

CHIMICA AMBIENTALE

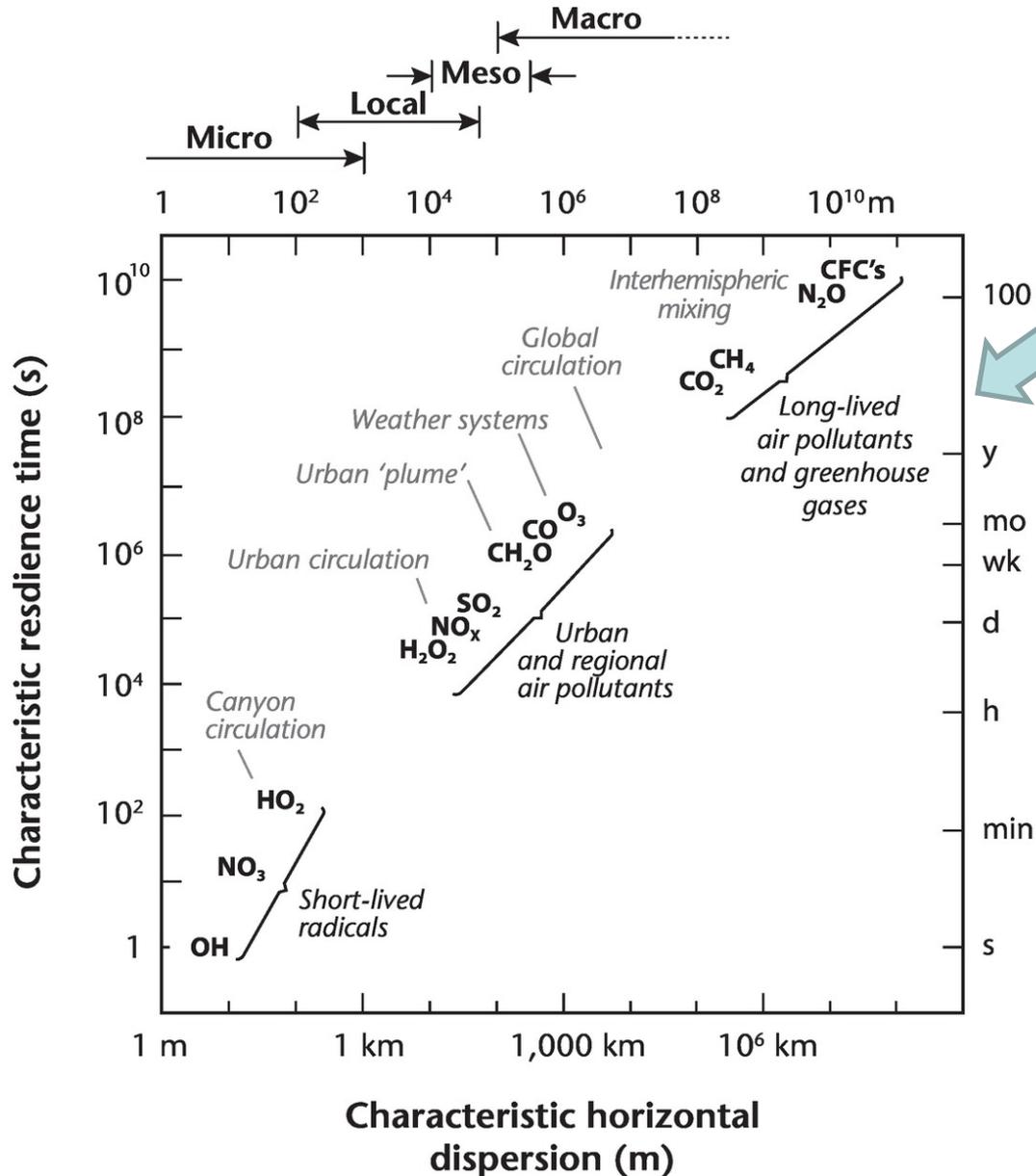
CdL triennale in
Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e la Natura

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/trenberth/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 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 πR^2 dove R è il raggio terrestre di 6371 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 (α_p). Nelle condizioni attuali, ha un valore di circa 0,3.

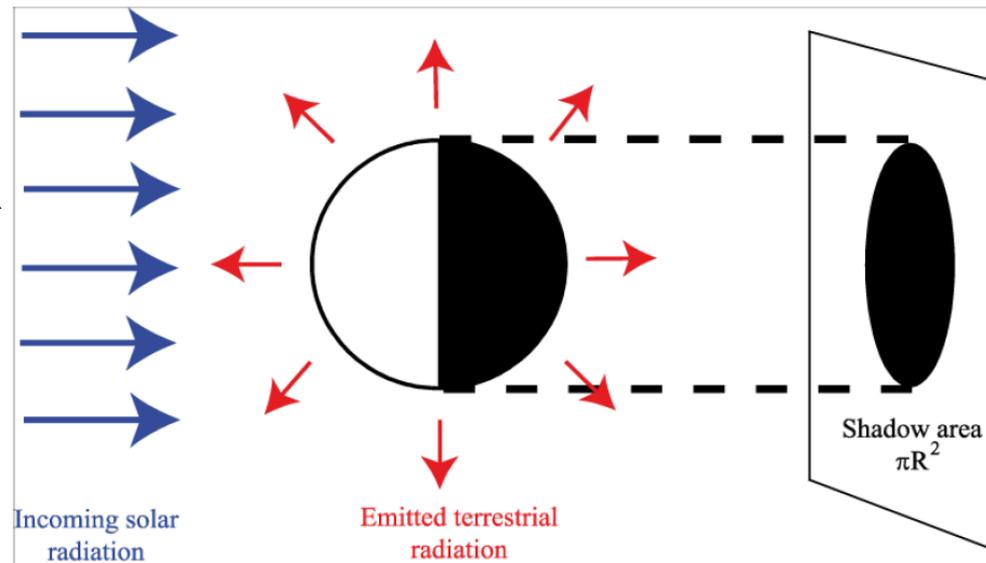
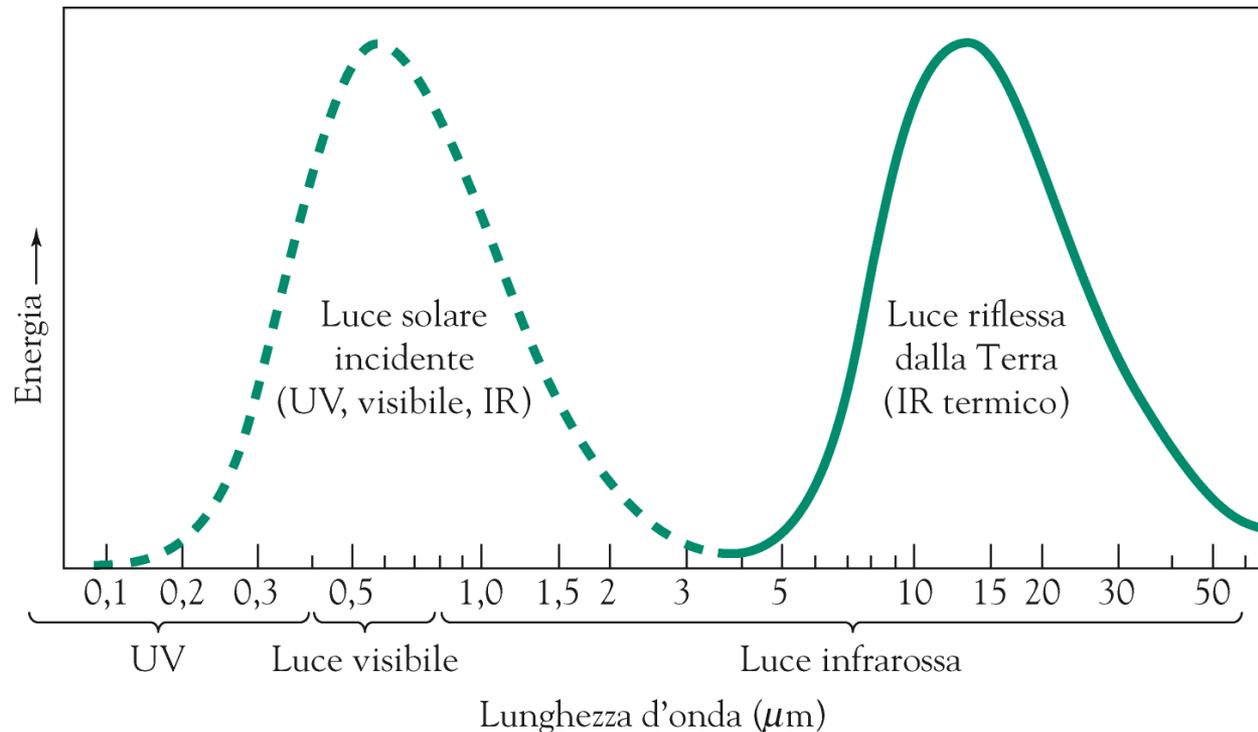


Figure 2.2: Heat absorbed and emitted by the Earth.

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 m²** ($A \uparrow$) può essere calcolata dalla legge di Stefan-Boltzmann:

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

dove σ 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

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

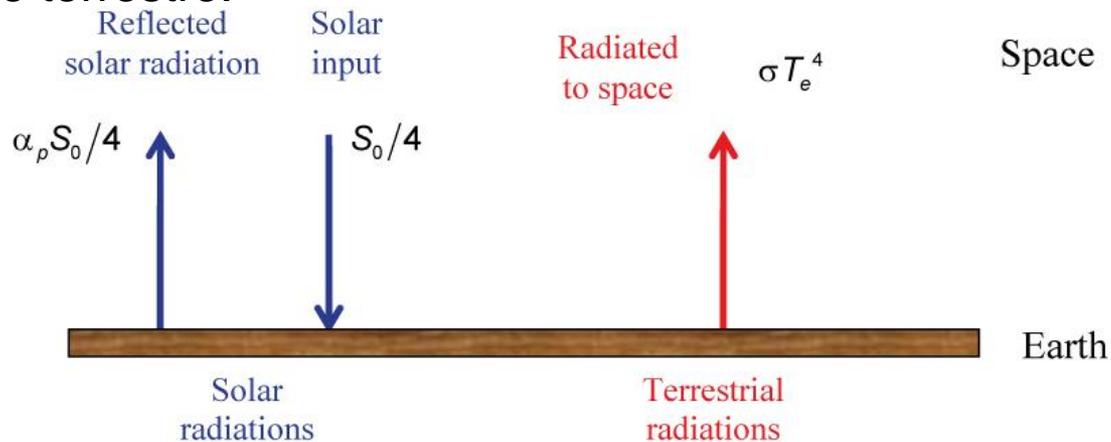
Ciò porta a:

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

E quindi:

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

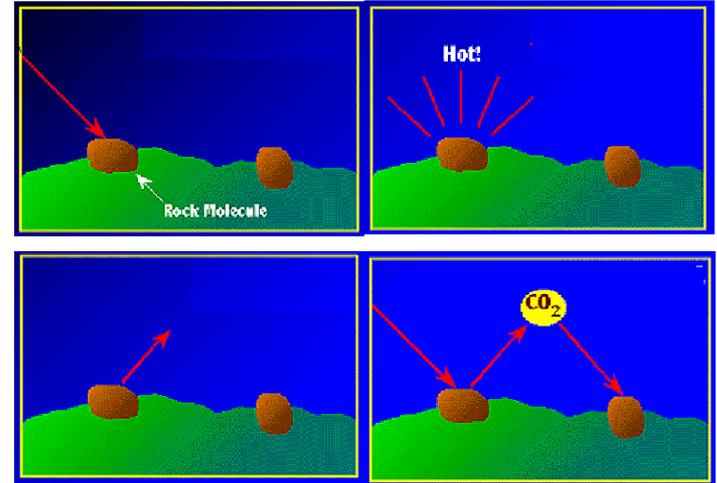
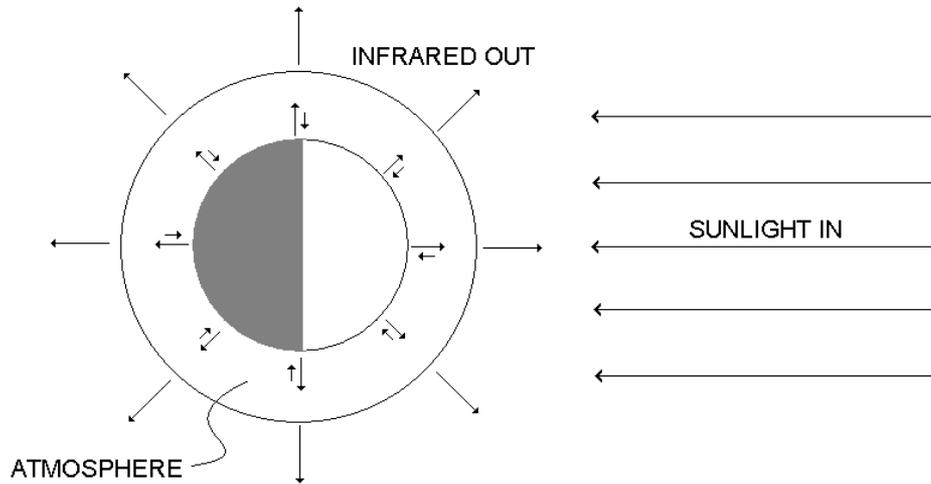
Ciò corrisponde a $T_e = 255 \text{ K} (= -18 \text{ }^\circ \text{C})$. Nota che possiamo interpretare come equilibrio medio tra la radiazione terrestre emessa e il flusso solare assorbito per 1 m^2 di superficie terrestre.



