

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

Composizione dell'atmosfera secca

Componenti Principali (in volume percentuale) :

Azoto (78.08 %)

Ossigeno (20.95 %)

Componenti Secondari

argon (0.934 %)

biossido di carbonio (0.035 %)

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 %

Stratificazione dell'atmosfera

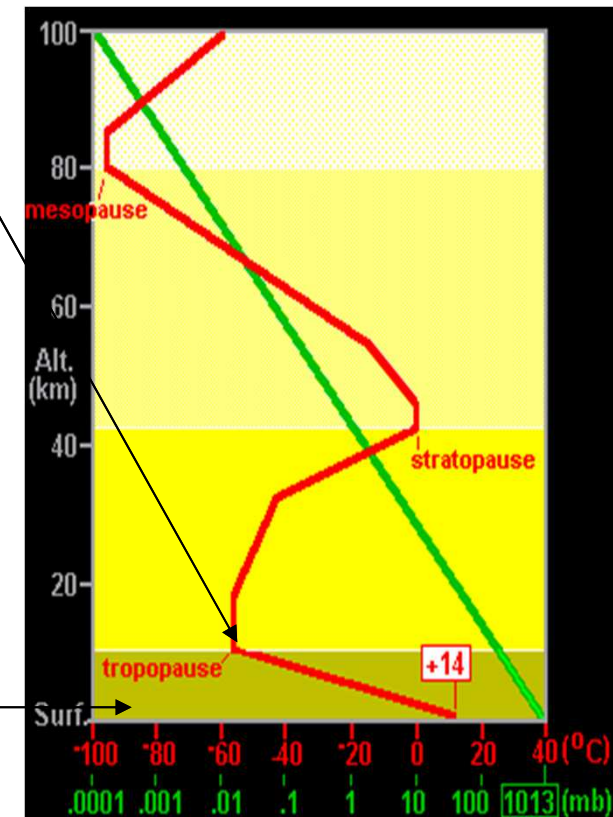
L'atmosfera è divisa in diversi strati sulla base della relazione tra temperatura/densità che risulta dalle interazioni tra processi fisici e fotochimici.

• **Tropopausa:** limite superiore della troposfera agisce da barriera che provoca **la condensazione dell'acqua a ghiaccio impedendo la foto-dissociazione negli strati superiori.**

• **Troposfera:** si estende dal livello del mare a 10-16 Km, caratterizzato da una **distribuzione omogenea dei gas maggiori** a causa di un costante rimescolamento. La temperatura diminuisce con l'allontanarsi dalla superficie radiante della terra. E' mediamente 15°C a livello del mare e -56°C nel limite superiore. La formazione delle nubi, evaporazione e precipitazioni comportano una **disomogeneità nella distribuzione dell'acqua.**

— Trend della **temperatura**

— Trend della **pressione**

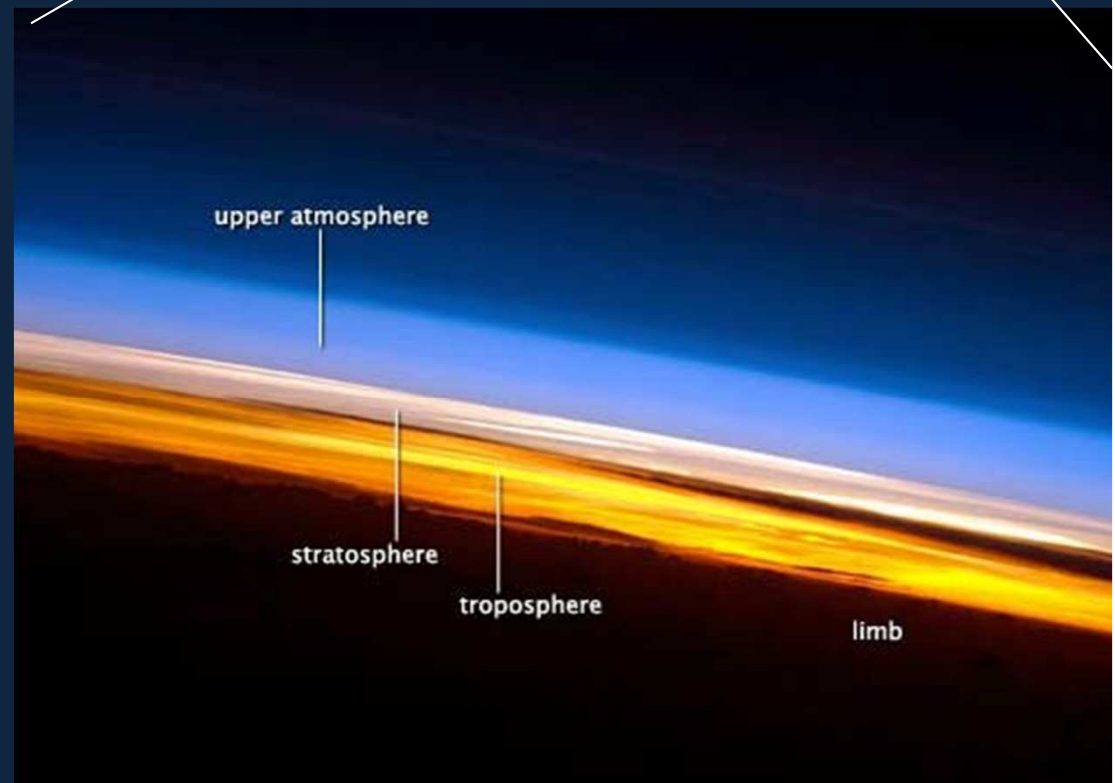


Caratteristiche dell'atmosfera

Atmosfera: Involucro gassoso di varia composizione e natura, che circonda la Terra.



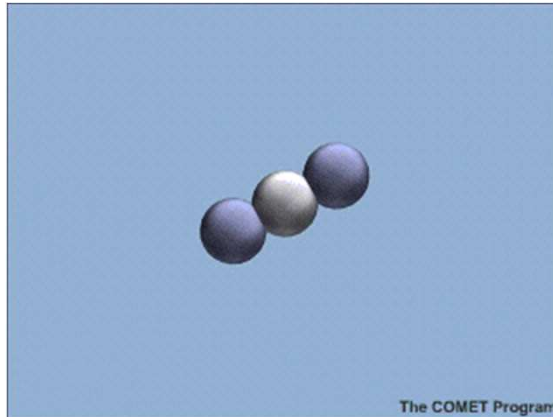
- ↪ Filtro protettivo (assorbimento raggi cosmici, radiazioni solari);
- ↪ trasmette radiazioni tra 300-2500 nm (vicino UV, visibile, vicino IR) e tra 0.01-40 m (onde radio);
- ↪ riassorbe gran parte delle radiazioni infrarosse dalla terra, stabilizzandone la temperatura;
- ↪ fonte di CO₂ per fotosintesi e di O₂ per respirazione;
- ↪ fonte di N₂ per batteri fissatori;
- ↪ mezzo di trasporto dell'acqua da mare a terraferma (agisce come condensatore di un distillatore ad energia solare);
- ↪ scarica di specie inquinanti



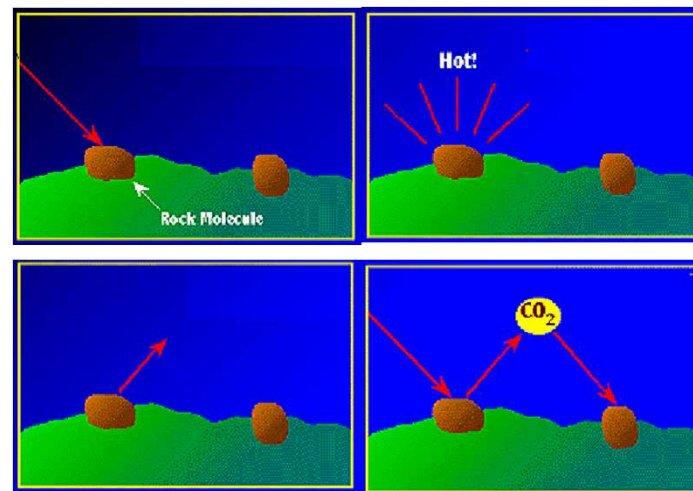
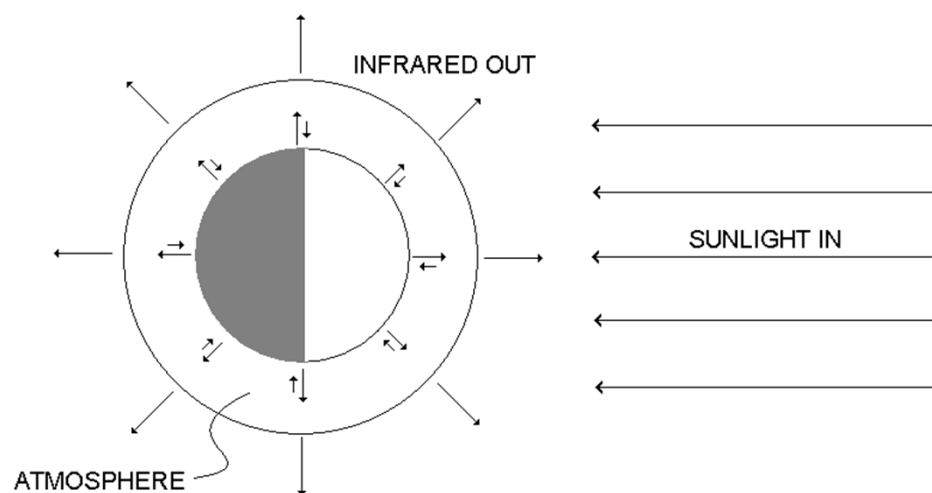
Effetto Serra

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



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.

L'acqua in atmosfera

- ✓ Range in troposfera: 1-3% in volume (valore medio ~ 1%); diminuisce all'aumentare dell'altitudine
- ✓ Vapore acqueo assorbe radiazione IR più di CO₂.
- ✓ Nuvole formate da vapore acqueo riflettono la luce del sole producendo abbassamento della temperatura.
- ✓ Di notte agisce come una "coperta" trattenendo il calore.
- ✓ Fortemente coinvolta nei trasferimenti di energia atmosferici.
- ✓ Coinvolta in molte reazioni (fotochimiche, acido-base, ecc)
- ✓ Può ridurre la visibilità formando particelle di aerosol ed interagire con gli inquinanti sia gassosi che allo stato solido.
- ✓ In stratosfera viene prodotta da ossidazione fotochimica del metano (la tropopausa è una barriera per il movimento dalla troposfera):

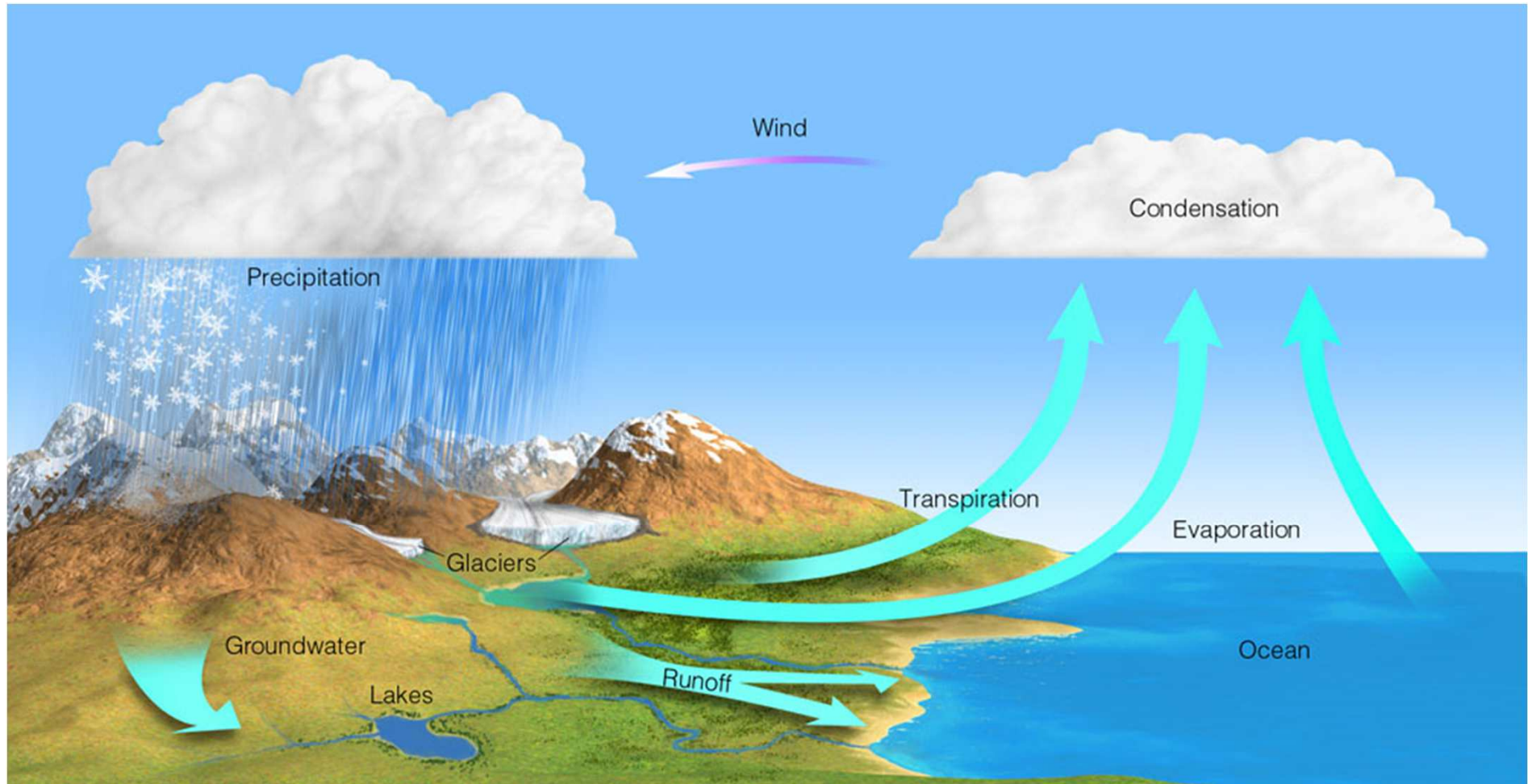


- ✓ È fonte del radicale idrossilico in stratosfera: $\text{H}_2\text{O} + h\nu \rightarrow \text{HO}\cdot + \text{H}$

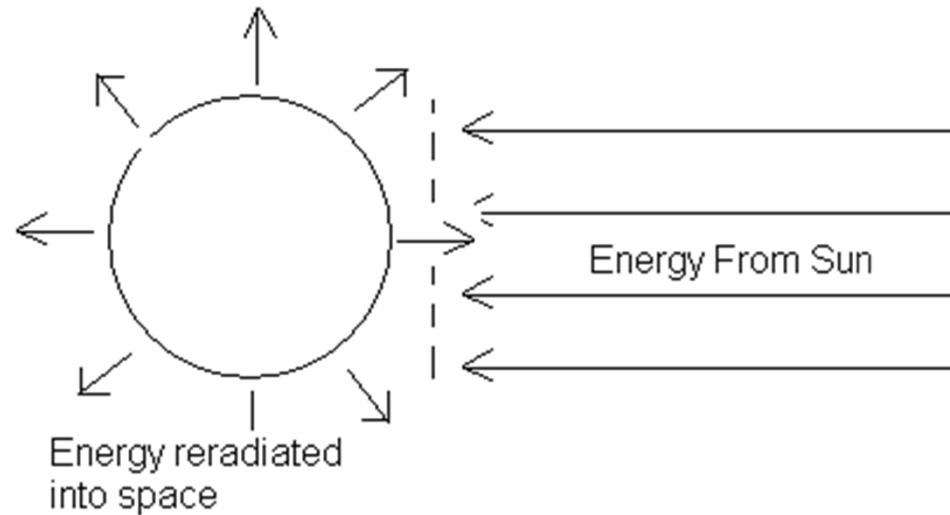
Circolazione dell'acqua in atmosfera

- evaporazione
 - condensazione
 - precipitazione
 - Ciclo idrologico
-
- La quantità totale di acqua contenuta in atmosfera equivale alla quantità di pioggia sulla superficie terrestre misurabile in 1 settimana

Circolazione dell'acqua in atmosfera



Bilanci di energia nell'atmosfera



La legge di Stefan-Boltzmann, che l'energia (per secondo) irradiata da un corpo nero è proporzionale alla quarta potenza della sua temperatura

