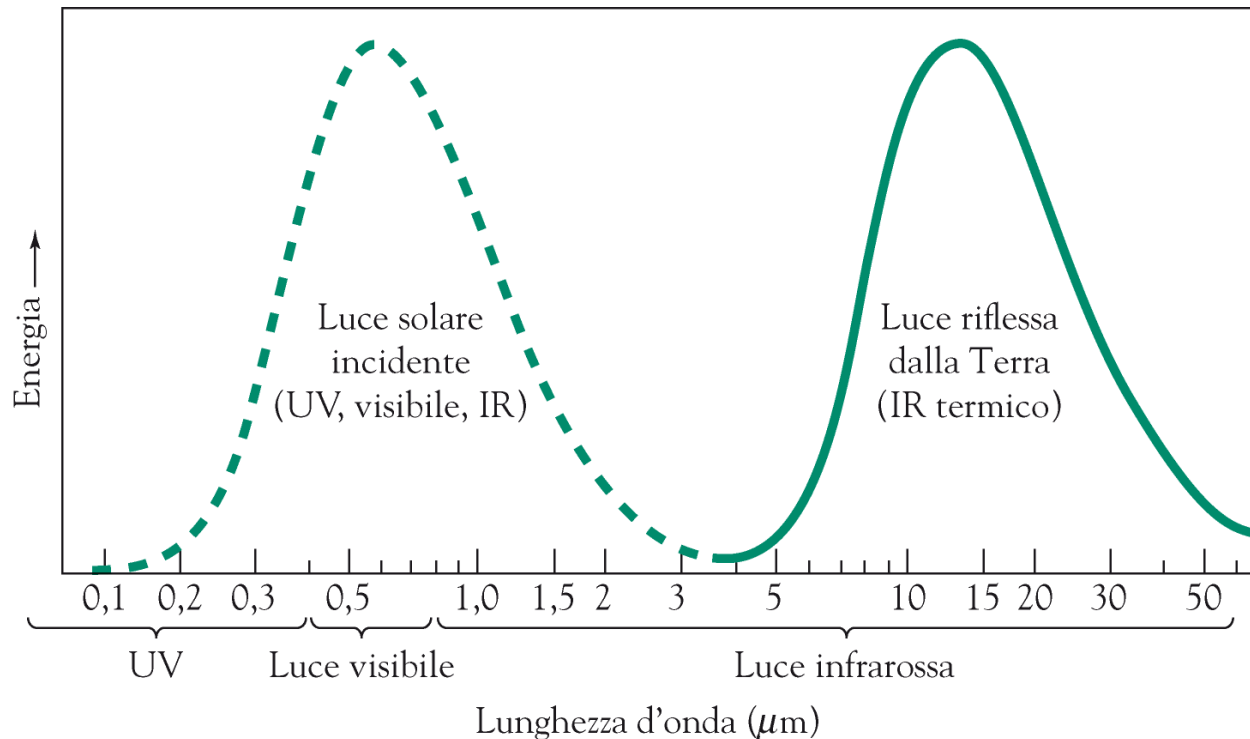


Figure 2.2: Heat absorbed and emitted by the Earth.

**Per ottenere un bilancio termico, il flusso di calore proveniente dal Sole deve essere compensato da una perdita di calore equivalente.** Se ciò non fosse vero, la temperatura della Terra aumenterebbe o diminuirebbe rapidamente. Alla temperatura della Terra (circa 300 °K), seguendo la Legge di Wien ciò si ottiene **irradiando energia nella parte infrarossa dello spettro elettromagnetico.** ... :



Legge di Wien: identifica lunghezza d'onda a cui è massima l'emissione radiativa di un corpo nero di massa generica posto a una certa temperatura

$$\lambda_{picco} = 2897/T$$

## CHE BILANCIO TERMICO AVREMMO SE NON CI FOSSE L'ATMOSFERA?

**Trattando la Terra come un corpo nero**, la **quantità totale di energia che viene emessa da una superficie di 1 m<sup>2</sup>** ( $A \uparrow$ ) può essere calcolata dalla legge di Stefan-Boltzmann:

$$A \uparrow = \sigma T_e^4$$

dove  $\sigma$  è la costante di Stefan Boltzmann ( $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ). Questa equazione definisce  $T_e$ , temperatura di emissione effettiva della Terra. La Terra emette energia in tutte le direzioni, quindi la **quantità totale di energia emessa dalla Terra** è  $A \uparrow$  volte la superficie della Terra,  $4 \pi R^2$ . Per raggiungere l'equilibrio, dobbiamo quindi avere:

**Radiazione solare assorbita = Radiazione terrestre emessa**



## Radiazione solare assorbita = Radiazione terrestre emessa

$$\pi R^2 (1 - \alpha_p) S_0 = 4\pi R^2 \sigma T_e^4$$

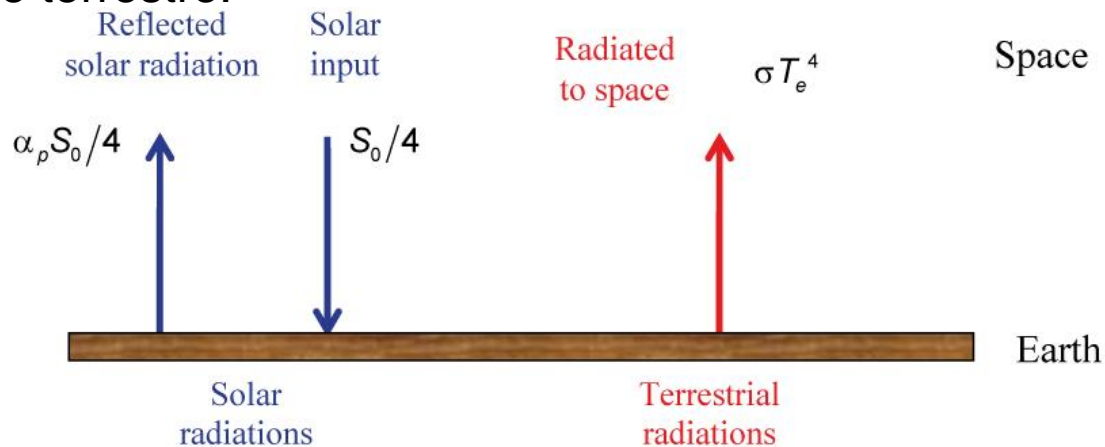
Ciò porta a:

$$\frac{1}{4} (1 - \alpha_p) S_0 = \sigma T_e^4$$

E quindi:

$$T_e = \left( \frac{1}{4\sigma} (1 - \alpha_p) S_0 \right)^{1/4}$$

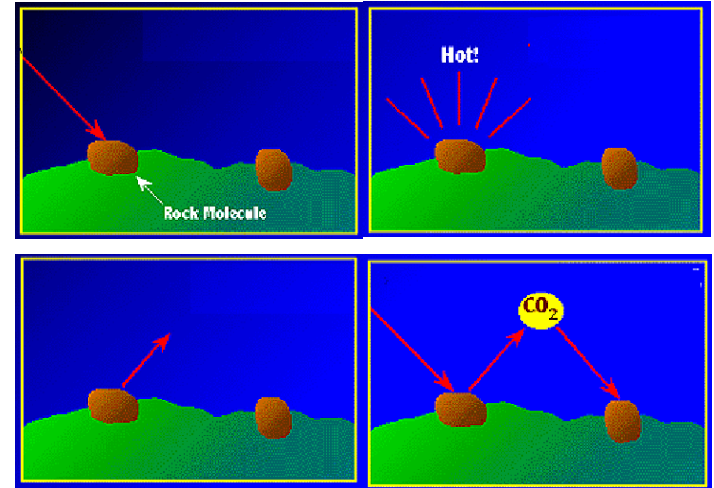
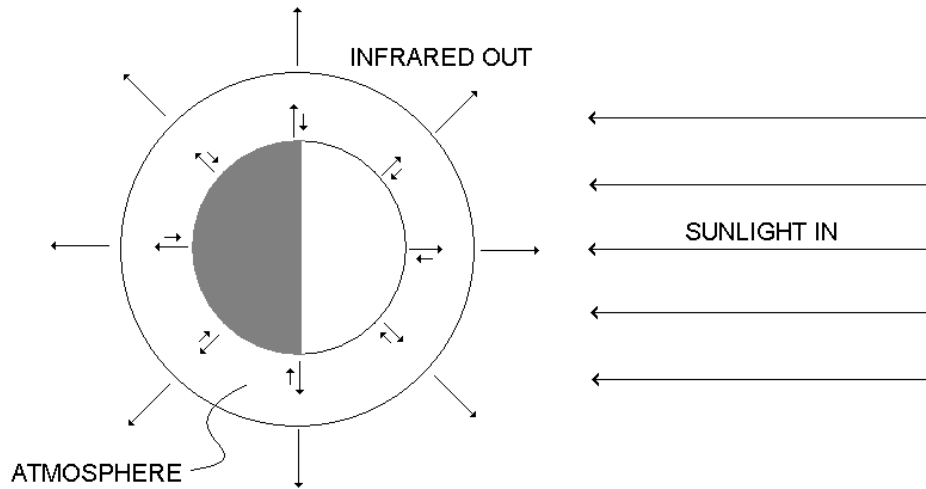
Ciò corrisponde a  $T_e = 255 \text{ K} (= -18 \text{ }^\circ \text{C})$ . Nota che possiamo interpretare come equilibrio medio tra la radiazione terrestre emessa e il flusso solare assorbito per  $1 \text{ m}^2$  di superficie terrestre.



Bilancio termico della Terra, assumendo che si comporti come un corpo nero perfetto, senza atmosfera.

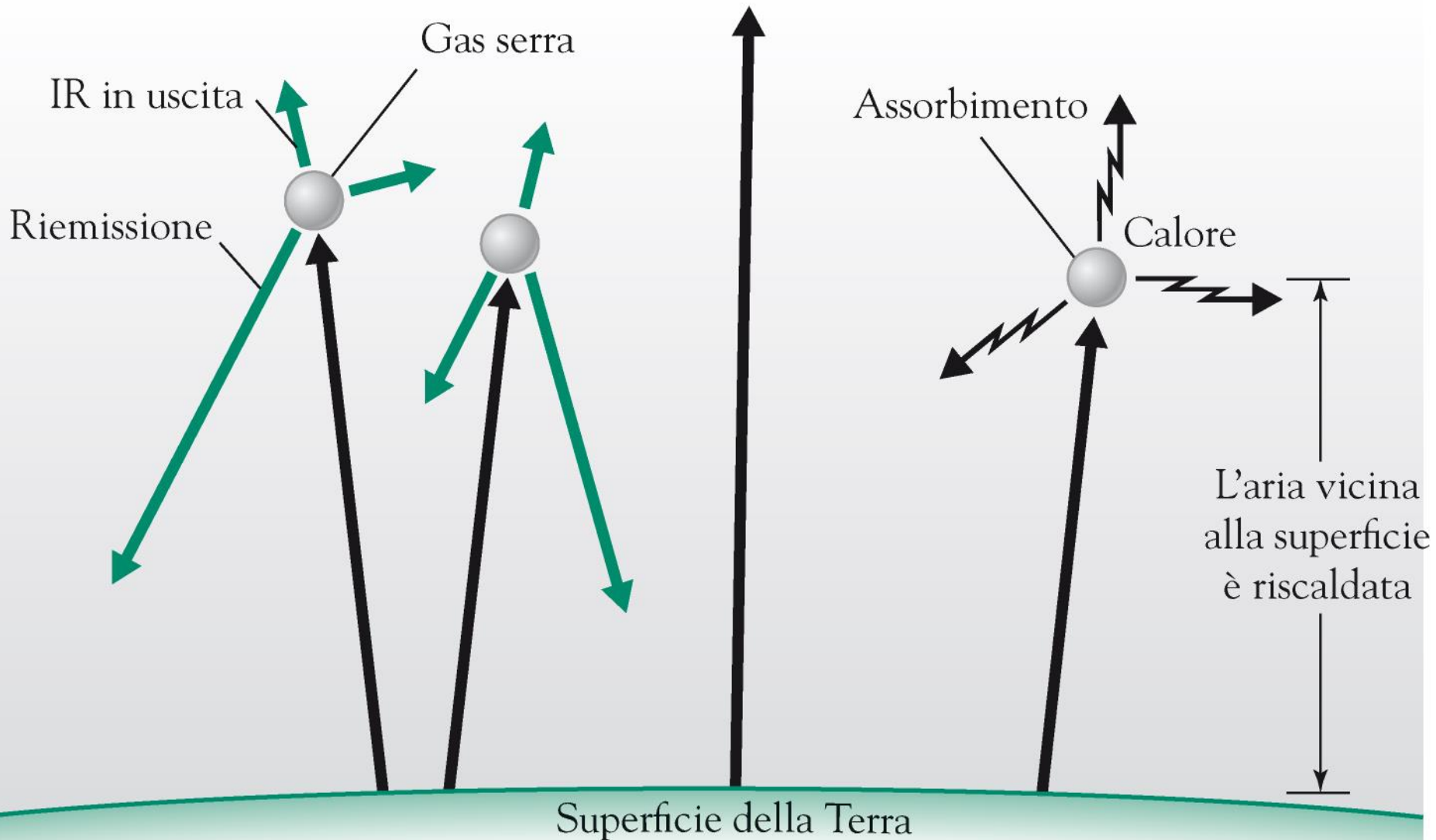
*La Terra però ha un involucro gassoso, l'atmosfera,  
che modifica gli equilibri radiativi del pianeta*

# Effetto Serra



L'atmosfera terrestre produce un **effetto serra naturale** di circa  $34^{\circ}\text{C}$  (se non ci fosse l'atmosfera la T media del pianeta sarebbe pari a  $-19^{\circ}\text{C}$ ).

Principale gas serra: **vapore d'acqua**, i cui livelli in atmosfera sono determinati dall'equilibrio naturale tra evaporazione e precipitazioni e non sono direttamente influenzati dalle attività umane.

