

# **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**

# ***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/BAMSmartrenberth.pdf>

<http://www-users.math.umn.edu/~mcgehee/Seminars/ClimateChange/presentations/2012-2Fall/20121030Handouts.pdf> !!!

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  $6371 \text{ km}$ ); 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  $0,3$ .

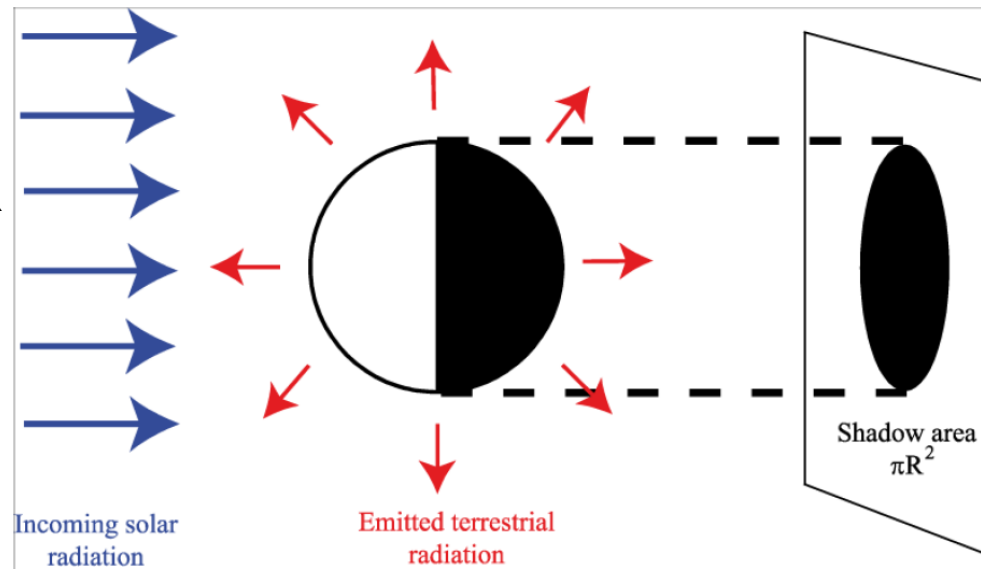
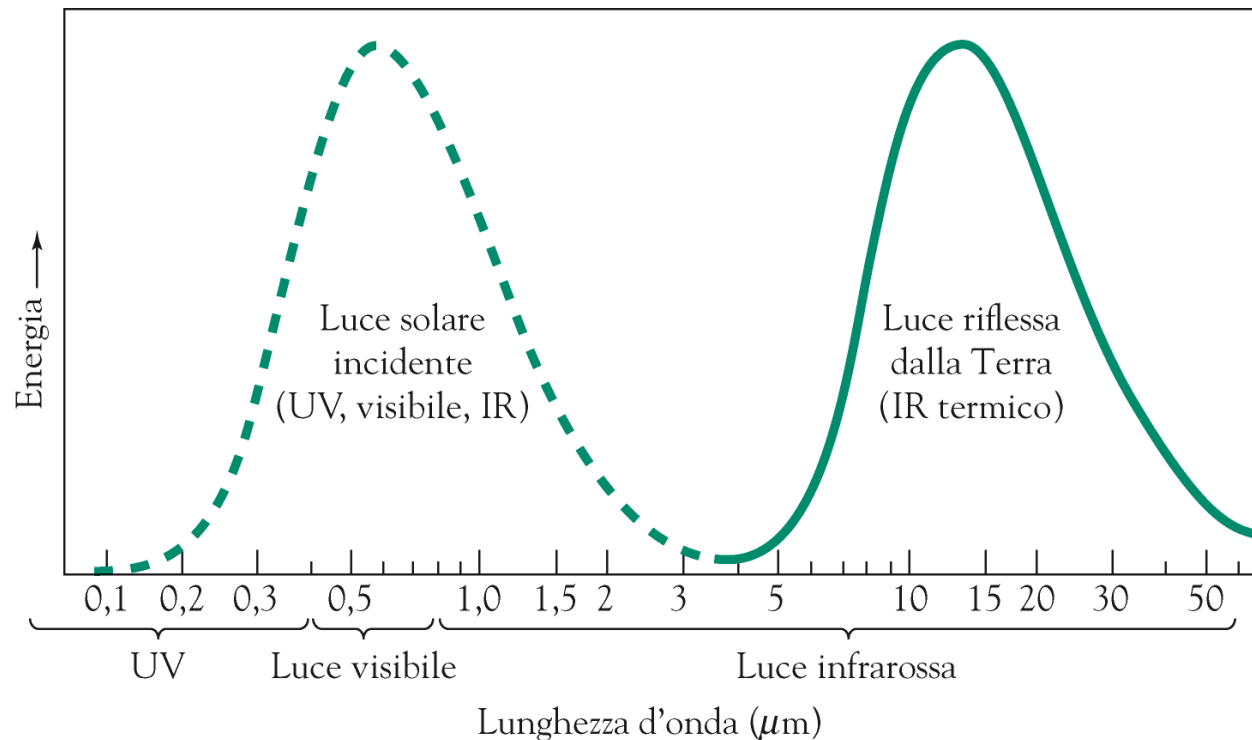


Figure 2.2: Heat absorbed and emitted by the Earth.