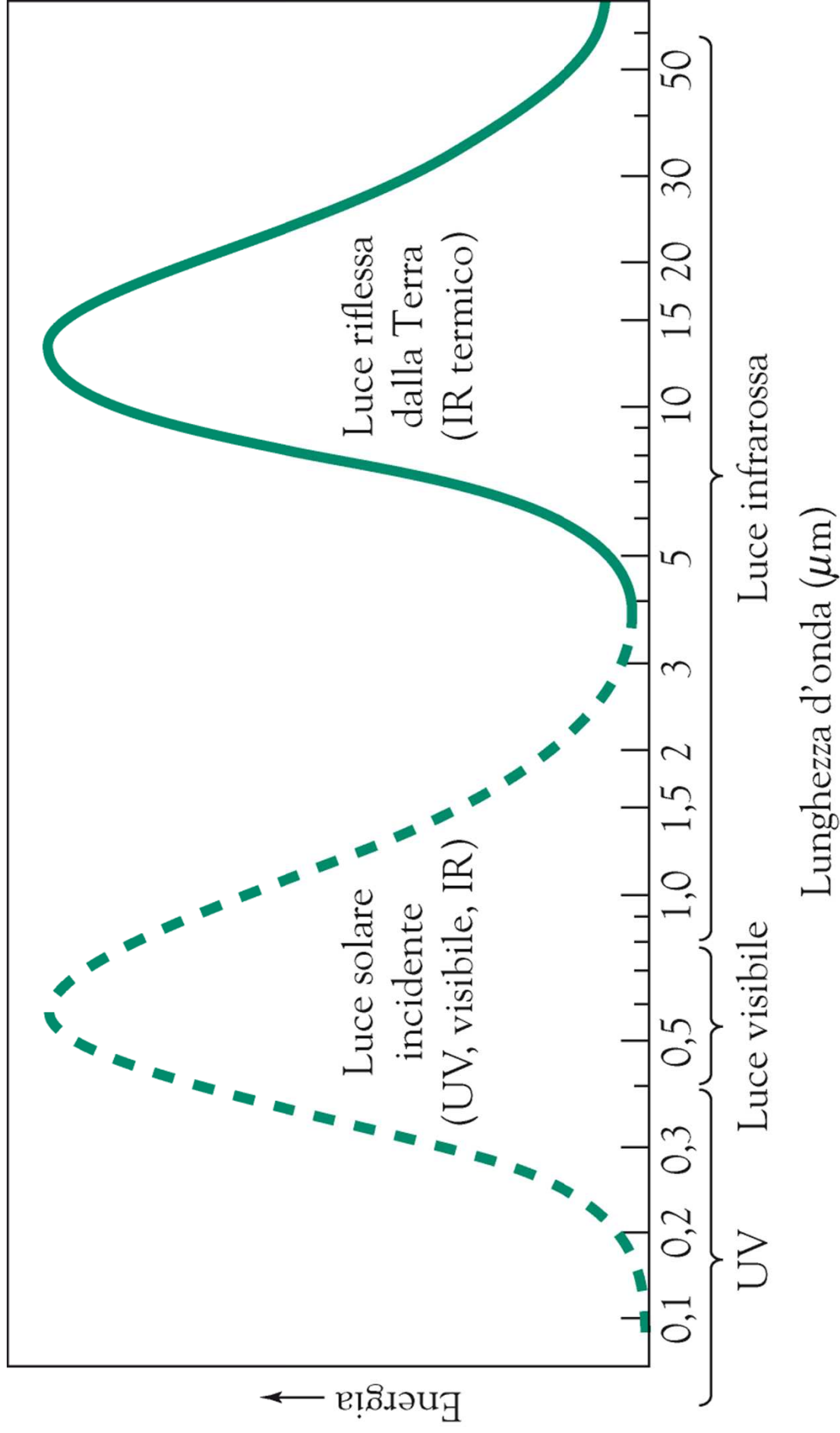
$$U = \sigma T^4$$

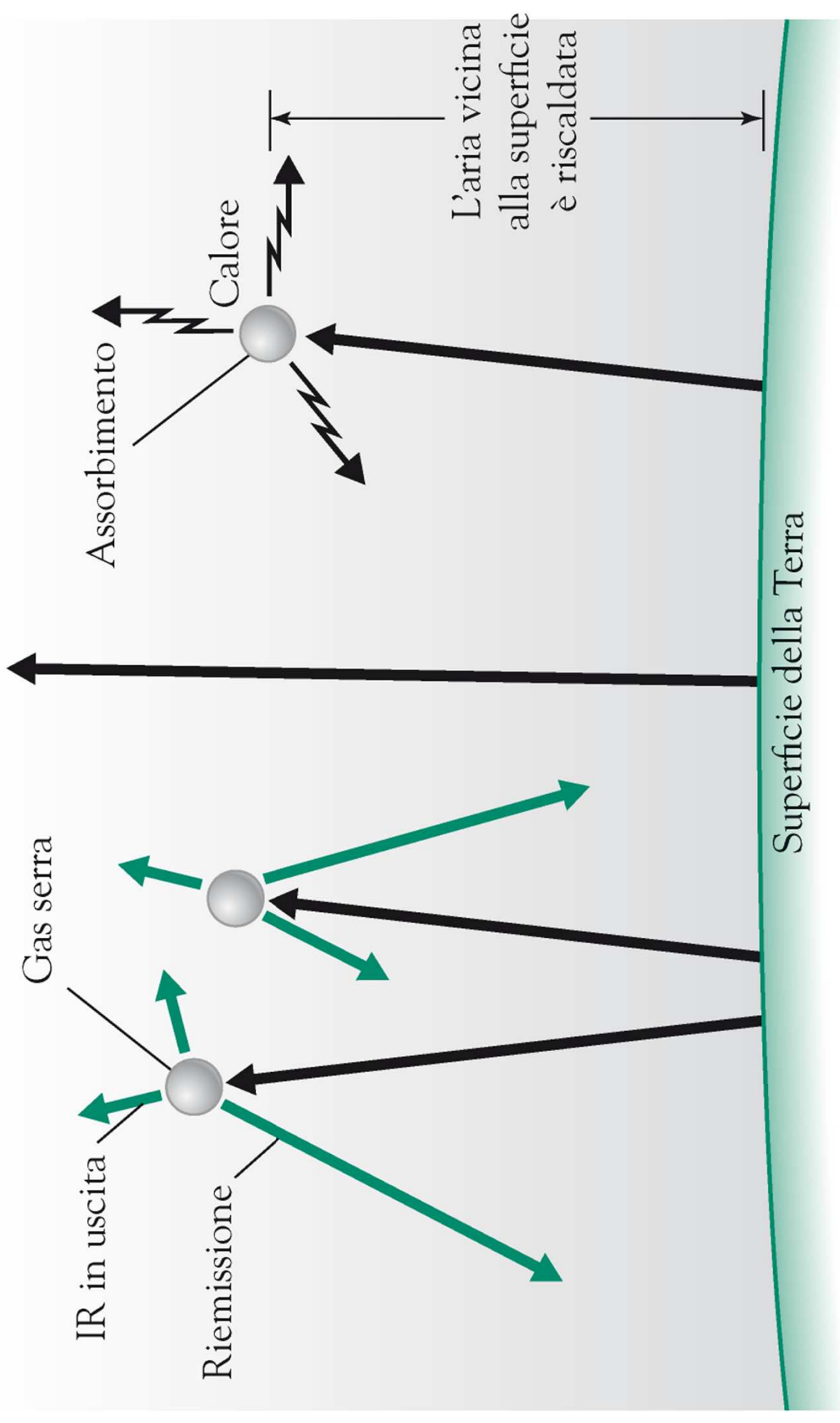
dove U è l'energia irradiata dall'unità di superficie nell'unità di tempo, T la temperatura assoluta espressa in Kelvin e σ è la costante di Stefan-Boltzmann che vale: $5.66 \cdot 10^{-8} \text{ att m}^{-2}\text{K}^{-4}$

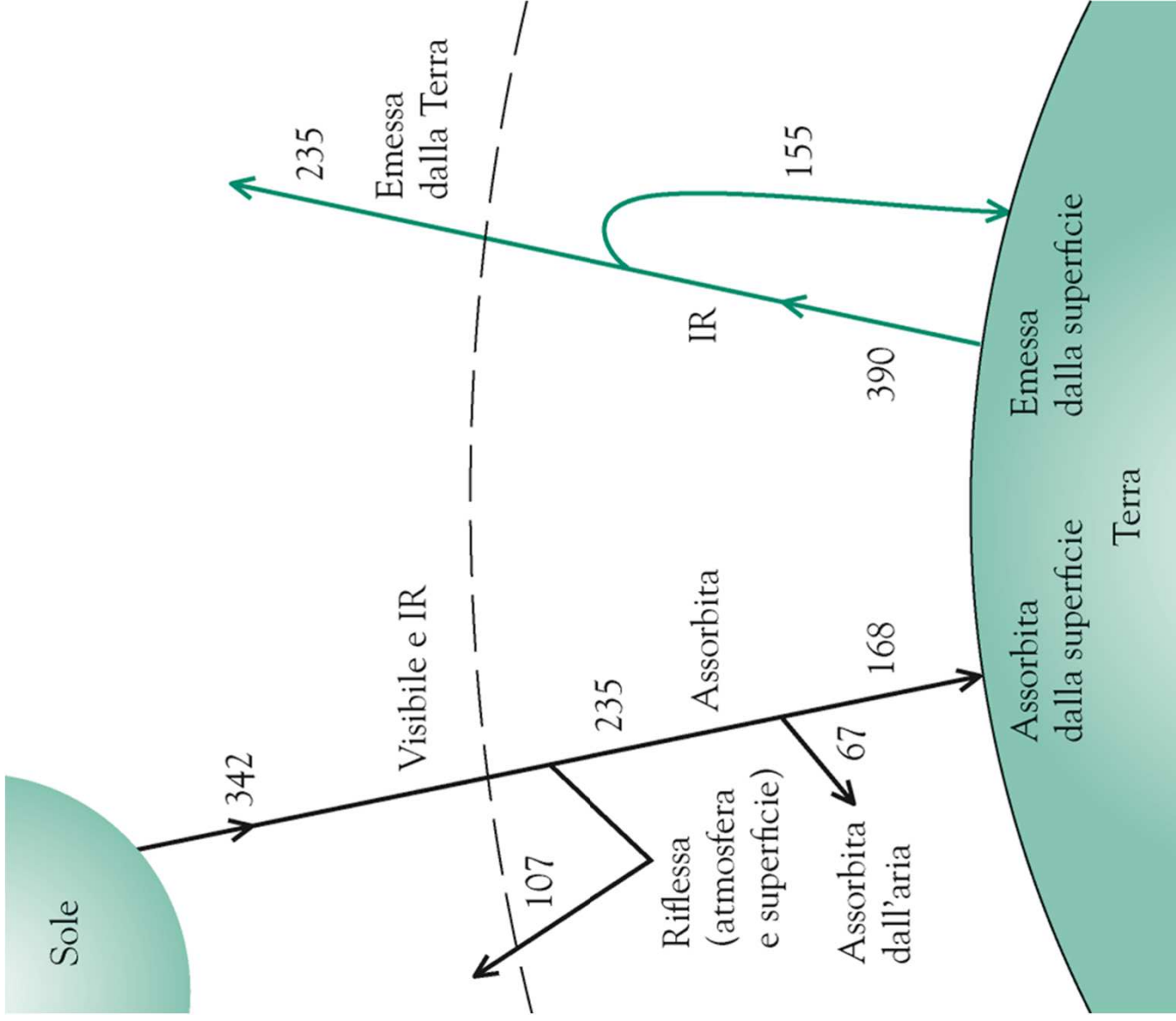
La legge, in questo enunciato, è valida solo per corpi neri ideali.

$$\frac{S}{4} = \sigma T^4 \quad 342 \text{ watts/m}^2 \text{ (in arrivo)}$$

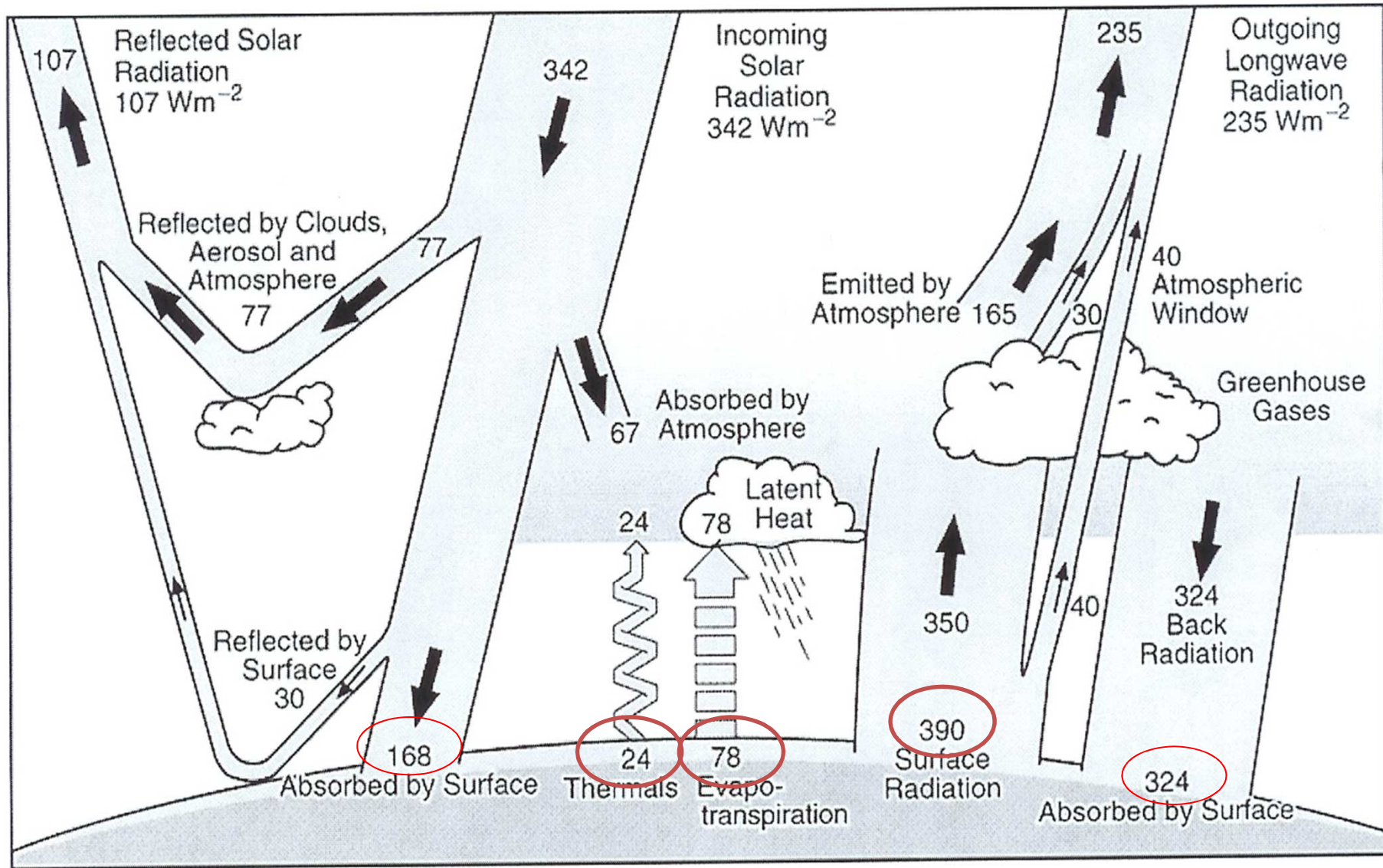
$$(1-A) \frac{S}{4} = \sigma T^4 \quad 235 \text{ watts/m}^2 \text{ (assorbiti)} \quad A = \text{Albedo planetario} - \text{Circa } 31\%$$



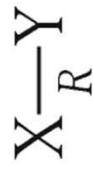




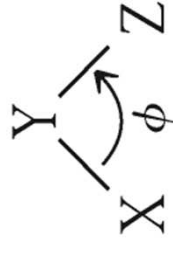
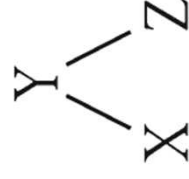
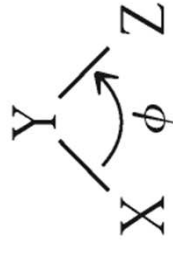
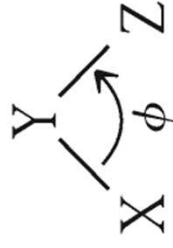
Bilanci di energia nell'atmosfera