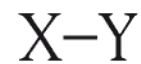
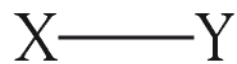


Molecole con momento di dipolo assorbono radiazione IR aumentando la propria energia vibrazionale e aumentano la temperatura

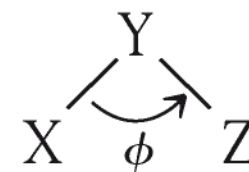
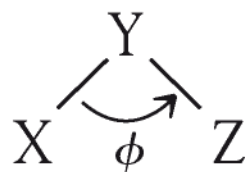
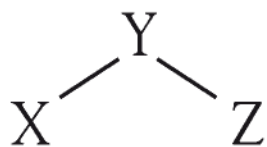
Emissione IR molecolare ( $U = \sigma T^4$ ) + trasferimento energia per urti

Emissione IR isotropa/non direzionata

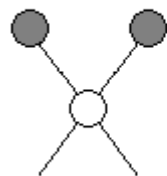
(a) Vibrazione da stiramento di legame



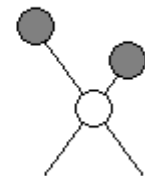
(b) Vibrazione da flessione di legame



### Stretching vibrations

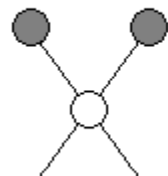


Symmetric

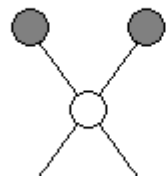


Asymmetric

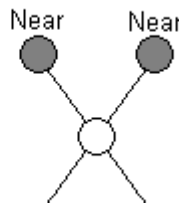
### Bending vibrations



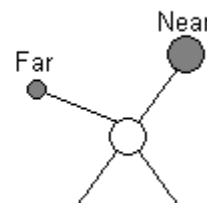
In-plane rocking



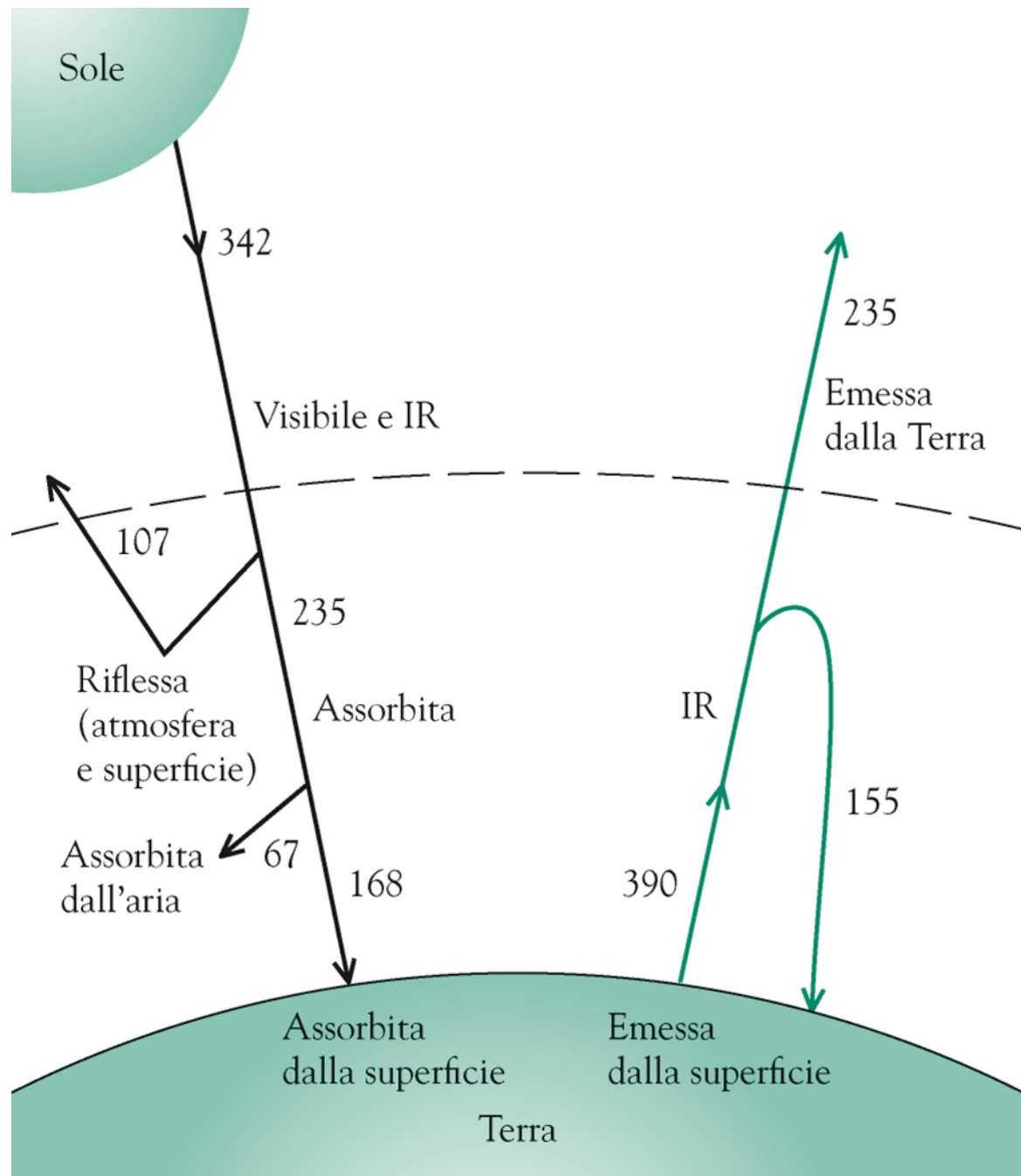
In-plane scissoring



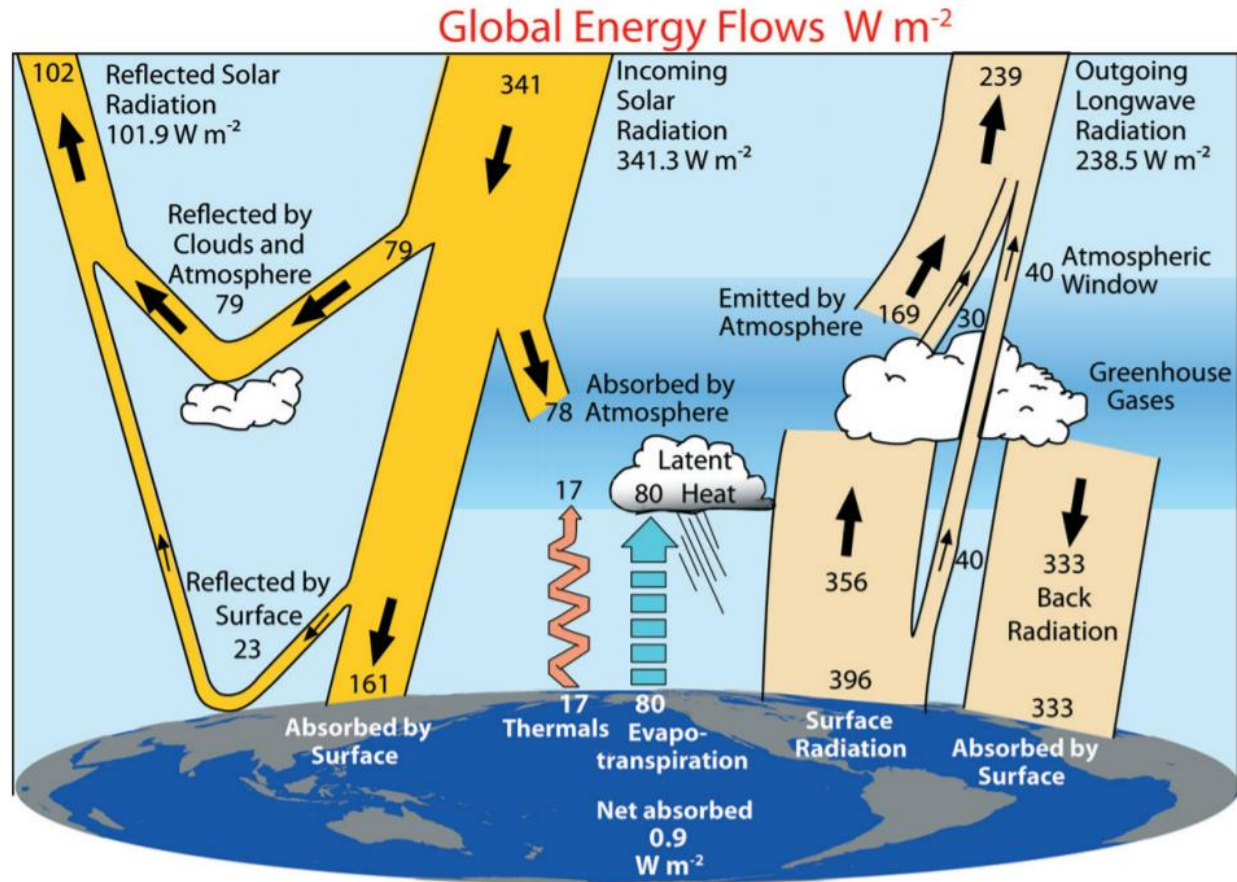
Out-of-plane wagging



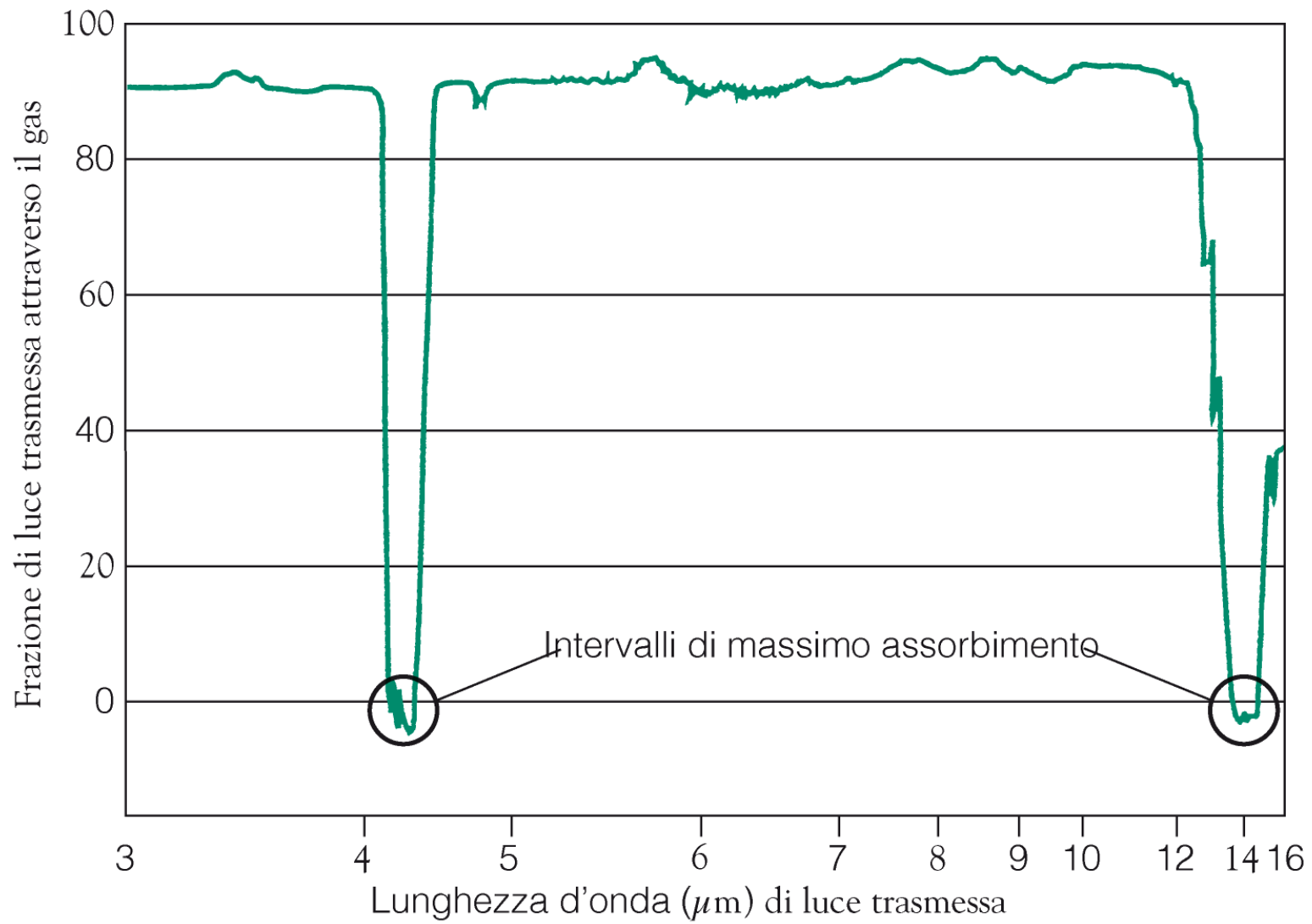
Out-of-plane twisting



