

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/BAMSmartTrenberth.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 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); 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 $0,3$.

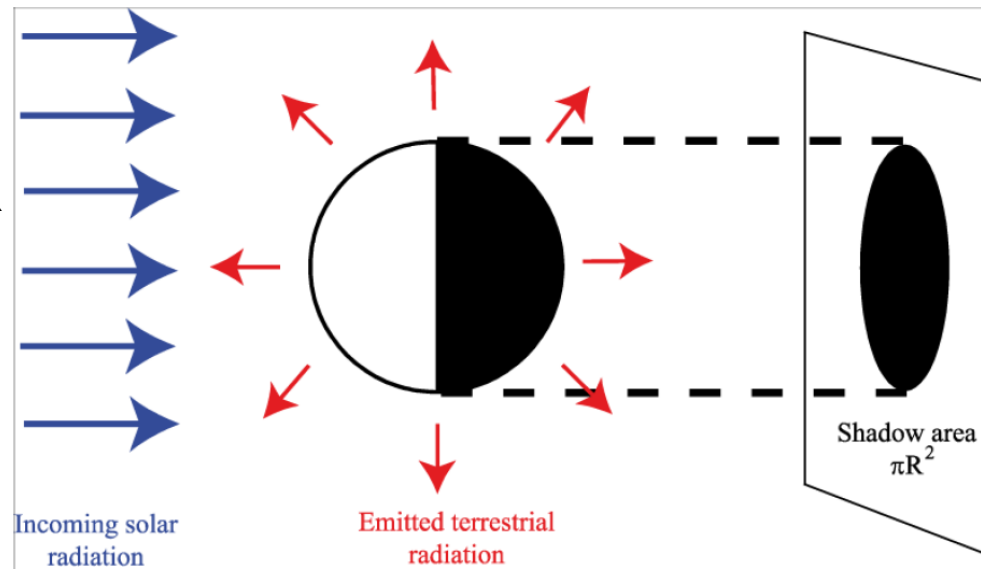
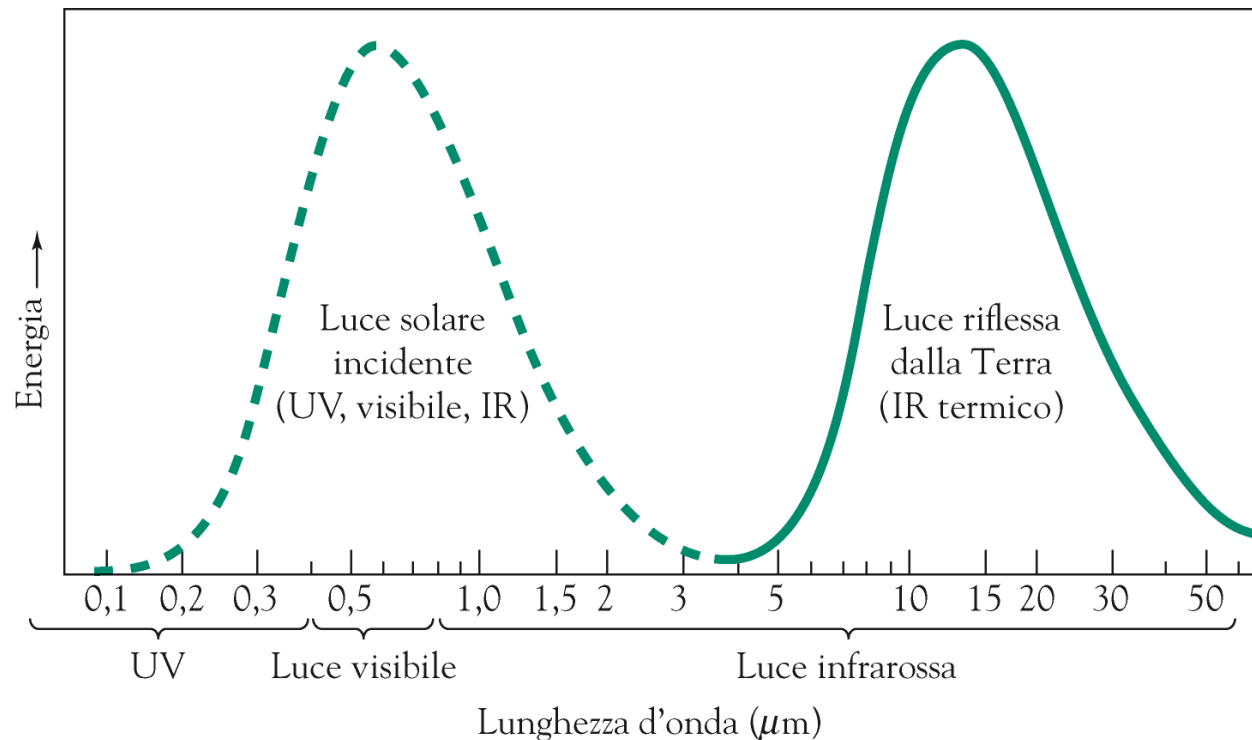