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

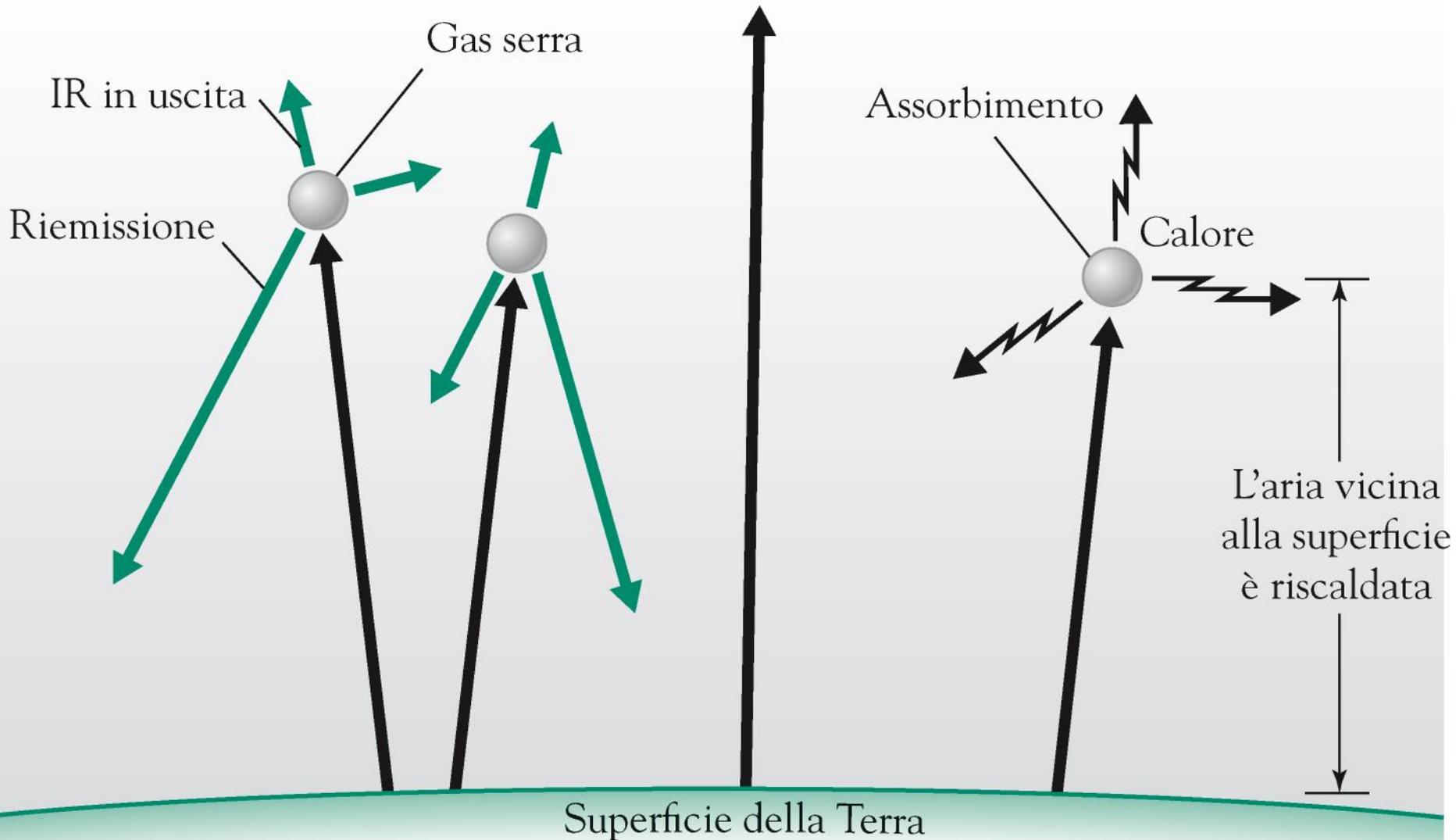
*La Terra però ha un involucro gassoso, l'atmosfera,
che modifica gli equilibri radiativi del pianeta*

Effetto Serra



L'atmosfera terrestre produce un **effetto serra naturale** di circa 34°C (se non ci fosse l'atmosfera la T media del pianeta sarebbe pari a -19°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.

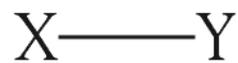


Molecole con momento di dipolo assorbono radiazione IR aumentando la propria energia vibrazionale e aumentano la temperatura

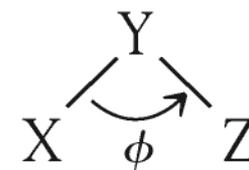
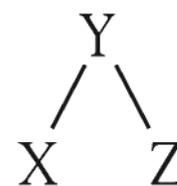
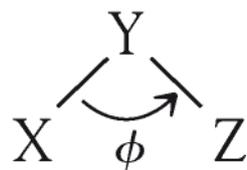
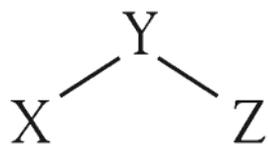
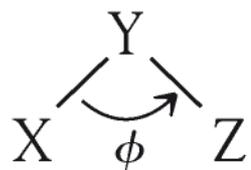
Emissione IR molecolare ($U = \sigma T^4$) + trasferimento energia per urti