Trenberth e colleghi riportano dati lievemente diversi



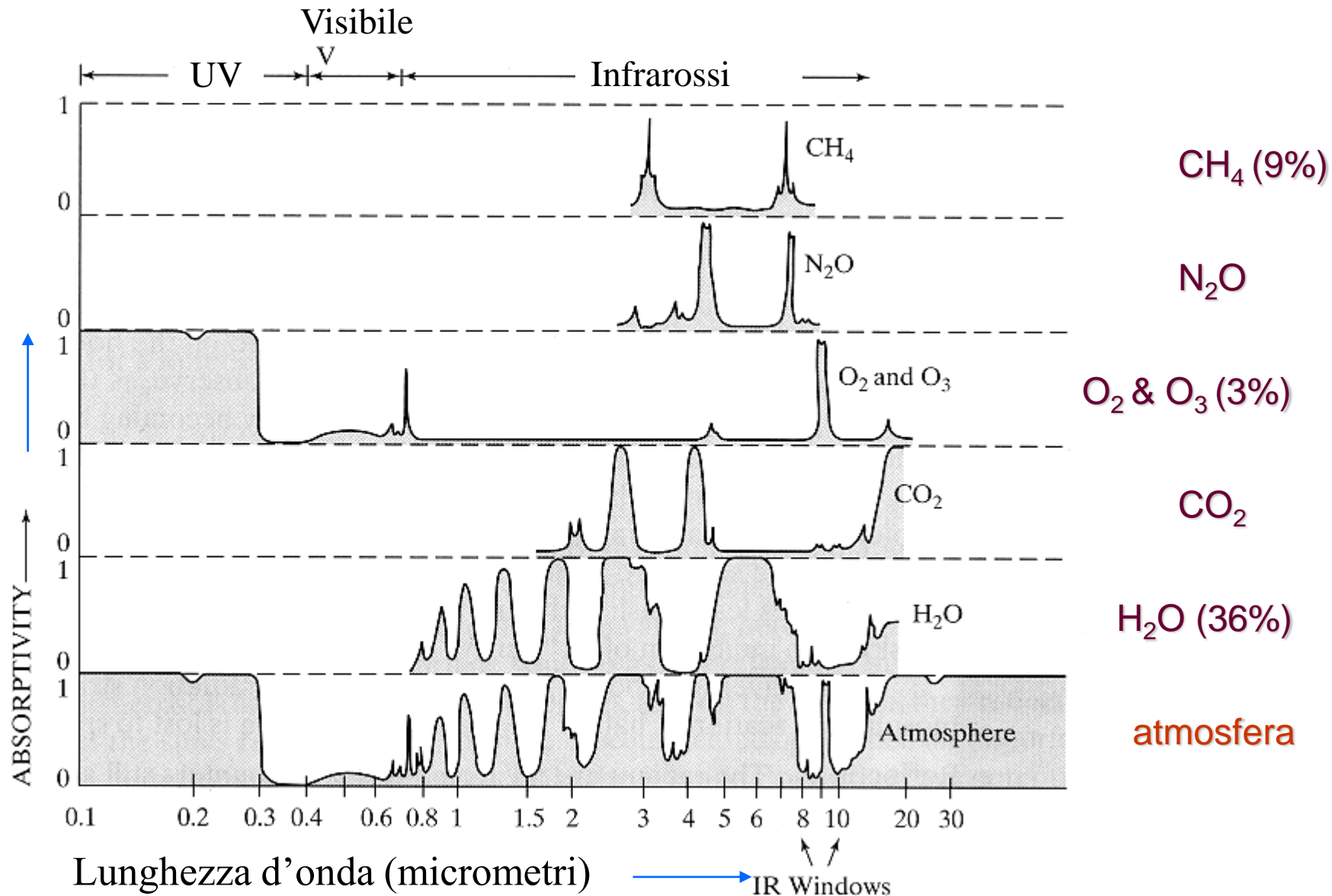
**FIG. 1. The global annual mean Earth's energy budget for the Mar 2000 to May 2004 period ( $W m^{-2}$ ). The broad arrows indicate the schematic flow of energy in proportion to their importance.**

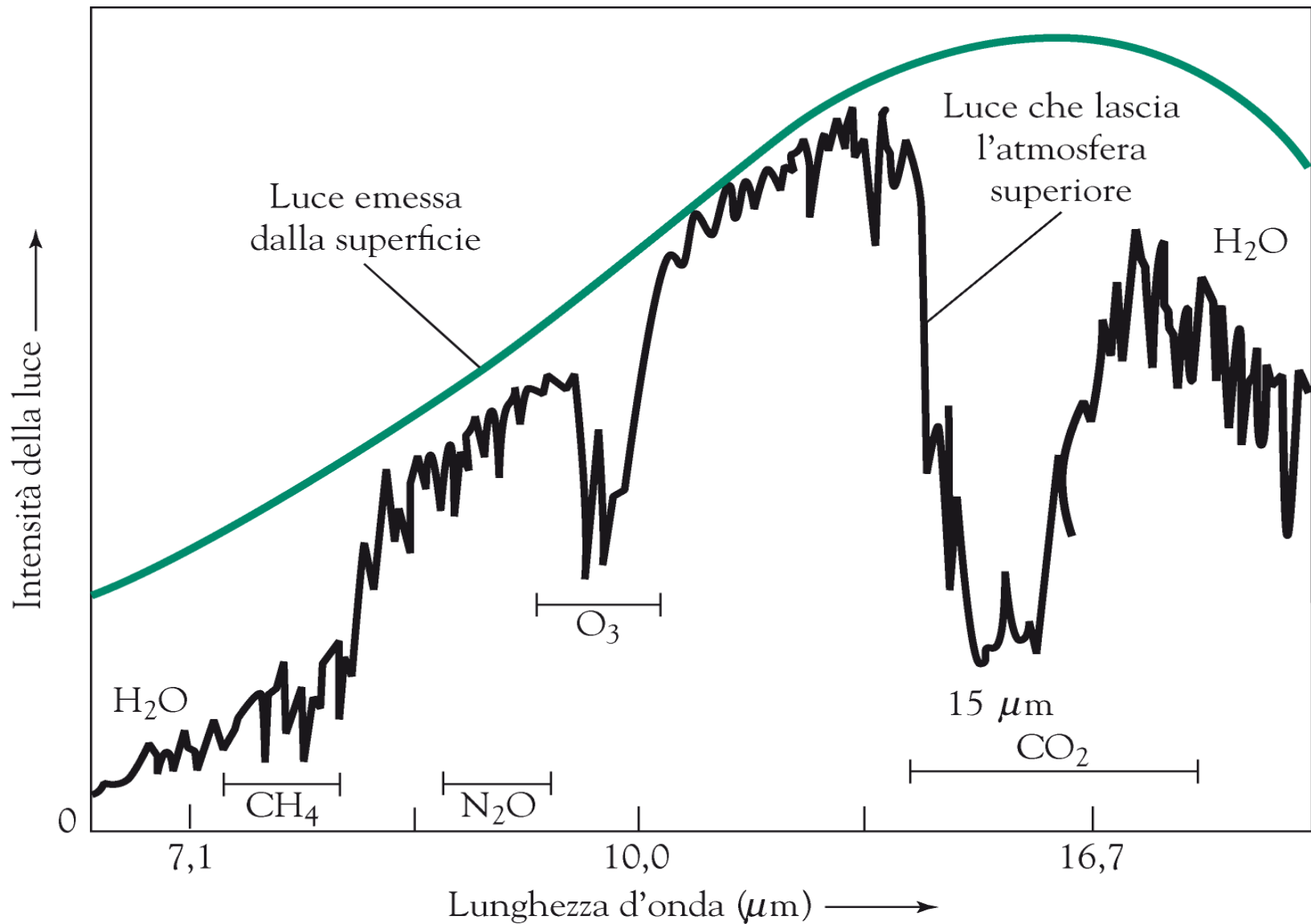


Spettro di assorbimento del CO<sub>2</sub>



# Spettro di assorbimento dei gas atmosferici



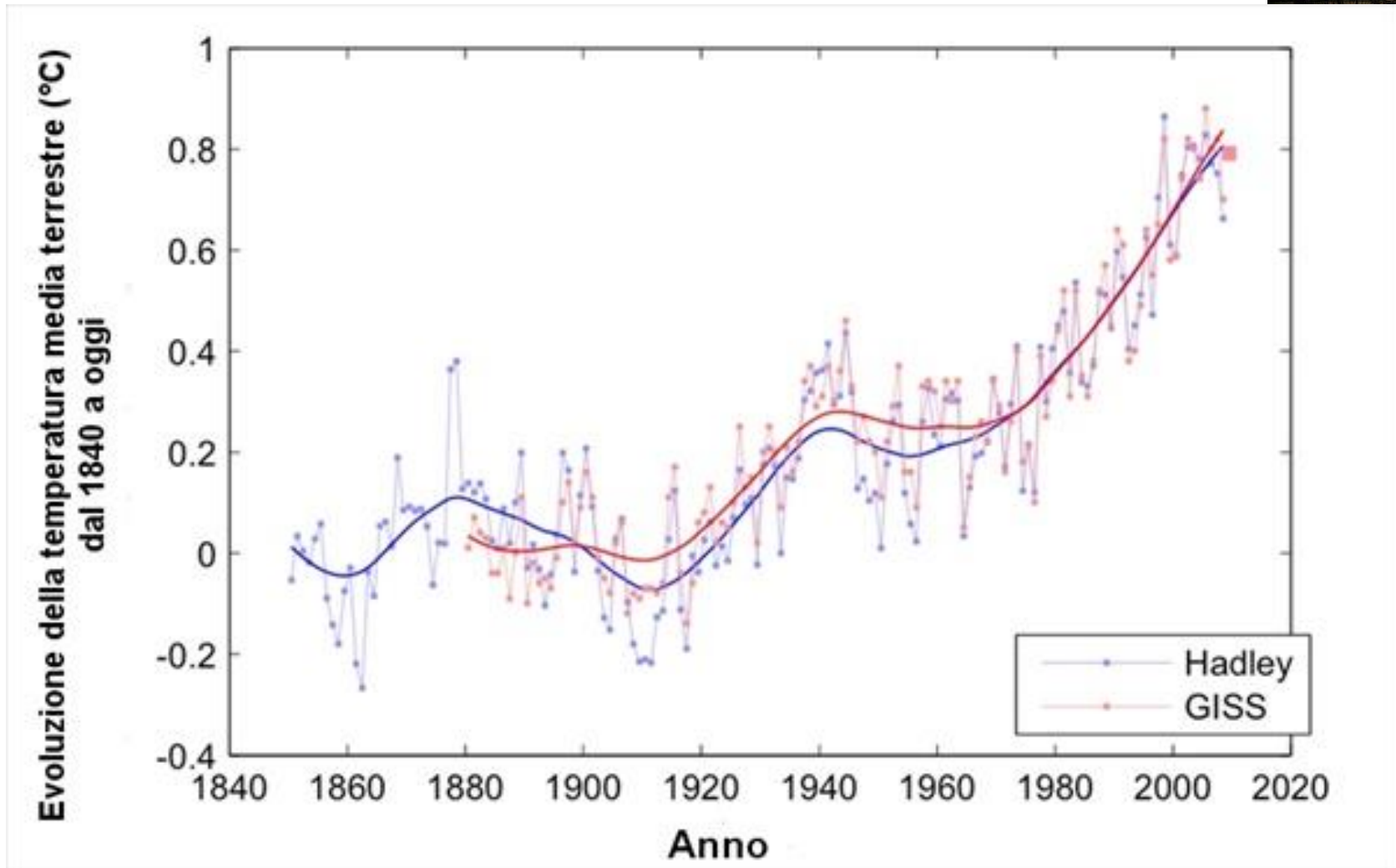


Intensità della radiazione IR termica emessa dalla superficie terrestre e quella che lascia l'atmosfera inferiore (fig. 5.7 Baird & Cann)

L'assorbimento di radiazione IR da parte dei gas atmosferici è variato nel tempo?

Quali gli effetti?

# Riscaldamento Globale



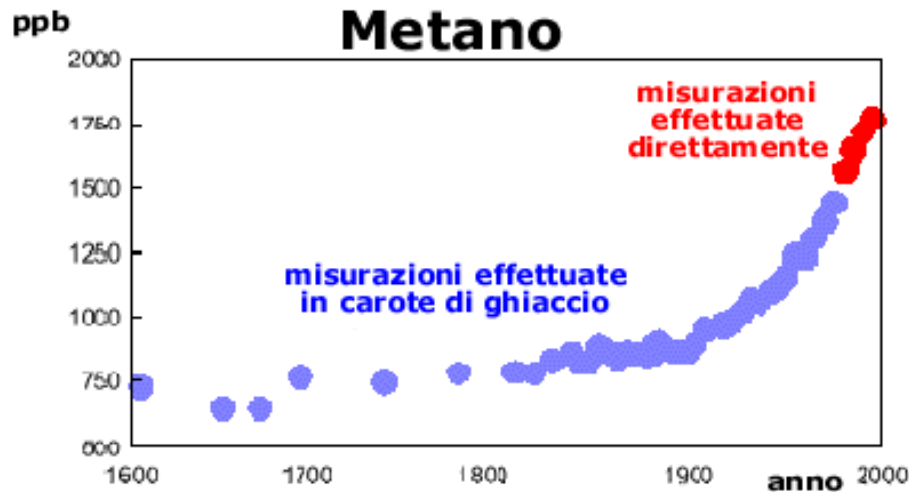
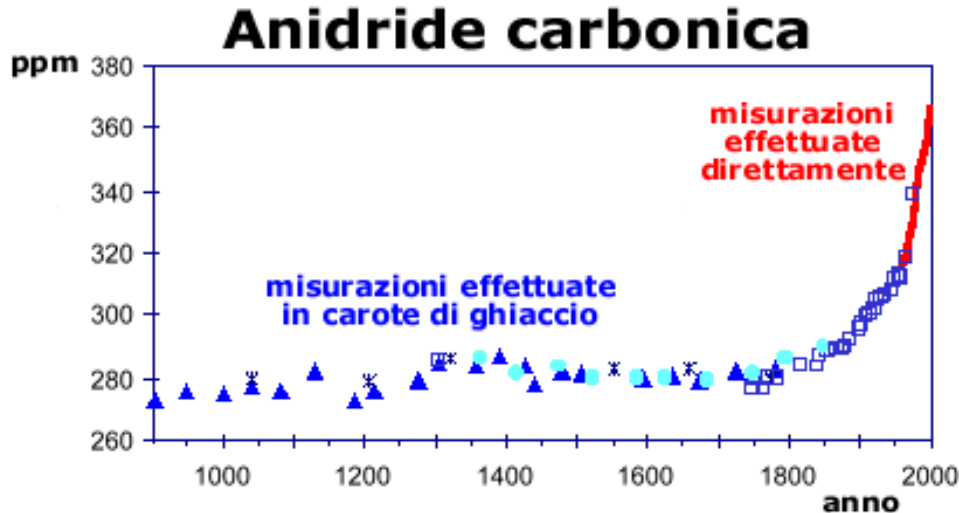
Dati forniti da 2 istituzioni di climatologia

Hadley Center (<https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>) e

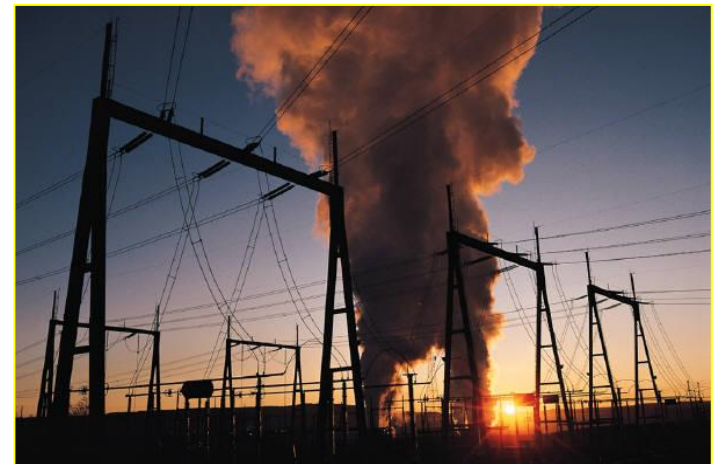
NASA/GISS (<https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>).