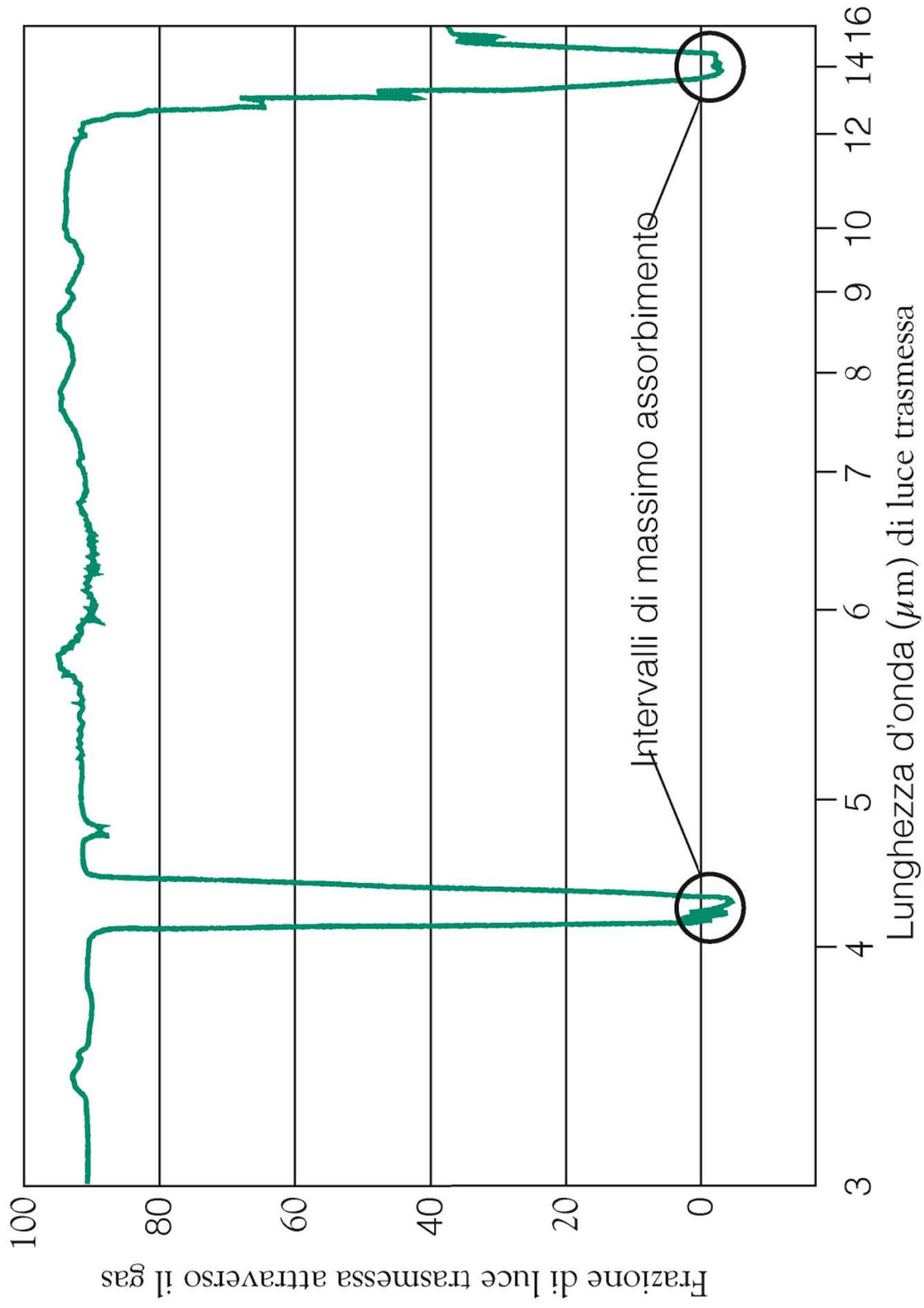


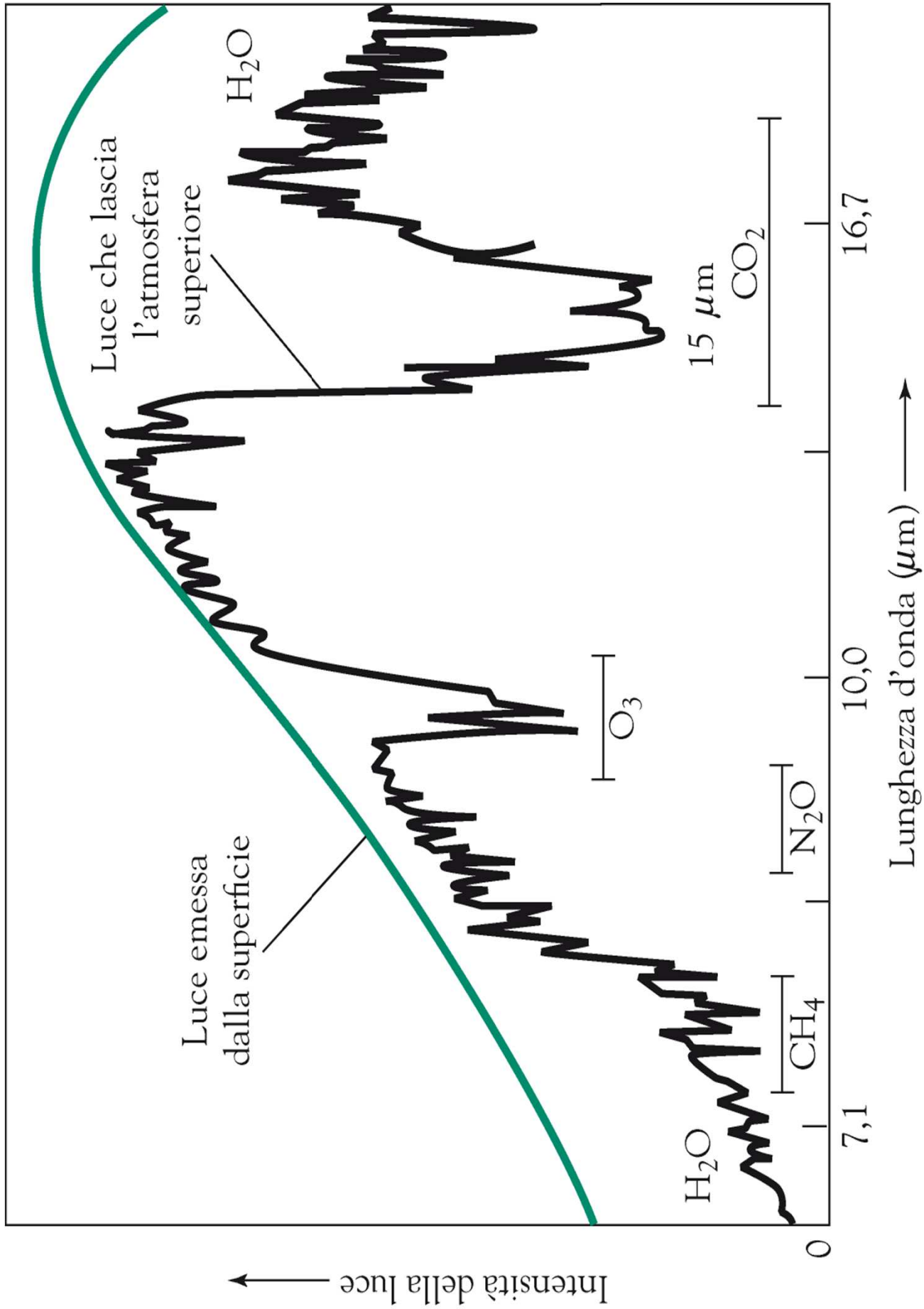
(a) Vibrazione da stiramento di legame



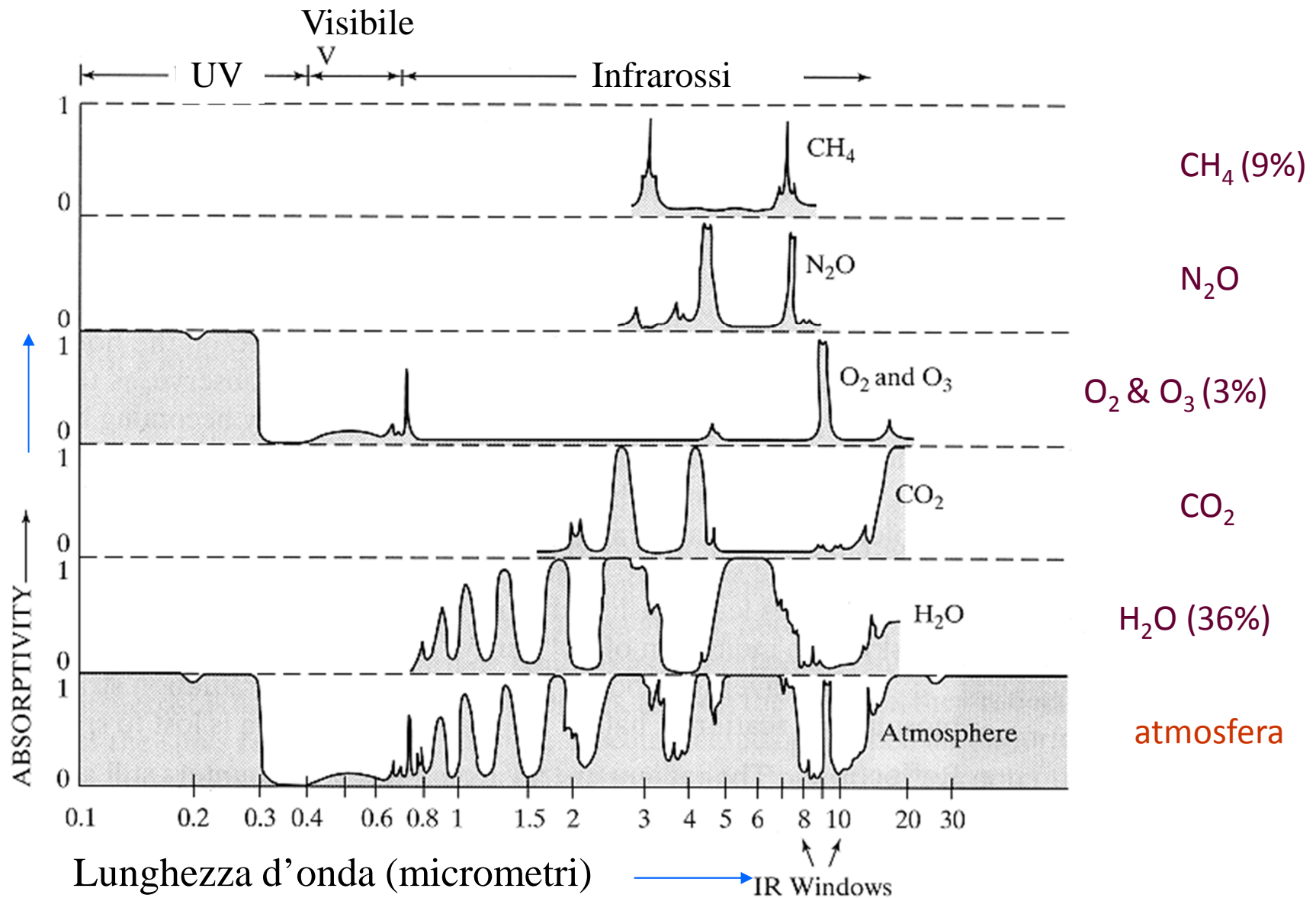
(b) Vibrazione da flessione di legame



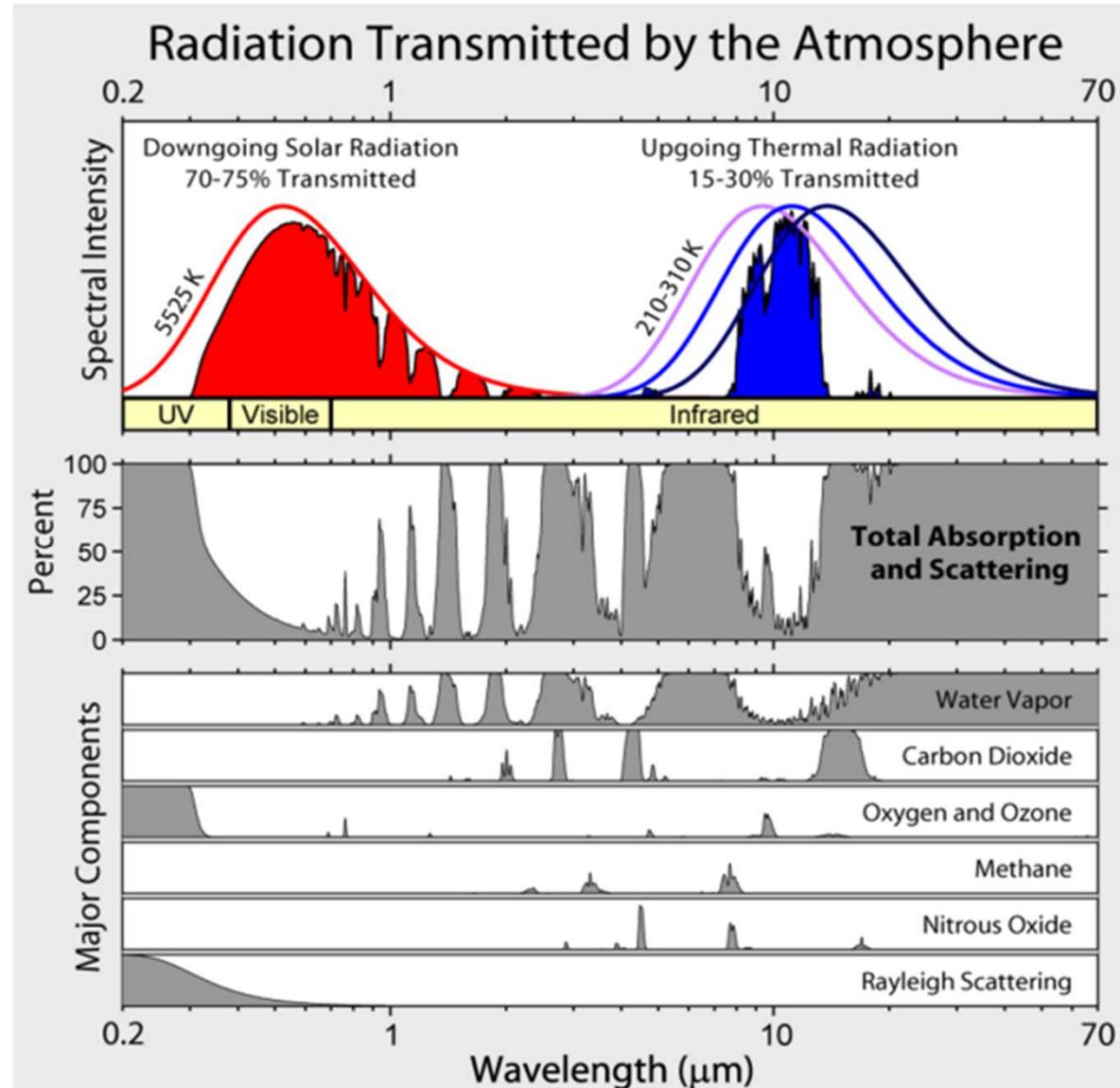




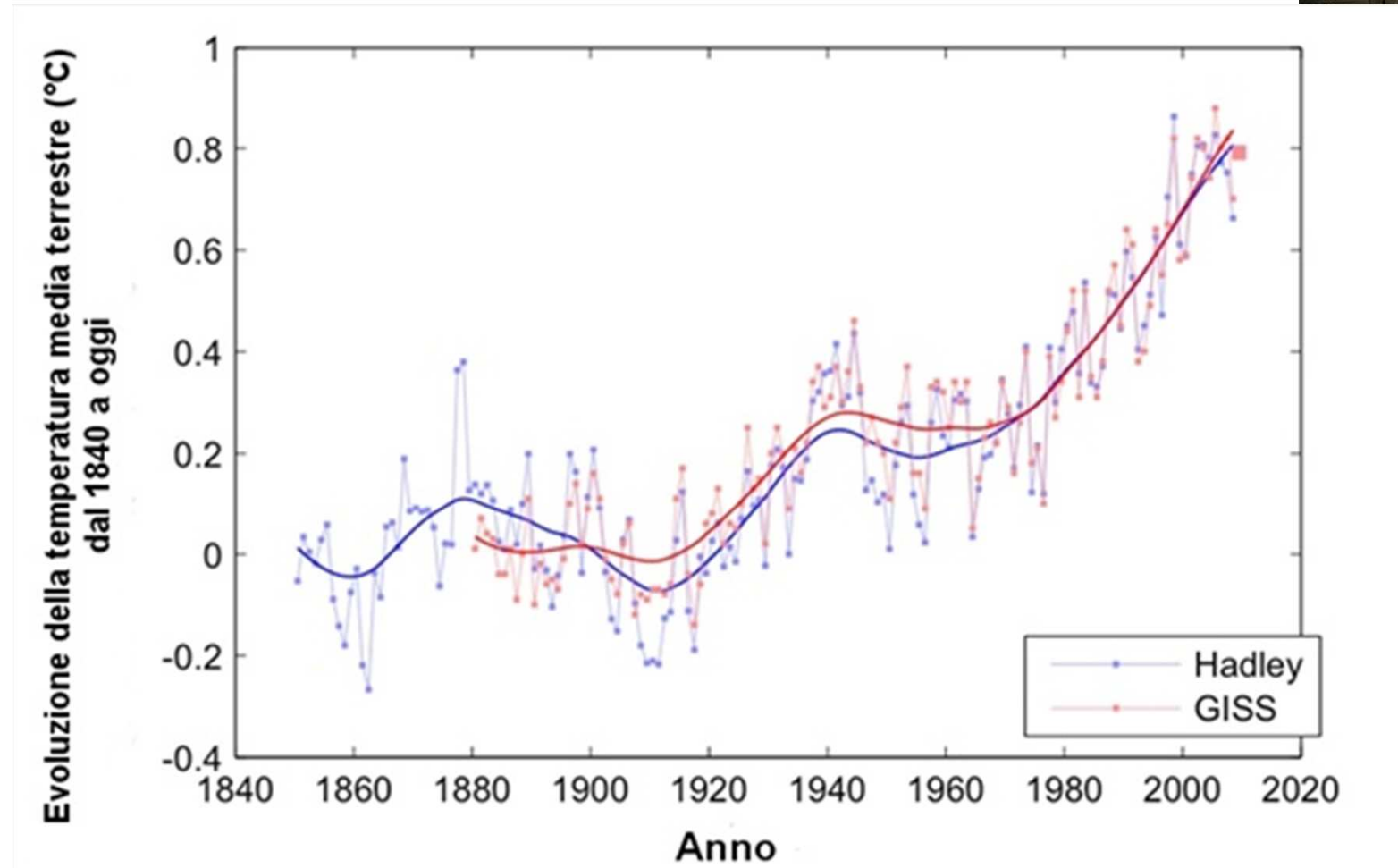
Spettro di assorbimento dei gas atmosferici