**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

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

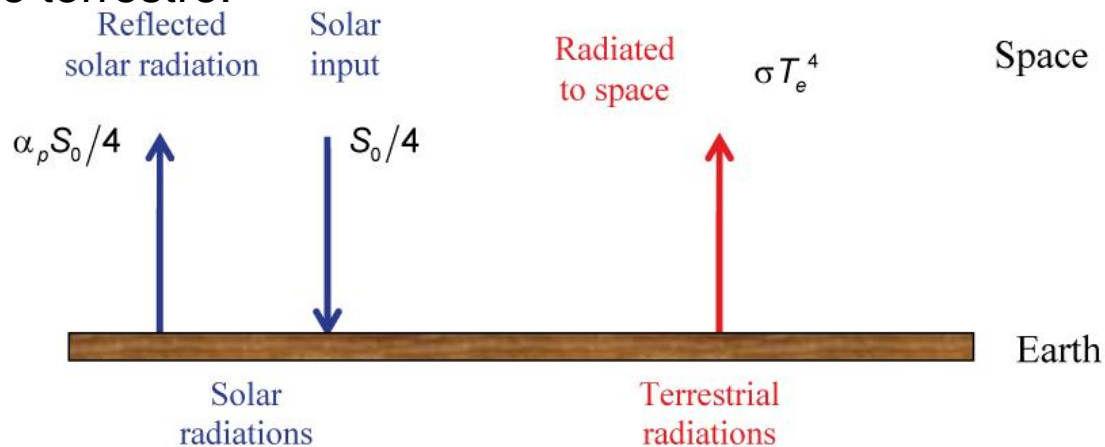
Ciò porta a:

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

E quindi:

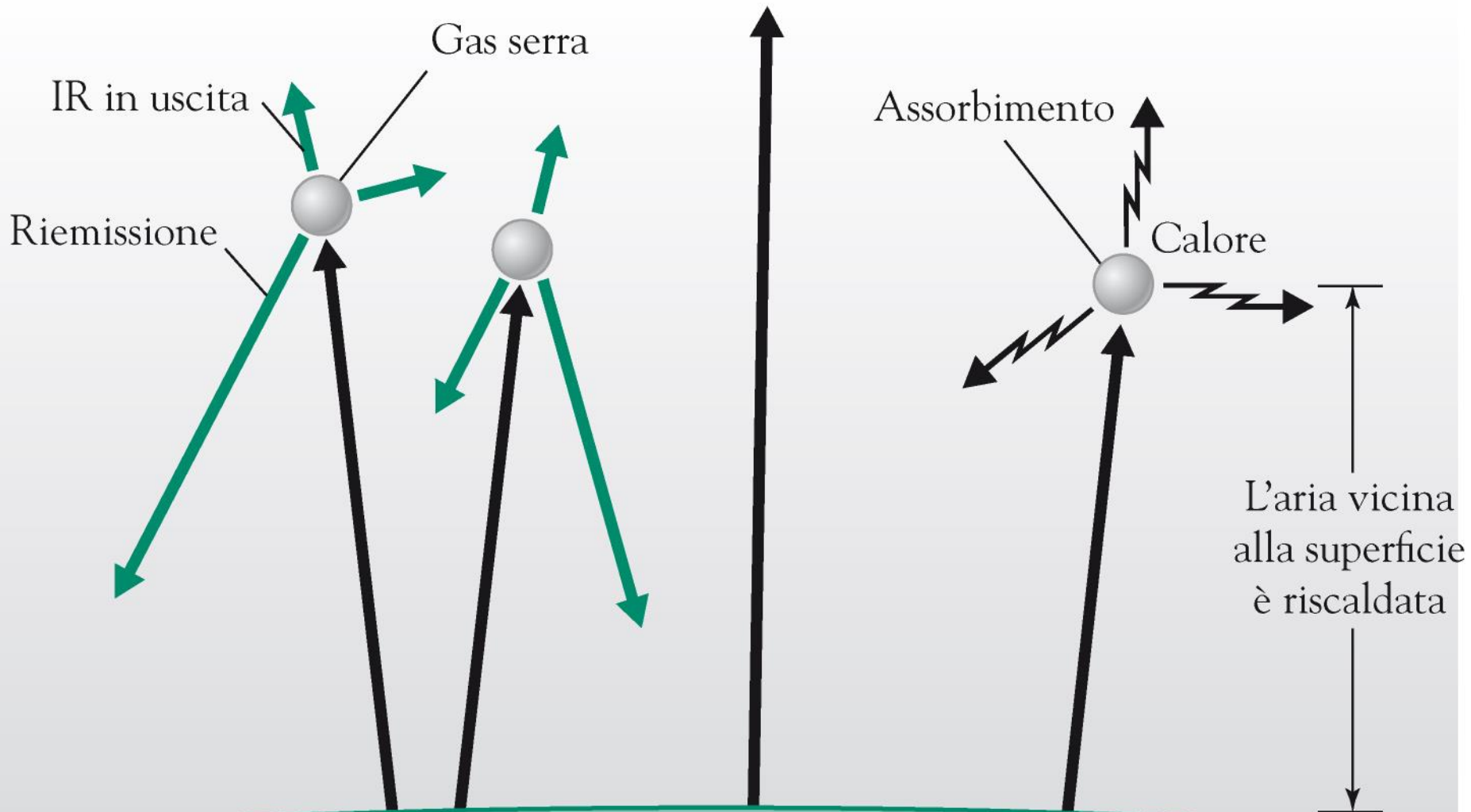
$$T_e = \left( \frac{1}{4\sigma} (1 - \alpha_p) S_0 \right)^{1/4}$$