# Riscaldamento Globale

Dall'inizio della Rivoluzione Industriale, la concentrazione atmosferica dell'anidride carbonica è aumentata di oltre il 30%, la concentrazione del gas metano è più che raddoppiata.



Secondo il Segretariato delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici –UNFCCC  
I combustibili fossili sono responsabili in misura del 96.7% delle emissioni dei gas serra (95% CO<sub>2</sub> e 20% CH<sub>4</sub>) di cui il 39,1% dovuti alla produzione di energia elettrica e il 26,7% dovuti ai trasporti.



# Gas serra

Le emissioni antropiche di gas serra vengono valutate in termini di CO<sub>2</sub>-equivalente secondo i coefficienti di conversione di seguito elencati

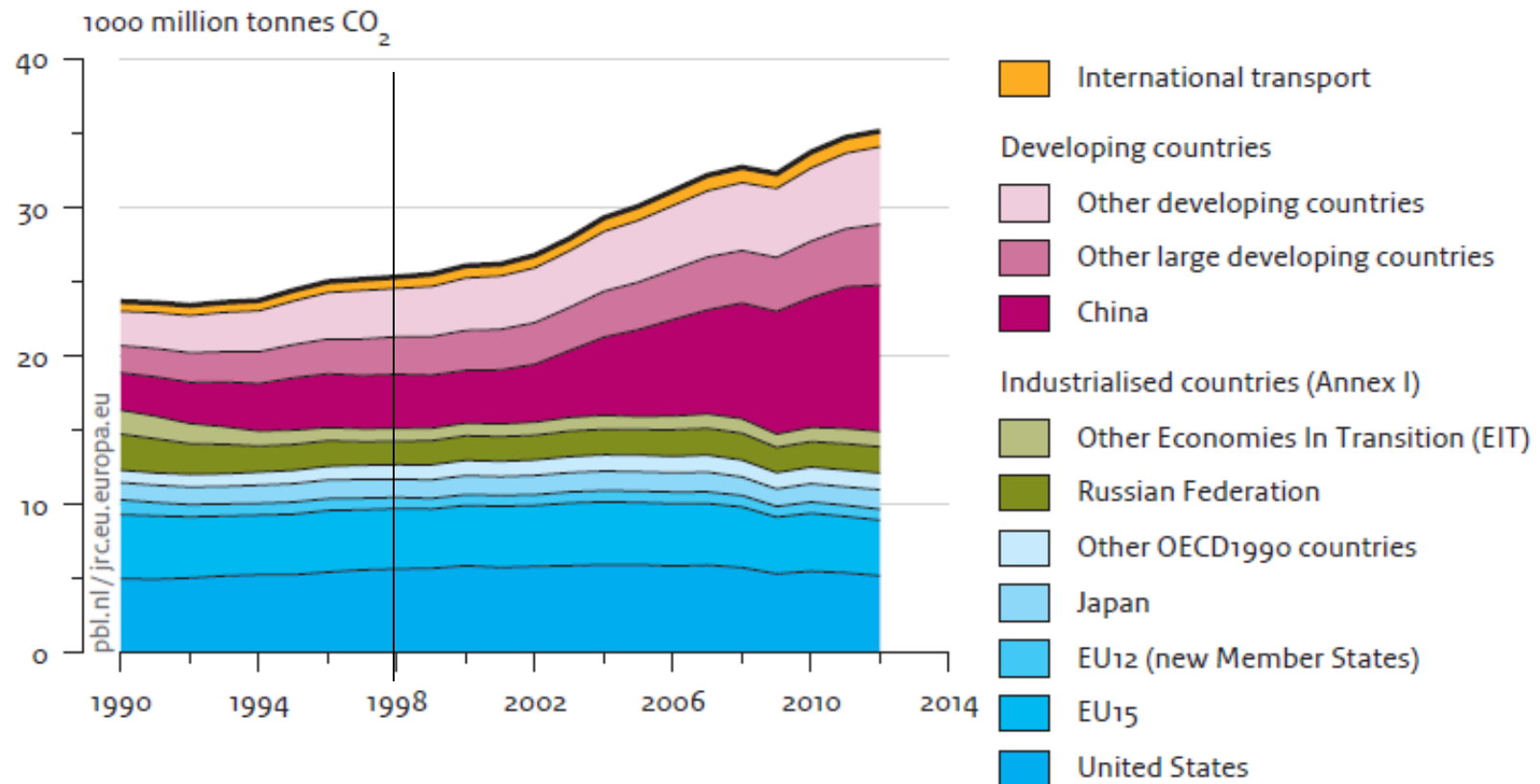
Gas serra	GWP, <u>Global Warming Potential</u>
Anidride carbonica (CO <sub>2</sub> )	1
Metano (CH <sub>4</sub> )	21
Protossido di azoto (N <sub>2</sub> O)	310
Idrofluorocarburi (HFC)	140 - 11.700 (in media 1.600)
Perfluorocarburi (PFC)	6.500 - 9.200 (in media 7.000)
Esafluoruro di zolfo (SF <sub>6</sub> )	23.900

I sei gas serra sopra elencati sono quelli presi in considerazione dal Protocollo di Kyoto (1997). Paesi industrializzati si sono impegnati a ridurre entro il 2008-2012 le loro emissioni annue complessive del 5,2% rispetto ai livelli del 1990.

Gli obiettivi per i singoli Paesi sono differenziati: Russia, Ucraina e Nuova Zelanda 0%; Canada, Ungheria, Polonia e Giappone -6%; Usa -7%; Unione Europea -8%.



## Global CO<sub>2</sub> emissions per region from fossil-fuel use and cement production



Source: EDGAR 4.2FT2010 (JRC/PBL, 2012); BP, 2013; NBS China, 2013; USGS, 2013; WSA, 2013; NOAA, 2012



# Gas serra

Gas traccia	Aumento della concentrazione		Aumento della temperatura [K]
Anidride carbonica (CO <sub>2</sub> )	300	→ 600 ppm	2 ... 4
Ozono troposferico (O <sub>3</sub> )	0,03	→ 0,06 ppm	0,9
Clorofluoroidrocarburi (CFC)	0	→ 1 ppbs	0,6
Protossido di azoto (N <sub>2</sub> O)	0,3	→ 0,6 ppm	0,4
Metano (CH <sub>4</sub> )	1,7	→ 3 ppm	0,3
Ammoniaca (NH <sub>3</sub> )	0	→ 1 ppb	0,09
Tetraclorocarburo (CCl <sub>4</sub> )	0	→ 1 ppb	0,08
Cloroformio (CHCl <sub>3</sub> )	0	→ 1 ppb	0,06
Tetrafluorocarburo (CF <sub>4</sub> )	0	→ 1 ppb	0,06
Acido nitrico (HNO <sub>3</sub> )	raddoppio		0,06
Metilcloruro (CH <sub>2</sub> CCl <sub>2</sub> )	0	→ 1 ppb	0,03
Metilcloroformio (CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub> )	0	→ 1 ppb	0,02
Etilene (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	0,2	→ 0,4 ppb	0,01
Totale (con 3 K per il CO <sub>2</sub> )			5,6

# Emissioni nazionali settoriali di gas serra

<https://www.isprambiente.gov.it/it/archivio/eventi/2020/04/il-quadro-emissivo-in-italia>



## Le emissioni in atmosfera in Italia

Mi piace 0

Tweet

L'andamento delle emissioni nazionali di gas serra. Focus sulle emissioni da agricoltura e allevamento. Il contributo dei gas ad effetto indiretto e il particolato.

L'FO  
IL CON

ISPRA il 21 aprile presenta in videoconferenza i dati che descrivono lo stato emissivo del nostro Paese: un quadro globale e di dettaglio della situazione italiana sull'andamento dei gas serra dal 1990 al 2018, una stima preliminare al 2019 ed alcune considerazioni sul primo trimestre del 2020. Seguirà un approfondimento sulle principali attività emmissive del settore dell'agricoltura e un riferimento ai sistemi di mitigazione. Si conclude con una analisi degli altri gas che hanno effetto sul clima ma anche sull'inquinamento atmosferico in senso stretto, fino ad arrivare al materiale particolato, considerando anche qui la serie storica dal 1990 al 2018 ed esaminando i principali *drivers* che hanno influenzato gli andamenti descritti.

L'andamento delle emissioni nazionali di gas serra  
Focus sulle emissioni da agricoltura e allevamento  
contributo dei gas a effetto indiretto e il particolato

D. Romano  
E. Di Cristofaro

E. Taurino

<http://www.youtube.com/c/ISPRAVideoStreaming>

# Riscaldamento Globale

## Riduzione dei ghiacciai montani

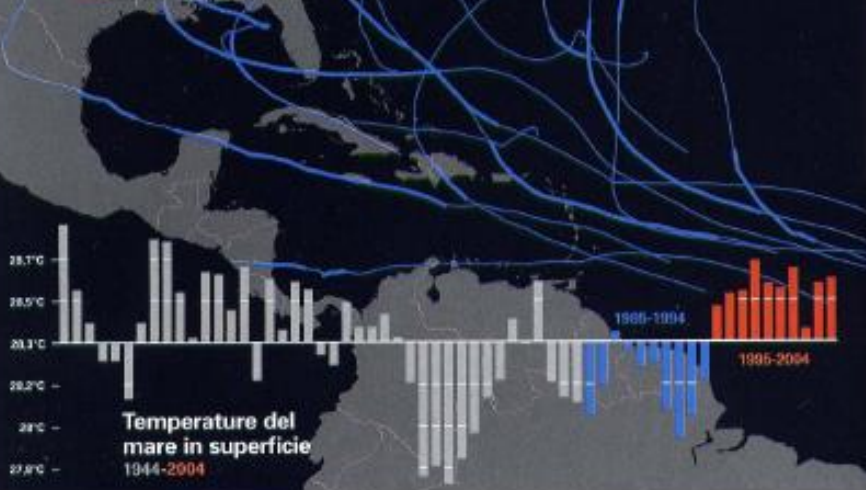




## Il percorso degli uragani

Quando le temperature in superficie erano più basse (1985-1994)

- Categoria 3-5
- Tempesta di minore intensità



National Geographic  
Agosto 2005

**E' L'effetto di un aumento  
della temperatura dell'acqua  
di soli 0,3°C**

**Si stimano costi per  
43 miliardi di \$**

Ora che sono più alte (1995-2004)



**DALLA CALMA AL CAOS** L'analisi di due decenni di uragani dimostra che quando le temperature della superficie marina erano più basse (1985-1994) i grandi uragani erano circa metà rispetto all'ultimo decennio, in cui le temperature di superficie sono salite da 0,5 a 1 grado centigrado in seguito a cambiamenti nelle correnti oceaniche che fanno circolare acqua e calore fra l'Atlantico settentrionale e i tropici. La frequenza degli uragani aumenta o diminuisce seguendo uno schema multidecennale (a sinistra) che gli scienziati stanno ancora studiando.



# Ricordiamo: Composizione dell'atmosfera secca

Componenti Principali (in volume percentuale) :

Azoto (78.08 %)

Ossigeno (20.95 %)

Componenti Secondari

argon (0.934 %)

*la curva di Keeling*

**biossido di carbonio (0.035 % (!?))** <https://www.youtube.com/watch?v=rEbE5fcnFVs>

Componenti in tracce < 0.002%

Neon ( $1.818 \cdot 10^{-3}$  %) Elio ( $5.24 \cdot 10^{-4}$  %)

Kripton ( $1.14 \cdot 10^{-4}$  %) Metano ( $1.6 \cdot 10^{-4}$  %)

N<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, Xe, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CO.