Emissione IR isotropa/non direzionata

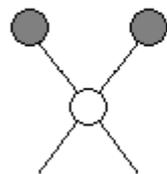
(a) Vibrazione da stiramento di legame



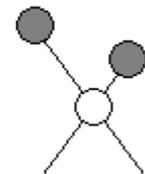
(b) Vibrazione da flessione di legame



Stretching vibrations

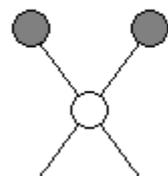


Symmetric

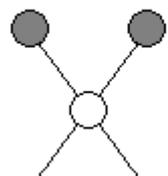


Asymmetric

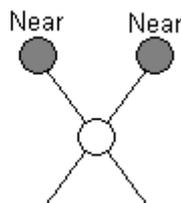
Bending vibrations



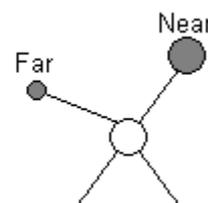
In-plane rocking



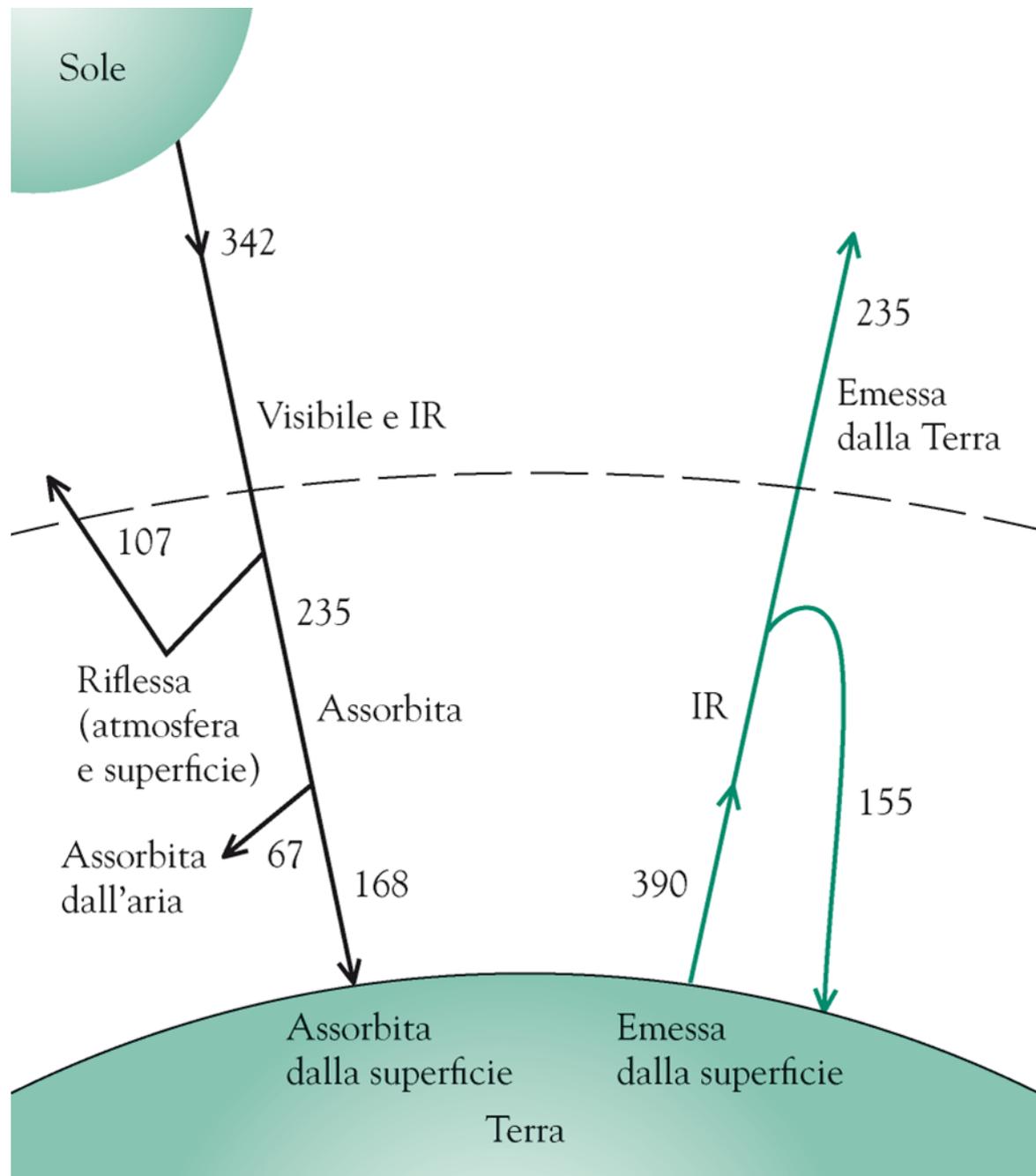
In-plane scissoring



Out-of-plane wagging



Out-of-plane twisting



Trenberth e colleghi riportano dati lievemente diversi

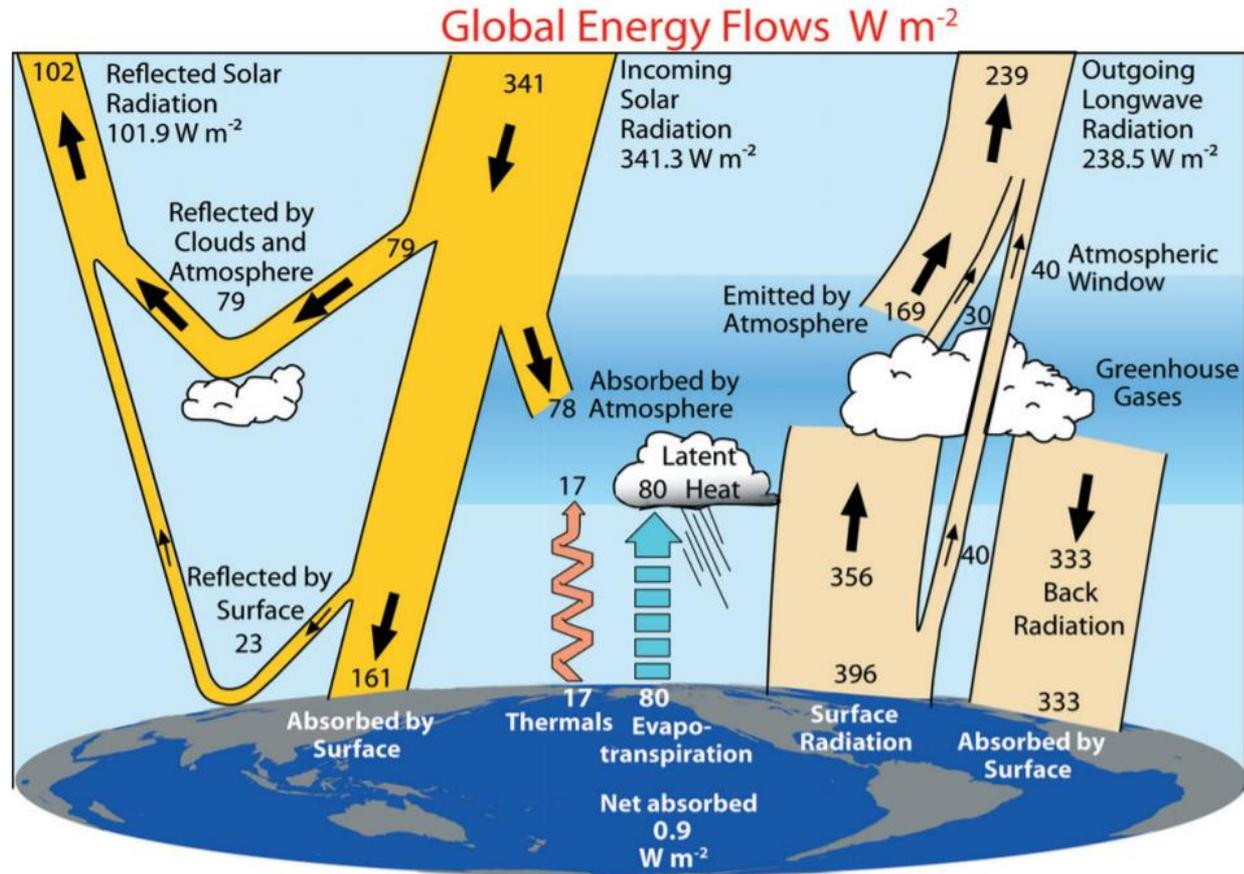
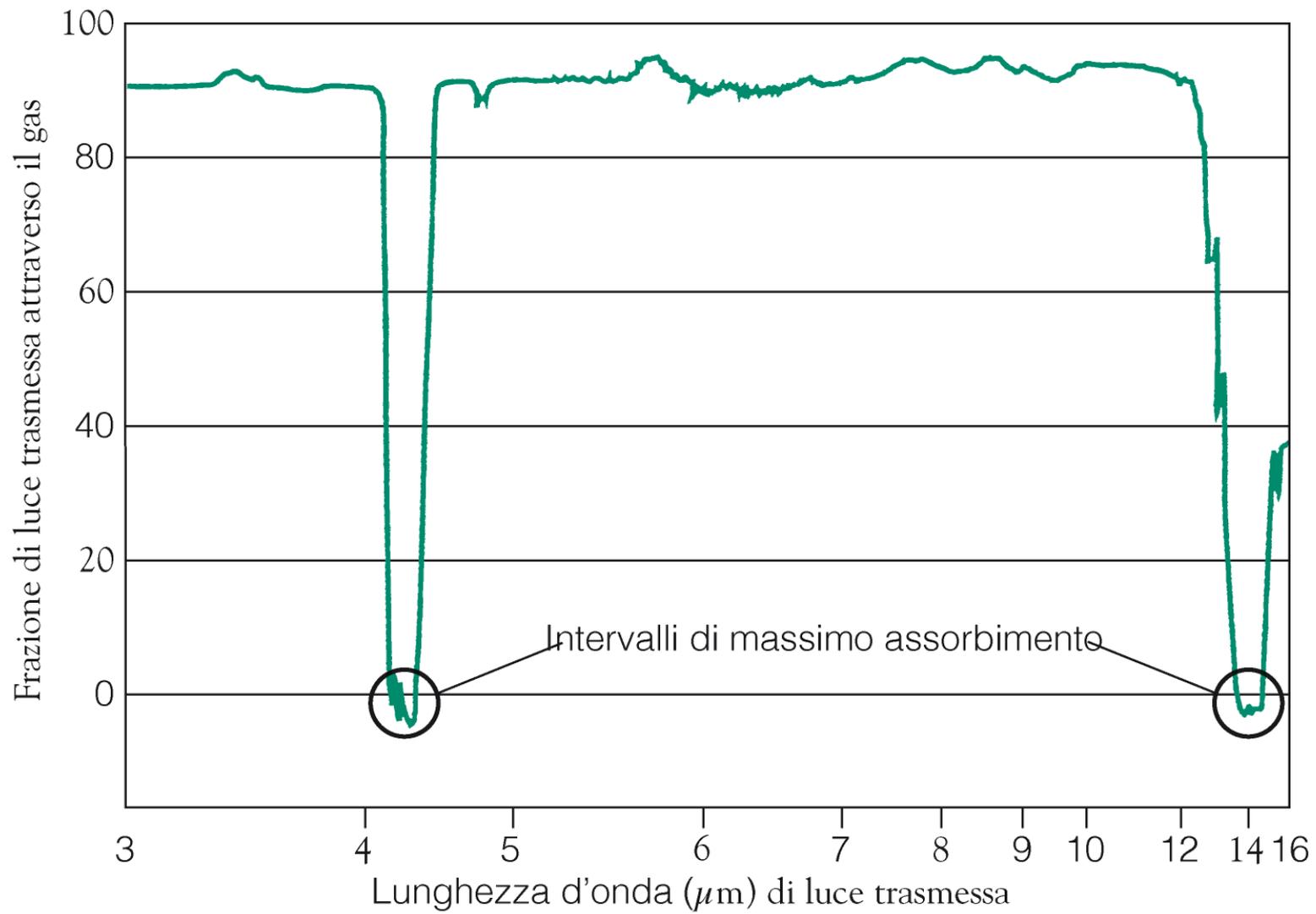
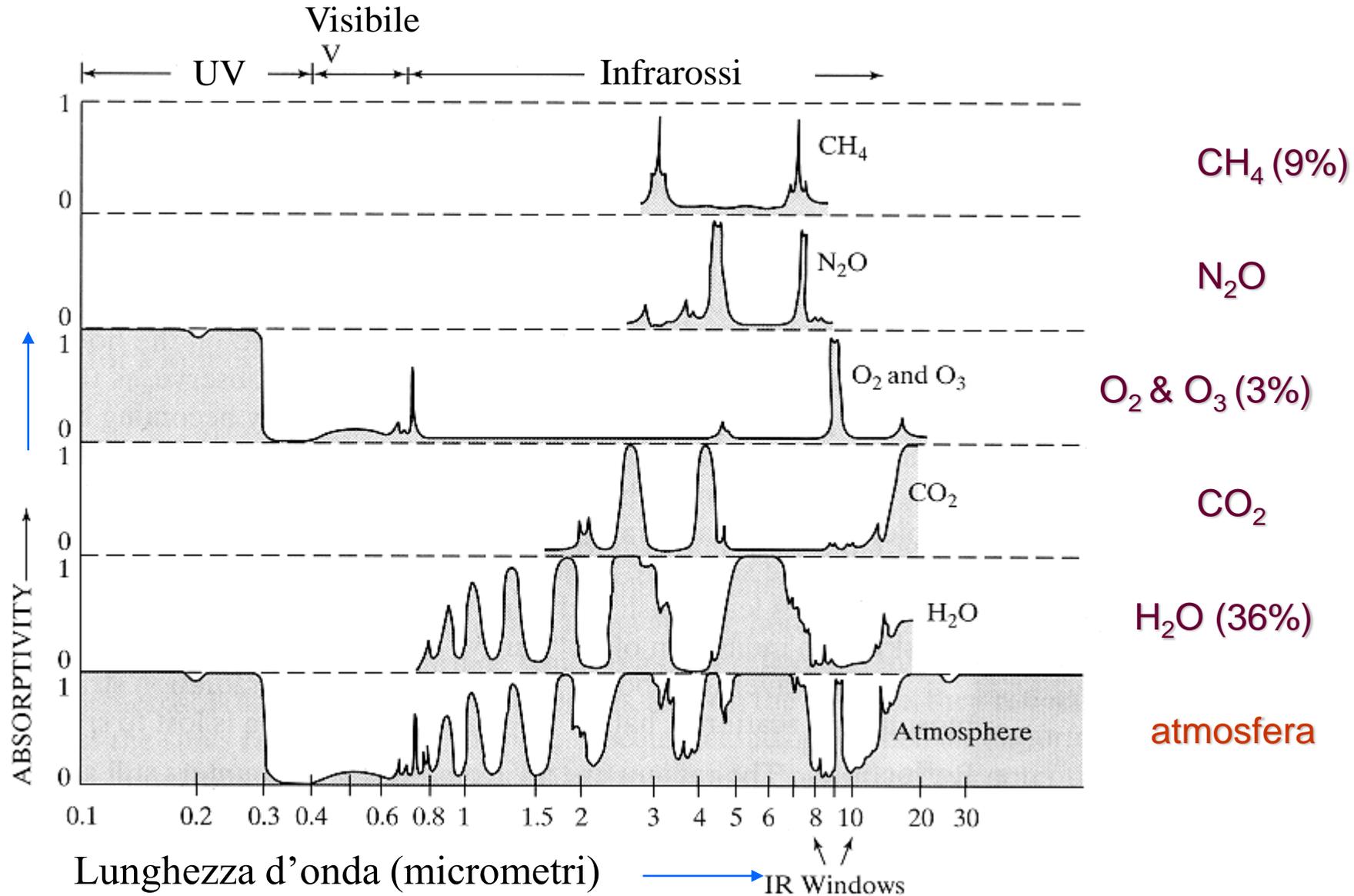


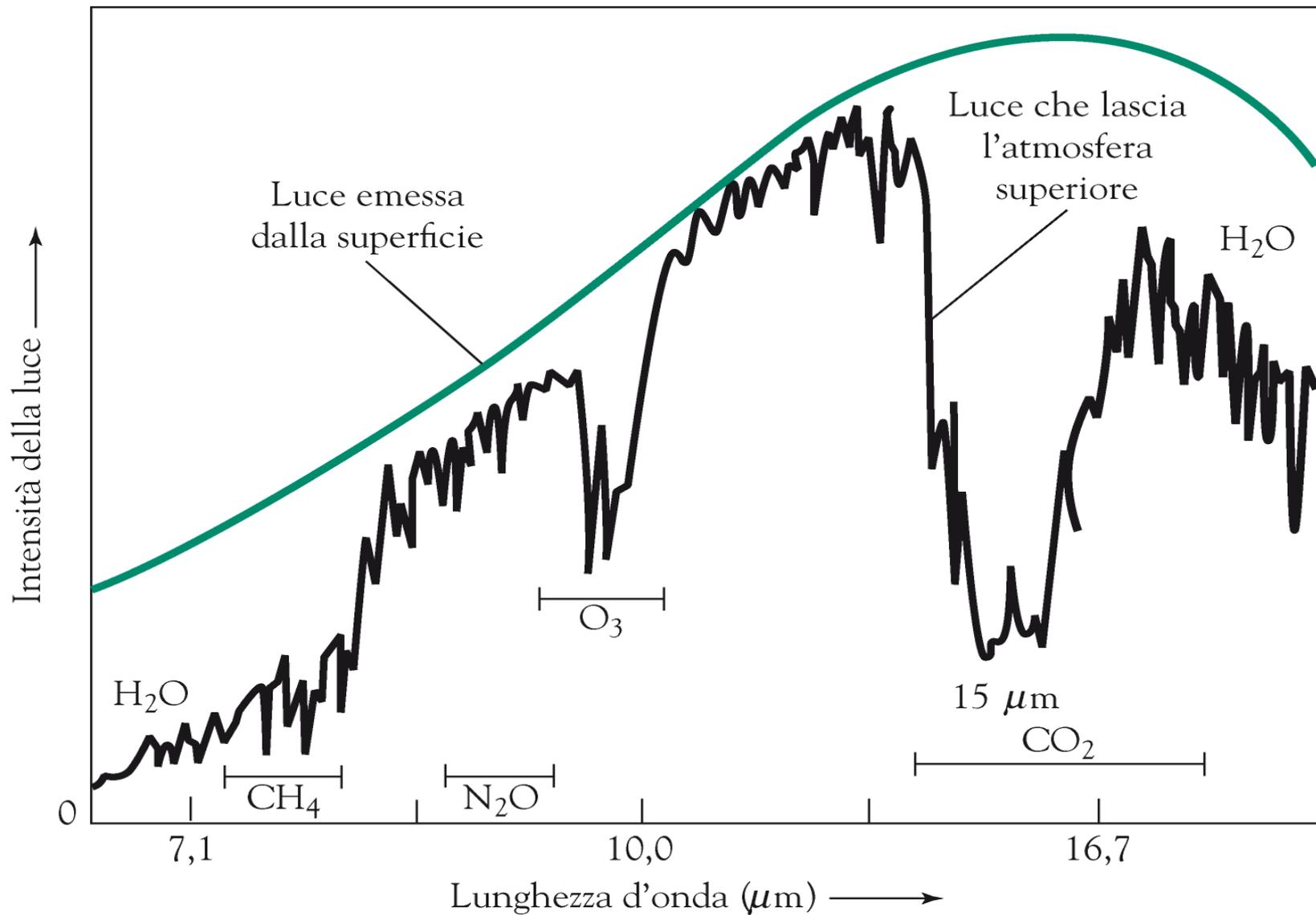
FIG. 1. The global annual mean Earth's energy budget for the Mar 2000 to May 2004 period ($W m^{-2}$). The broad arrows indicate the schematic flow of energy in proportion to their importance.