Figure 2.2: Heat absorbed and emitted by the Earth.

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

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

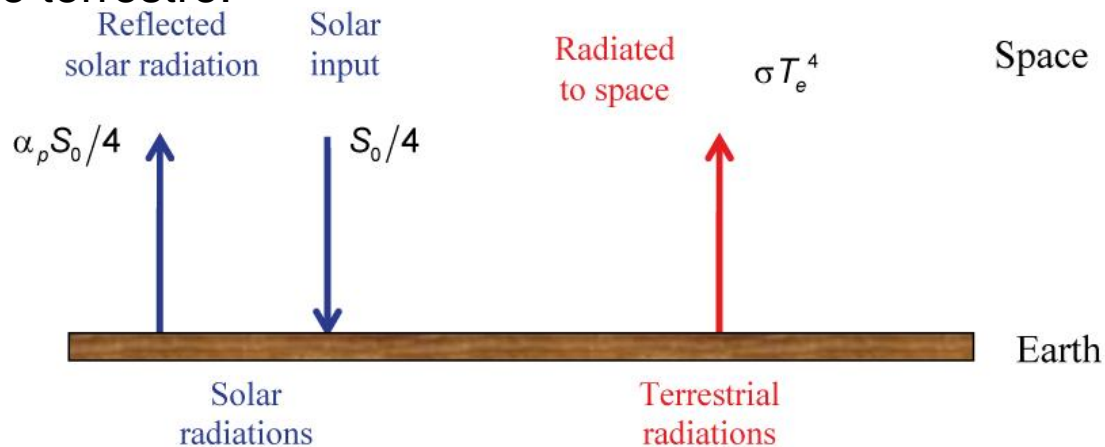
Ciò porta a:

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

E quindi:

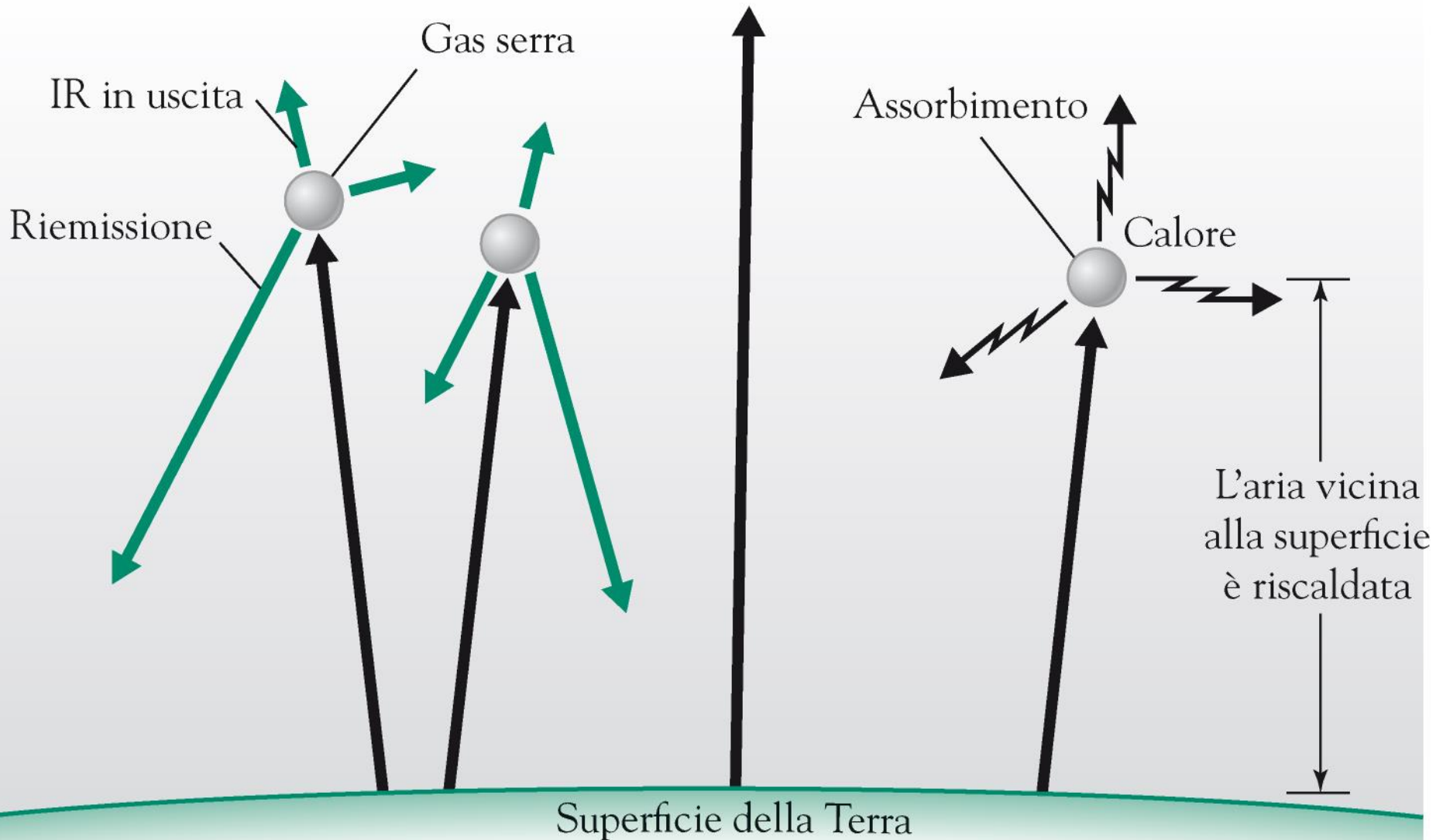
$$T_e = \left(\frac{1}{4\sigma} (1 - \alpha_p) S_0 \right)^{1/4}$$

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*

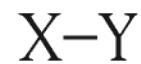
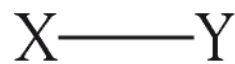


Molecole con momento di dipolo assorbono radiazione IR aumentando la propria energia vibrazionale e aumentano la temperatura

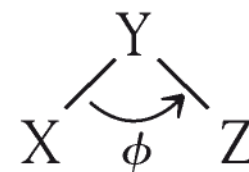
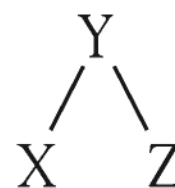
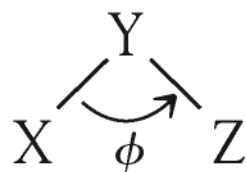
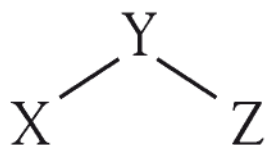
Emissione IR molecolare ($U = \sigma T^4$) + trasferimento energia per urti