- L'acqua sottoforma di vapore può contribuire fino ad oltre 1 %
- Alcuni valori tipici:
  - Atmosfera sopra aree marine tropicali:  $\approx 1,8$  %
  - Aria Polare  $\approx 0,1$  %
  - Aria stratosferica (30 Km) :  $\approx 0.01$  %

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

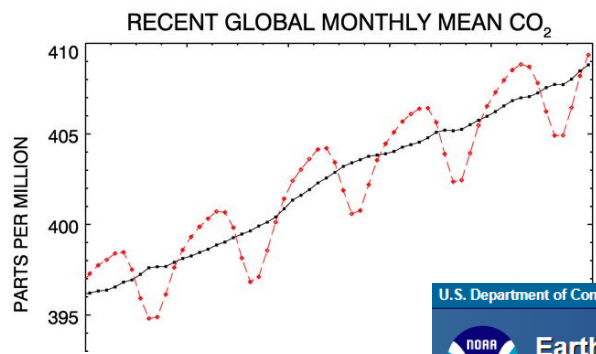
Trends in Atmospheric Carbon Dioxide

[Mauna Loa, Hawaii](#) | **Global** | [CO<sub>2</sub> Movie](#) | [CO<sub>2</sub> Emissions](#)

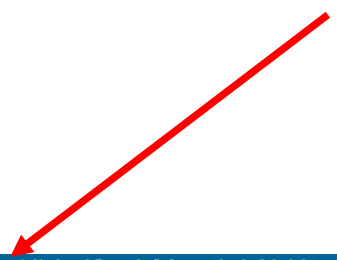
[Recent trend](#) | **Last 5 Years** | [Full Record](#) | [Growth Rate](#) | [Data](#)

Recent Global CO<sub>2</sub>

**December 2018: 409.36 ppm**  
**December 2017: 406.53 ppm**  
Last updated: March 5, 2019



**March 2021: 417.64 ppm**  
**March 2020: 414.74 ppm**  
Last updated: April 7, 2021



Trends in Atmospheric Carbon Dioxide

[Mauna Loa, Hawaii](#) | **Global** | [CO<sub>2</sub> Movie](#) | [CO<sub>2</sub> Emissions](#)

[Last Month](#) | [Last 1 Year](#) | **Last 5 Years** | [Full Record](#) | [Growth Rate](#) | [Data](#) | [Interactive Plots](#)

Recent Monthly Average Mauna Loa CO<sub>2</sub>

**February 2019: 411.75 ppm**  
**February 2018: 408.32 ppm**  
Last updated: March 5, 2019



*On the Influence of Carbonic Acid  
in the Air upon the Temperature of  
the Ground*

Svante Arrhenius

Philosophical Magazine and Journal of Science  
Series 5, Volume 41, April 1896, pages 237-276.

This photocopy was prepared by Robert A. Rohde for Global Warming Art (<http://www.globalwarmingart.com/>) from original printed material that is now in the public domain.

Arrhenius's paper is the first to quantify the contribution of carbon dioxide to the greenhouse effect (Sections I-IV) and to speculate about whether variations in the atmospheric concentration of carbon dioxide have contributed to long-term variations in climate (Section V). Throughout this paper, Arrhenius refers to carbon dioxide as "carbonic acid" in accordance with the convention at the time he was writing.

Contrary to some misunderstandings, Arrhenius does not explicitly suggest in this paper that the burning of fossil fuels will cause global warming, though it is clear that he is aware that fossil fuels are a potentially significant source of carbon dioxide (page 270), and he does explicitly suggest this outcome in later work.

THE  
LONDON, EDINBURGH, AND DUBLIN  
PHILOSOPHICAL MAGAZINE  
AND  
JOURNAL OF SCIENCE.

[FIFTH SERIES.]

APRIL 1896.

XXXI. *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground.* By Prof. SVANTE ARRHENIUS\*.

I. *Introduction: Observations of Langley on Atmospheric Absorption.*

A GREAT deal has been written on the influence of the absorption of the atmosphere upon the climate. Tyndall† in particular has pointed out the enormous importance of this question. To him it was chiefly the diurnal and annual variations of the temperature that were lessened by this circumstance. Another side of the question, that has long attracted the attention of physicists, is this: Is the mean temperature of the ground in any way influenced by the presence of heat-absorbing gases in the atmosphere? Fourier‡ maintained that the atmosphere acts like the glass of a hot-house, because it lets through the light rays of the sun but retains the dark rays from the ground. This idea was elaborated by Pouillet§; and Langley was by some of his researches led to the view, that "the temperature of the earth under direct sunshine, even though our atmosphere were present as now, would probably fall to  $-200^{\circ}$  C., if that atmosphere did not possess the quality of selective

\* Extract from a paper presented to the Royal Swedish Academy of Sciences, 11th December, 1895. Communicated by the Author.

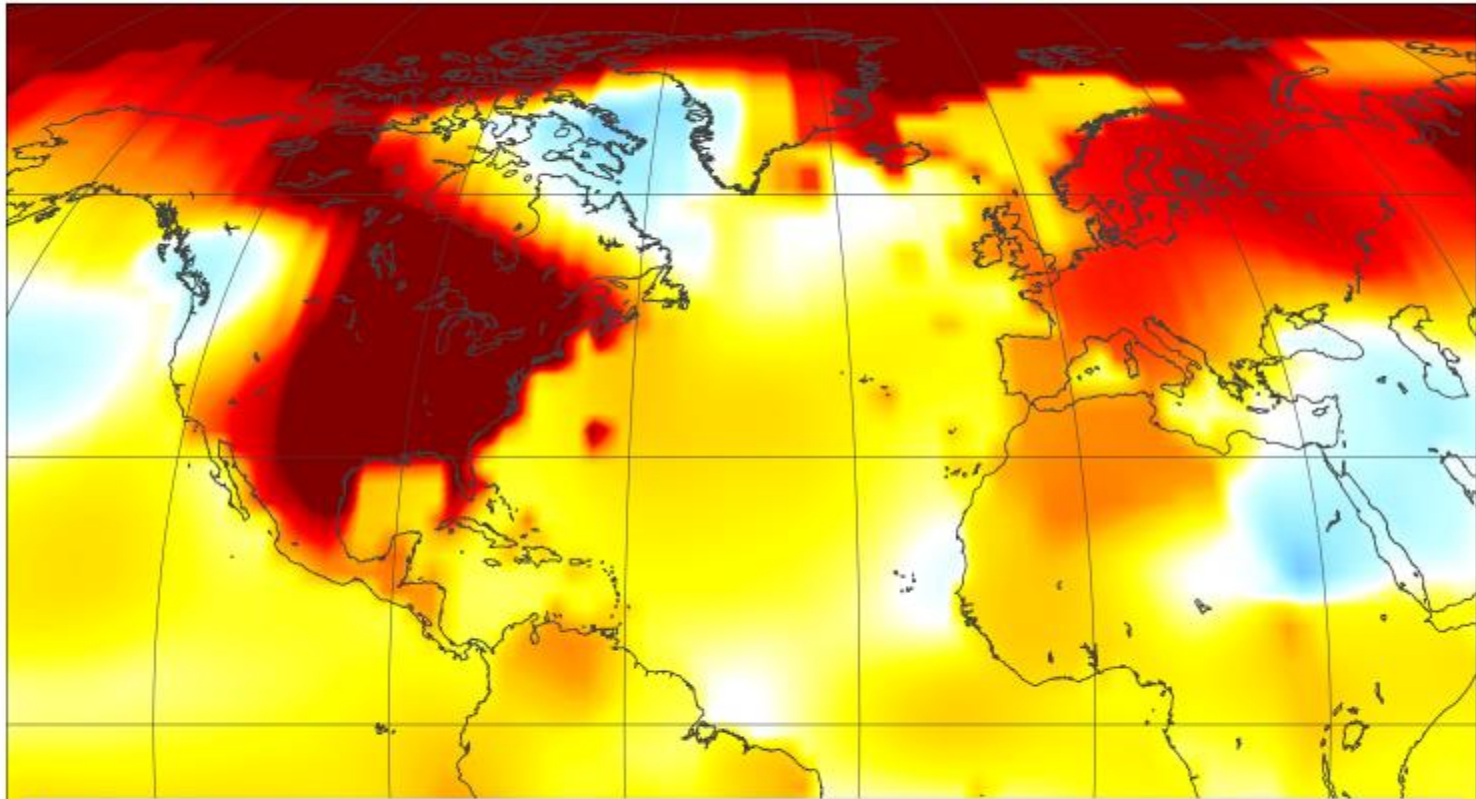
† 'Heat a Mode of Motion,' 2nd ed. p. 405 (Lond., 1865).

‡ *Mém. de l'Ac. R. d. Sci. de l'Inst. de France*, t. vii. 1827.

§ *Comptes rendus*, t. vii. p. 41 (1838).



## February 2017 Was Second Warmest February On Record



At 1.1°C above the 1951-1980 average, February 2017 was the second warmest February since modern record-keeping began almost 140 years ago.

(2017-03-15)



# Global Warming

<http://www.ipcc.ch/>

The screenshot displays the IPCC website interface. At the top right, the IPCC logo is accompanied by the text "INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change" and logos for WMO and UNEP. A search bar and language selection dropdown are also present. A vertical navigation menu on the left lists various site sections. The main content area features a prominent section for the "Fifth Assessment Report (AR5)", including a sub-section for "The Physical Science Basis" with a thumbnail image of the report cover. Below this, there are buttons for "SYR", "WG I", "WG II", and "WG III". Further down, an announcement for "IPCC-43, Nairobi, Kenya" is visible, along with a "Recent Reports" section showing thumbnails for new expert meeting reports.

**ipcc**  
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change  
WMO UNEP

Languages ▼ IPCC web pages ▼ Search

**Home**  
Organization  
Procedures  
Working Groups / Task Force  
Activities  
Calendar  
Meeting Documentation  
News and Outreach  
Publications and Data  
Presentations and Speeches  
IPCC Scholarship Programme  
Links  
Contact

**Fifth Assessment Report (AR5)**  
AR5 provides a clear and up to date view of the current state of scientific knowledge relevant to climate change. It consists of three Working Group (WG) reports and a Synthesis Report (SYR). Information about how the AR5 was prepared can be found [here](#).

**The Physical Science Basis**  
The WG I contribution provides a comprehensive assessment of the physical science basis of climate change. The report includes a detailed assessment of climate change observations throughout the climate system; dedicated chapters on sea level change, biogeochemical cycles, clouds and aerosols, and regional climate phenomena; extensive information from models, including near-term and long-term climate projections; and a new comprehensive atlas of global and regional climate projections for 35 regions of the world.

- Summary for Policymakers ( [ar](#) | [en](#) | [es](#) | [fr](#) | [ru](#) | [zh](#) )
- Working Group I Report website
- Quick link to report PDFs

SYR **WG I** WG II WG III

**IPCC-43, Nairobi, Kenya**  
The plenary will take place in the United Nations Office at Nairobi (UNON) in Gigiri from 11 to 13 April 2016.

- Opening statement by IPCC Chair **New**
- Documents
- Media Advisory

**Quick Reference**

**Recent Reports**

**New** IPCC AR5  
IPCC Expert Meeting on Communication  
Meeting Report

**New** IPCC AR5  
IPCC Expert Meeting on the Future of the Task Group on Data and Service Support for Impacts and Climate Analysis  
Meeting Report

Phone: +41-22-730-8208 /84/54  
Email: IPCC-Sec@wmo.int

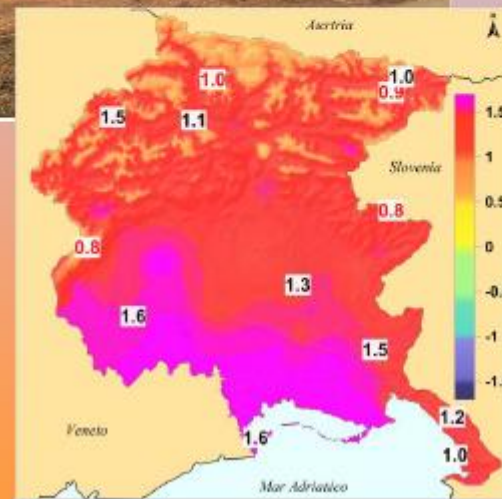
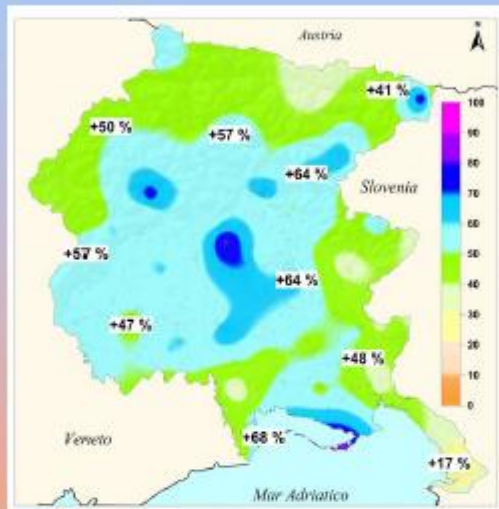
<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

# Climate Change 2013: The Physical Science Basis —

The Working Group I contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) provides a comprehensive assessment of the physical science basis of climate change since 2007 when the Fourth Assessment Report (AR4) was released.