Spettro di assorbimento del CO₂

Spettro di assorbimento dei gas atmosferici



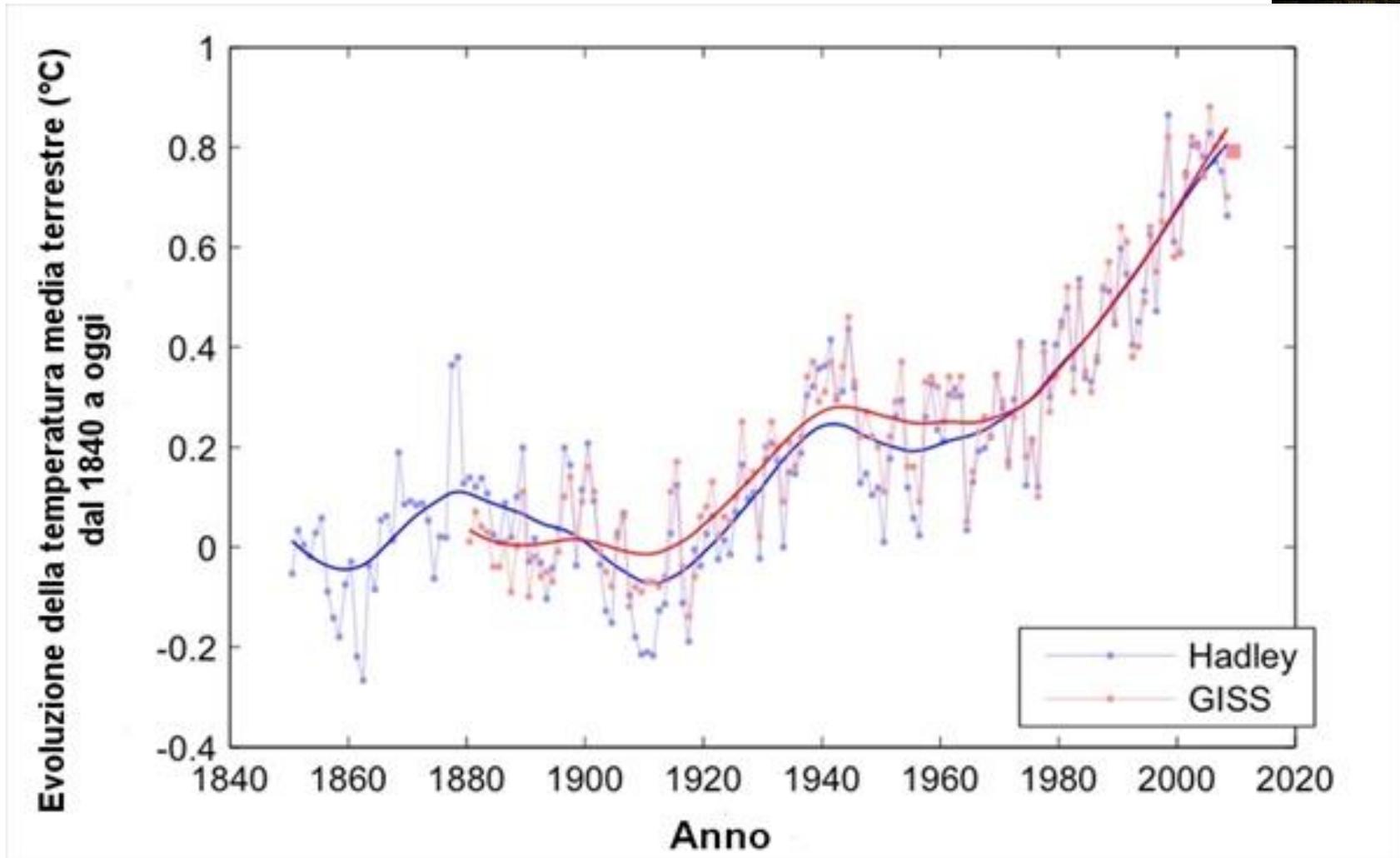


Intensità della radiazione IR termica emessa dalla superficie terrestre e quella che lascia l'atmosfera inferiore (fig. 5.7 Baird & Cann)

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

Quali gli effetti?

Riscaldamento Globale



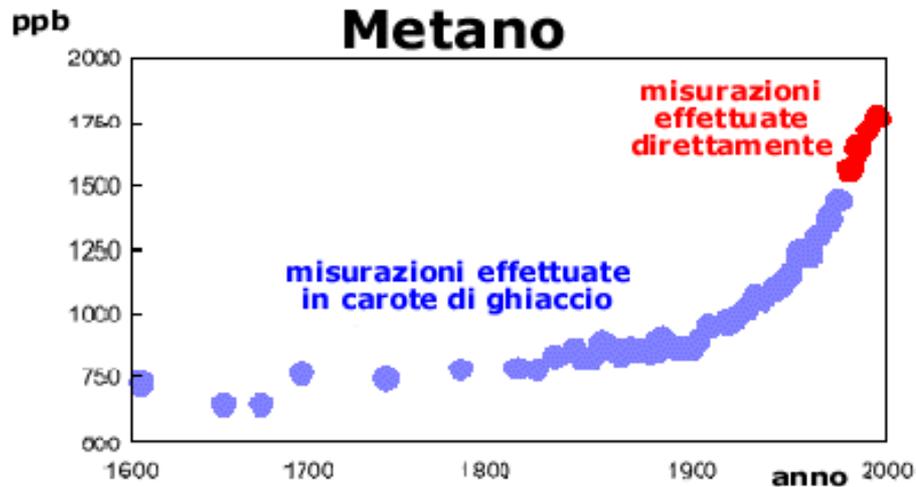
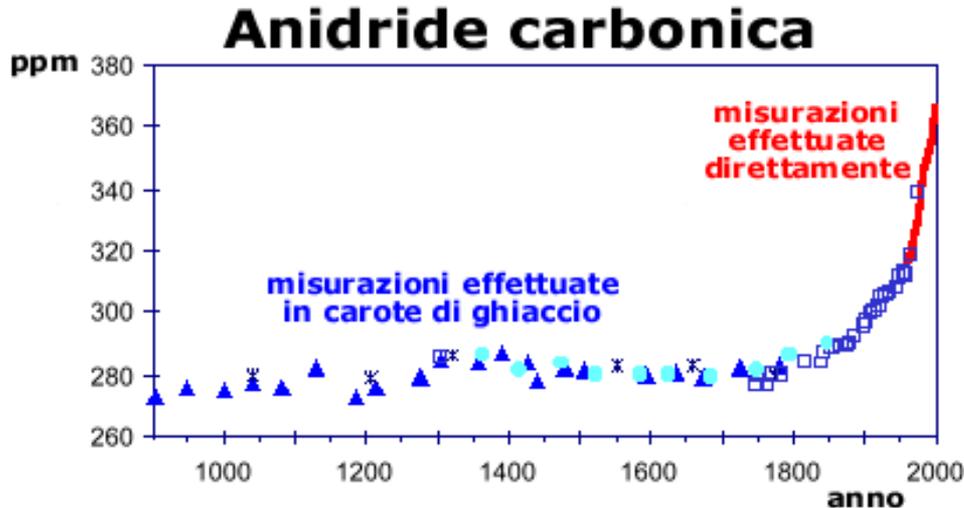
Dati forniti da 2 istituzioni di climatologia

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

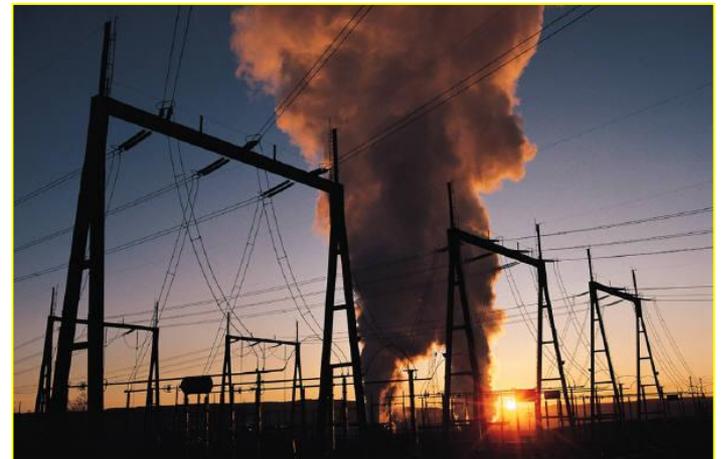
NASA/GISS (<https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>).

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% CO₂ e 20% CH₄) 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 CO₂-equivalente secondo i coefficienti di conversione di seguito elencati

Gas serra	GWP, <u>Global Warming Potential</u>
Anidride carbonica (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	21
Protossido di azoto (N ₂ 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 ₆)	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.

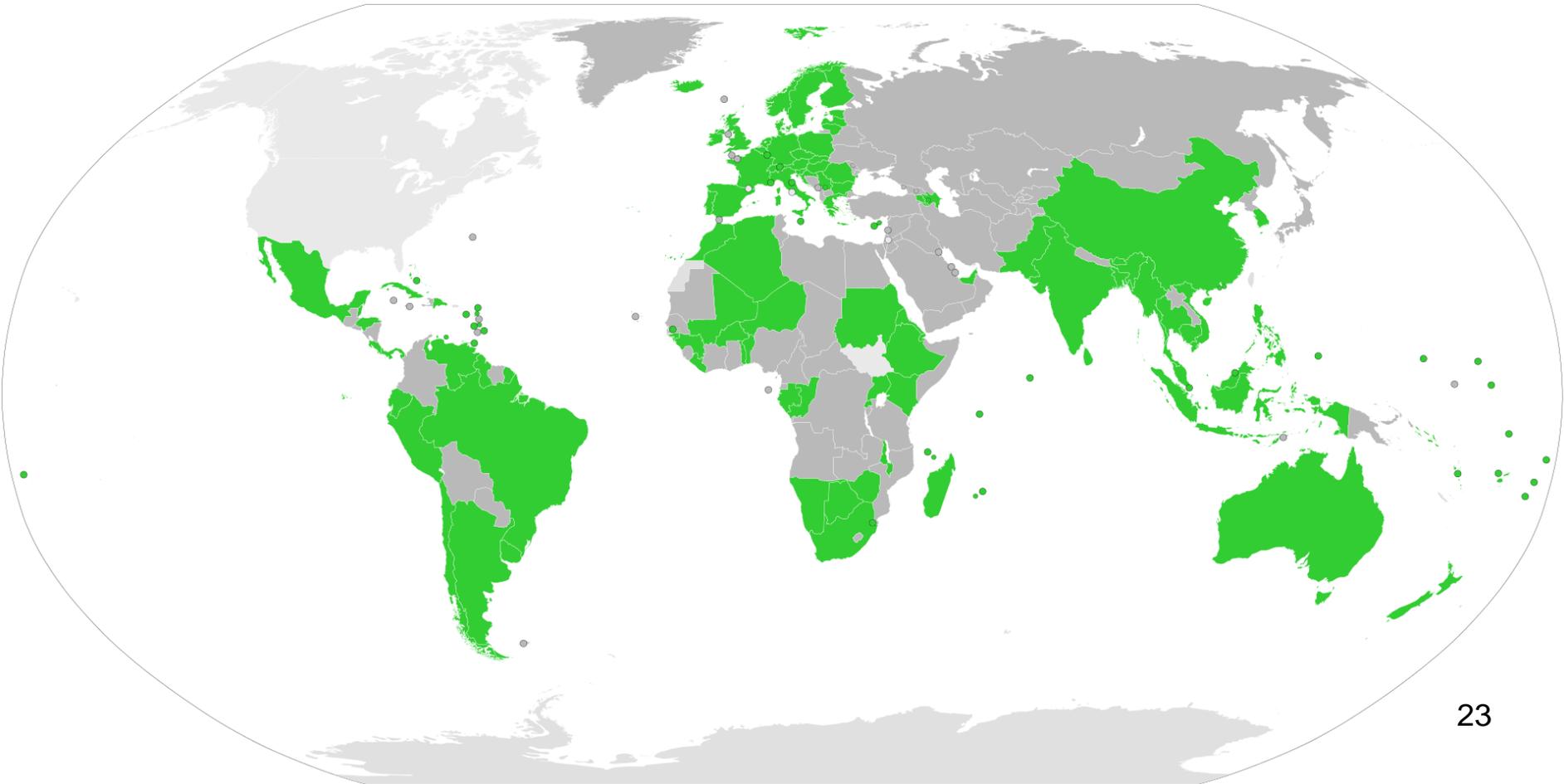
Gli obiettivi per i singoli Paesi sono differenziati: Russia, Ucraina e Nuova Zelanda 0%; Canada, Ungheria, Polonia e Giappone -6%; Usa -7%; Unione Europea -8%.