Ciò corrisponde a  $T_e = 255 \text{ K} (= -18^\circ \text{C})$ . 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*



Superficie della Terra

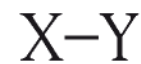
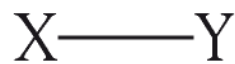
Molecole con momento di dipolo assorbono radiazione IR aumentando la propria energia vibrazionale e aumentano la temperatura

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

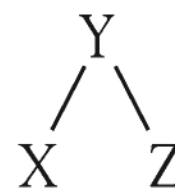
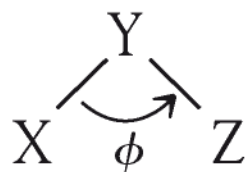
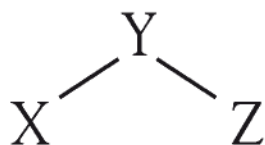
Emissione IR isotropa/non direzionata



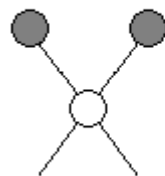
(a) Vibrazione da stiramento di legame



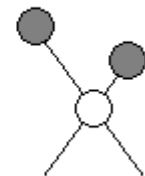
(b) Vibrazione da flessione di legame



### Stretching vibrations

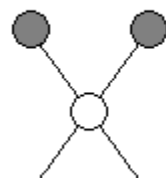


Symmetric

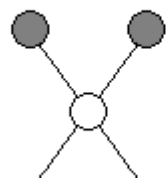


Asymmetric

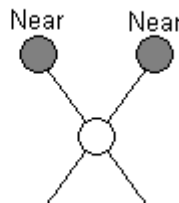
### Bending vibrations



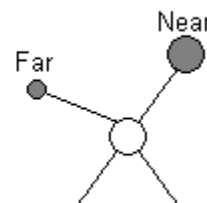
In-plane rocking



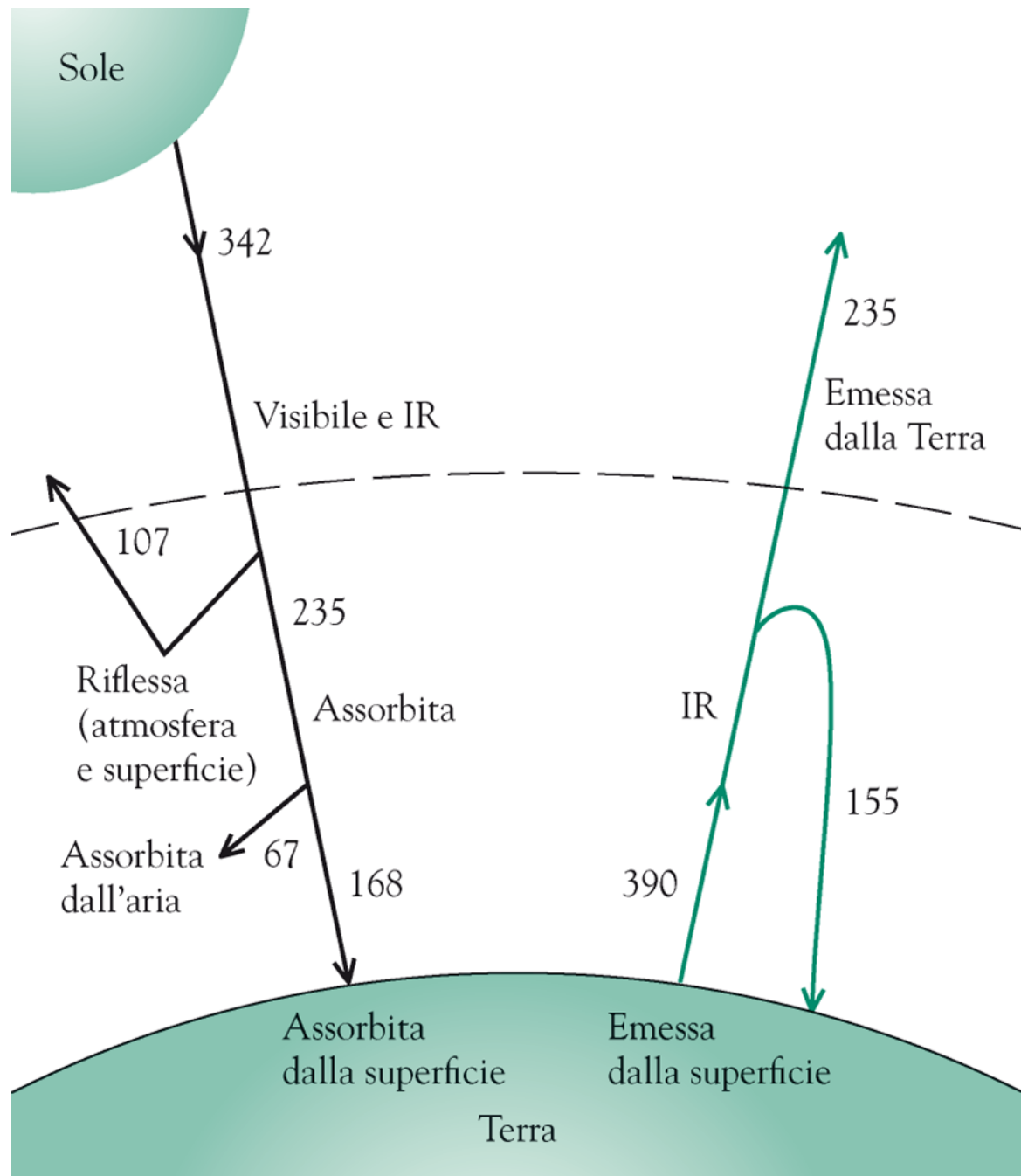