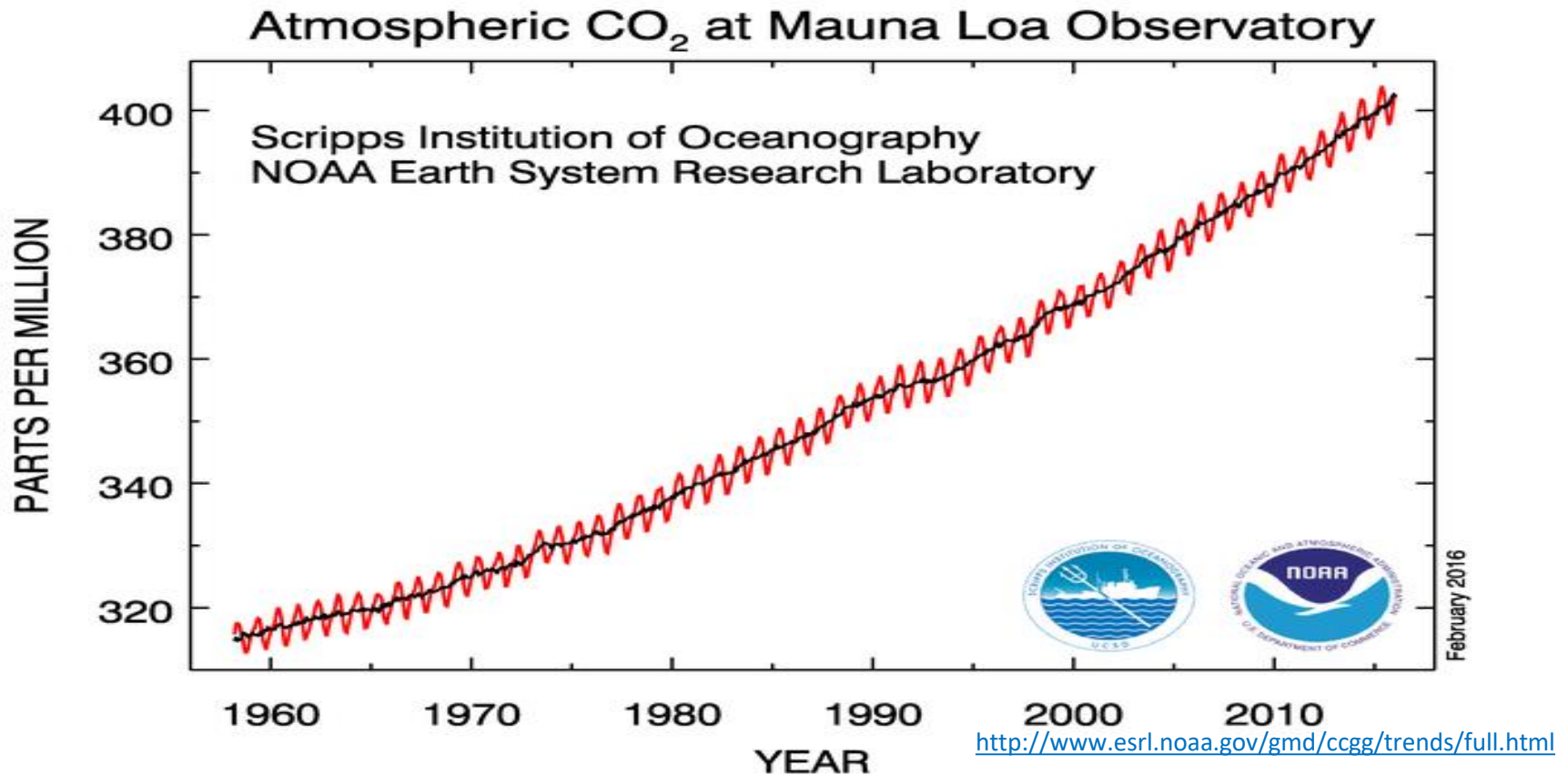


# cosa si registra in Friuli Venezia Giulia?



ARPA FVG - OSMER Osservatorio Meteorologico Regionale - Settore Meteo del CFD di Protezione Civile FVG

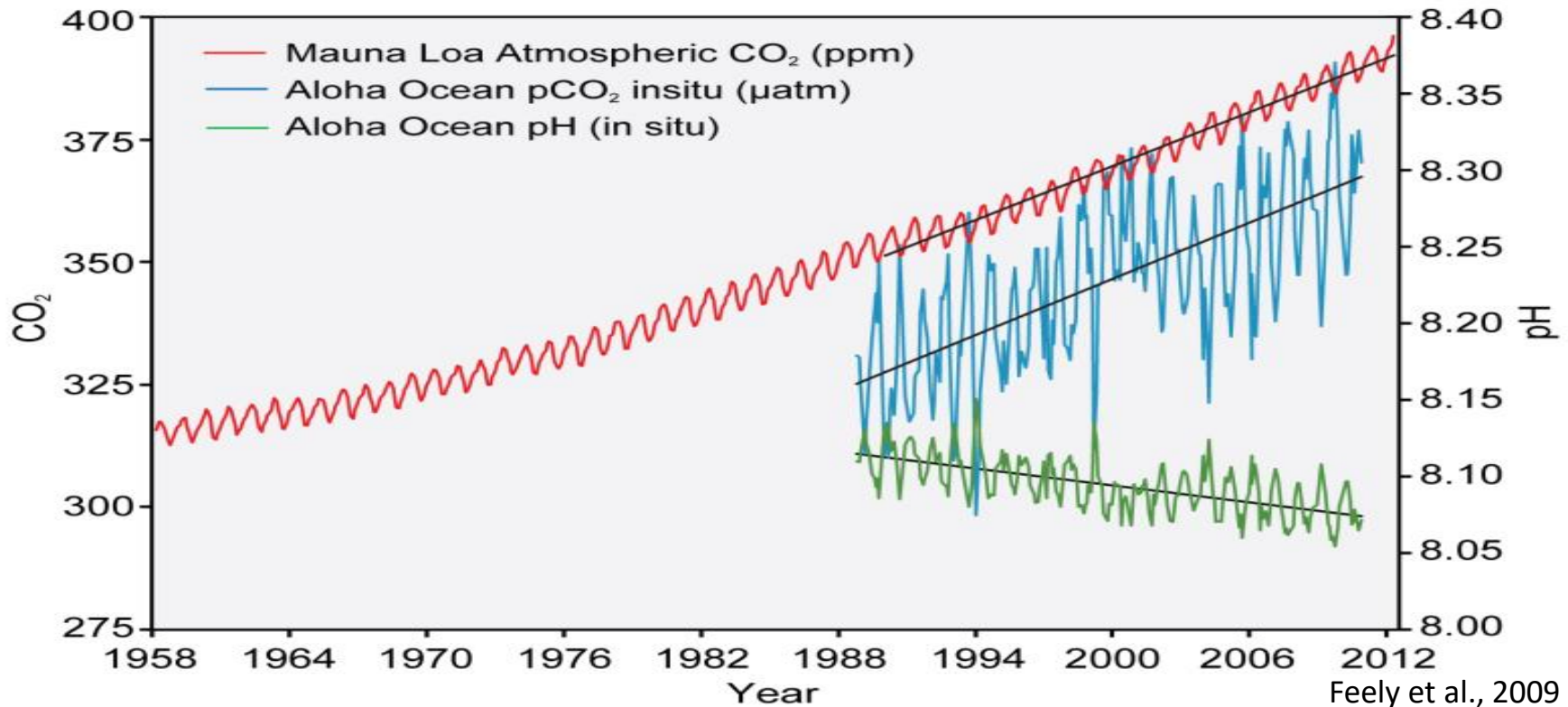
# L'incremento di CO<sub>2</sub> atmosferico



- Misure dirette di CO<sub>2</sub> dal 1958
- Aprile 2015: 400 ppm

# La diminuzione del pH marino

As Oceans Absorb CO<sub>2</sub>, They Become More Acidic



Aumento di CO<sub>2</sub> in atmosfera

Aumento di pCO<sub>2</sub> marino

Diminuzione di pH marino

pH acqua di mare: 8.00-8.20

Diminuzione di: 0.10-0.15 unità

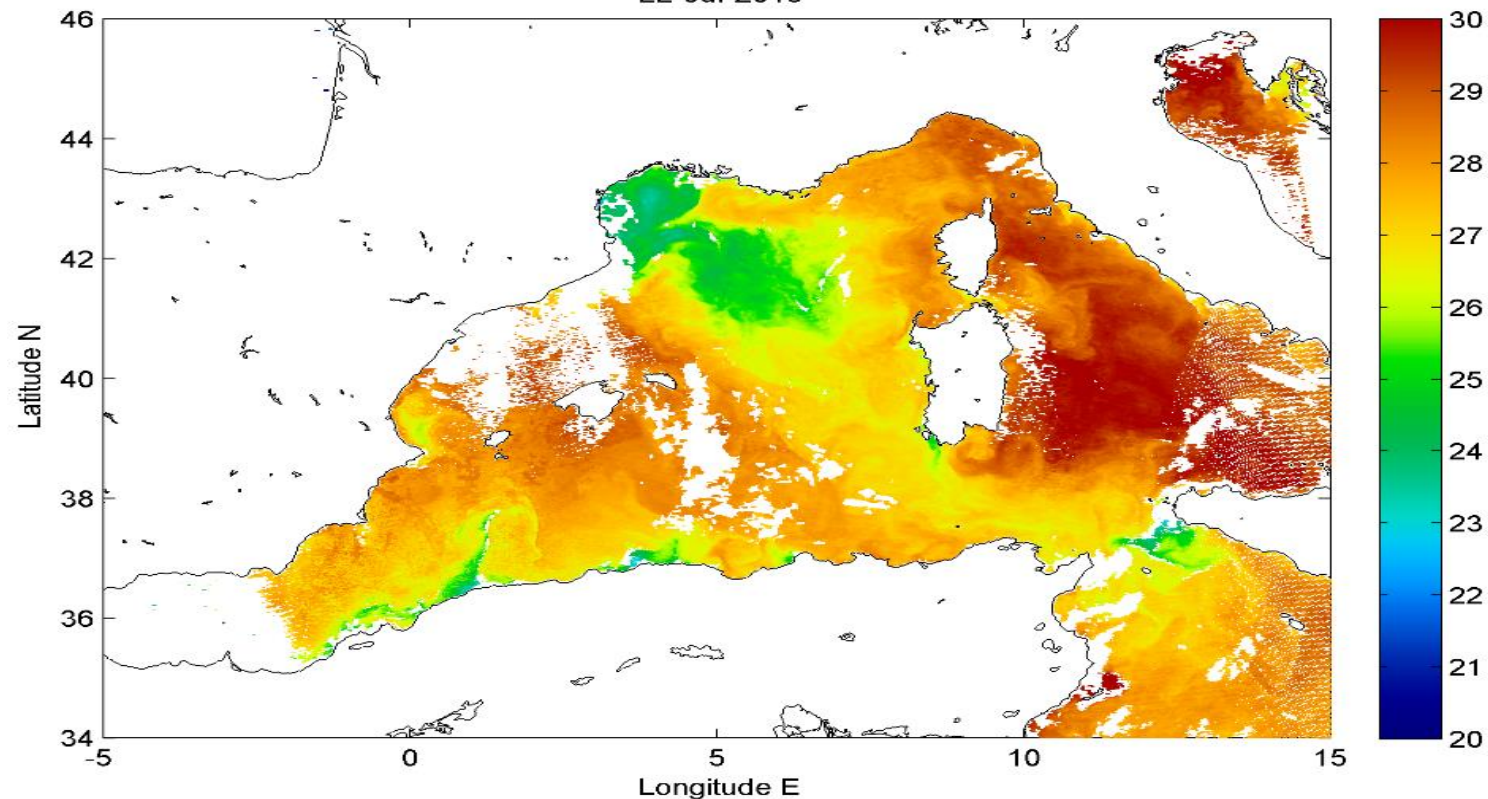
Aumento acidità del: 100-150 % entro il 2

# Scopi della tesi

DINAMICHE DEL SISTEMA CARBONATICO NEL  
MEDITERRANEO OCCIDENTALE  
CARATTERIZZAZIONE DEI CANALI DI SICILIA E  
SARDEGNA

Candidato:  
Alessandro Cipolla

Multi Satellite L3 SST (degC)  
22-Jul-2015



Caratterizzare il sistema carbonatico ed i processi che lo influenzano nei Canali di Sicilia e di Sardegna

Studi precedenti e nuovi dati

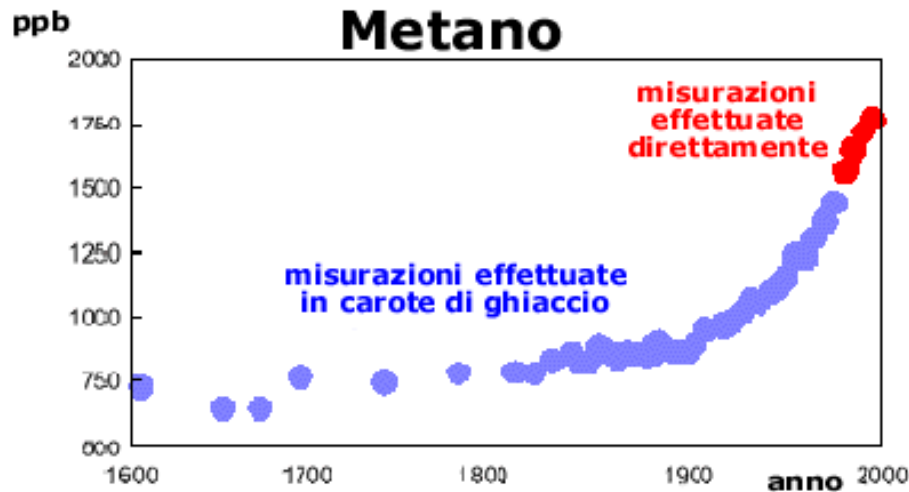
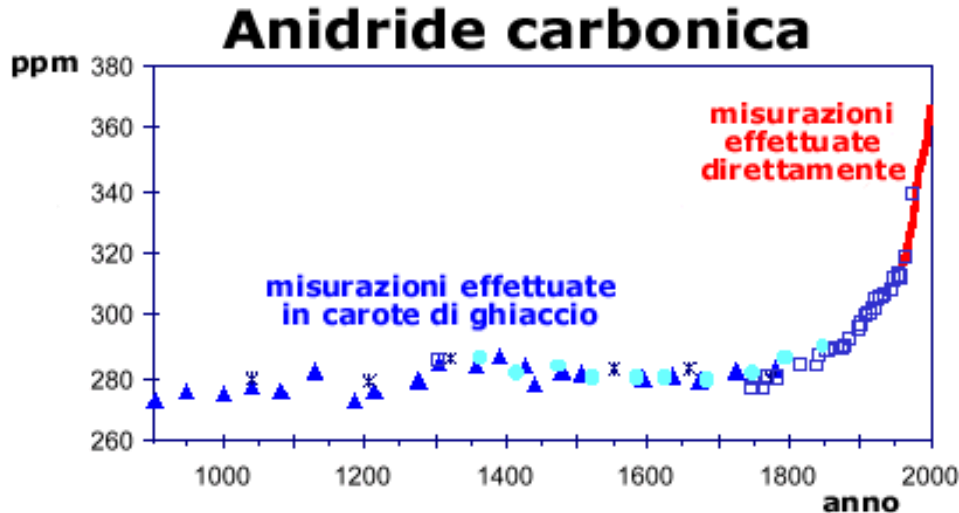
Effetti ondata di calore

<https://mediterraneanmonitoring.wordpress.com/2015/08/12/the-legacy-of-the-mega-heatwave/>

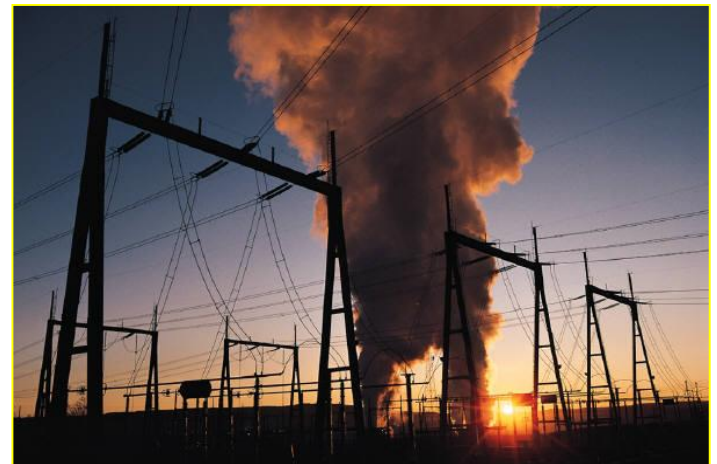


# Riscaldamento Globale

Dall'inizio della Rivoluzione Industriale, la concentrazione atmosferica dell'anidride carbonica è aumentata di oltre il 30%, la concentrazione del gas metano è più che raddoppiata.