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

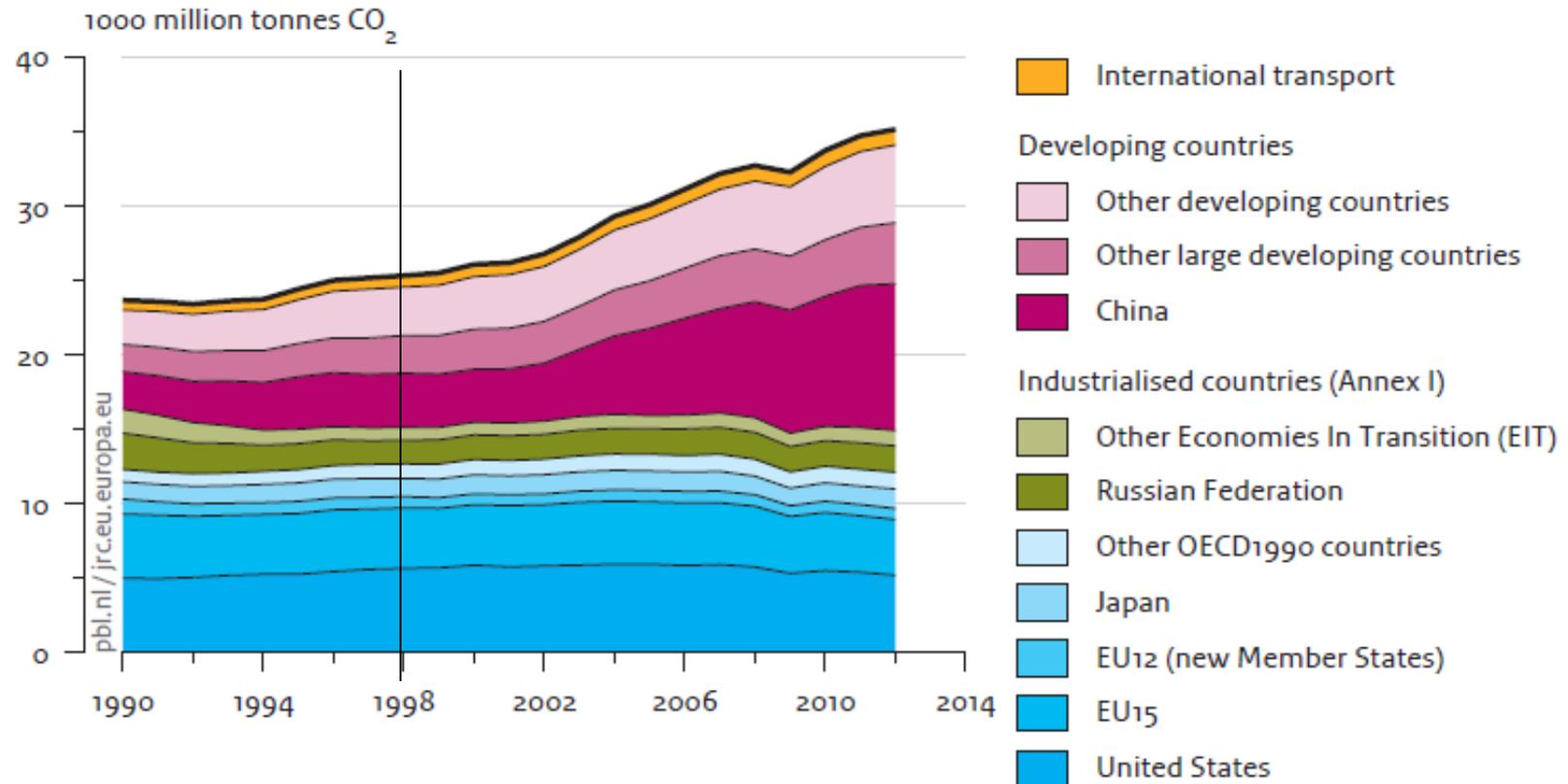
Green States that ratified Kyoto protocol ;

Dark grey parties that did not ratify;

Light grey Non parties to the Kyoto Protocol



Global CO₂ 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 ₂)	300	→ 600 ppm	2 ... 4
Ozono troposferico (O ₃)	0,03	→ 0,06 ppm	0,9
Clorofluoroidrocarburi (CFC)	0	→ 1 ppbs	0,6
Protossido di azoto (N ₂ O)	0,3	→ 0,6 ppm	0,4
Metano (CH ₄)	1,7	→ 3 ppm	0,3
Ammoniaca (NH ₃)	0	→ 1 ppb	0,09
Tetraclorocarburo (CCl ₄)	0	→ 1 ppb	0,08
Cloroformio (CHCl ₃)	0	→ 1 ppb	0,06
Tetrafluorocarburo (CF ₄)	0	→ 1 ppb	0,06
Acido nitrico (HNO ₃)	raddoppio		0,06
Metilcloruro (CH ₂ CCl ₂)	0	→ 1 ppb	0,03
Metilcloroformio (CH ₃ CCl ₃)	0	→ 1 ppb	0,02
Etilene (C ₂ H ₄)	0,2	→ 0,4 ppb	0,01
Totale (con 3 K per il CO ₂)			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

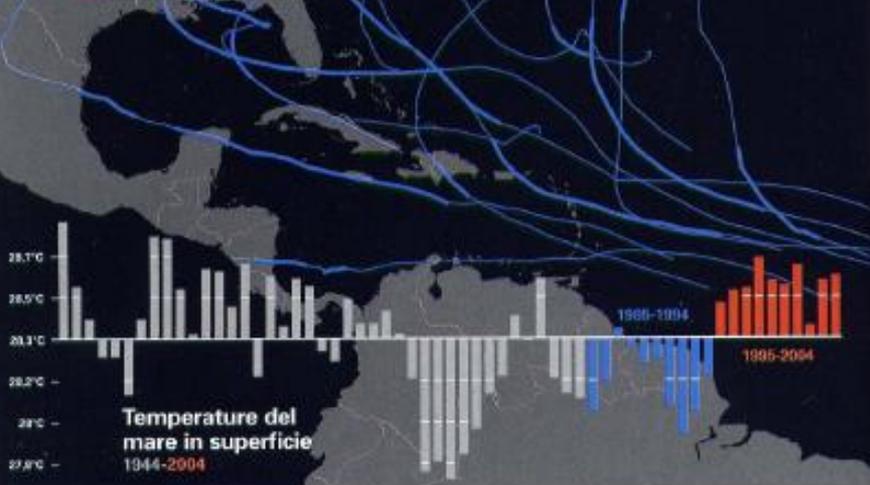
Riduzione dei ghiacciai montani



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

N₂O, H₂, Xe, SO₂, O₃, NO₂, NH₃, 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) : ≈ 0.01 %

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

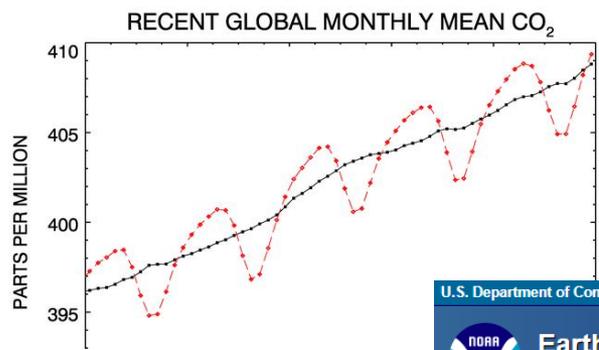
Trends in Atmospheric Carbon Dioxide

[Mauna Loa, Hawaii](#) | **Global** | [CO₂ Movie](#) | [CO₂ Emissions](#)

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

Recent Global CO₂

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** | [CO₂ Movie](#) | [CO₂ Emissions](#)

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

Recent Monthly Average Mauna Loa CO₂

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° C., if that atmosphere did not possess the quality of selective

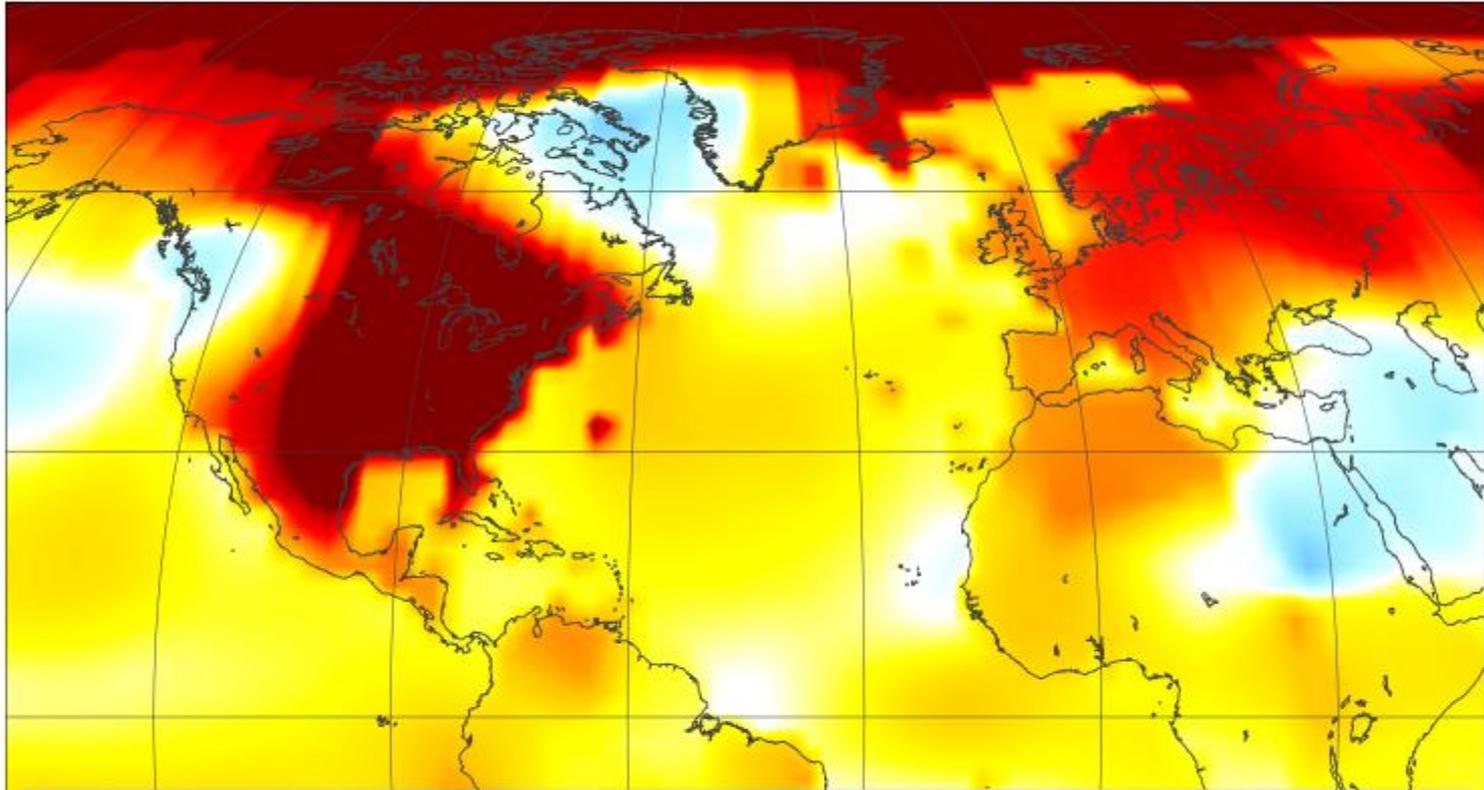
* Extract from a paper presented to the Royal Swedish Academy of Sciences, 11th December, 1895. Communicated by the Author.

† '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/>

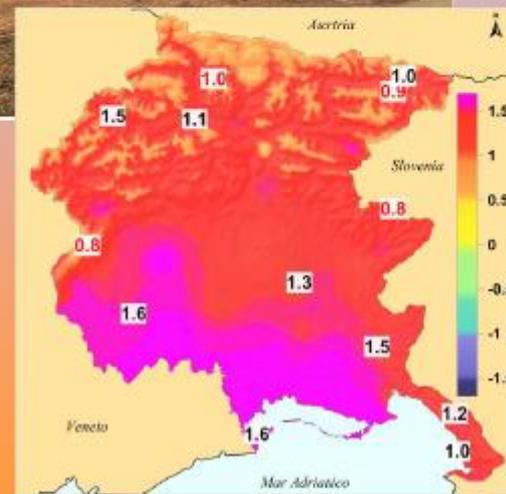
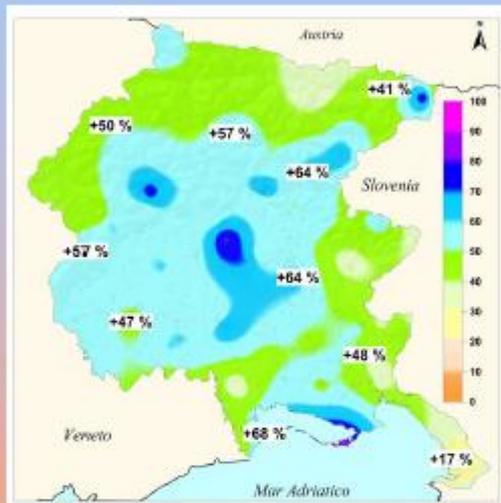
The screenshot displays the IPCC website homepage. At the top right, the IPCC logo is accompanied by the text "INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change" and logos for WMO and UNEP. Below this are dropdown menus for "Languages" and "IPCC web pages", and a "Search" button. A vertical navigation menu on the left lists: 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: "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](#)." To the left of this text is a thumbnail image of the "CLIMATE CHANGE 2013 The Physical Science Basis" report cover. To the right, the section "The Physical Science Basis" is introduced, followed by a paragraph: "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." Below this are three links: "Summary for Policymakers ([ar](#) | [en](#) | [es](#) | [fr](#) | [ru](#) | [zh](#))", "Working Group I Report website", and "Quick link to report PDFs". At the bottom right of this section are buttons for "SYR", "WG I", "WG II", and "WG III". Below the AR5 section is a blue header for "IPCC-43, Nairobi, Kenya". The text below reads: "The plenary will take place in the United Nations Office at Nairobi (UNON) in Gigiri from 11 to 13 April 2016." It includes three links: "Opening statement by IPCC Chair" (with a "New" tag), "Documents", and "Media Advisory". To the left of this section is a circular gold medal image with the text "IPCC-43, Nairobi, Kenya" and "11-13 April 2016". Below the medal are the phone number "+41-22-730-8208 /84/54" and email "IPCC-Sec@wmo.int". At the bottom left of the main content area is a "Quick Reference" section. On the right side, there is a "Recent Reports" section with two "New" report thumbnails: "IPCC Expert Meeting on Communication Meeting Report" and "IPCC Expert Meeting on the Future of the Task Group on Data and Service Support for Impacts and Climate Analysis Meeting Report".