Radiazione IN/OUT

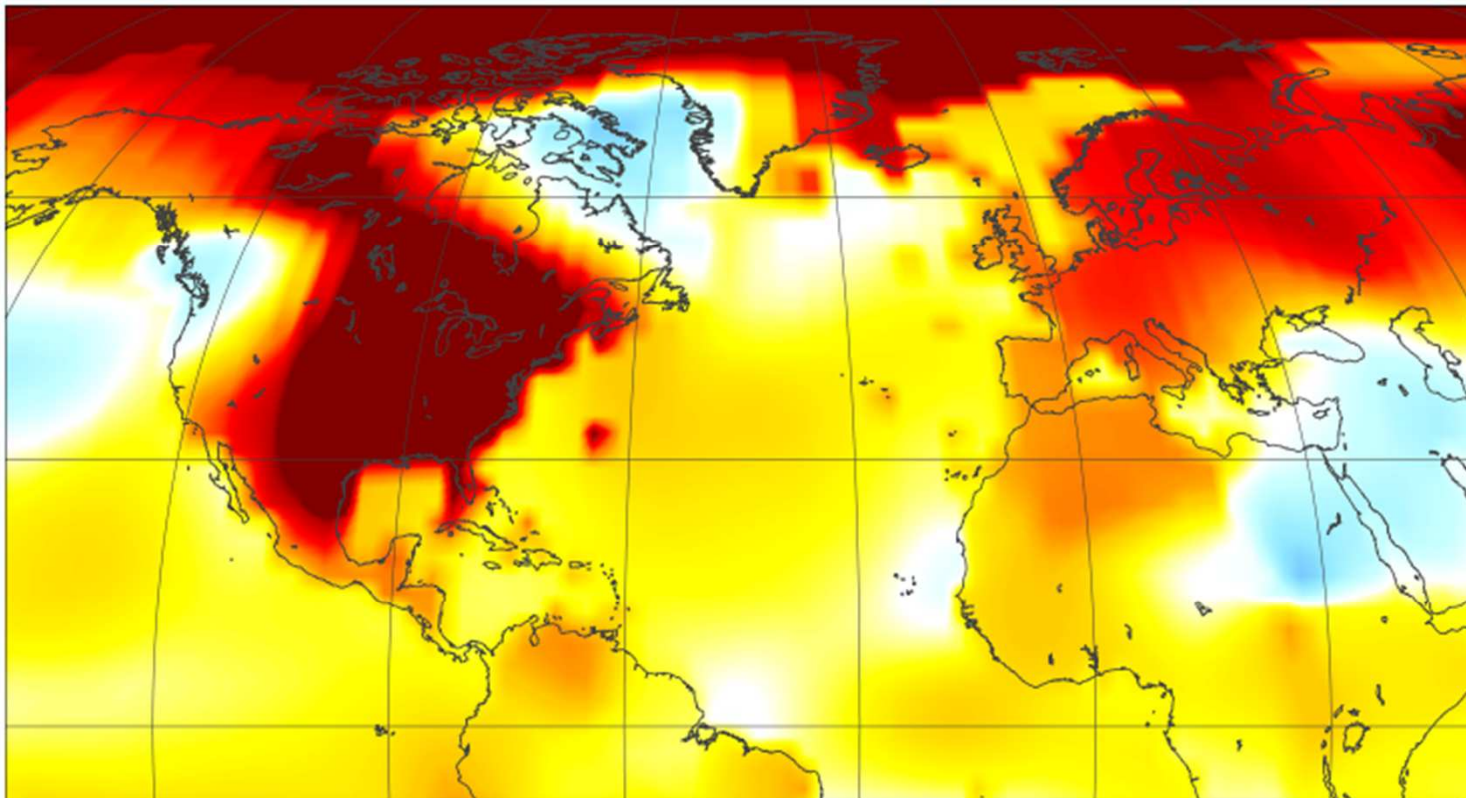


Riscaldamento Globale



Dati forniti da 2 istituzioni di climatologia (UK Met Office Hadley Centre for Climate Science and Services e NASA/Goddard Institute for Space Studies (GISS)).

February 2017 Was Second Warmest February On Record



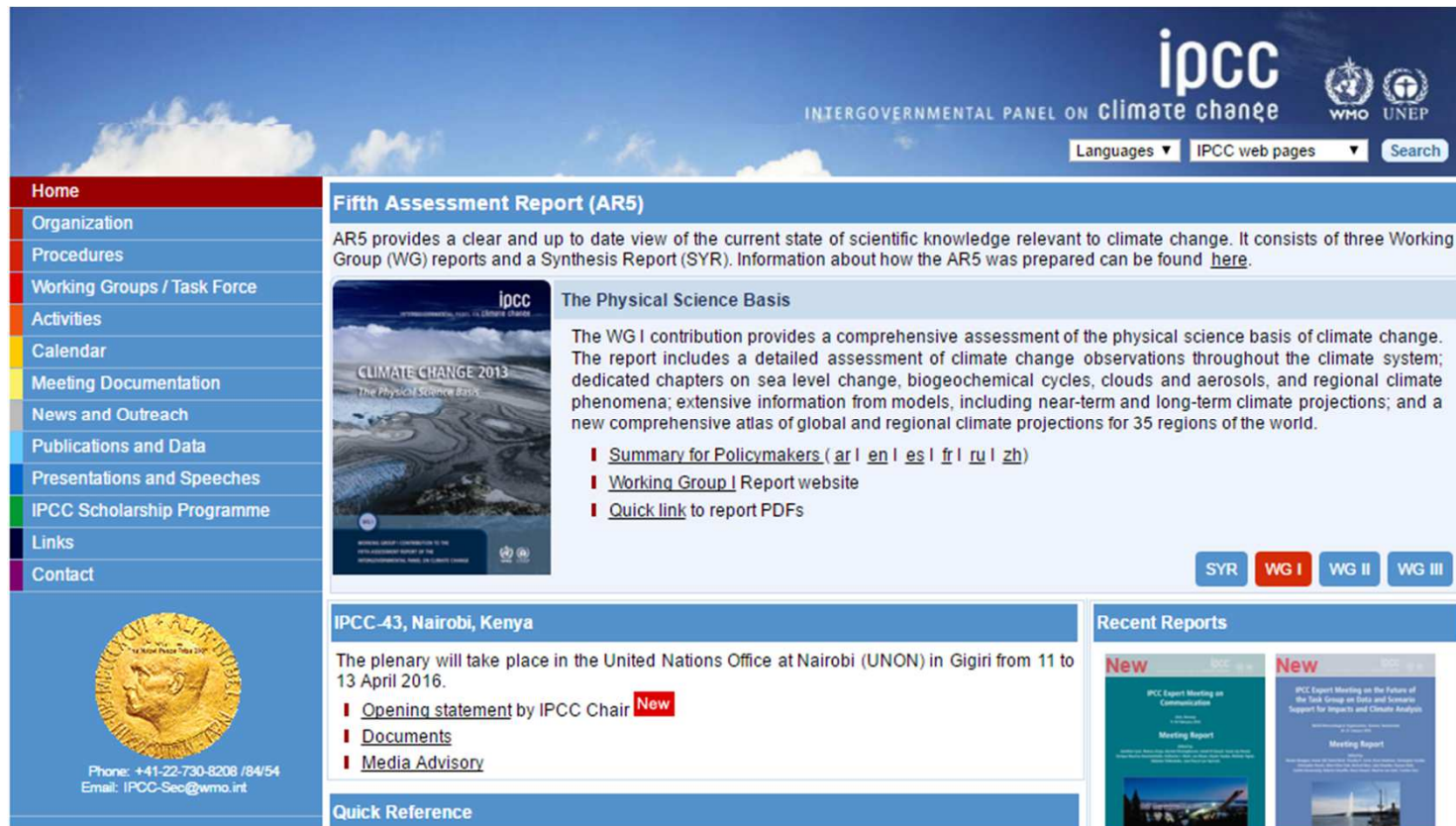
At 1.1°C above the 1951-1980 average, February 2017 was the second warmest February since modern record-keeping began almost 140 years ago.

(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 WHO and UNEP. Below the logos, there are dropdown menus for 'Languages' and 'IPCC web pages', and a 'Search' button. A navigation menu on the left side includes links for 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 large banner for the 'Fifth Assessment Report (AR5)' with a sub-section for 'The Physical Science Basis'. This section includes a description of the report's content and a list of links for a summary for policymakers, the Working Group I report website, and a quick link to report PDFs. Below this, there is a section for 'IPCC-43, Nairobi, Kenya' with details about the plenary meeting and links for an opening statement, documents, and a media advisory. A 'Quick Reference' section is also visible. On the right side, there is a 'Recent Reports' section with two featured reports. At the bottom left, there is a gold medal emblem and contact information: Phone: +41-22-730-8208 /84/54 and Email: IPCC-Sec@wmo.int.

ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WHO 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

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

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](#)