Emissione IR isotropa/non direzionata

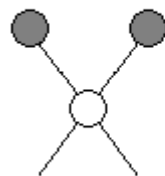
(a) Vibrazione da stiramento di legame



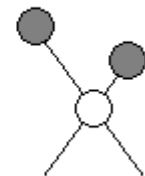
(b) Vibrazione da flessione di legame



Stretching vibrations

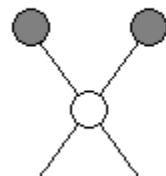


Symmetric

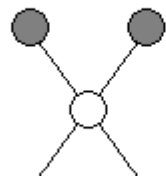


Asymmetric

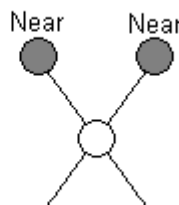
Bending vibrations



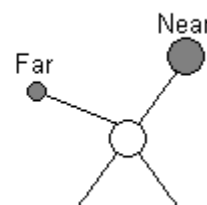
In-plane rocking



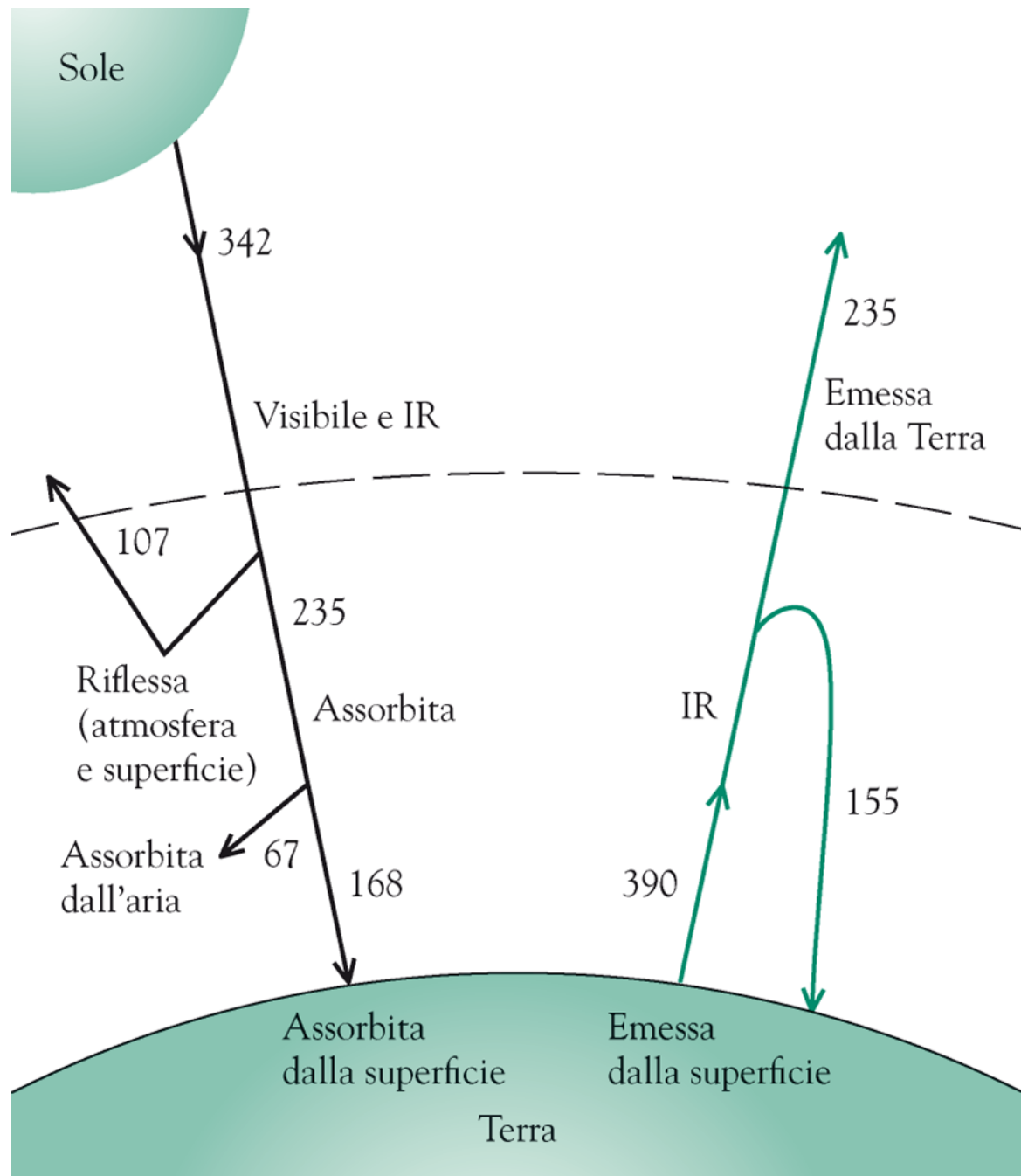
In-plane scissoring

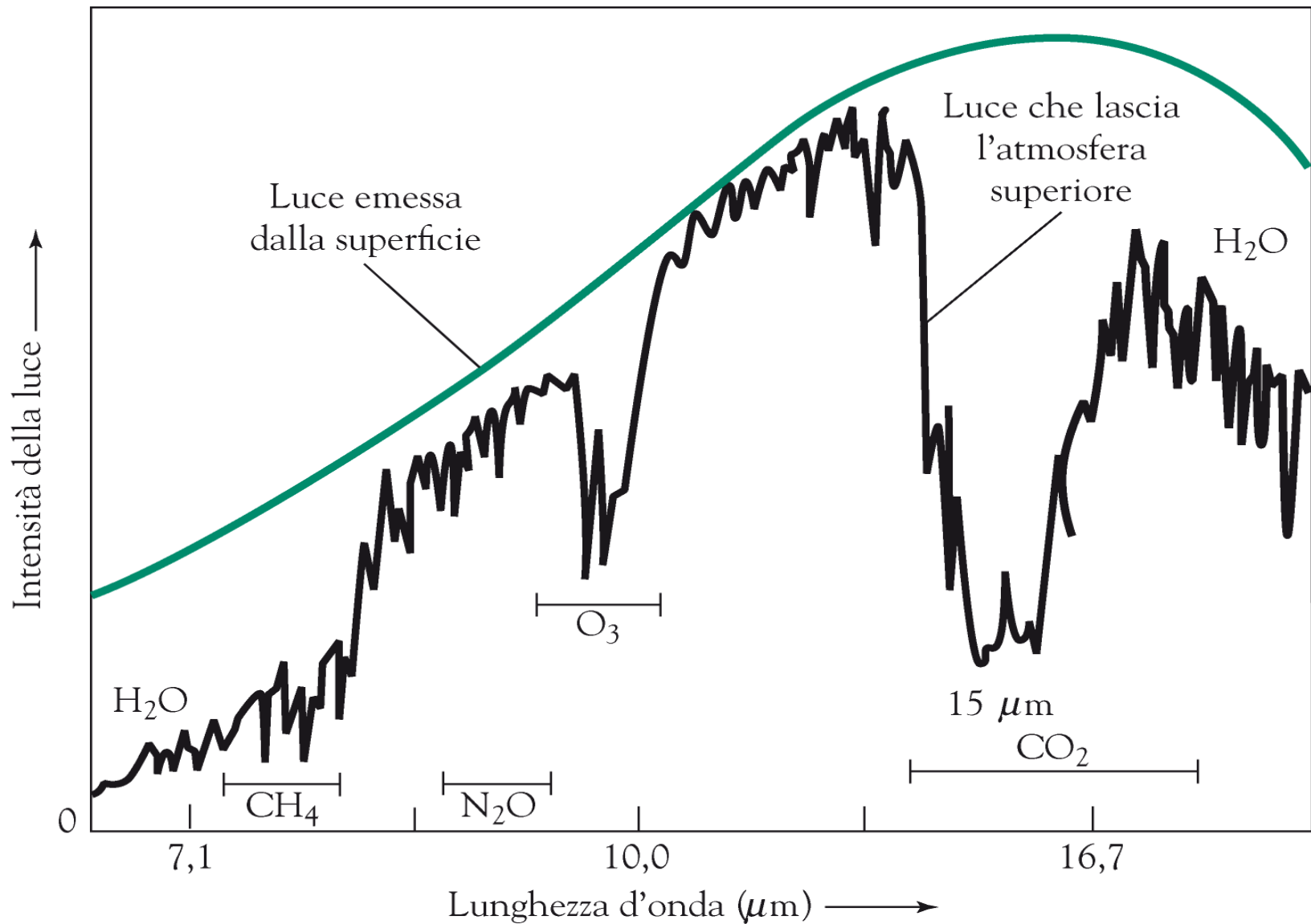


Out-of-plane wagging