In-plane scissoring

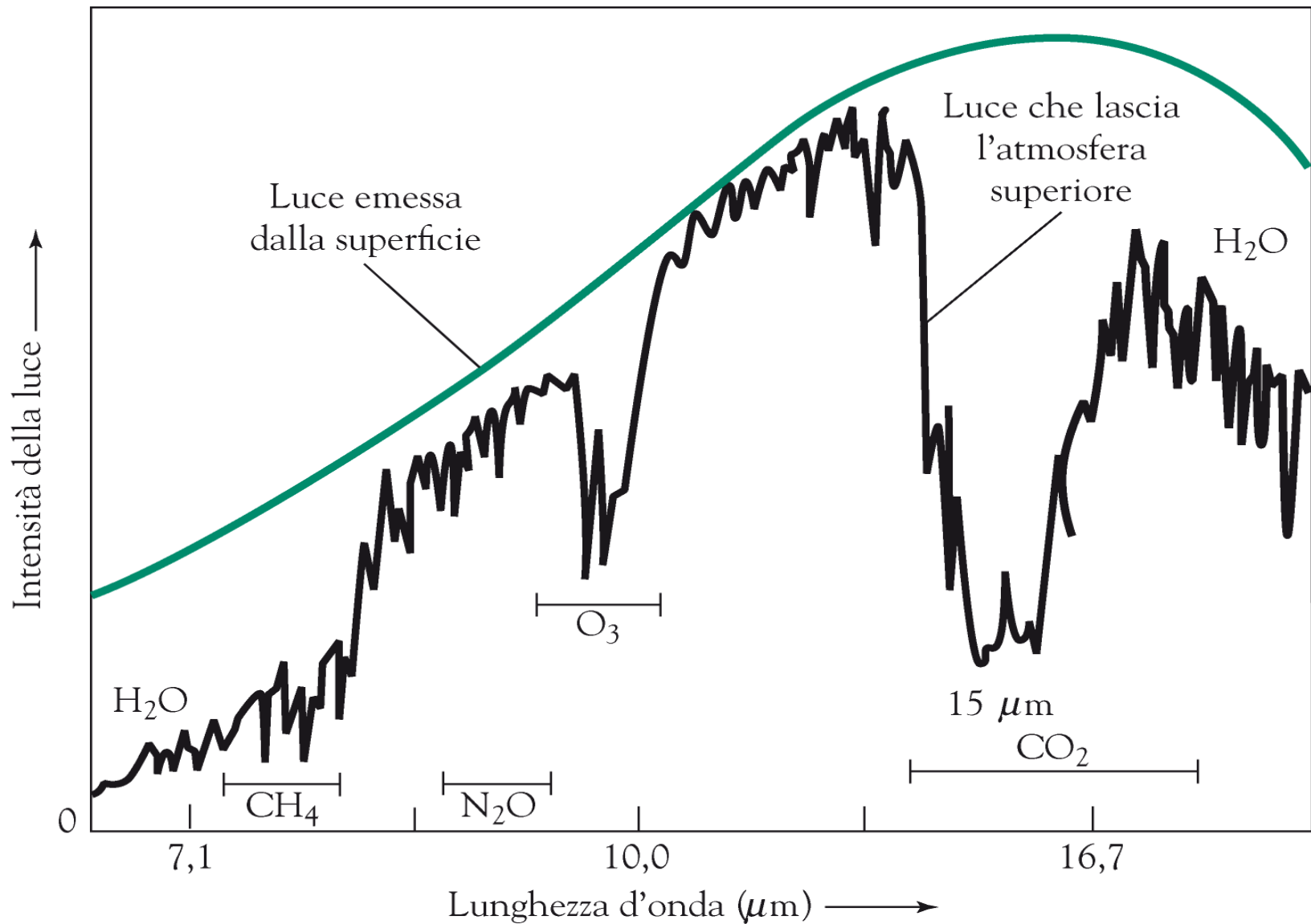


Out-of-plane wagging



Out-of-plane twisting



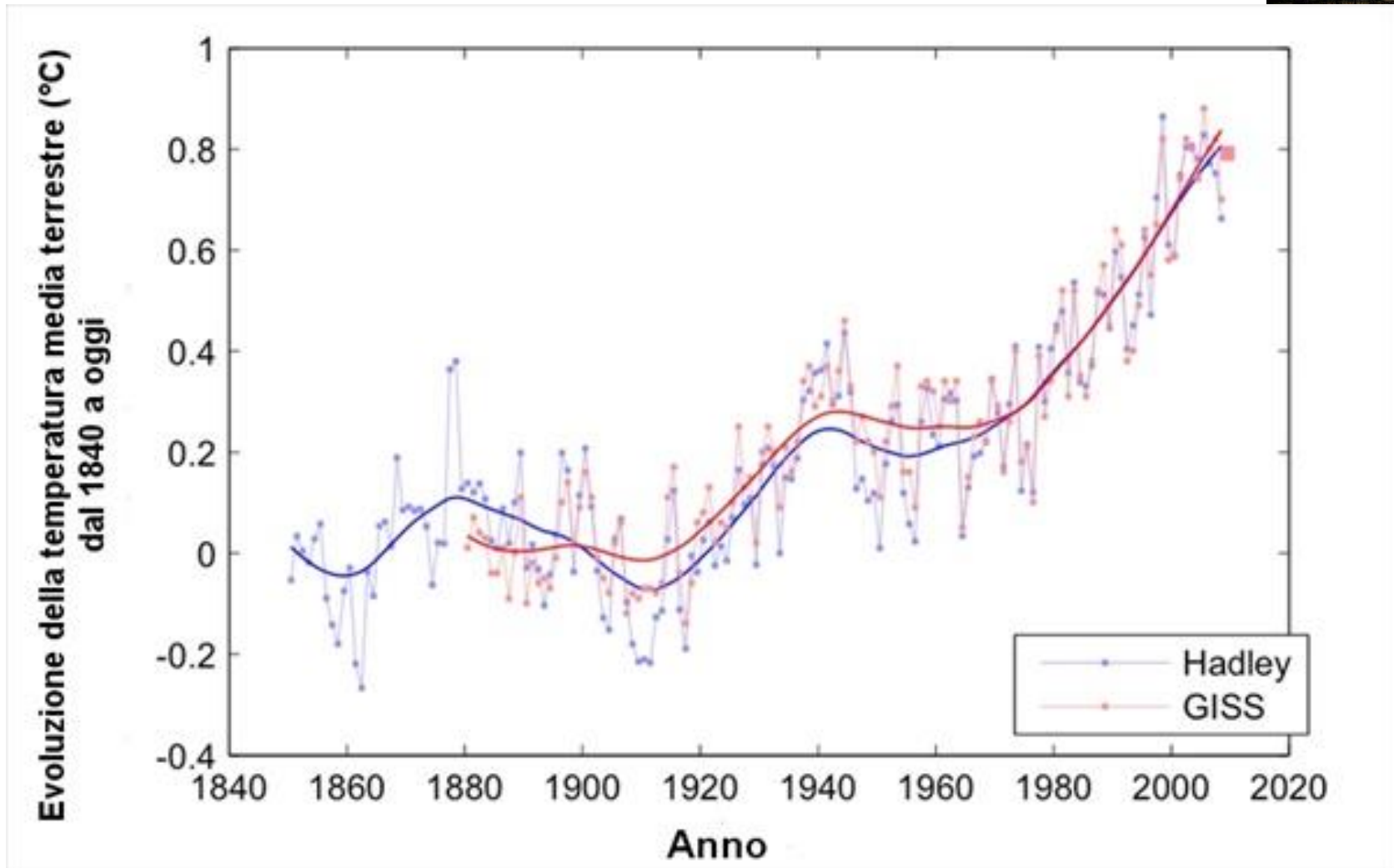


Intensità della radiazione IR termica emessa dalla superficie terrestre e quella che lascia l'atmosfera inferiore (fig. 5.7 Baird & Cann)

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

Quali gli effetti?

# Riscaldamento Globale



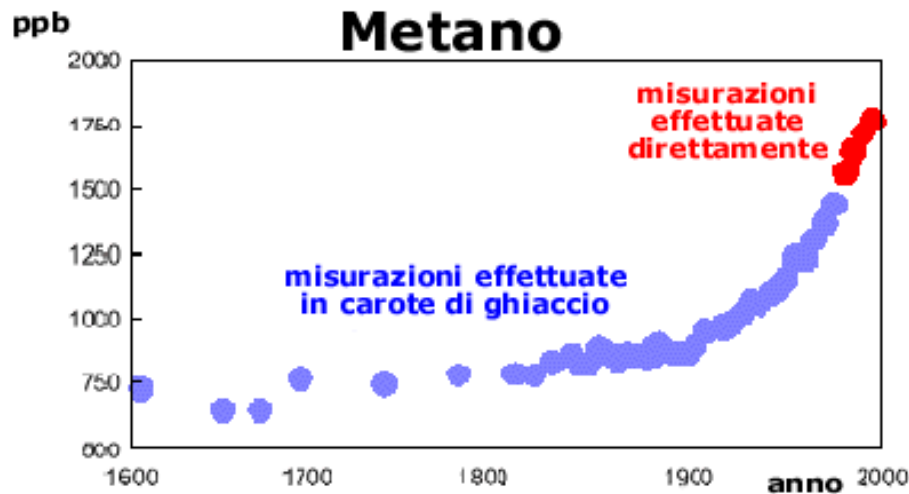
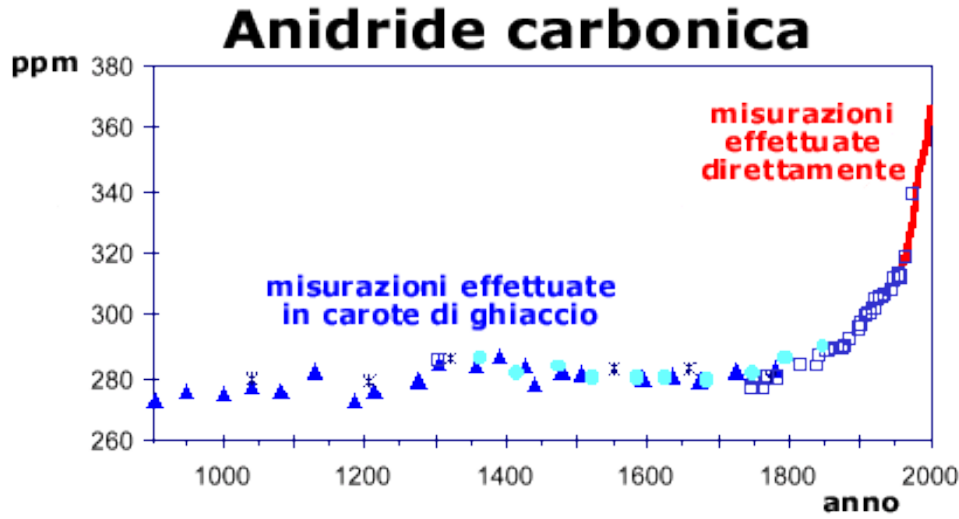
Dati forniti da 2 istituzioni di climatologia