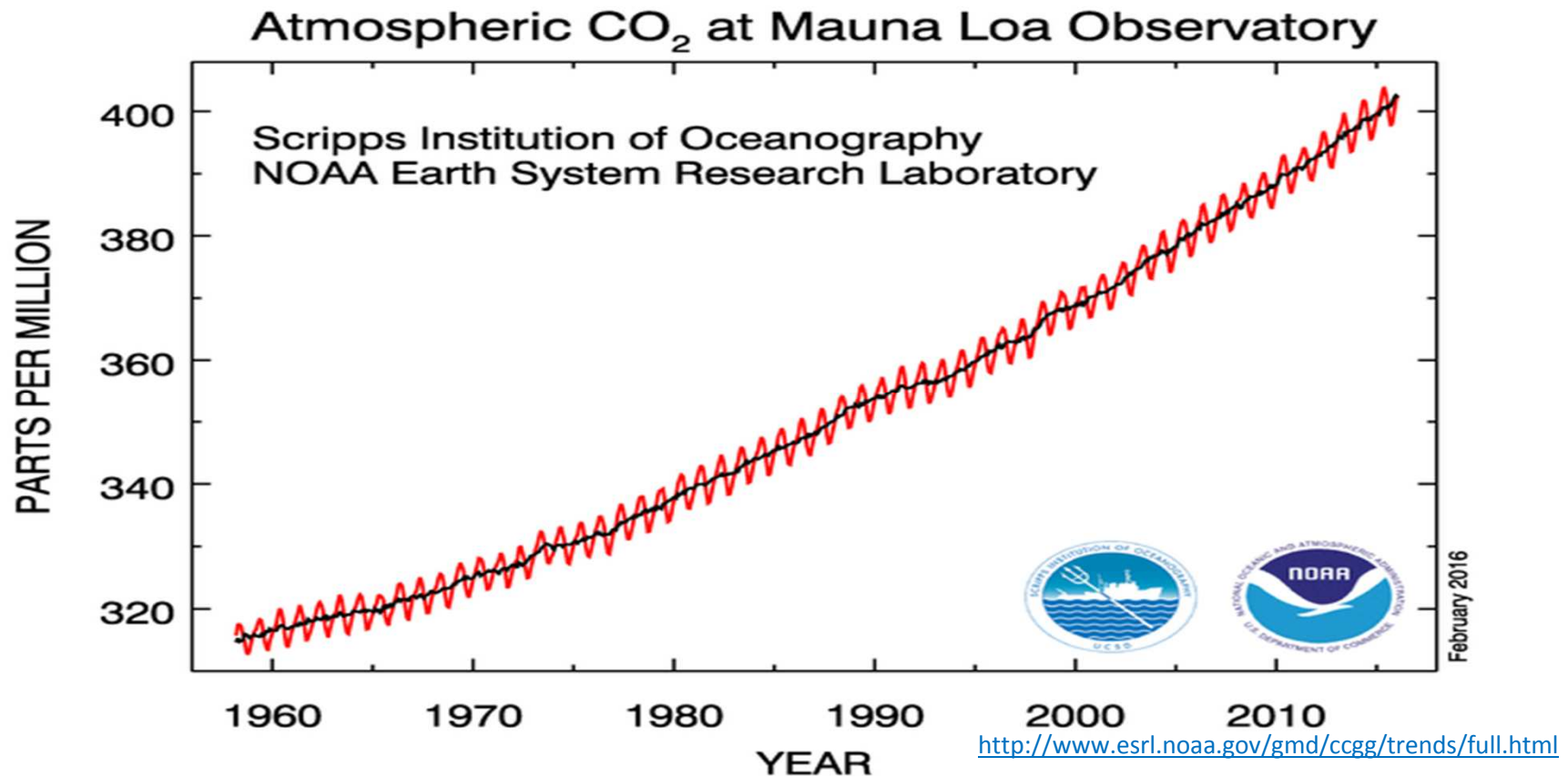
Quick Reference

Recent Reports

New IPCC
IPCC Expert Meeting on Communication
Meeting Report

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

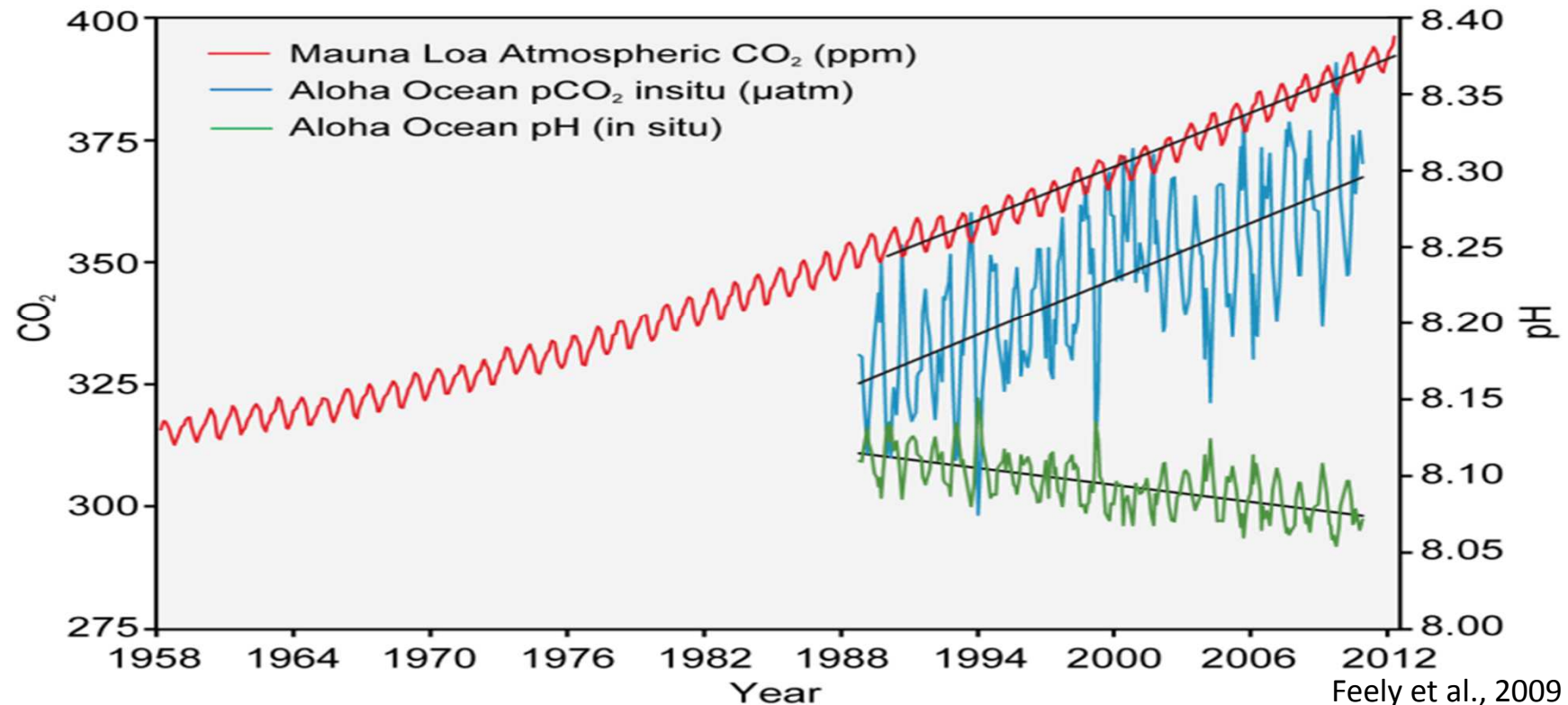
L'incremento di CO₂ atmosferico



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

La diminuzione del pH marino

As Oceans Absorb CO₂, They Become More Acidic

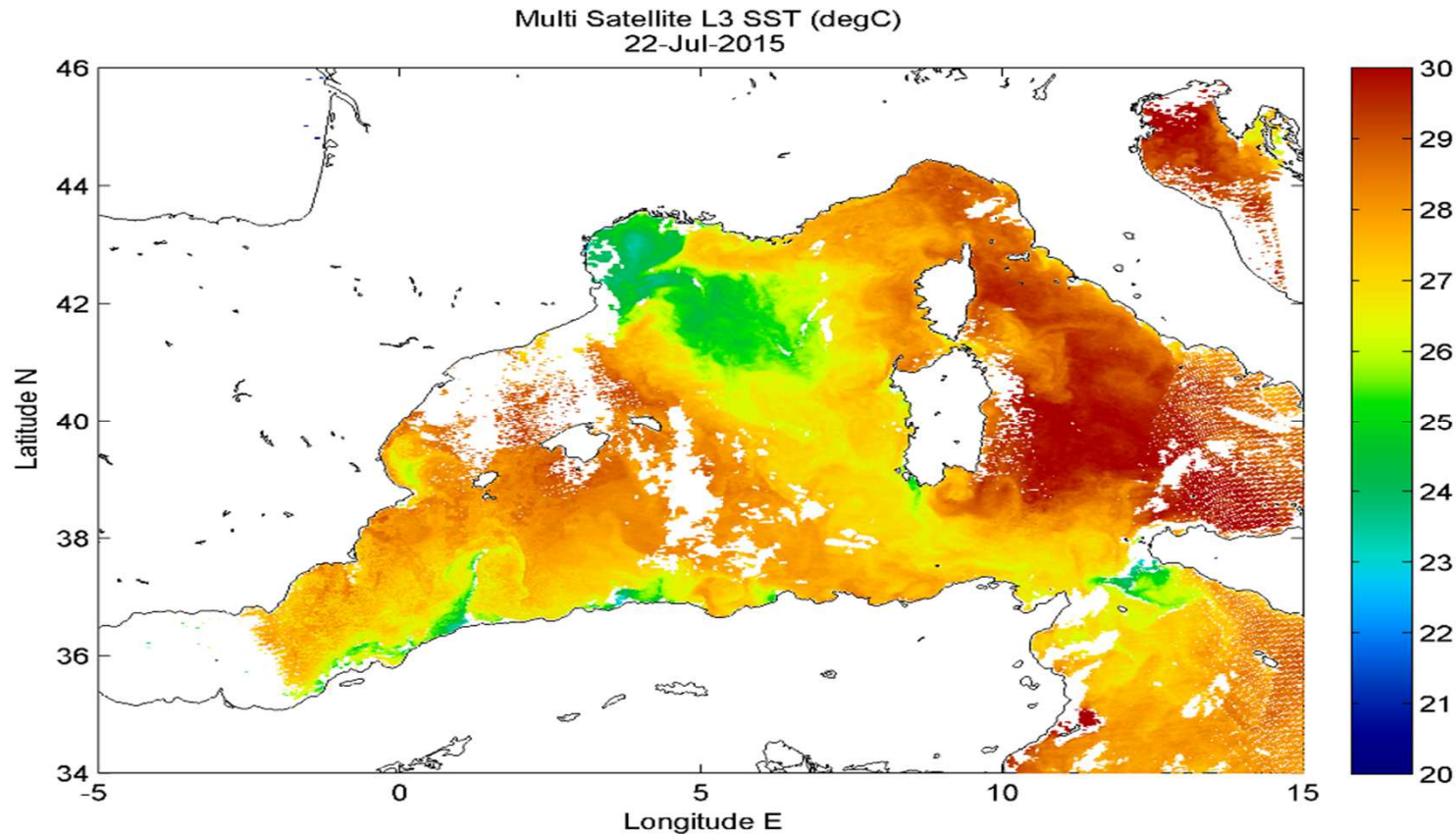


- Aumento di CO₂ in atmosfera
- Aumento di pCO₂ marino
- Diminuzione di pH marino
 - pH acqua di mare: 8.00-8.20
 - Diminuzione di: 0.10-0.15 unità
 - Aumento acidità del: 100-150 % entro il 2100

Scopi della tesi

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

Candidato:
Alessandro Cipolla

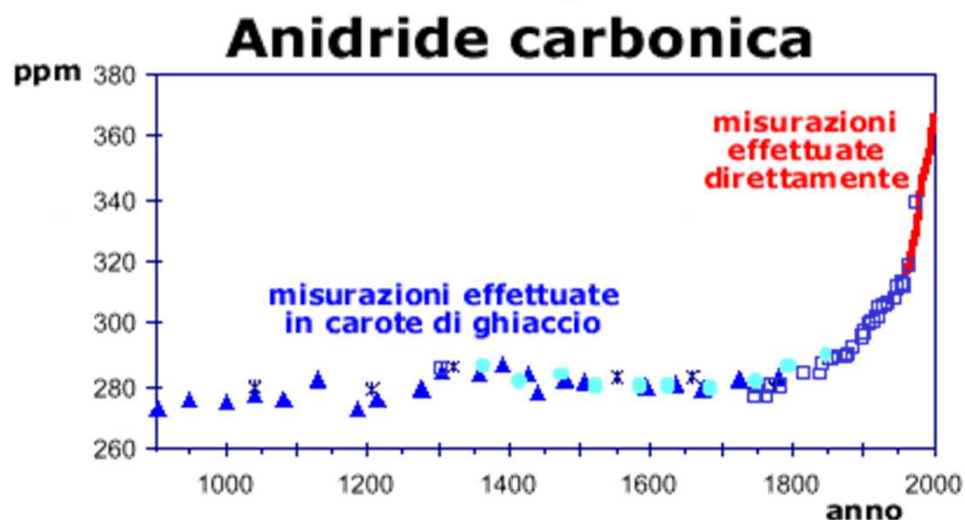


- Caratterizzare il sistema carbonatico ed i processi che lo influenzano nei Canali di Sicilia e di Sardegna
- Studi precedenti e nuovi dati
- Effetti ondata di calore

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

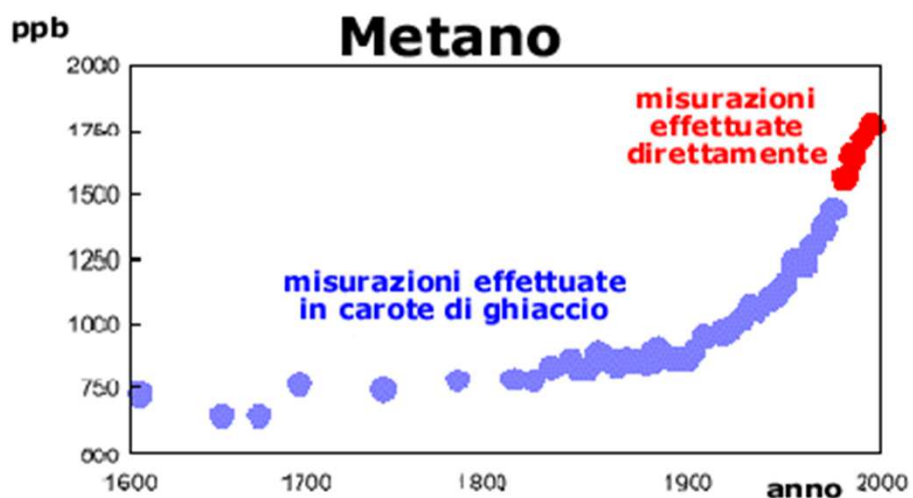
Riscaldamento Globale

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

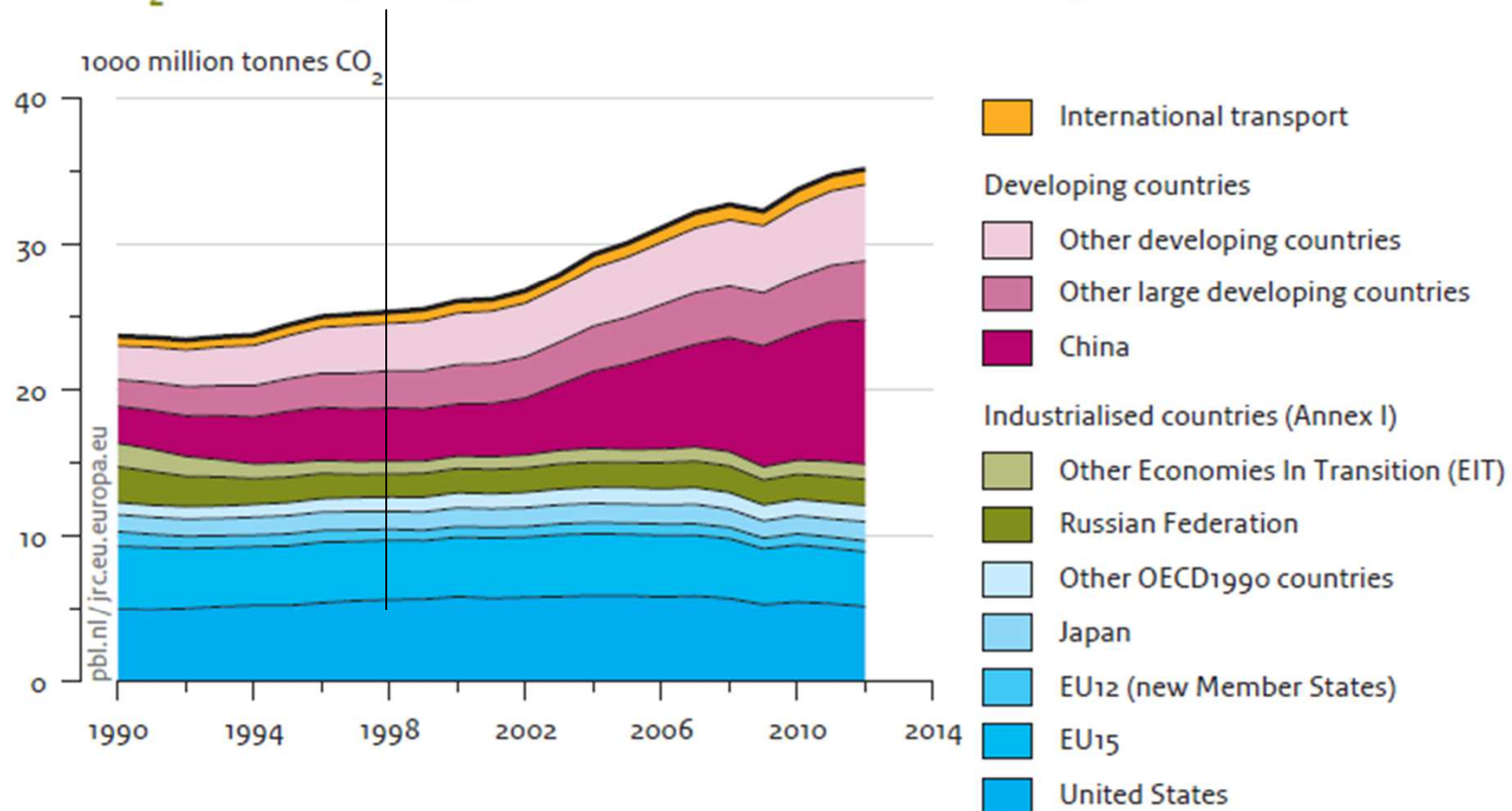
I sei gas serra sopra elencati sono quelli presi in considerazione dal Protocollo di Kyoto (1997). Paesi industrializzati si sono impegnati a ridurre entro il 2008-2012 le loro emissioni annue complessive del 5,2% rispetto ai livelli del 1990.

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

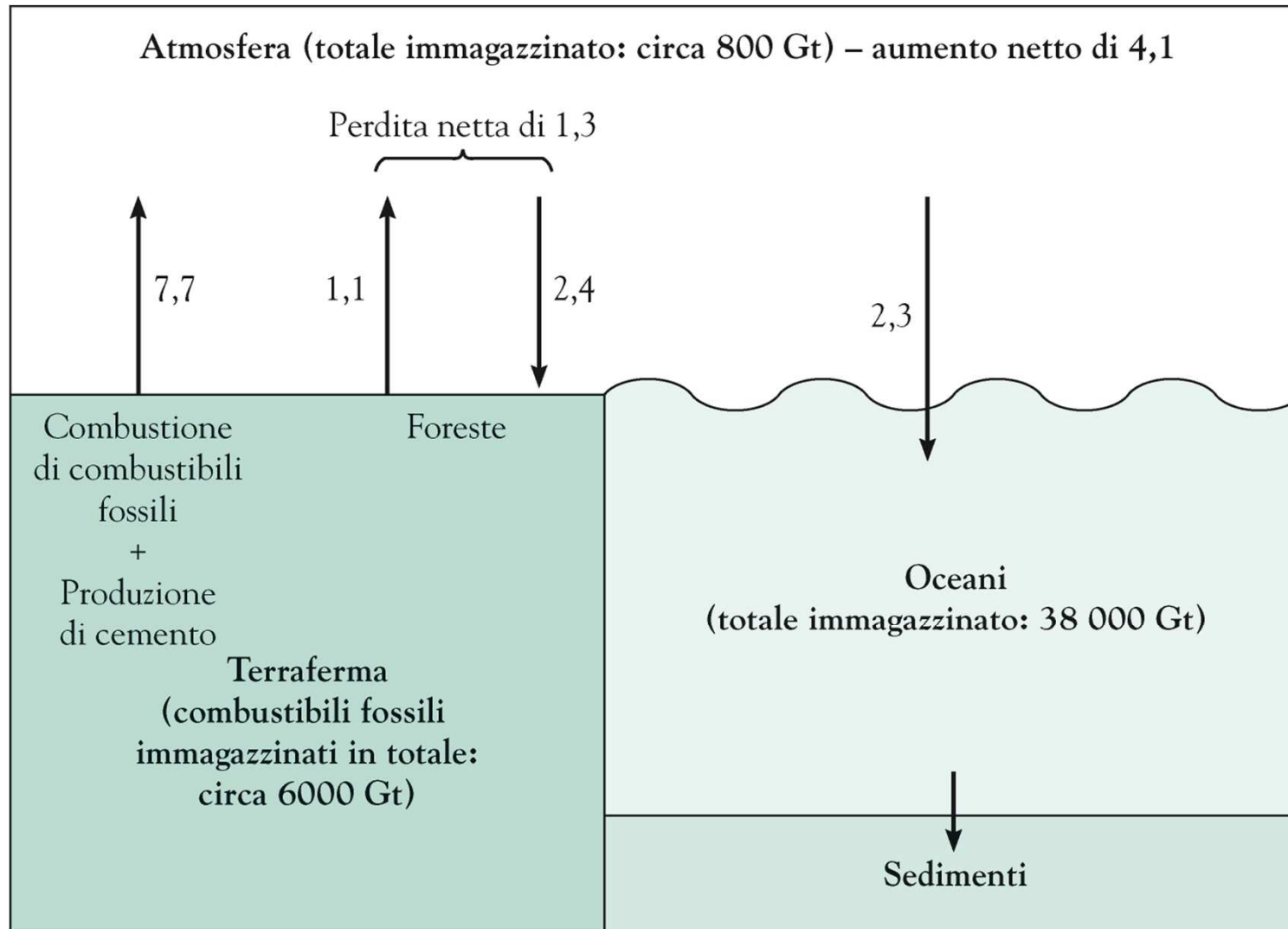


Global CO₂ emissions per region from fossil-fuel use and cement production

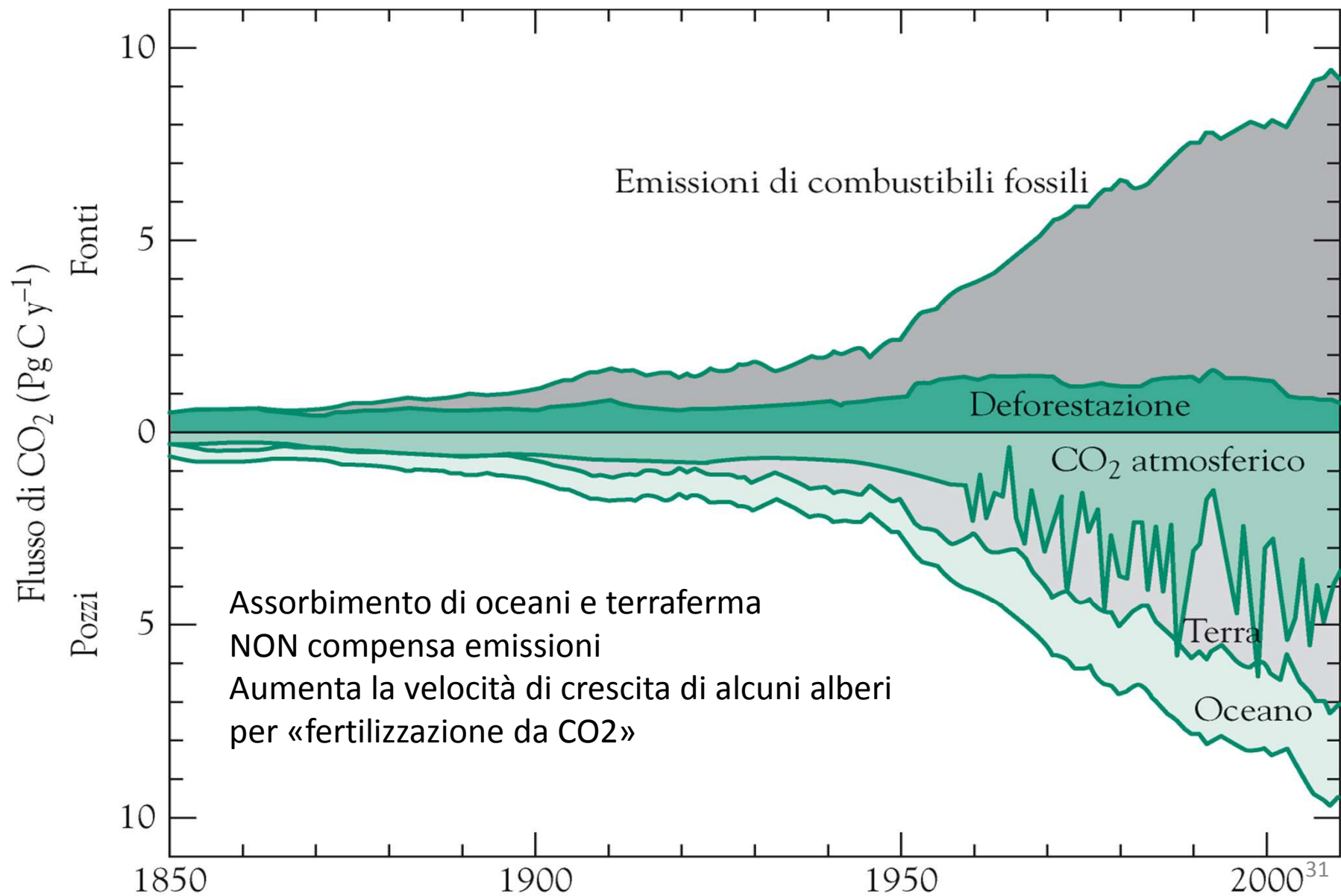


L'unico pozzo permanente per il CO₂ è la deposizione in profondità degli oceani o precipitazione in tali acque come CaCO₃ insolubile.