Secondo il Segretariato delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici –UNFCCC  
I combustibili fossili sono responsabili in misura del 96.7% delle emissioni dei gas serra (95% CO<sub>2</sub> e 20% CH<sub>4</sub>) di cui il 39,1% dovuti alla produzione di energia elettrica e il 26,7% dovuti ai trasporti.





# Gas serra

Le emissioni antropiche di gas serra vengono valutate in termini di CO<sub>2</sub>-equivalente secondo i coefficienti di conversione di seguito elencati

Gas serra	GWP, <u>Global Warming Potential</u>
Anidride carbonica (CO <sub>2</sub> )	1
Metano (CH <sub>4</sub> )	21
Protossido di azoto (N <sub>2</sub> O)	310
Idrofluorocarburi (HFC)	140 - 11.700 (in media 1.600)
Perfluorocarburi (PFC)	6.500 - 9.200 (in media 7.000)
Esfluoruro di zolfo (SF <sub>6</sub> )	23.900

I sei gas serra sopra elencati sono quelli presi in considerazione dal Protocollo di Kyoto (1997).

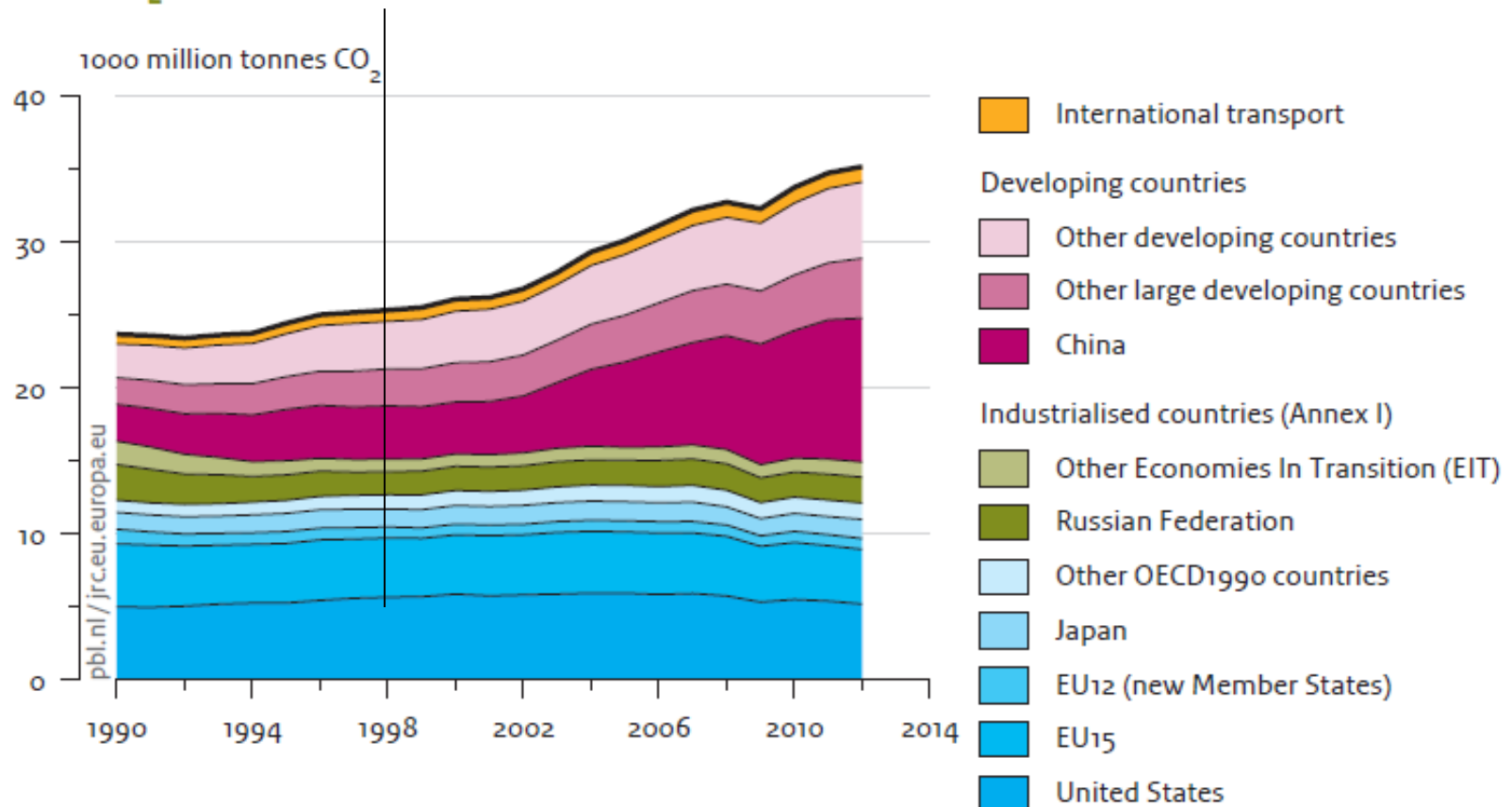
Paesi industrializzati si sono impegnati a ridurre entro il 2008-2012 le loro emissioni annue complessive del 5,2% rispetto ai livelli del 1990.

Gli obiettivi per i singoli Paesi sono differenziati: Russia, Ucraina e Nuova Zelanda 0%; Canada, Ungheria, Polonia e Giappone -6%; Usa -7%; Unione Europea -8%.

# Ratifica del Protocollo di Kyoto al 2009

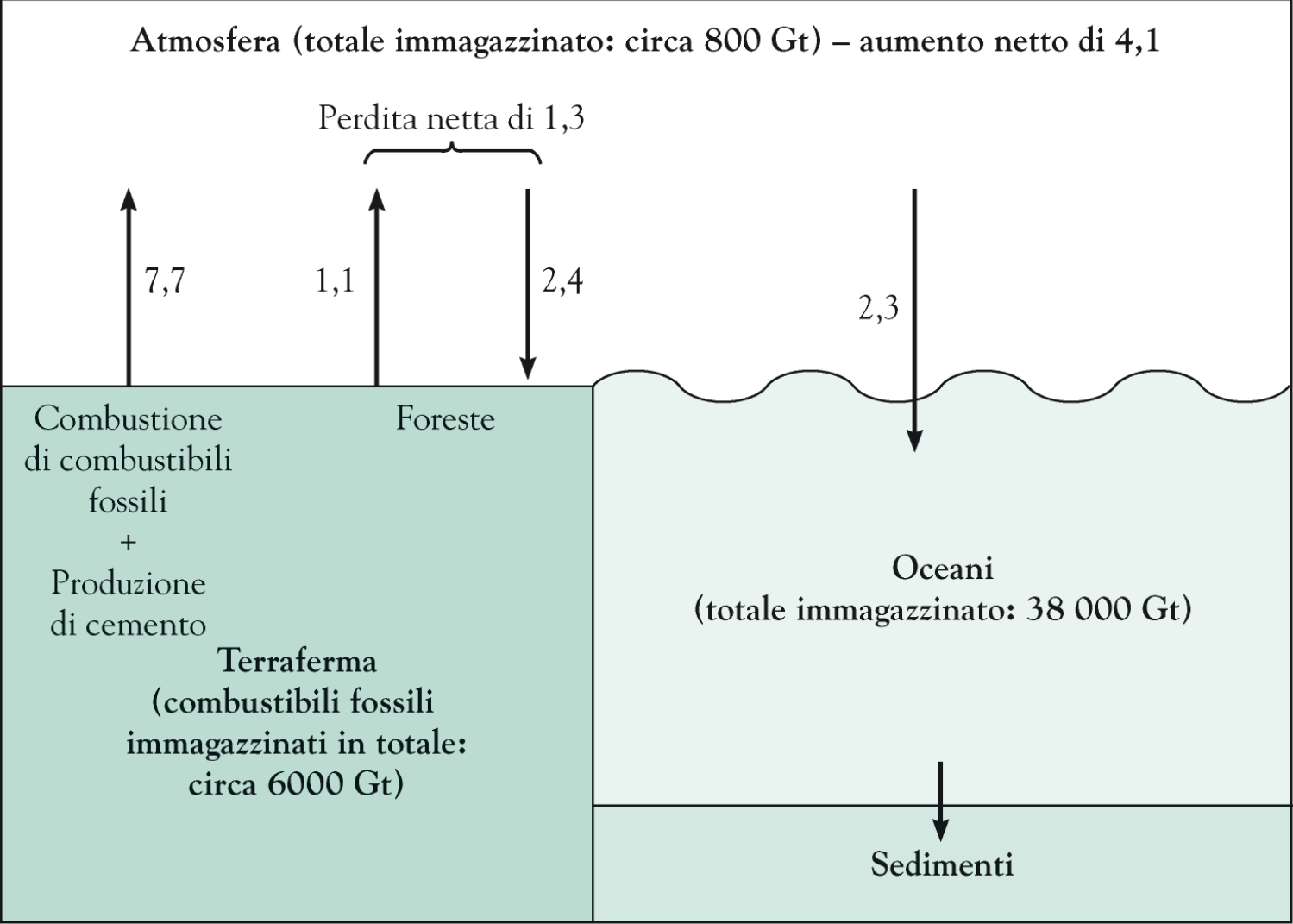


## Global CO<sub>2</sub> emissions per region from fossil-fuel use and cement production

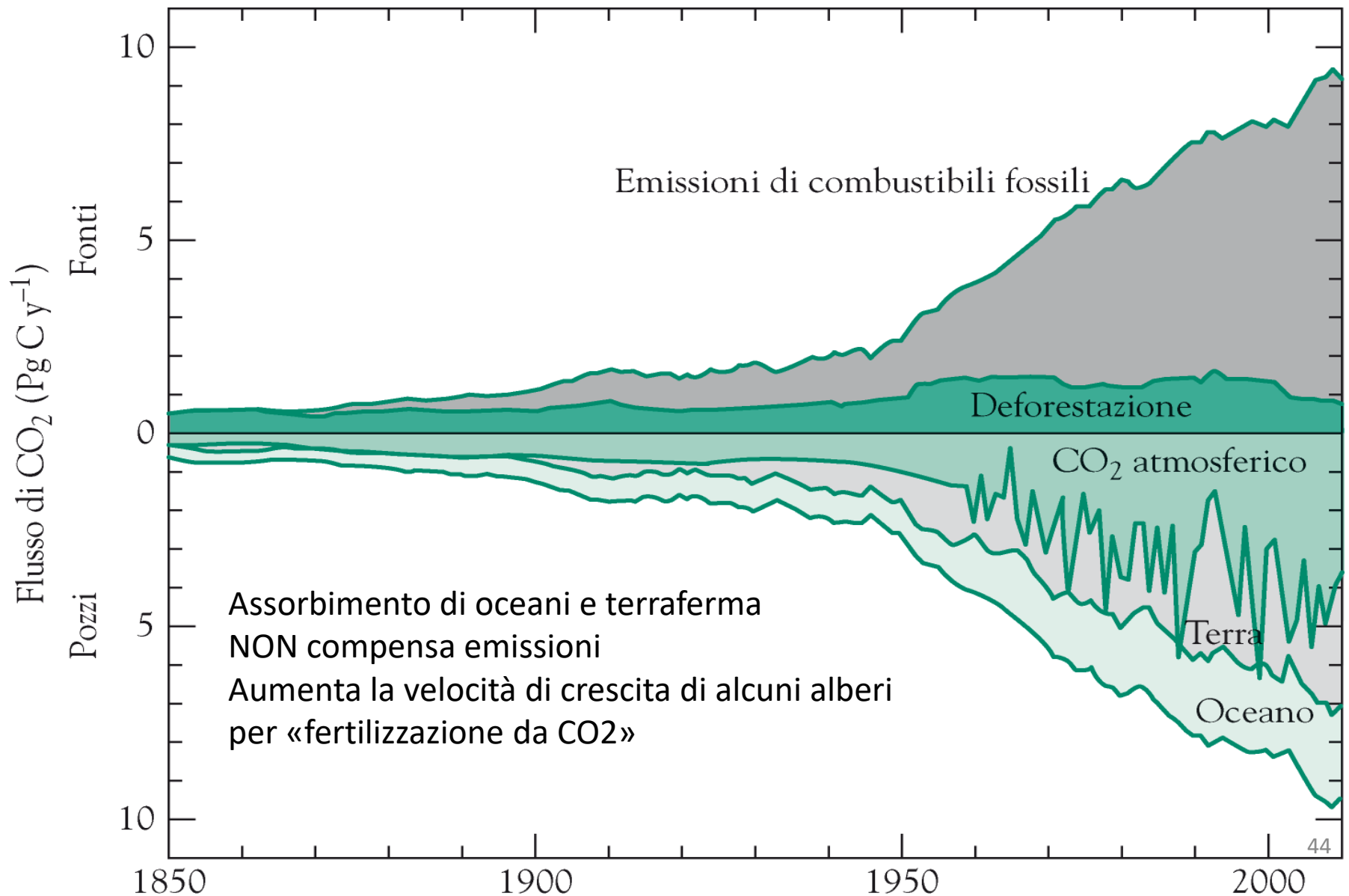


L'unico pozzo permanente per il CO<sub>2</sub> è la deposizione in profondità degli oceani o precipitazione in tali acque come CaCO<sub>3</sub> insolubile.