Out-of-plane twisting



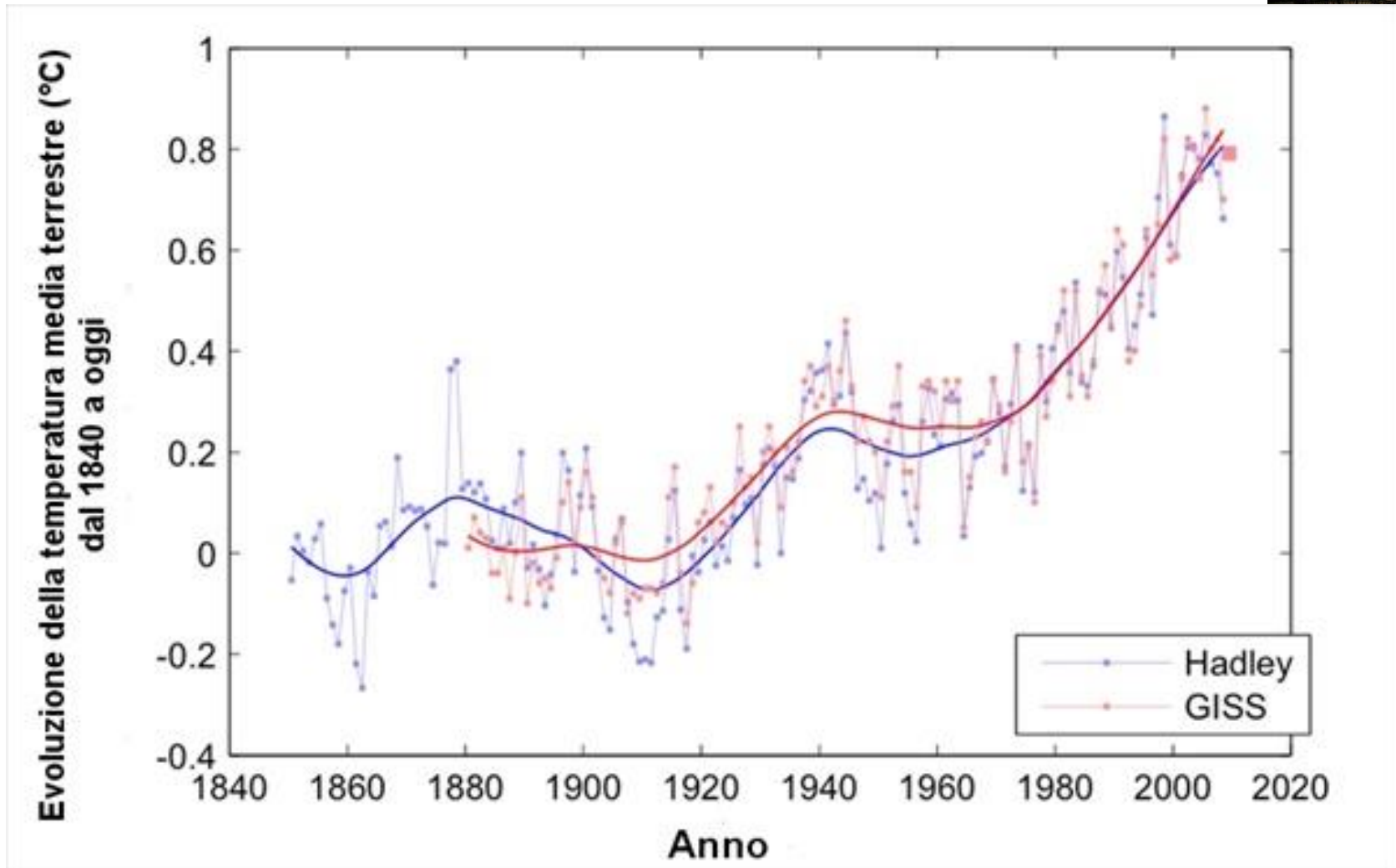


Intensità della radiazione IR termica emessa dalla superficie terrestre e quella che lascia l'atmosfera inferiore (fig. 5.7 Baird & Cann)

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

Quali gli effetti?