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

Climate Change 2013: The Physical Science Basis —

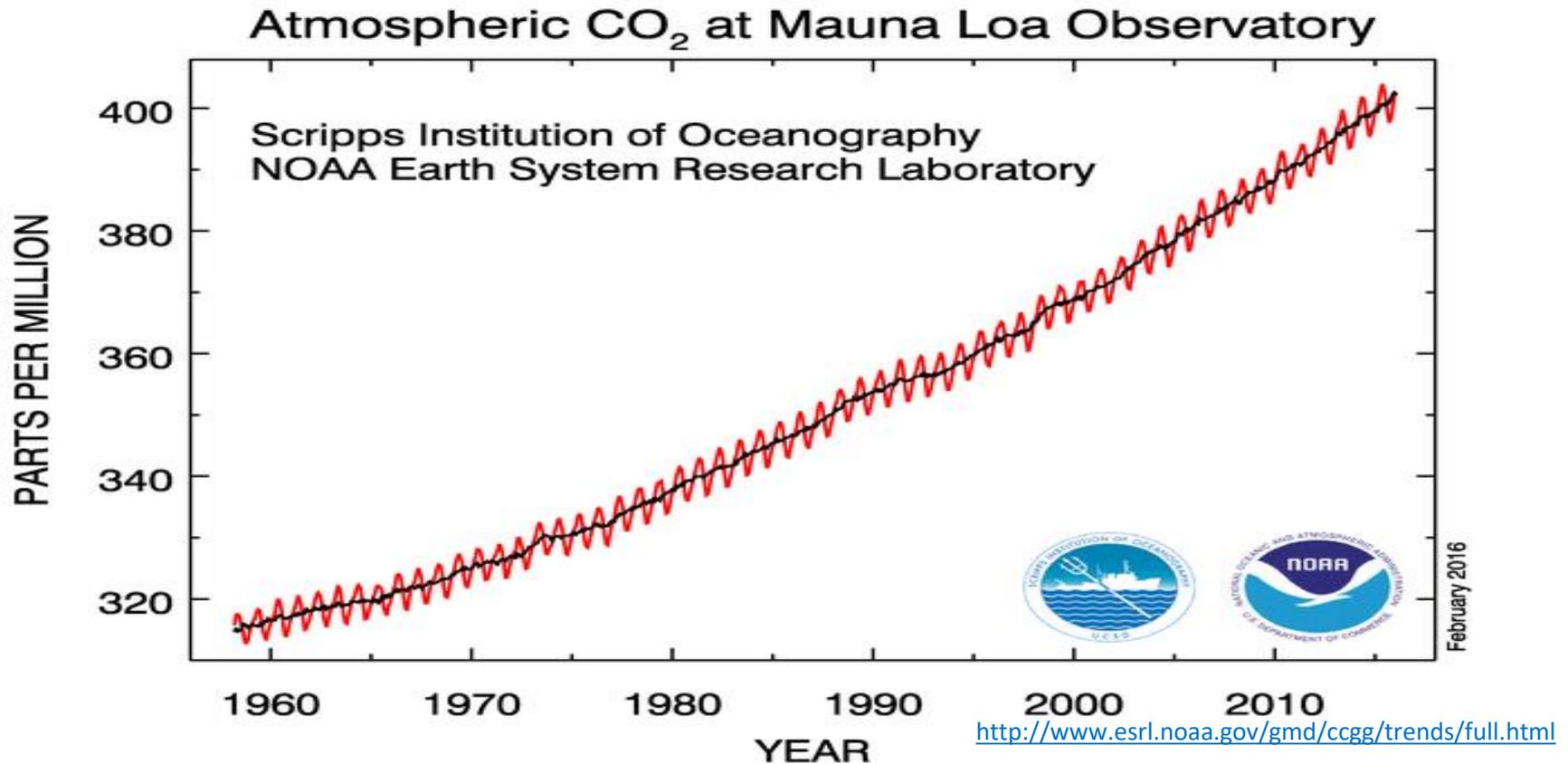
The Working Group I contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) provides a comprehensive assessment of the physical science basis of climate change since 2007 when the Fourth Assessment Report (AR4) was released.

cosa si registra in Friuli Venezia Giulia?



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

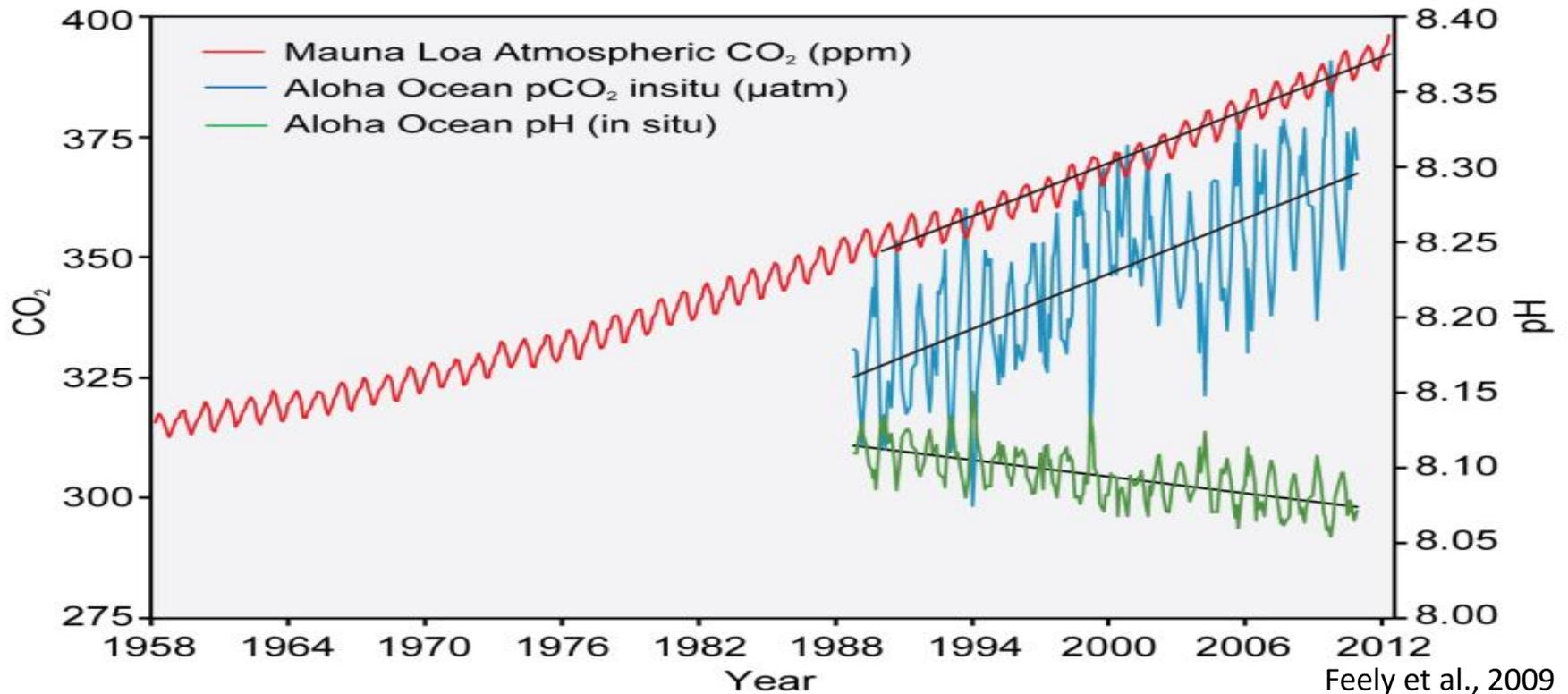
L'incremento di CO₂ atmosferico



- Misure dirette di CO₂ dal 1958
- Aprile 2015: 400 ppm

La diminuzione del pH marino

As Oceans Absorb CO₂, They Become More Acidic



Aumento di CO₂ in atmosfera

Aumento di pCO₂ marino

Diminuzione di pH marino

pH acqua di mare: 8.00-8.20

Diminuzione di: 0.10-0.15 unità

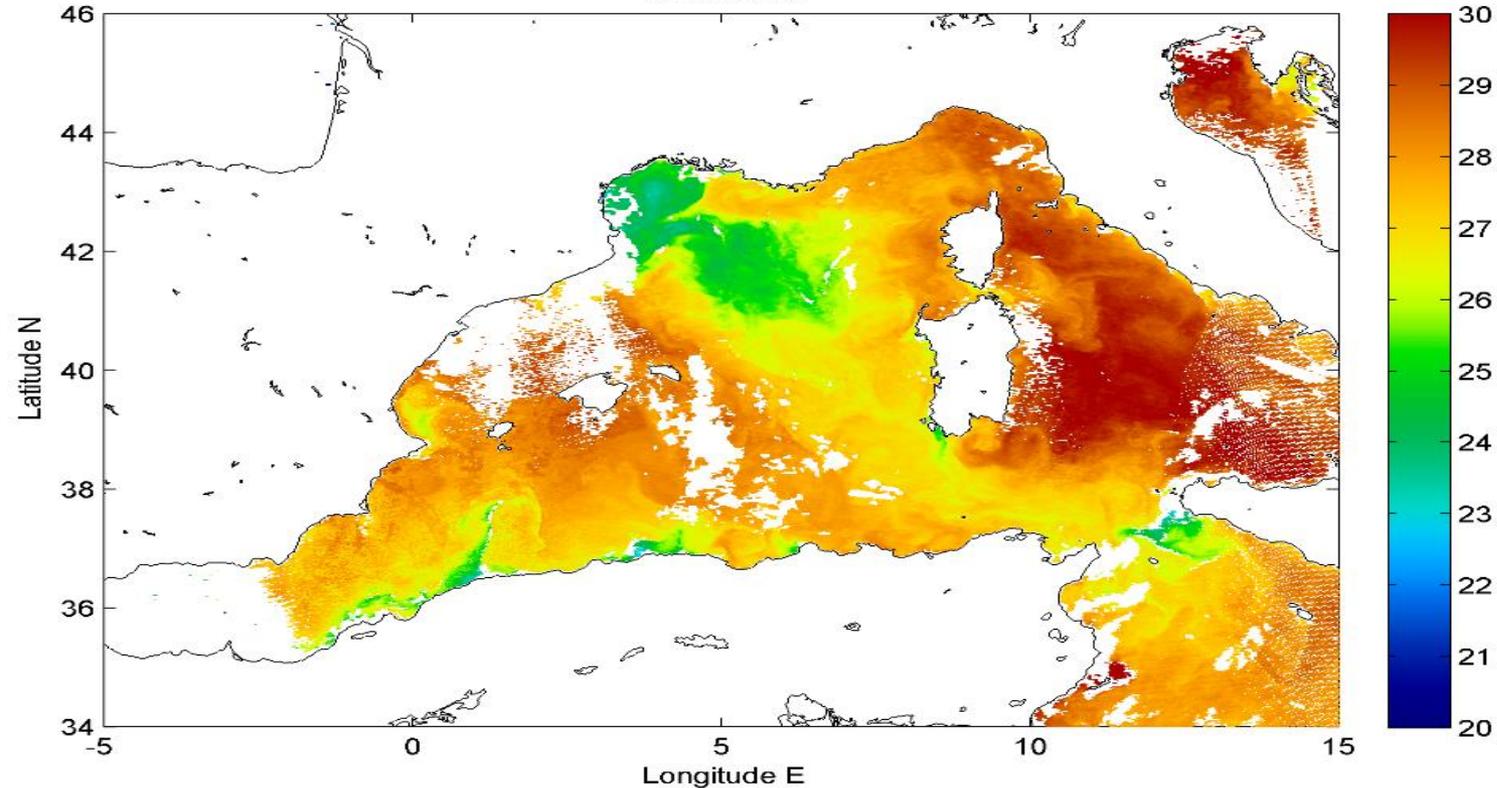
Aumento acidità del: 100-150 % entro il 2