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

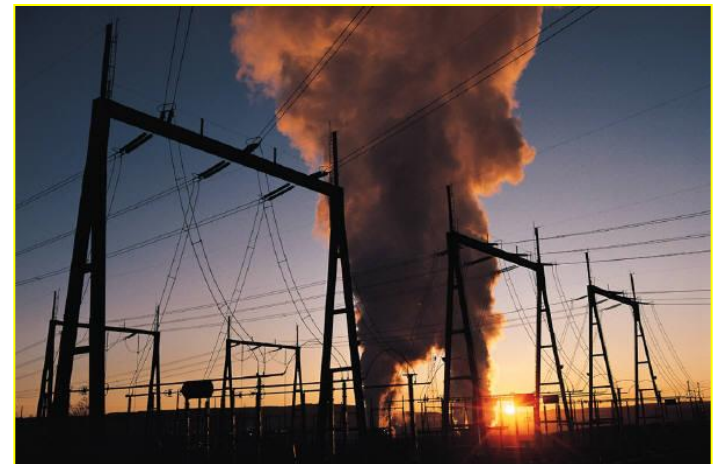
NASA/GISS (<https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>).

# 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.

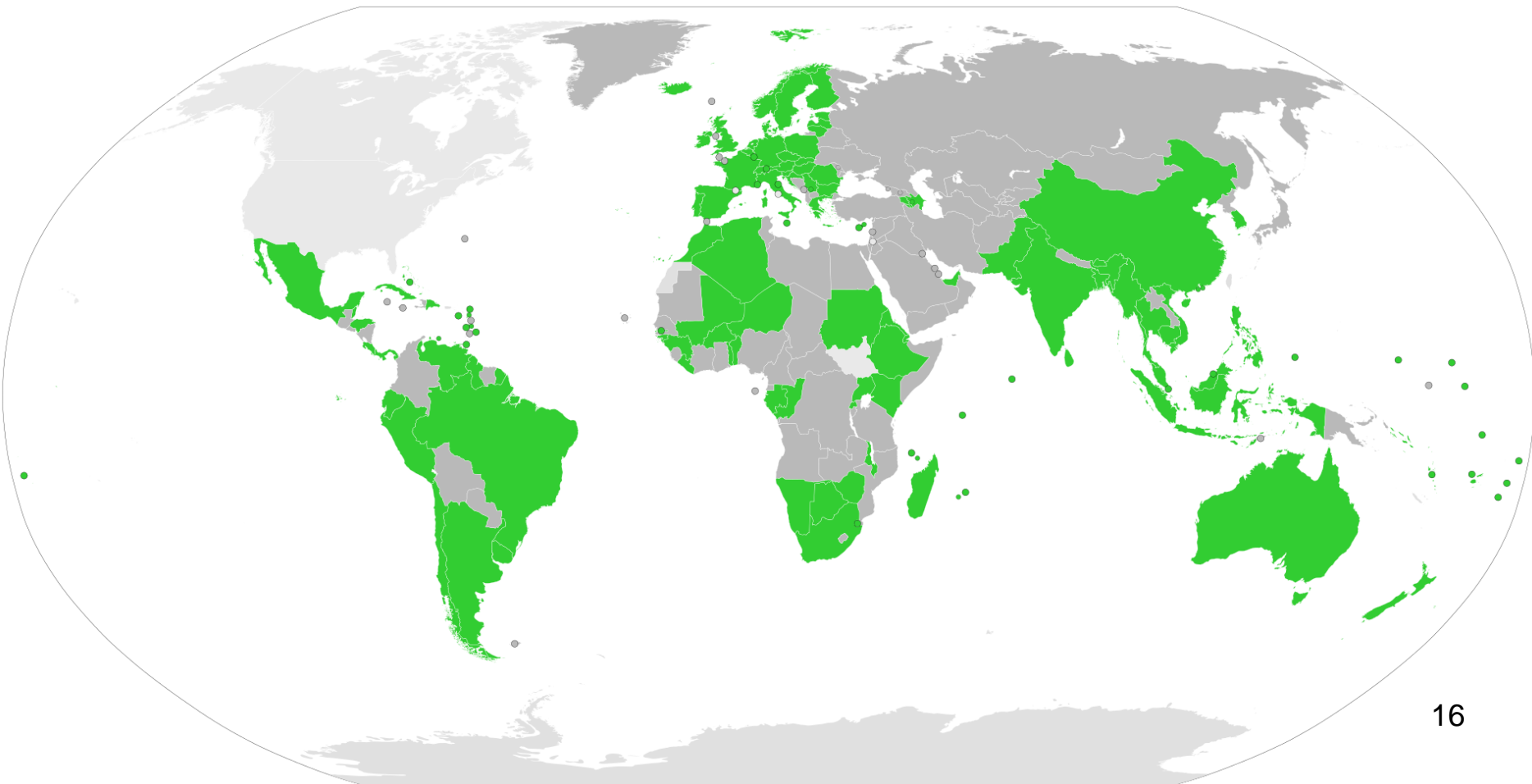
Gli obiettivi per i singoli Paesi sono differenziati: Russia, Ucraina e Nuova Zelanda 0%; Canada, Ungheria, Polonia e Giappone -6%; Usa -7%; Unione Europea -8%.