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)

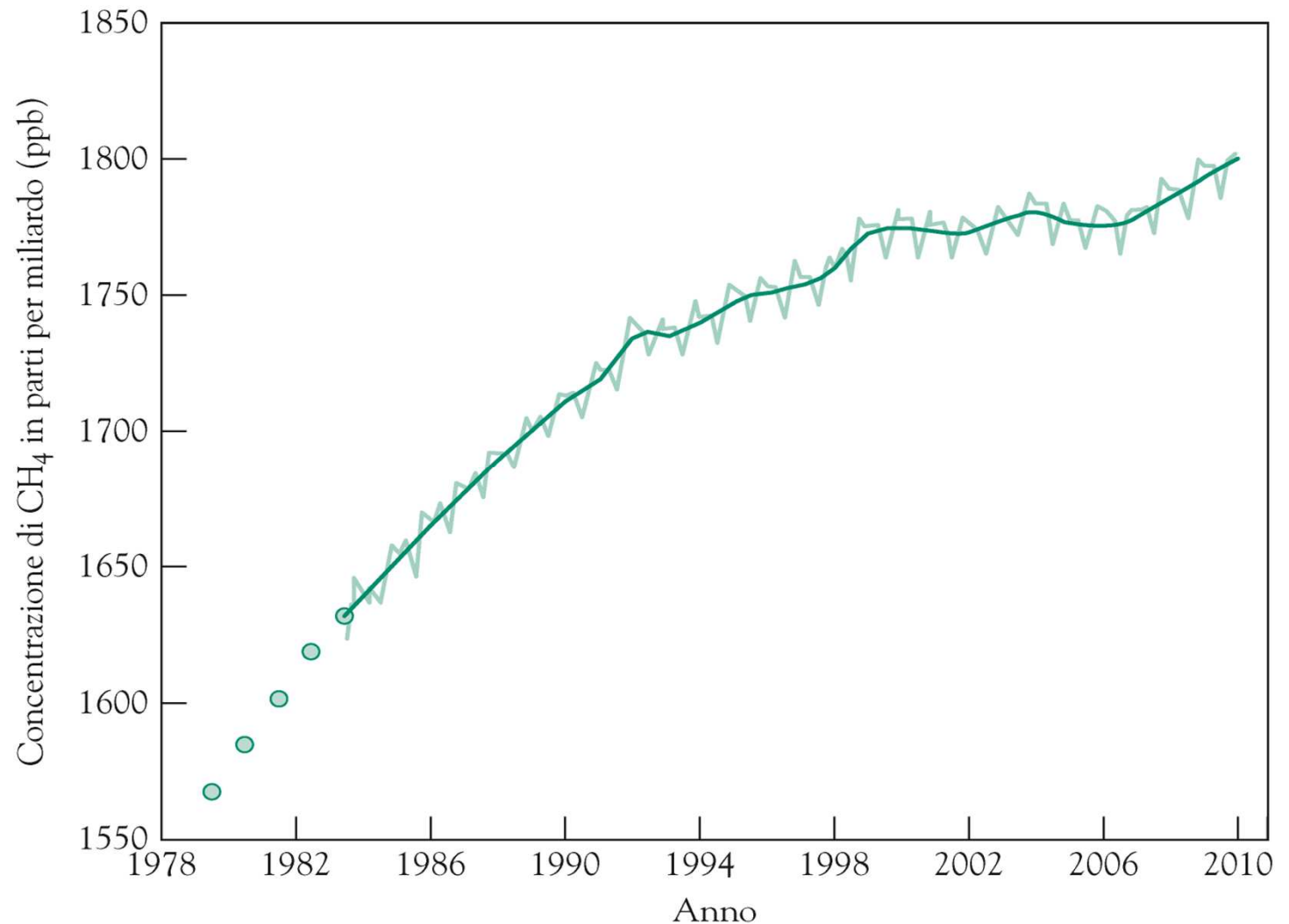
Metano assorbe nella parte inferiore alla regione finestra; tempo di vita in atmosfera un decennio (CO₂ secoli). Pozzo principale è reazione con radicale OH e formazione CH₂O -> -> CO ->-> CO₂; altri pozzi reazioni con terreno e passaggio in stratosfera.

70% CH₄ antropico

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

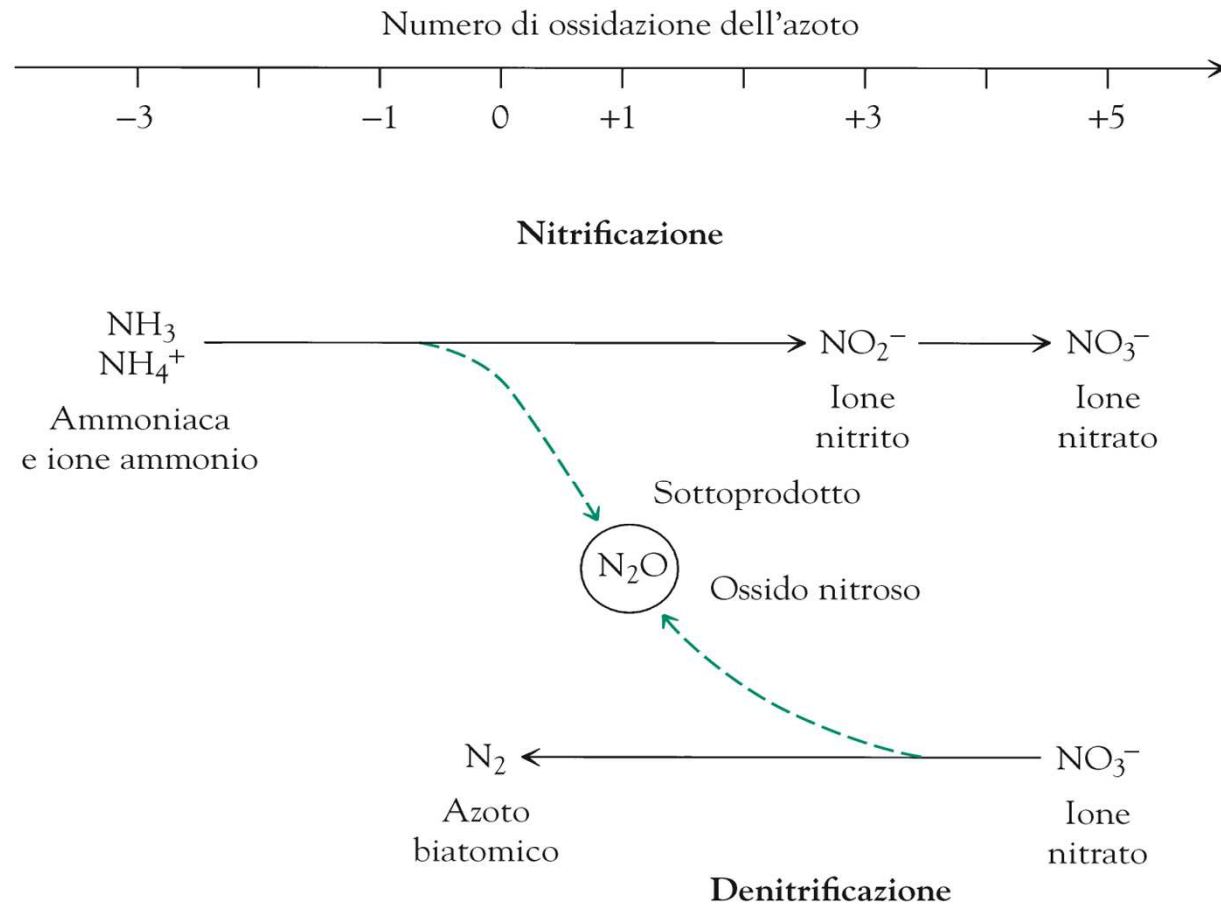
In futuro potrebbe aumentare:

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);

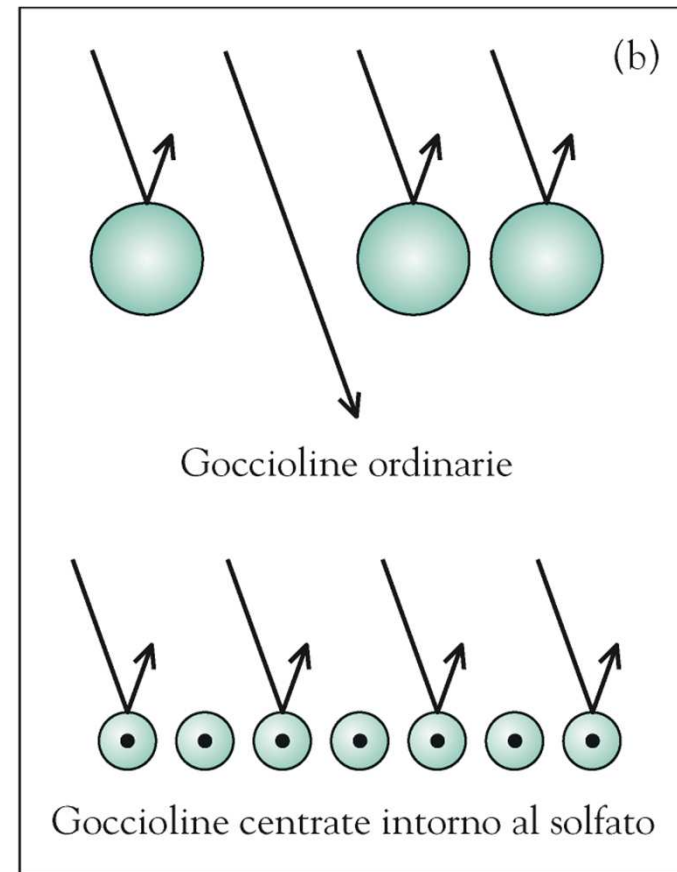
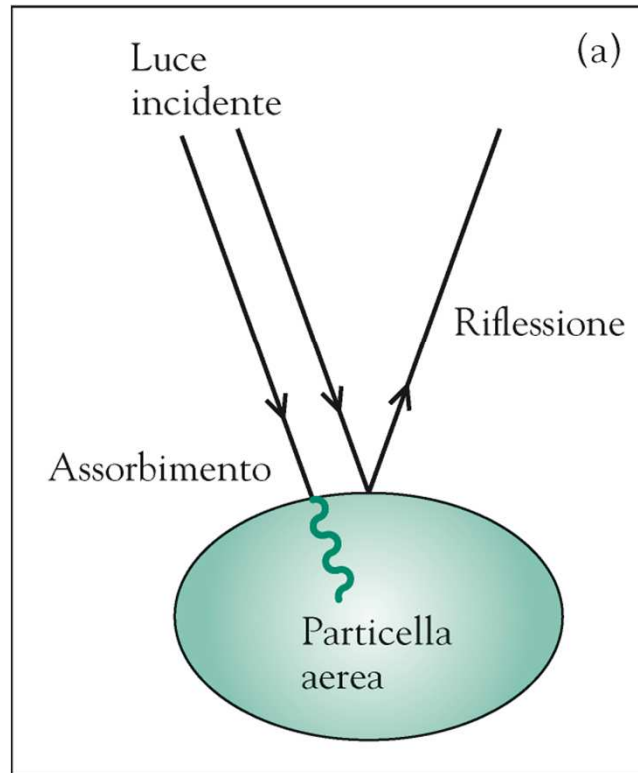
Non esistono pozzi per N2O in troposfera (finisce in stratosfera (N2 +O))



CFC e SF6 lunghi tempi di residenza; O3

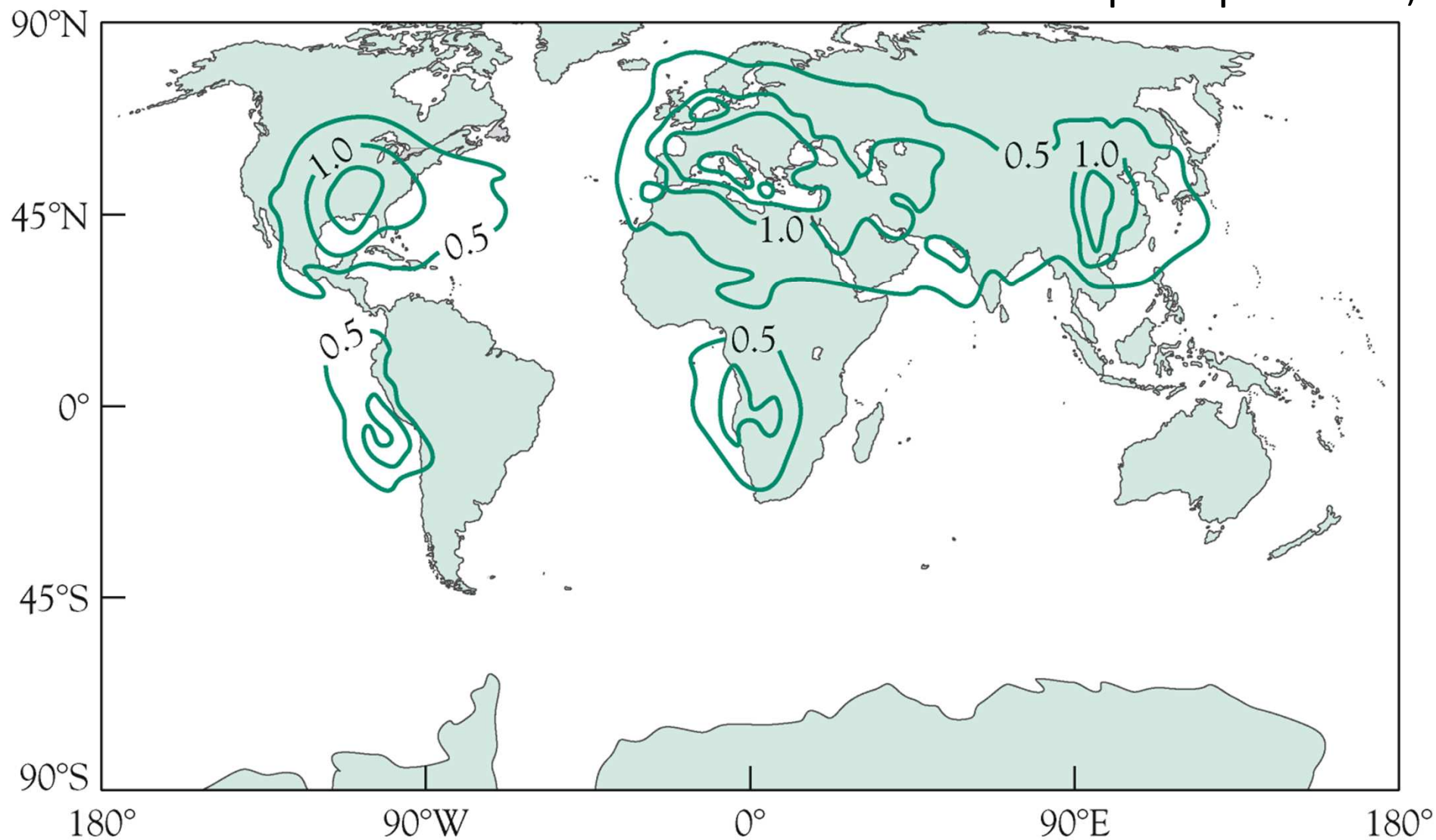
AEROSOL - particelle possono riflettere luce verso lo spazio (compensando parzialmente il riscaldamento) ; deviazione di radiazione da parte di una particella è nota come diffusione (scattering)