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

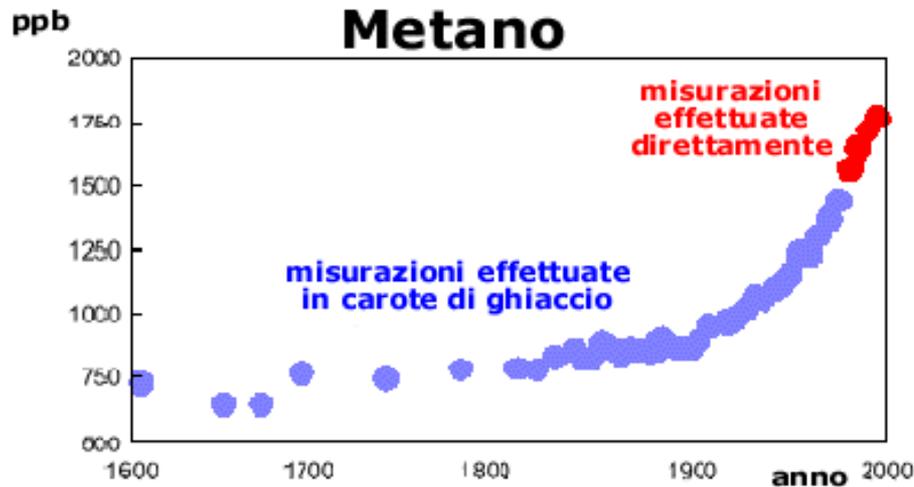
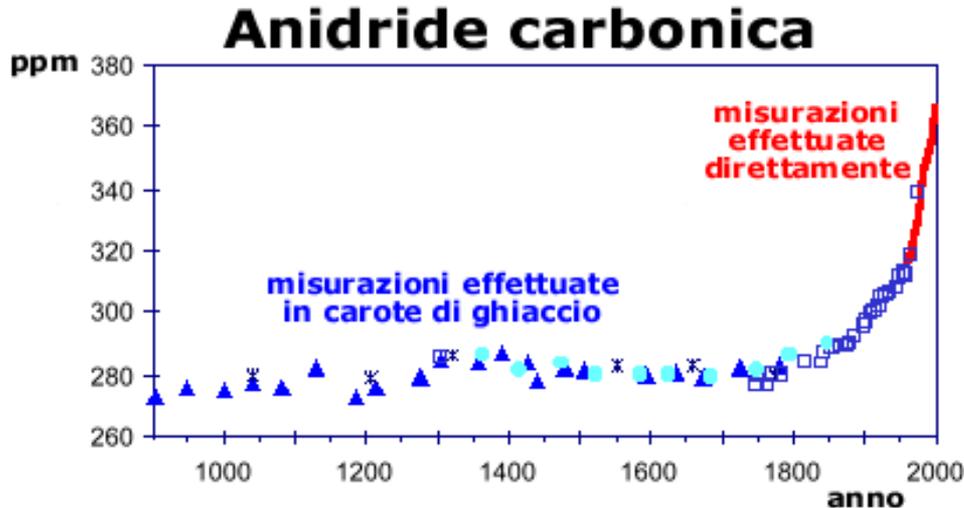
Studi precedenti e nuovi dati

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% CO₂ e 20% CH₄) 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 CO₂-equivalente secondo i coefficienti di conversione di seguito elencati

Gas serra	GWP, <u>Global Warming Potential</u>
Anidride carbonica (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	21
Protossido di azoto (N ₂ 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 ₆)	23.900

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

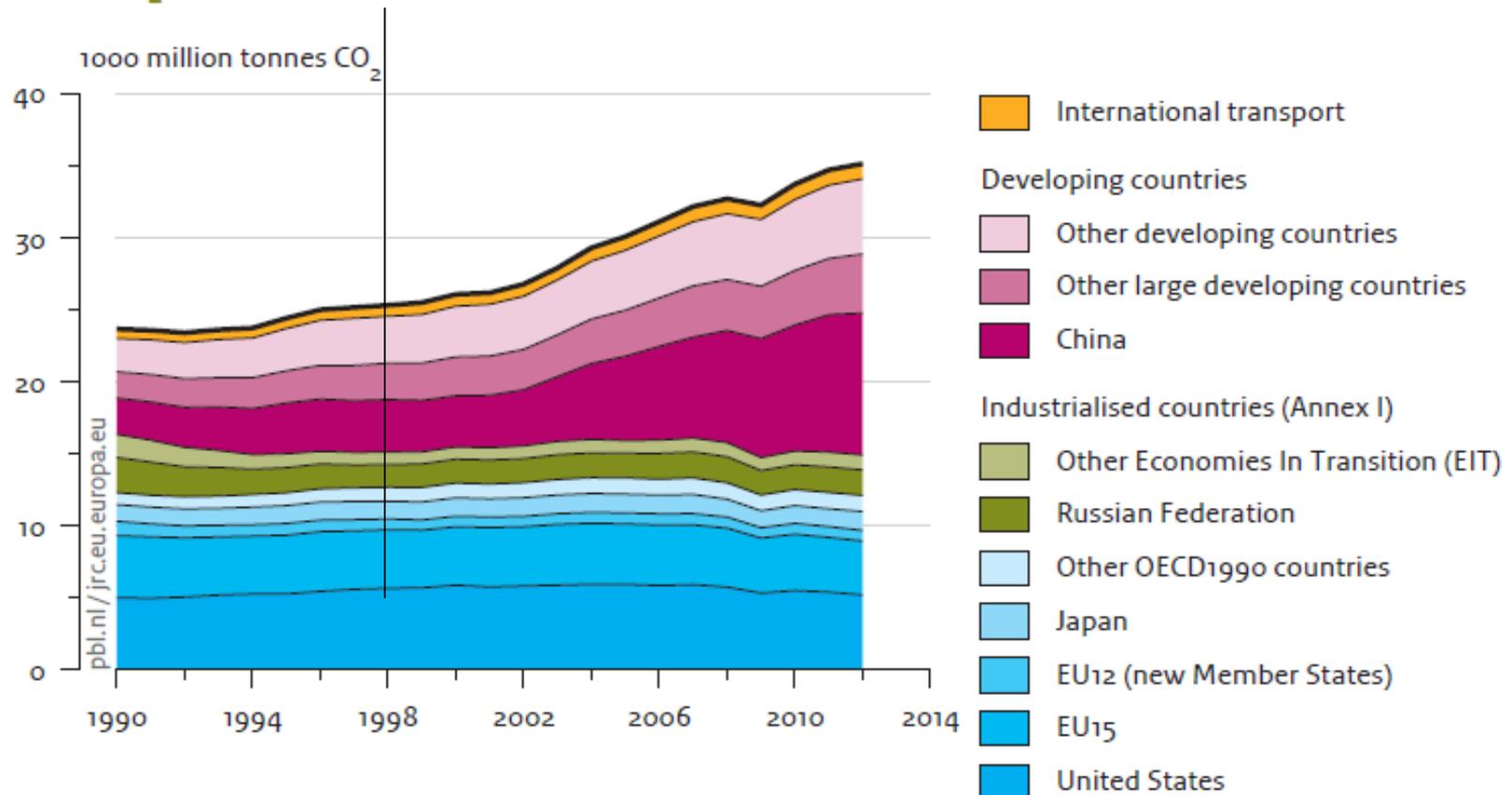
Paesi industrializzati si sono impegnati a ridurre entro il 2008-2012 le loro emissioni annue complessive del 5,2% rispetto ai livelli del 1990.

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

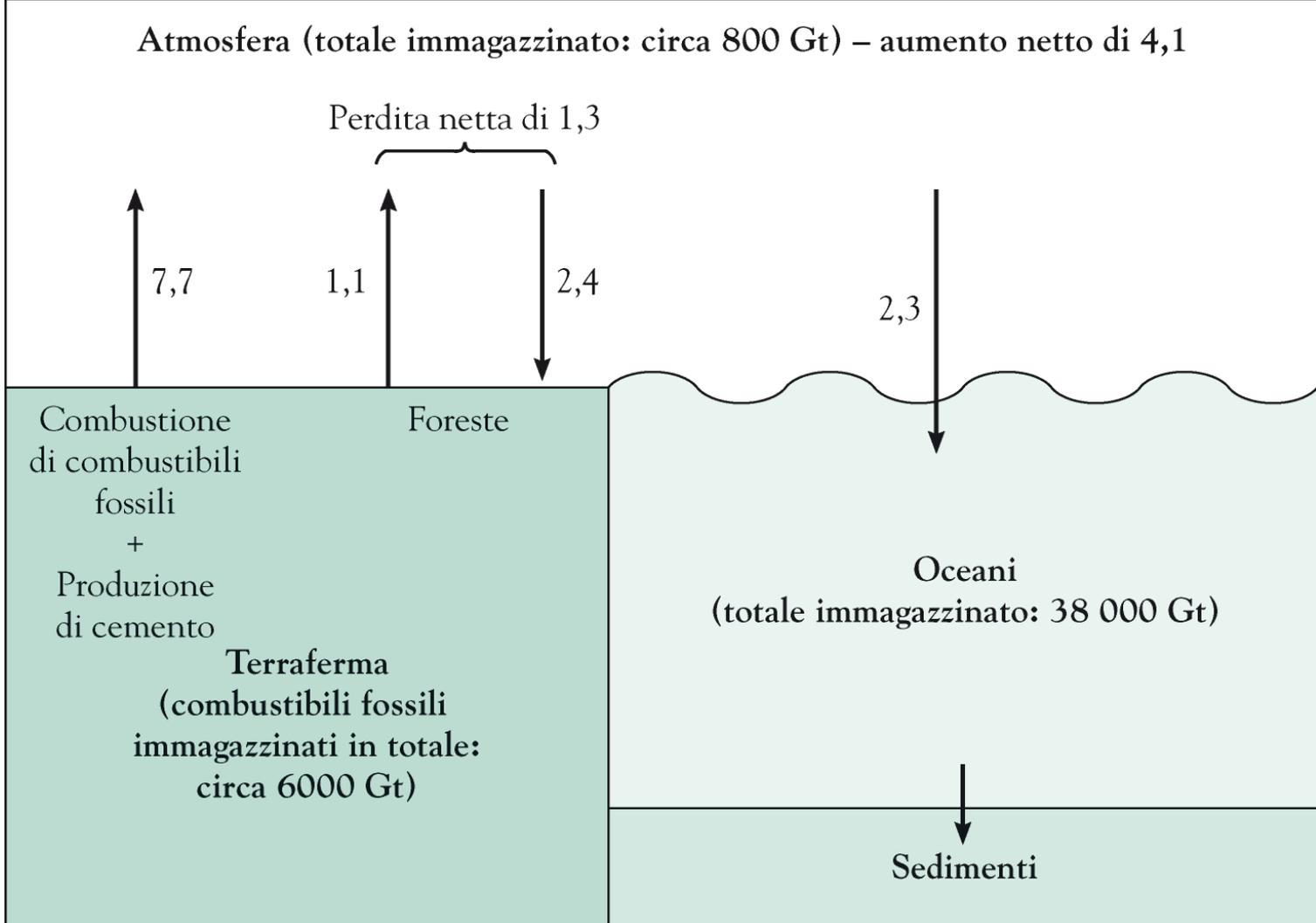


Global CO₂ emissions per region from fossil-fuel use and cement production

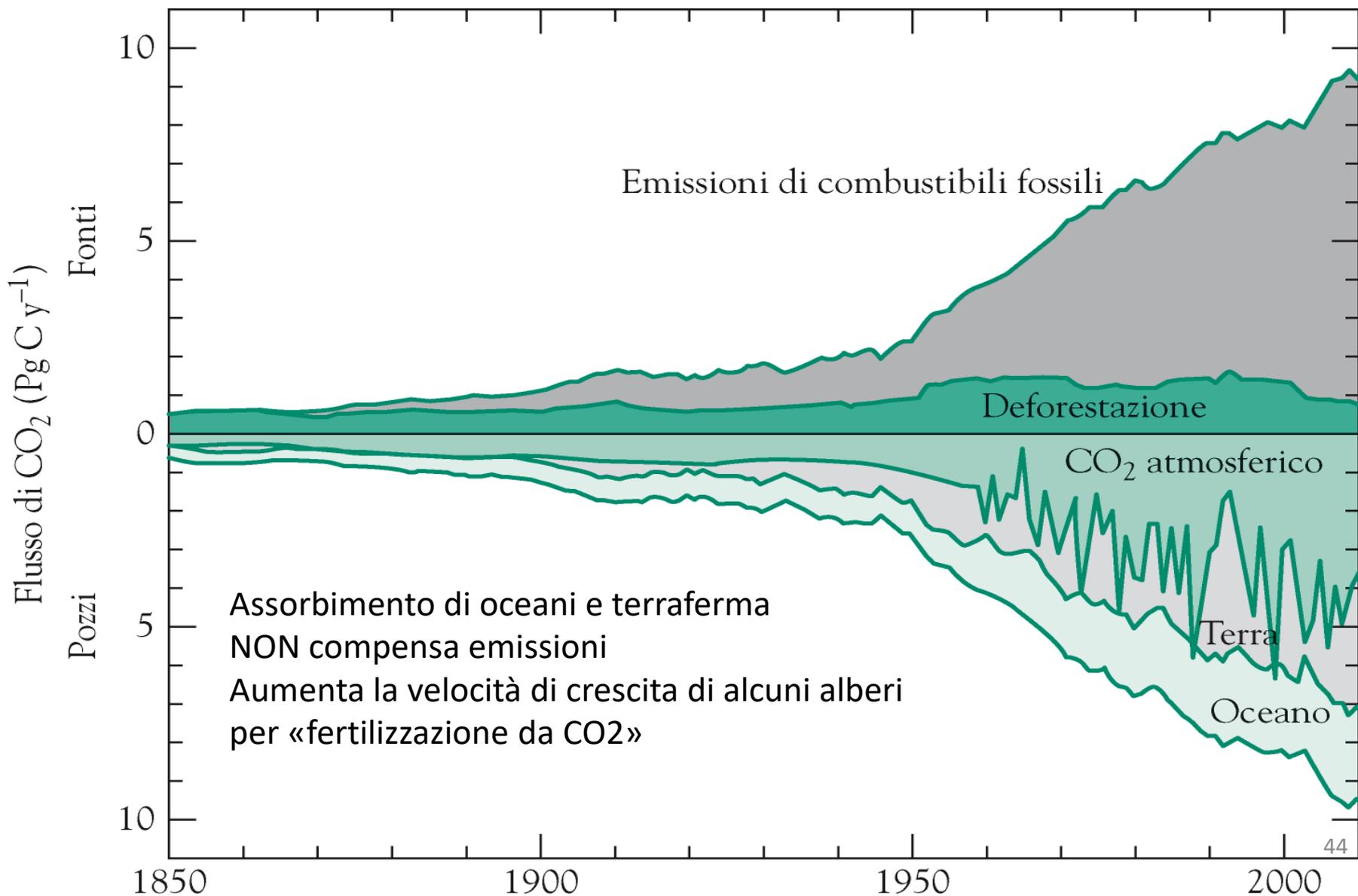


L'unico pozzo permanente per il CO₂ è la deposizione in profondità degli oceani o precipitazione in tali acque come CaCO₃ insolubile.