Ratification of the Doha Amendment of the [Kyoto Protocol](#) of December 2012, in which commitments for the period 2013-2020 are formalized.

Green States that ratified Kyoto protocol ;

Dark grey parties that did not ratify;

Light grey Non parties to the Kyoto Protocol





# 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

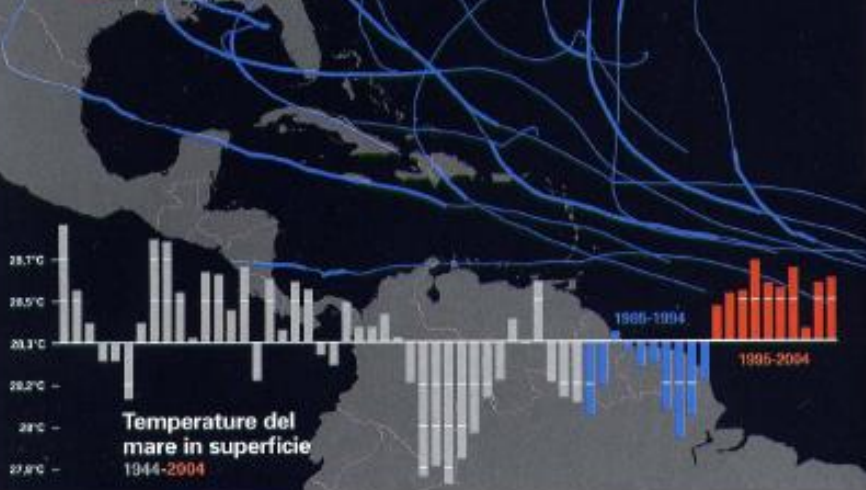
## Riduzione dei ghiacciai montani



## 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/>

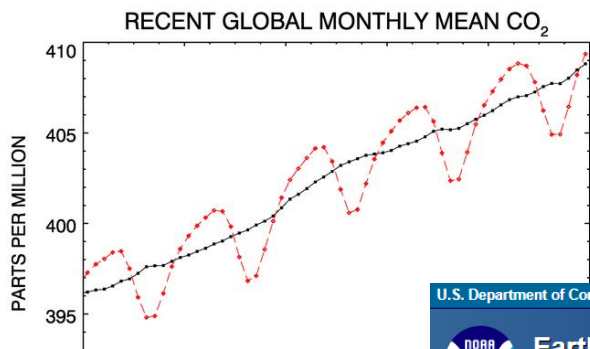
Trends in Atmospheric Carbon Dioxide

[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



**February 2020: 414.11 ppm**  
**February 2019: 411.75 ppm**  
Last updated: March 5, 2020

**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.

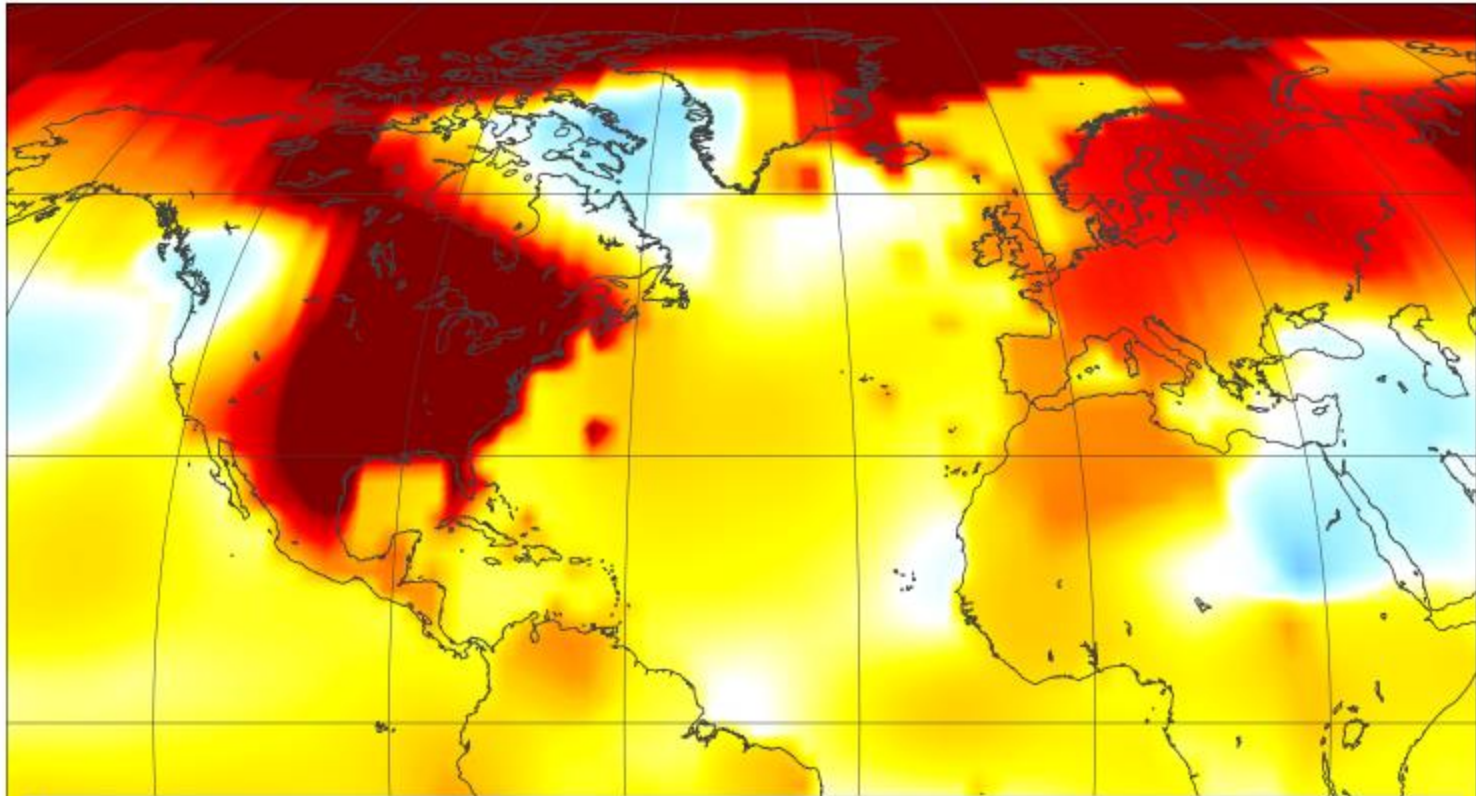
† 'Heat a Mode of Motion,' 2nd ed. p. 405 (Lond., 1865).

‡ *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)



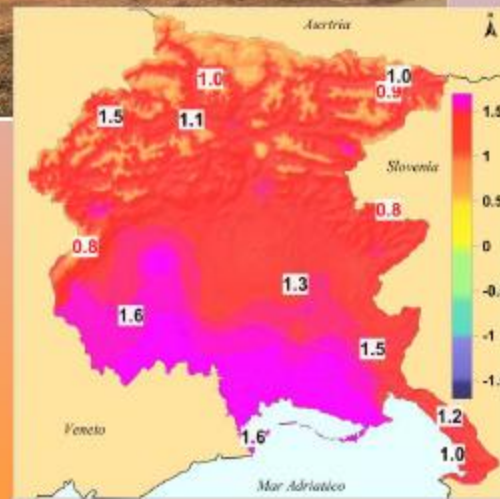
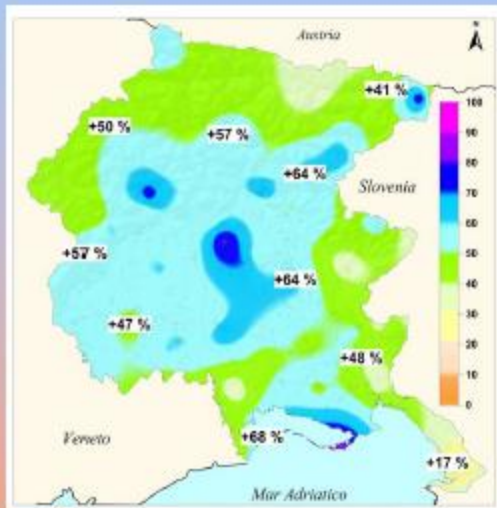
# Global Warming

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

The screenshot shows the IPCC website homepage. At the top right, the IPCC logo is displayed alongside the logos for WMO and UNEP. Below the logos, there are dropdown menus for 'Languages' and 'IPCC web pages', and a search box. A vertical navigation menu on the left lists various site sections: Home, Organization, Procedures, Working Groups / Task Force, Activities, Calendar, Meeting Documentation, News and Outreach, Publications and Data, Presentations and Speeches, IPCC Scholarship Programme, Links, and Contact. The main content area features a blue header for the 'Fifth Assessment Report (AR5)'. Below this, a paragraph states that AR5 provides a clear and up-to-date view of the current state of scientific knowledge relevant to climate change. A sub-section titled 'The Physical Science Basis' includes a thumbnail image of the report cover and a detailed description of the report's content, such as its assessment of climate change observations and projections. A list of links is provided, including 'Summary for Policymakers' and 'Working Group I Report website'. At the bottom of this section, there are buttons for 'SYR', 'WG I', 'WG II', and 'WG III'. Below the AR5 section, there is a section for 'IPCC-43, Nairobi, Kenya' with a date of 11 to 13 April 2016 and links for 'Opening statement by IPCC Chair', 'Documents', and 'Media Advisory'. A 'Quick Reference' section is also visible. On the right side, a 'Recent Reports' section displays two report covers. In the bottom left corner of the website, there is a gold medal emblem and contact information: 'Phone: +41-22-730-8208 /84/54' and 'Email: IPCC-Sec@wmo.int'.

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

# cosa si registra in Friuli Venezia Giulia?



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