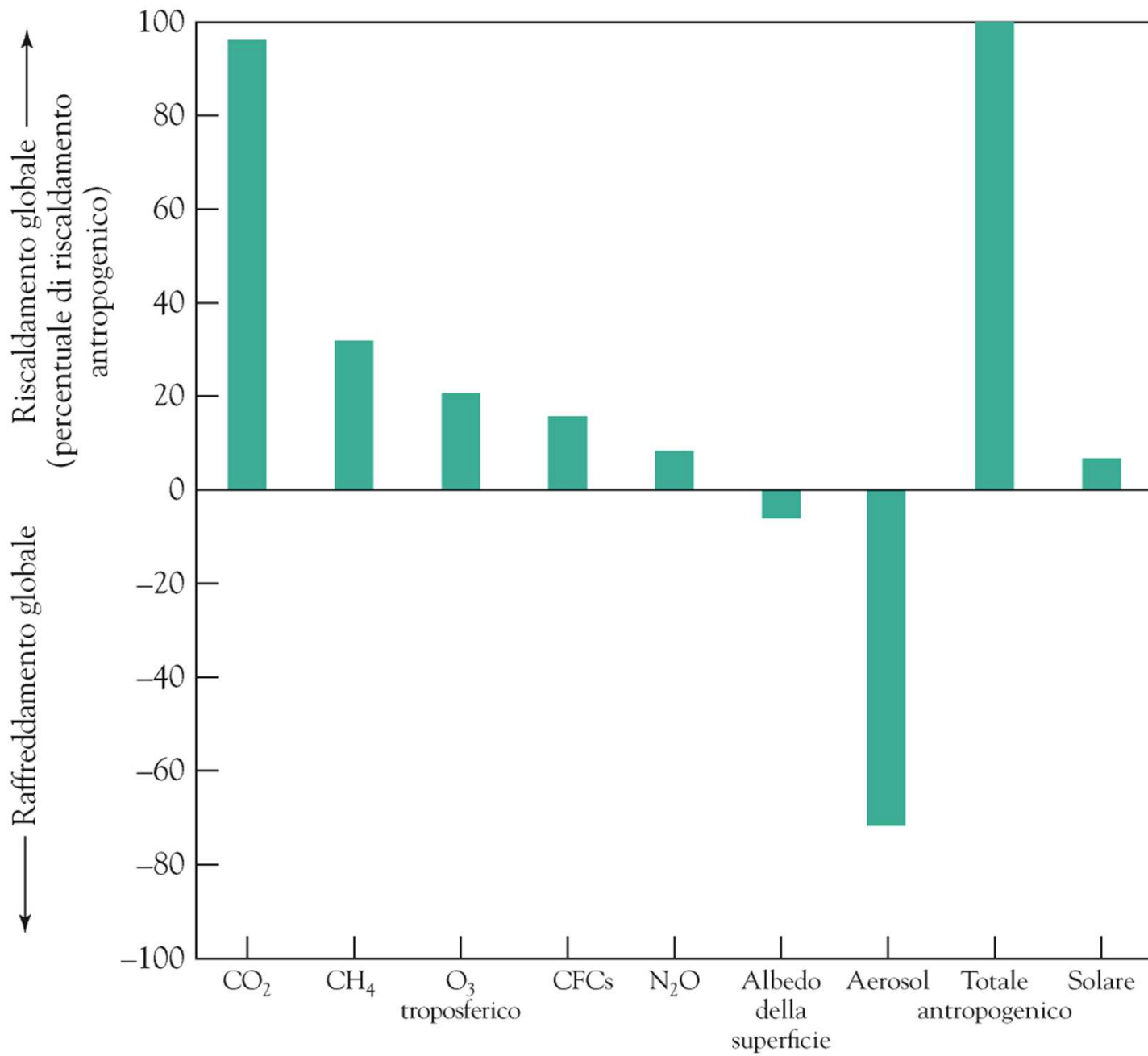
Frazione di luce solare riflessa è detta *albedo*

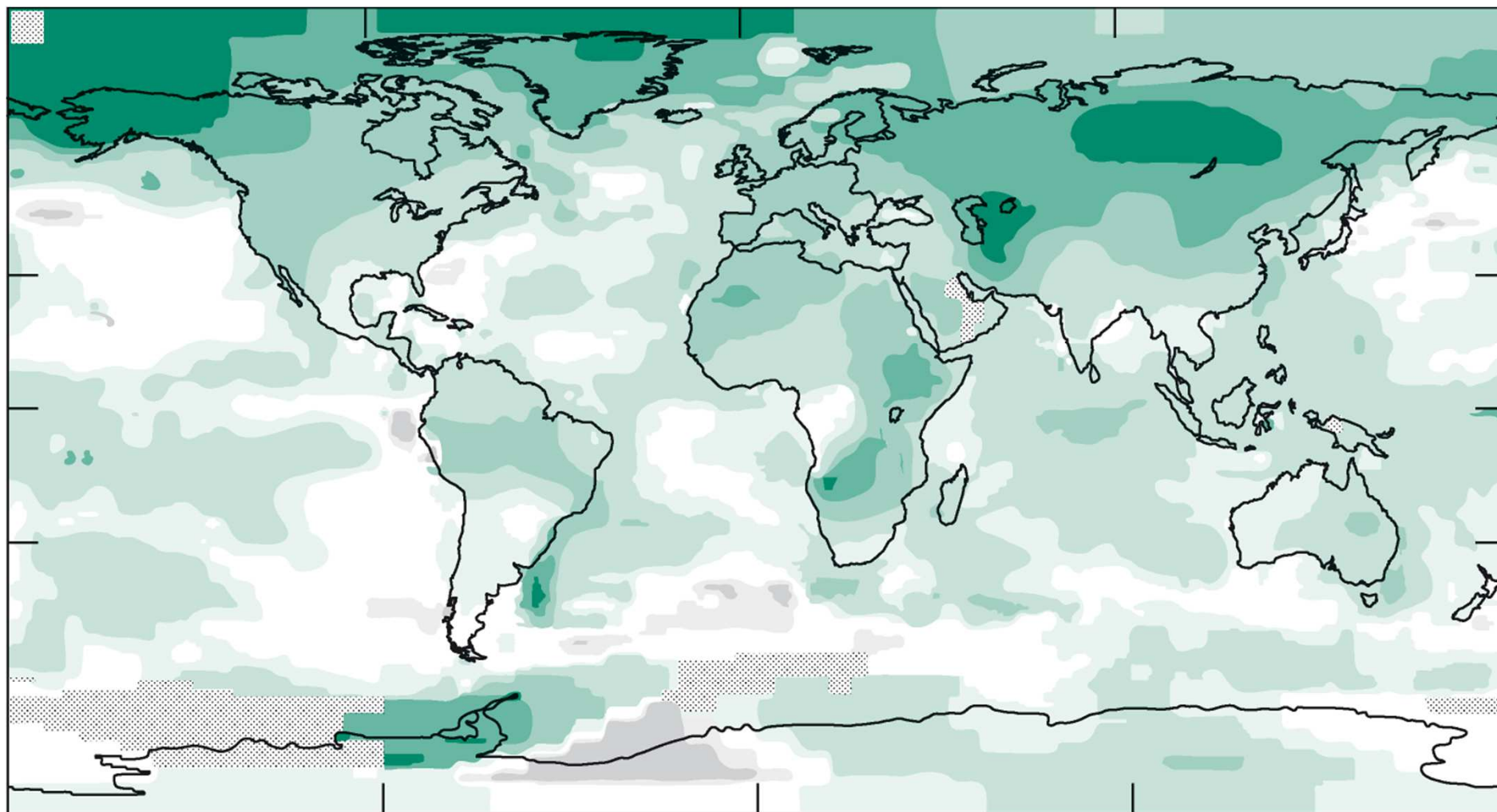


Energia assorbita viene trasformata in calore / riscaldamento dell'aria vicina alla particella
Fuliggine (*soot*) nerofumo assorbe; Aerosol di solfato puri non assorbono. Solfato come nucleo per formazione di goccioline d'acqua dà contributo a incremento dell'albedo. *Wet scavenging*. Emissioni di SO₂ 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)





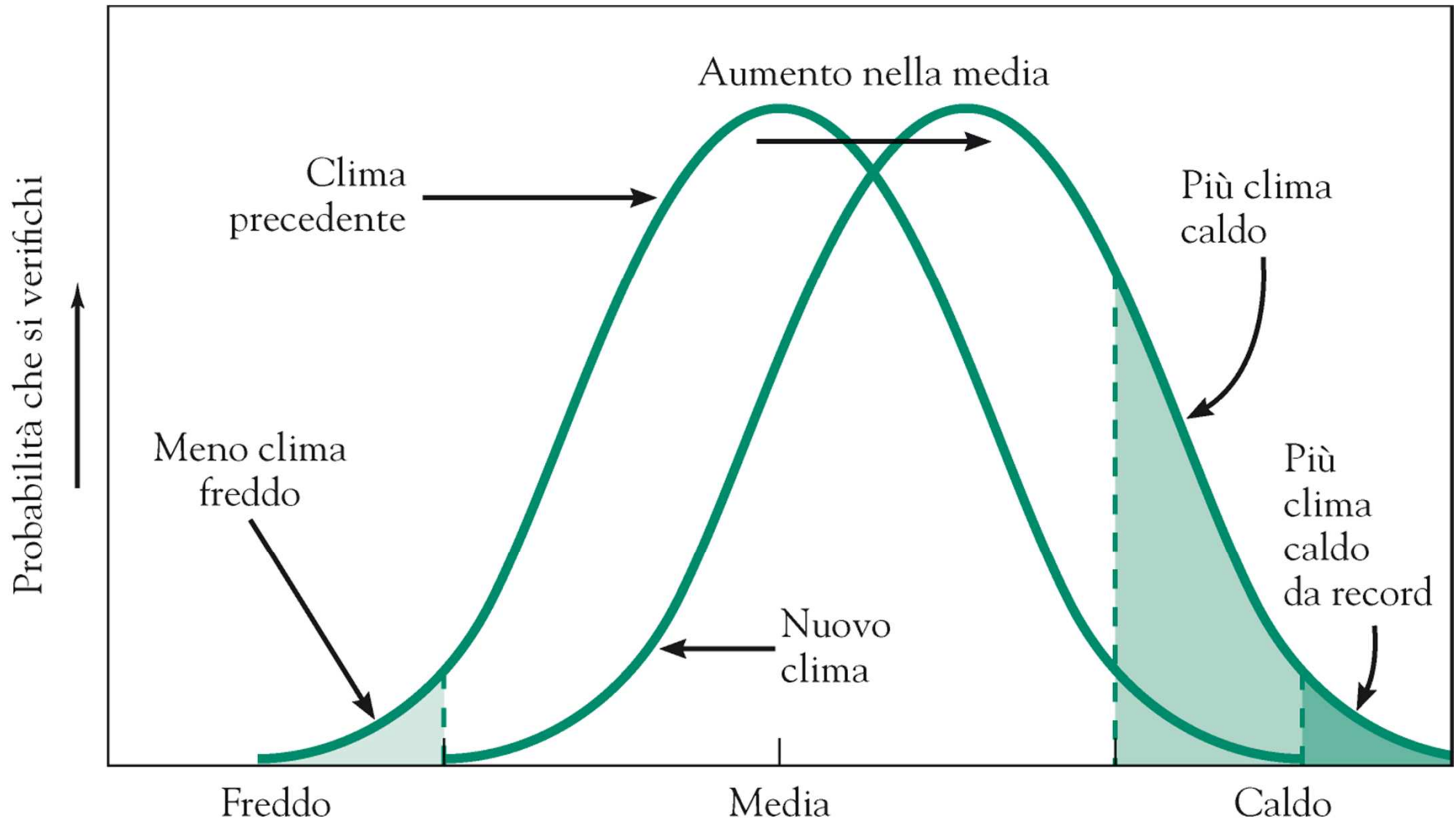


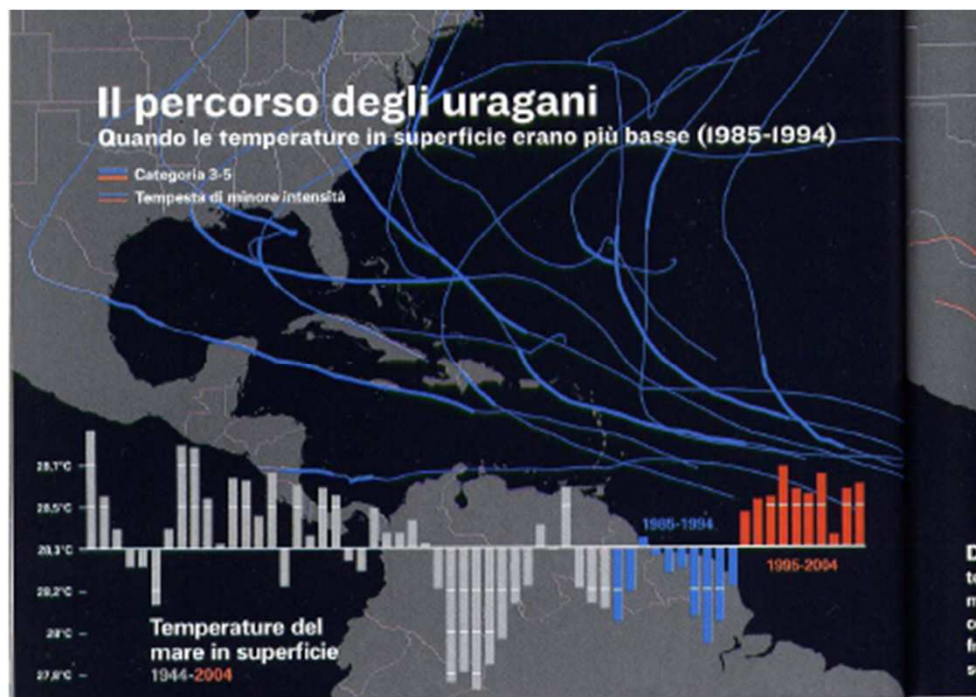
Cambiamento di temperatura (°C)

Segni del riscaldamento globale

1. Nella maggior parte delle aree si è registrato aumento delle precipitazioni (in alcune regioni diminuzione)
2. Manifestazioni climatiche estreme sono sempre più comuni
3. Inverni accorciati di circa 11 giorni [primavera (comparsa gemme, foglie, fioriture) anticipa e autunno (caduta foglie) posticipa]
4. Copertura di ghiaccio sta regredendo
5. Riscaldamento dell'acqua sta uccidendo coralli
6. Malattie trasmesse da zanzare raggiungono latitudini più elevate
7. Aumento del livello degli oceani minaccia di sommergere isole del pacifico