Poiché solo circa metà delle emissioni di CO₂ antropico viene allontanata rapidamente, il gas continua a accumularsi in atmosfera



Gran parte del contributo antropico della concentrazione atmosferica del CO₂ 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)

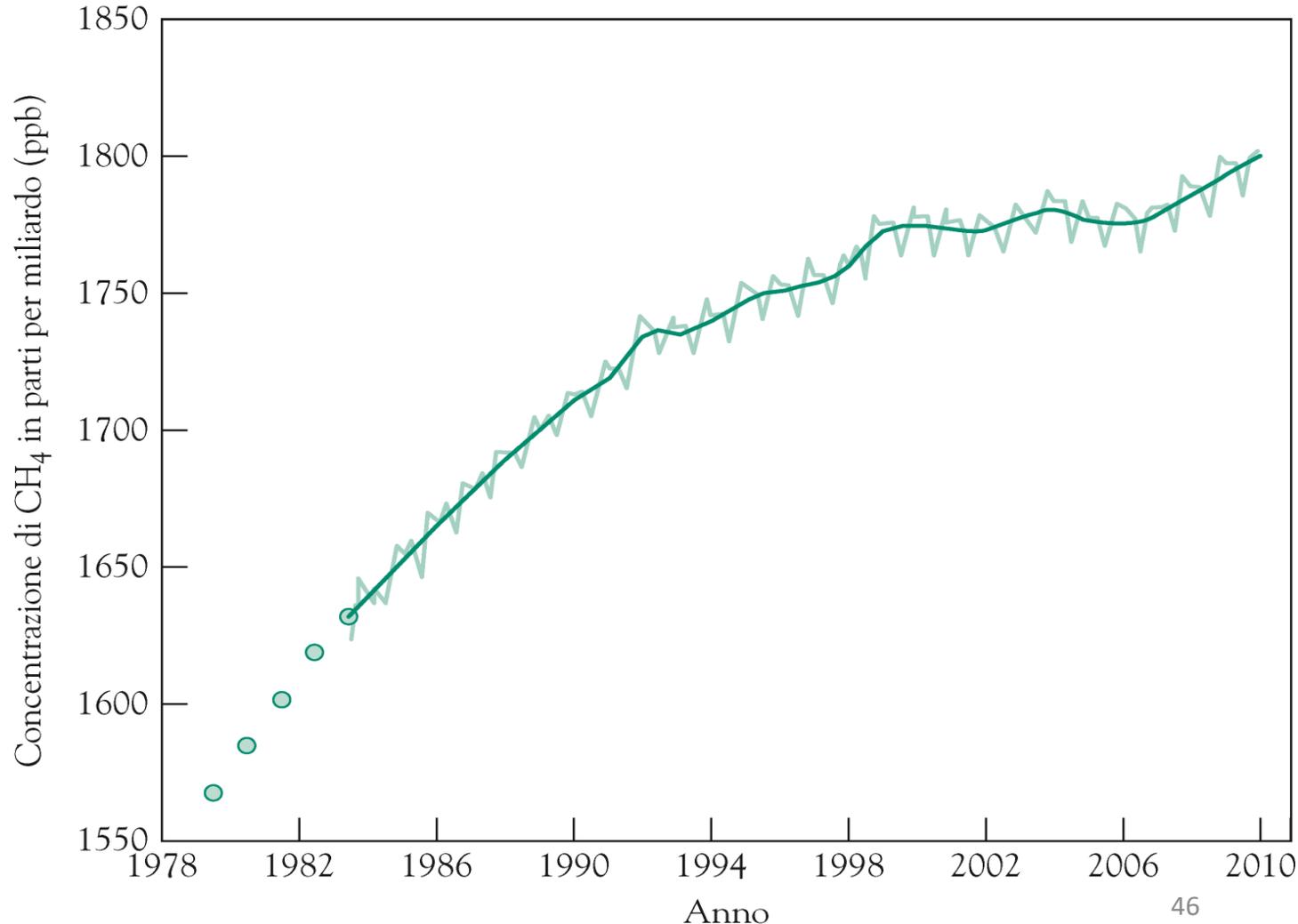
(Ma nubi contribuiscono all'albedo...)

Metano assorbe nella parte inferiore alla regione finestra; tempo di vita in atmosfera un decennio (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% CH_4 antropico

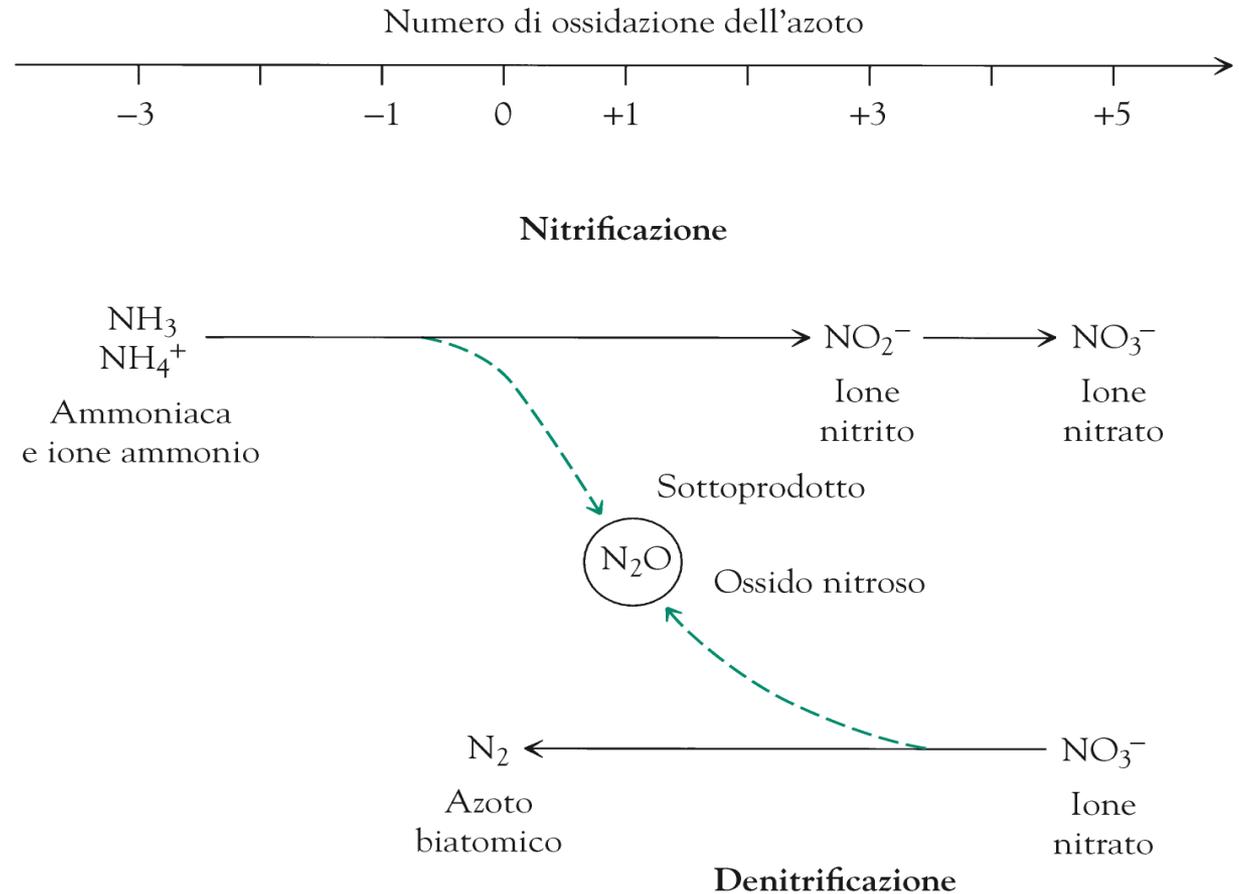
Fonti: decomposizione anaerobia (gas di palude) paludi, stagni, risaie, discarica, ruminanti, estrazione gas naturale.

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



N₂O Ossido nitroso o protossido d'azoto, principalmente liberato da oceani o terreni (exp. nelle regioni tropicali);

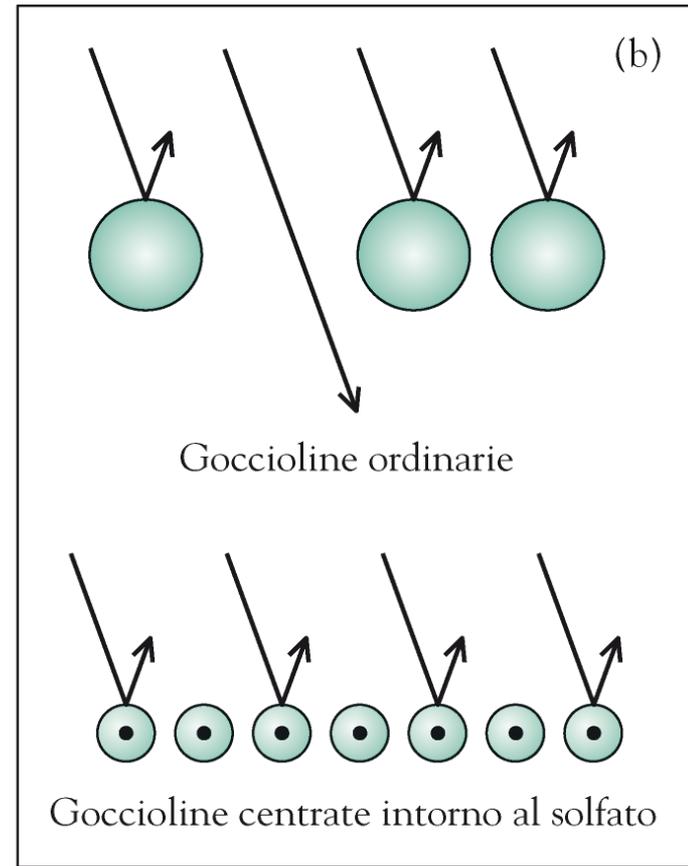
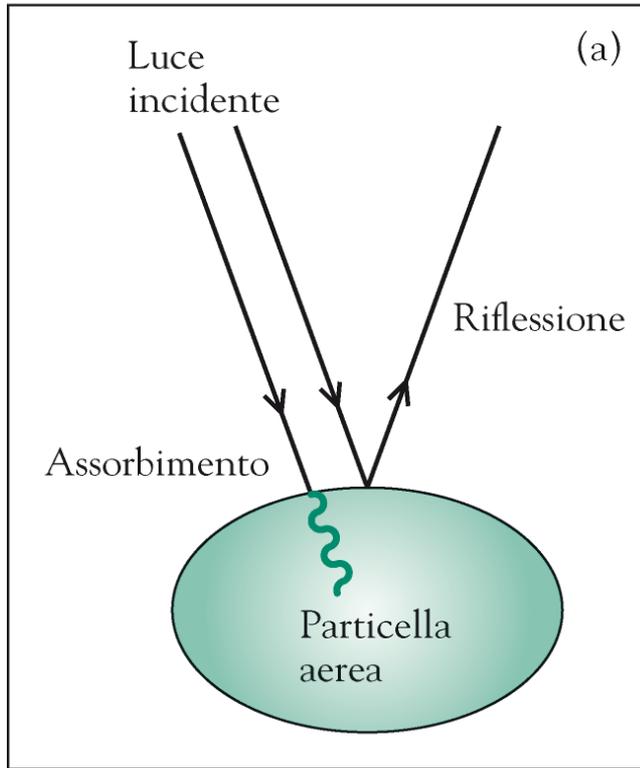
Non esistono pozzi per N₂O in troposfera (finisce in stratosfera (N₂ + O))



CFC e SF₆ lunghi tempi di residenza; O₃

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 SO₂ continuano a ritardare il dispiegarsi degli effetti del riscaldamento globale prodotto dall'aumento dei gas serra

Quantità di luce solare riflessa (W/m^2) da aerosol antropici (emisfero Nord principalmente)