Poiché solo circa metà delle emissioni di CO<sub>2</sub> antropico viene allontanata rapidamente, il gas continua a accumularsi in atmosfera



Gran parte del contributo antropico della concentrazione atmosferica del CO<sub>2</sub> è dovuto all'uso di combustibili fossili. Una quota significativa è associata alla deforestazione mediante incendi.



**Acqua** è il principale gas serra terrestre. Innalzamento T aria per altri gas serra determina aumento di evaporazione -> ulteriore innalzamento della temperatura poiché acqua (g) è gas serra (rinforzo – retroazione (*feedback*) positiva). IR assorbito anche dall'acqua nelle nubi (goccioline, liquido)

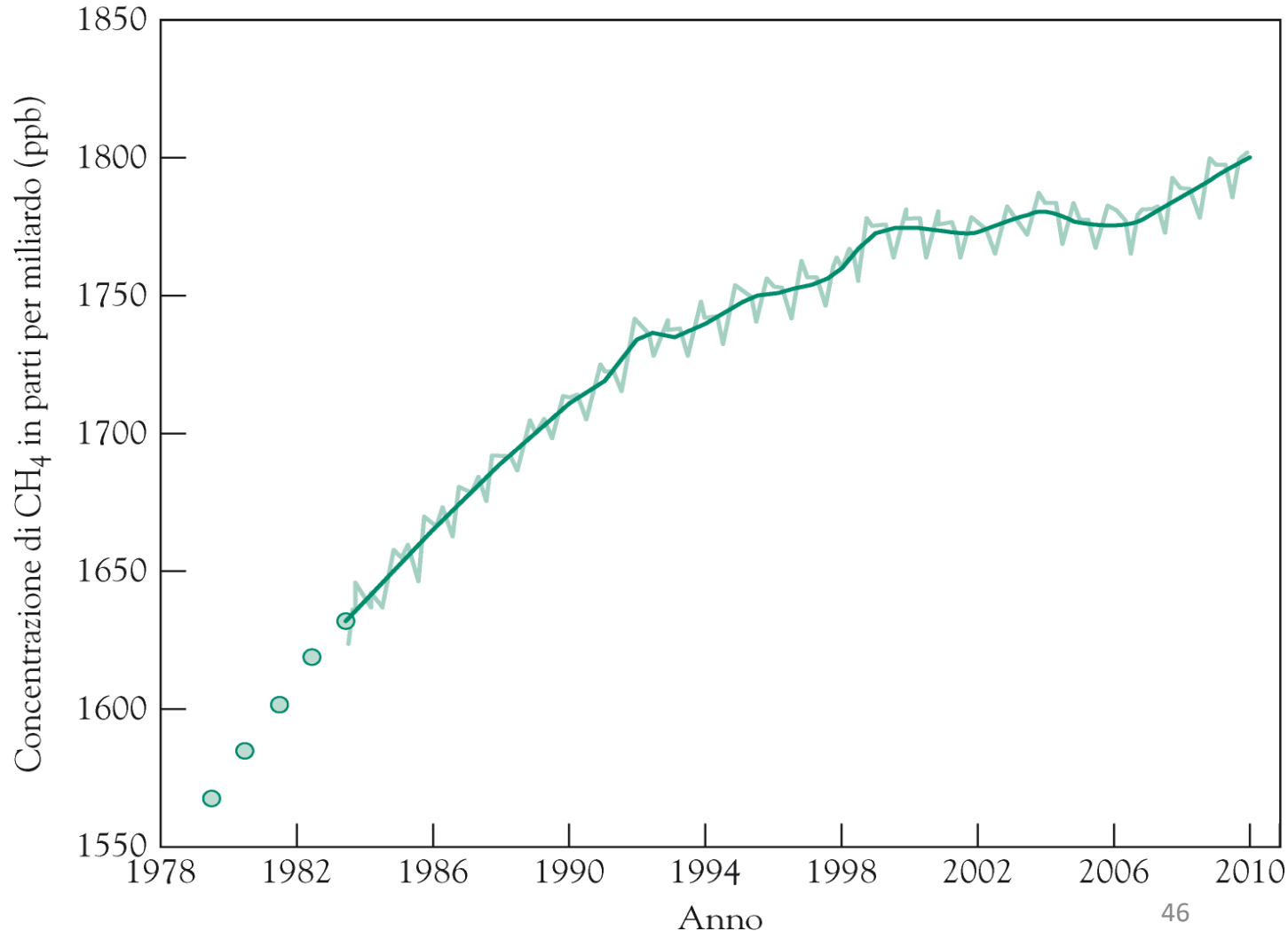
(Ma nubi contribuiscono all'albedo...)

**Metano** assorbe nella parte inferiore alla regione finestra; tempo di vita in atmosfera un decennio ( $\text{CO}_2$  secoli). Pozzo principale è reazione con radicale OH e formazione  $\text{CH}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} \rightarrow \text{CO}_2$ ; altri pozzi reazioni con terreno e passaggio in stratosfera.

70%  $\text{CH}_4$  antropico

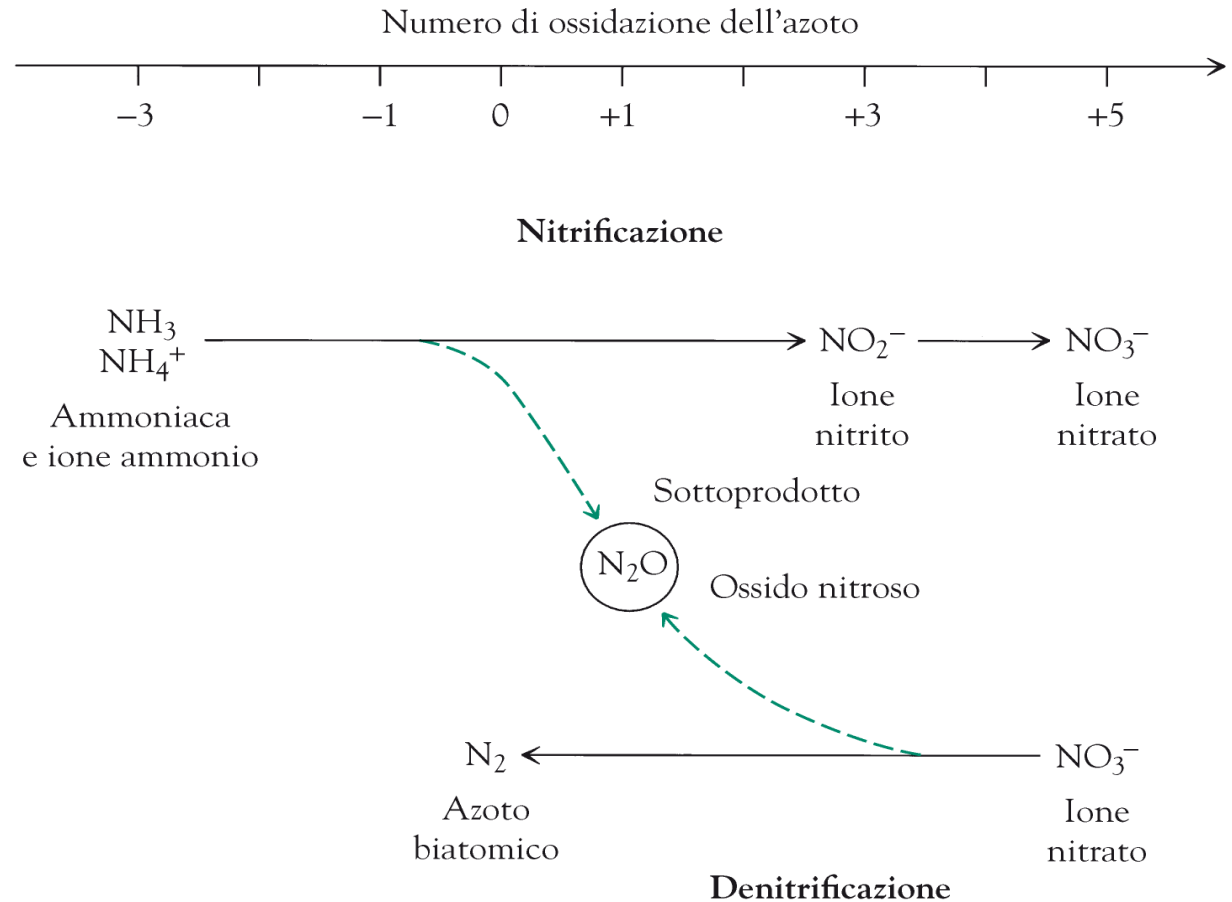
Fonti: decomposizione anaerobia (gas di palude) paludi, stagni, risaie, discarica, ruminanti, estrazione gas naturale.

In futuro potrebbe aumentare:  
Decadimento biomassa; permafrost; idrato (clatrato) di metano sui fondali



**N<sub>2</sub>O Ossido nitroso** o protossido d'azoto, principalmente liberato da oceani o terreni (exp. nelle regioni tropicali);

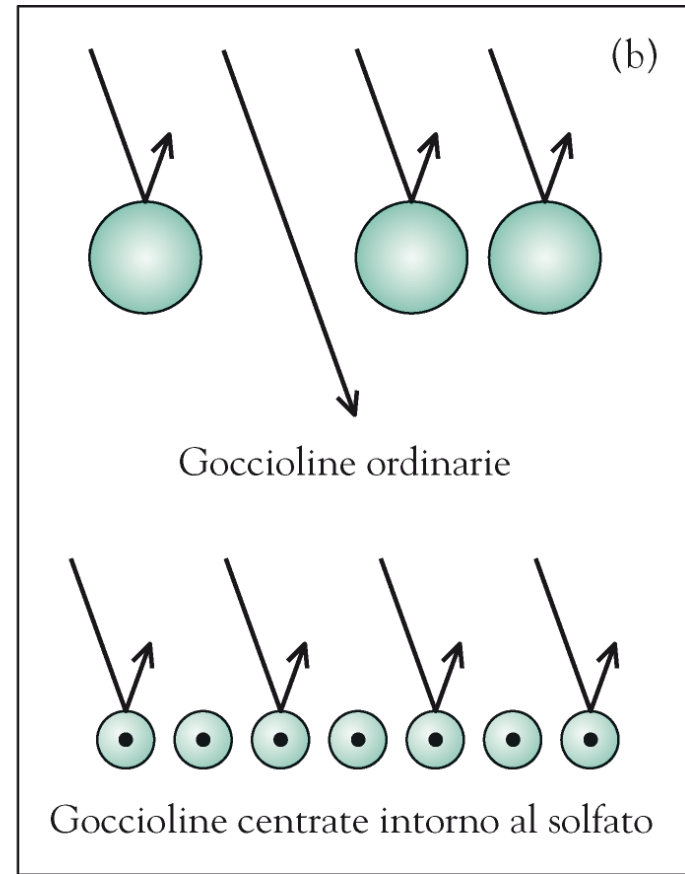
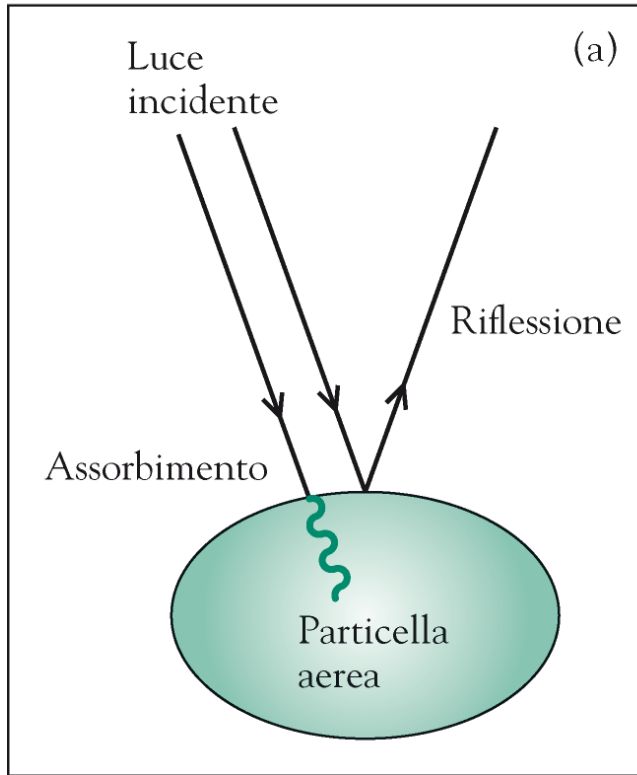
Non esistono pozzi per N<sub>2</sub>O in troposfera (finisce in stratosfera (N<sub>2</sub> + O))



CFC e SF<sub>6</sub> lunghi tempi di residenza; O<sub>3</sub>

AEROSOL - particelle possono riflettere luce verso lo spazio (compensando parzialmente il riscaldamento) ; deviazione di radiazione da parte di una particella è nota come diffusione (scattering)

Frazione di luce solare riflessa è detta *albedo*



Energia assorbita viene trasformata in calore / riscaldamento dell'aria vicina alla particella  
Fuliggine (*soot*) nerofumo assorbe; Aerosol di solfato puri non assorbono. Solfato come nucleo per formazione di goccioline d'acqua dà contributo a incremento dell'albedo. *Wet scavenging*. Emissioni di SO<sub>2</sub> continuano a ritardare il dispiegarsi degli effetti del riscaldamento globale prodotto dall'aumento dei gas serra



# Quantità di luce solare riflessa ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) da aerosol antropici (emisfero Nord principalmente)