Segni del riscaldamento globale



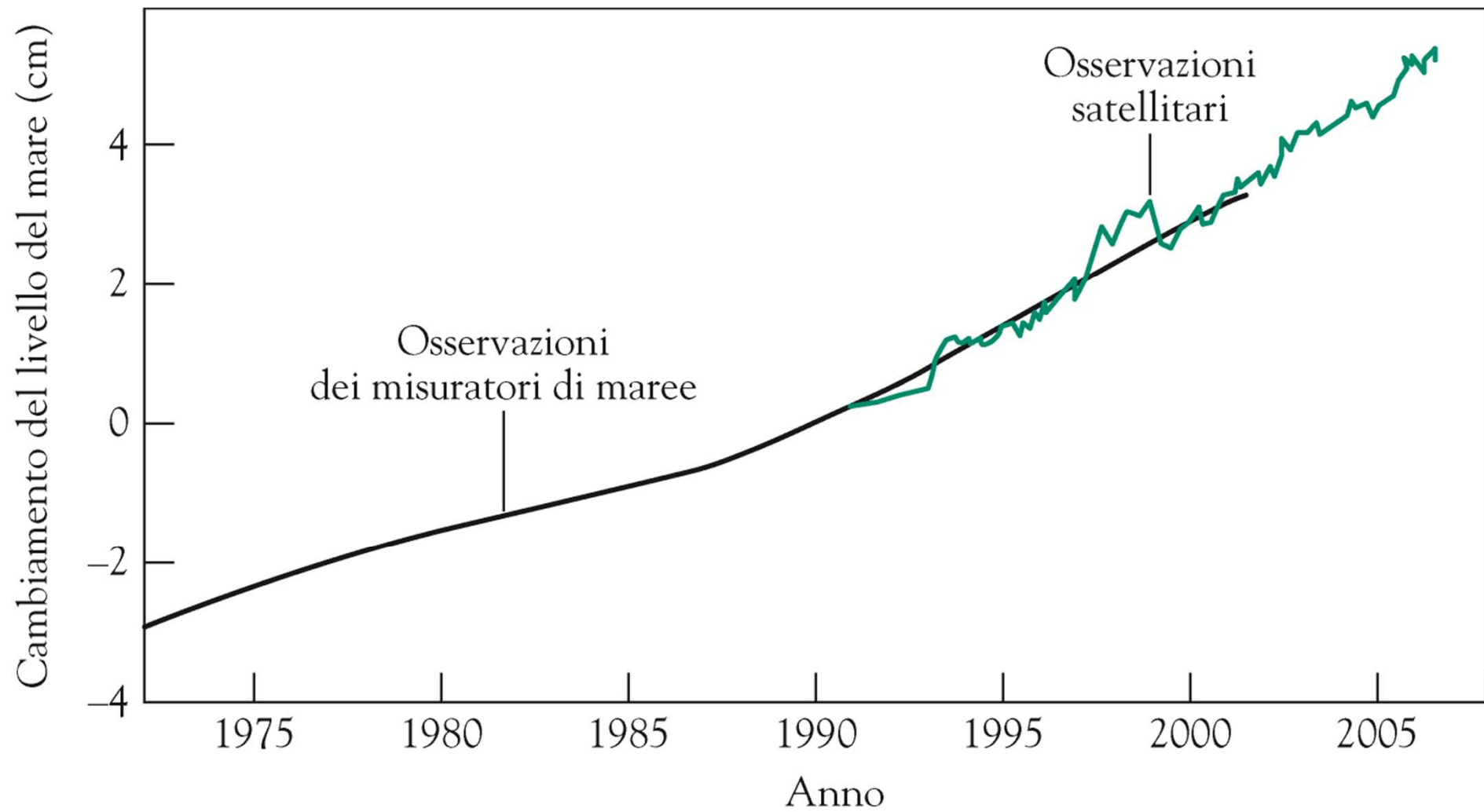


National Geographic
Agosto 2005

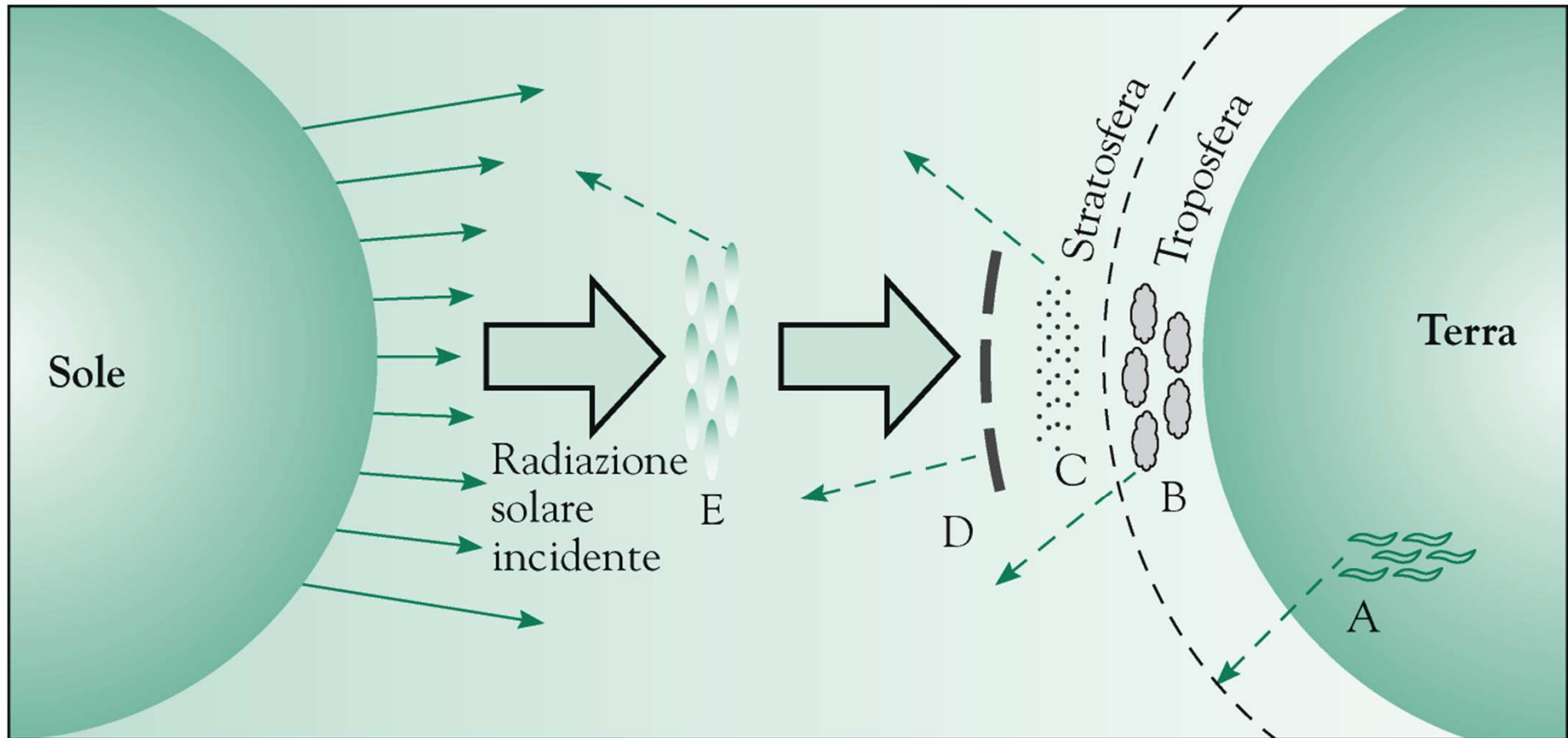
E' L'effetto di un aumento della temperatura dell'acqua di soli 0,3°C

Si stimano costi per 43 miliardi di \$





SOLAR RADIATION MANAGEMENT



D Superfici metalliche riflettenti

C Aumento dell'aerosol di solfato in stratosfera

B sbiancamento delle nubi sopra oceani

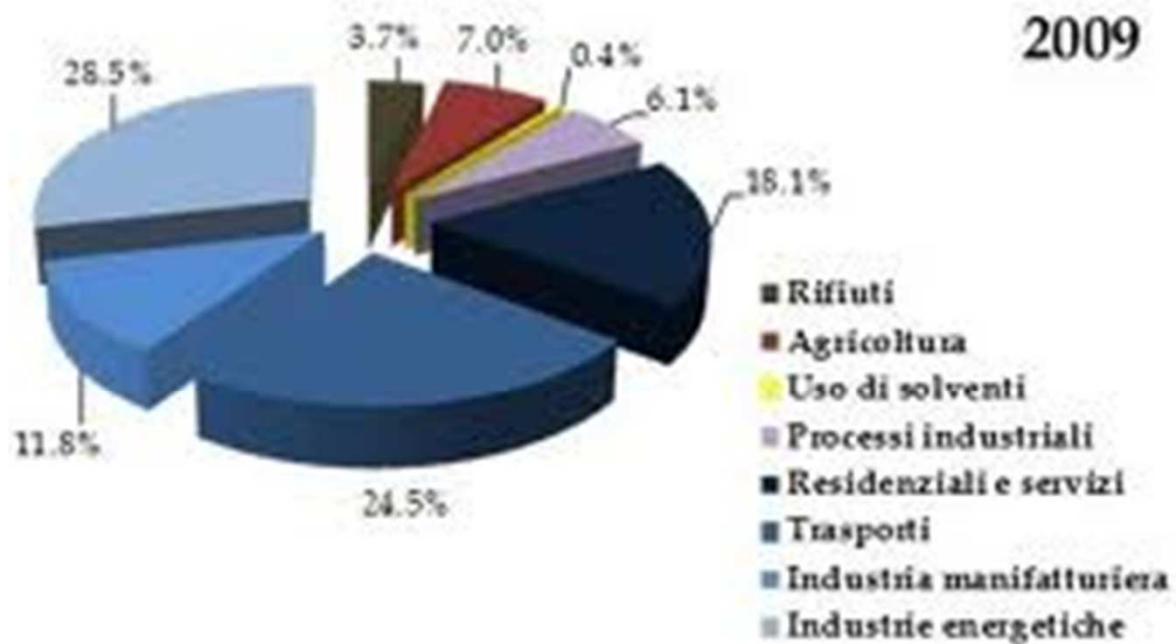
A superfici riflettenti al suolo (verniciatura tetti, strade etc; deserti)

Preoccupazioni: diminuzione regionale piogge e ozono stratosferico

Gas serra

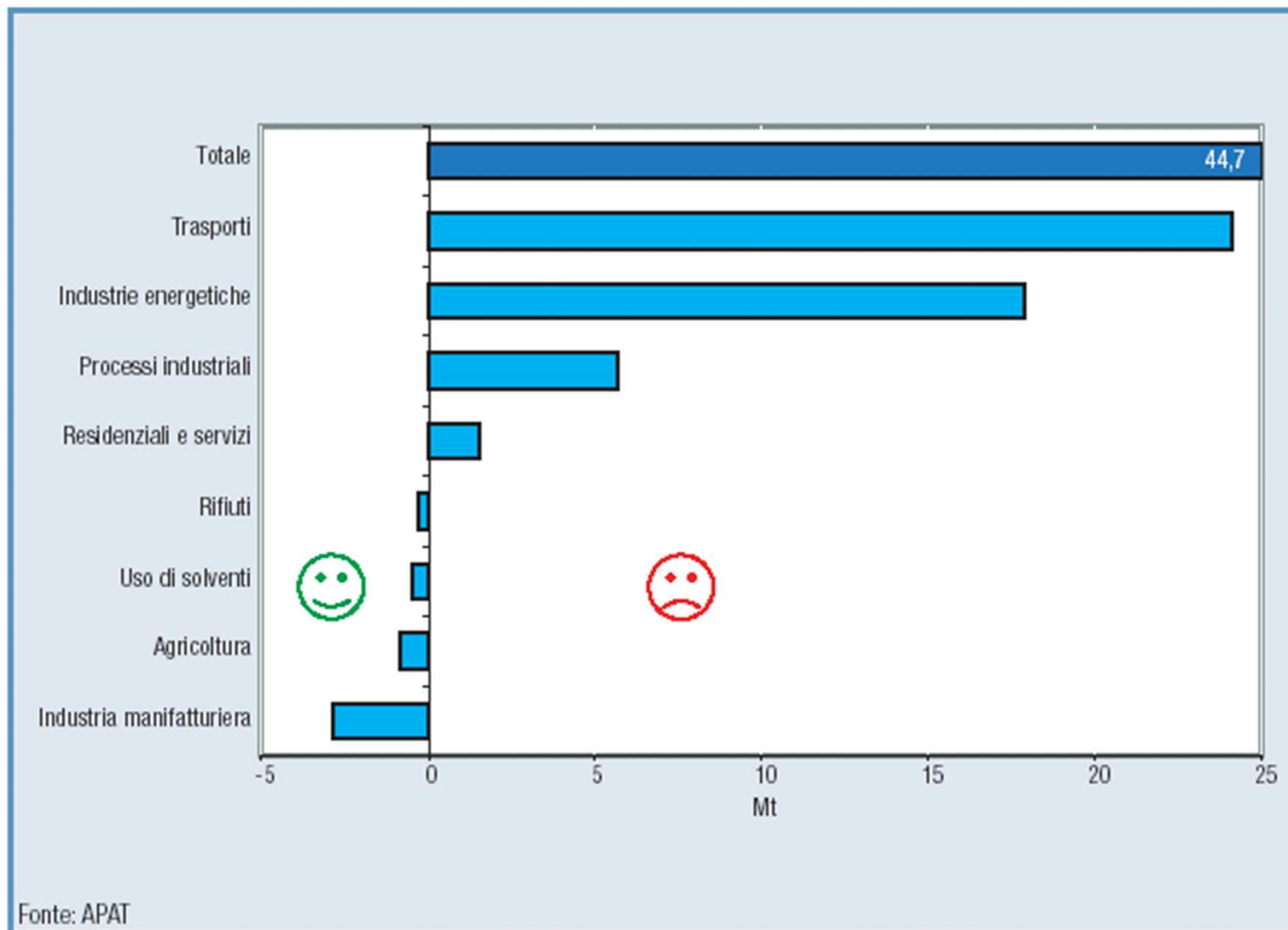
Gas traccia	Aumento della concentrazione		Aumento della temperatura [K]
Anidride carbonica (CO ₂)	300	→ 600 ppm	2 ... 4
Ozono troposferico (O ₃)	0,03	→ 0,06 ppm	0,9
Clorofluoroidrocarburi (CFC)	0	→ 1 ppbs	0,6
Protossido di azoto (N ₂ O)	0,3	→ 0,6 ppm	0,4
Metano (CH ₄)	1,7	→ 3 ppm	0,3
Ammoniaca (NH ₃)	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



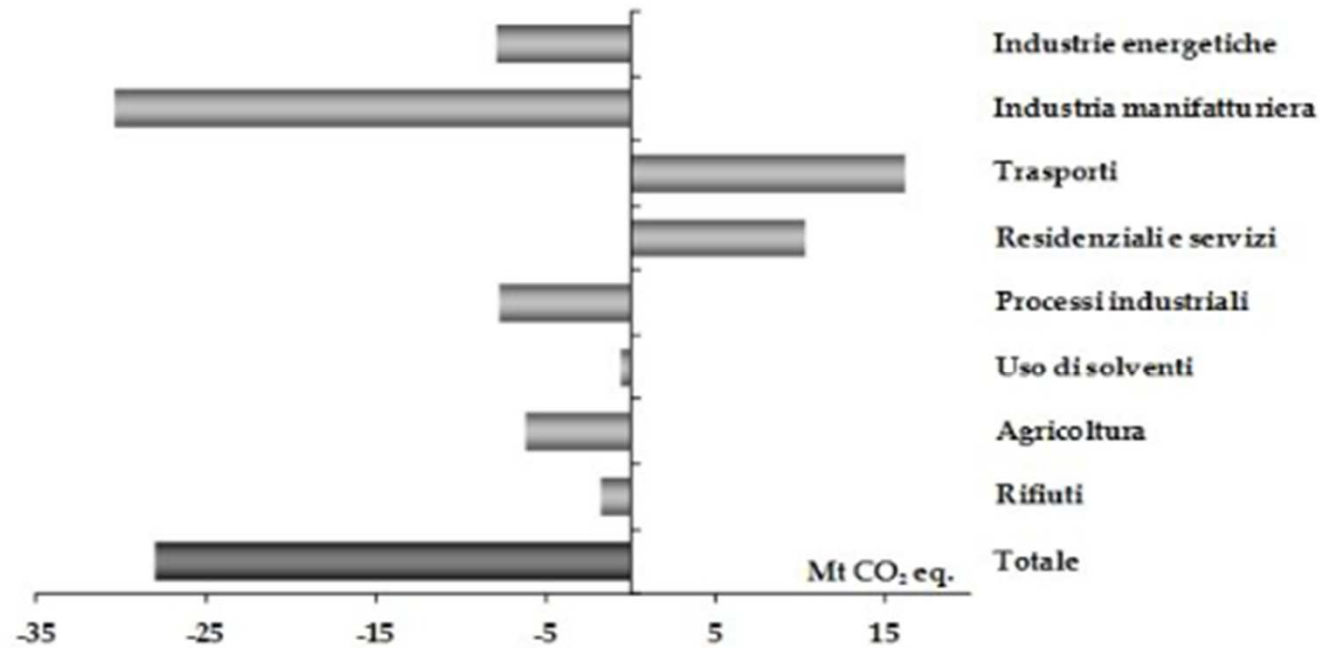
Peso percentuale dei diversi settori alle emissioni nazionali di gas serra nel 2009

Variazioni delle emissioni nazionali di gas serra per settore (dal 1990 al 2002)



Fonte APAT 2004

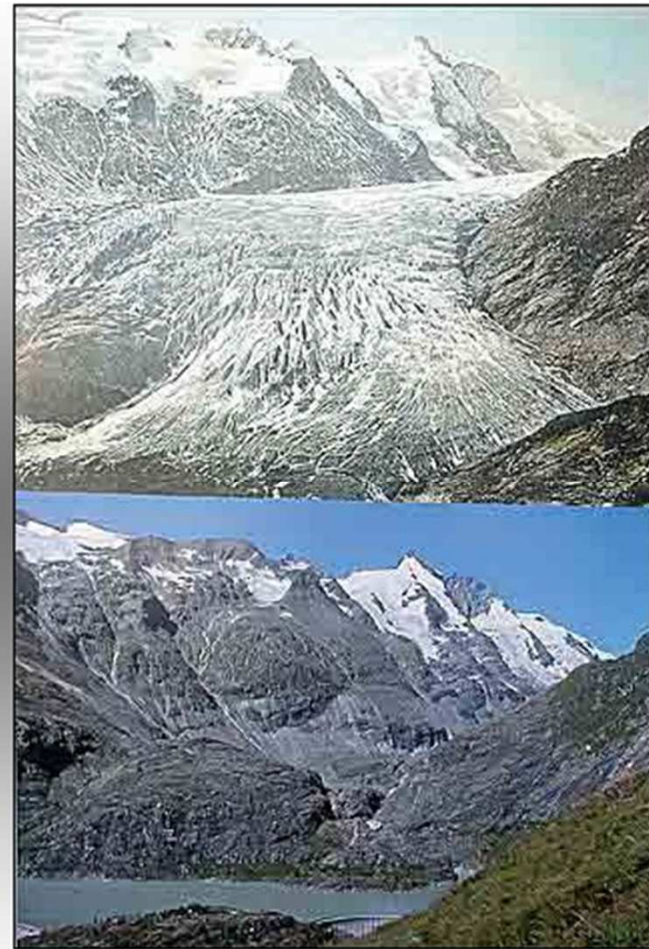
Emissioni nazionali complessive di gas serra



Variazioni assolute, 1990 - 2009, delle emissioni nazionali di gas serra per settore

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.



Positive proof of global warming.



18th Century 1900 1950 1970 1980 1990