Riscaldamento Globale



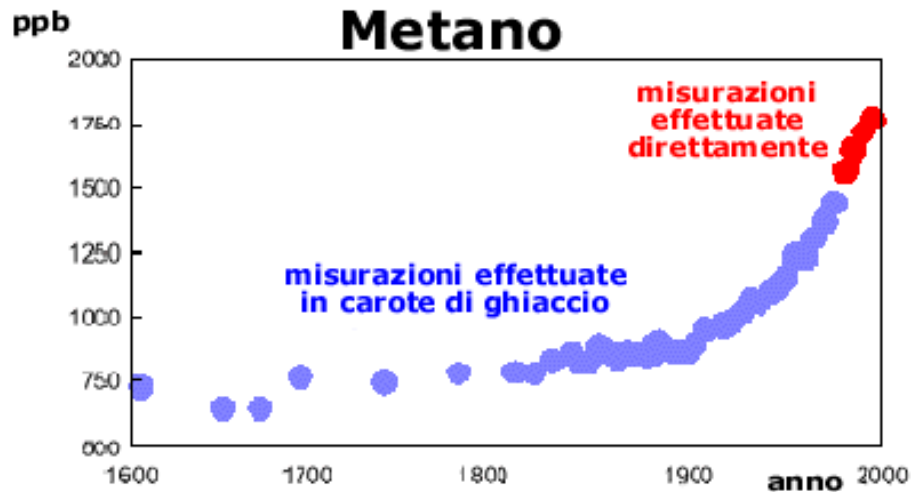
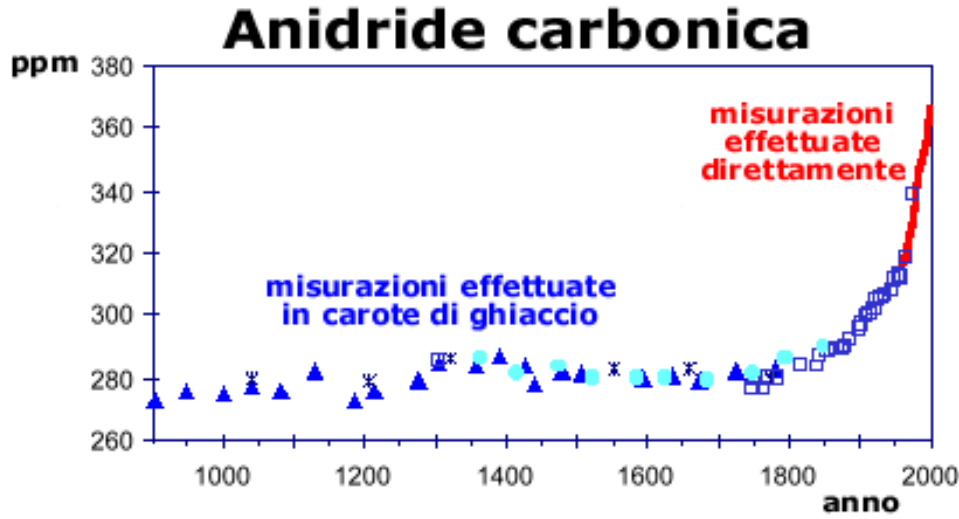
Dati forniti da 2 istituzioni di climatologia

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

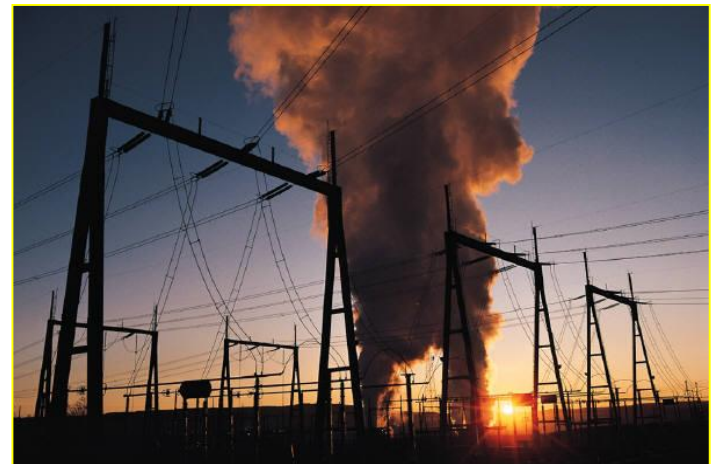
NASA/GISS (<https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>).

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% 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.

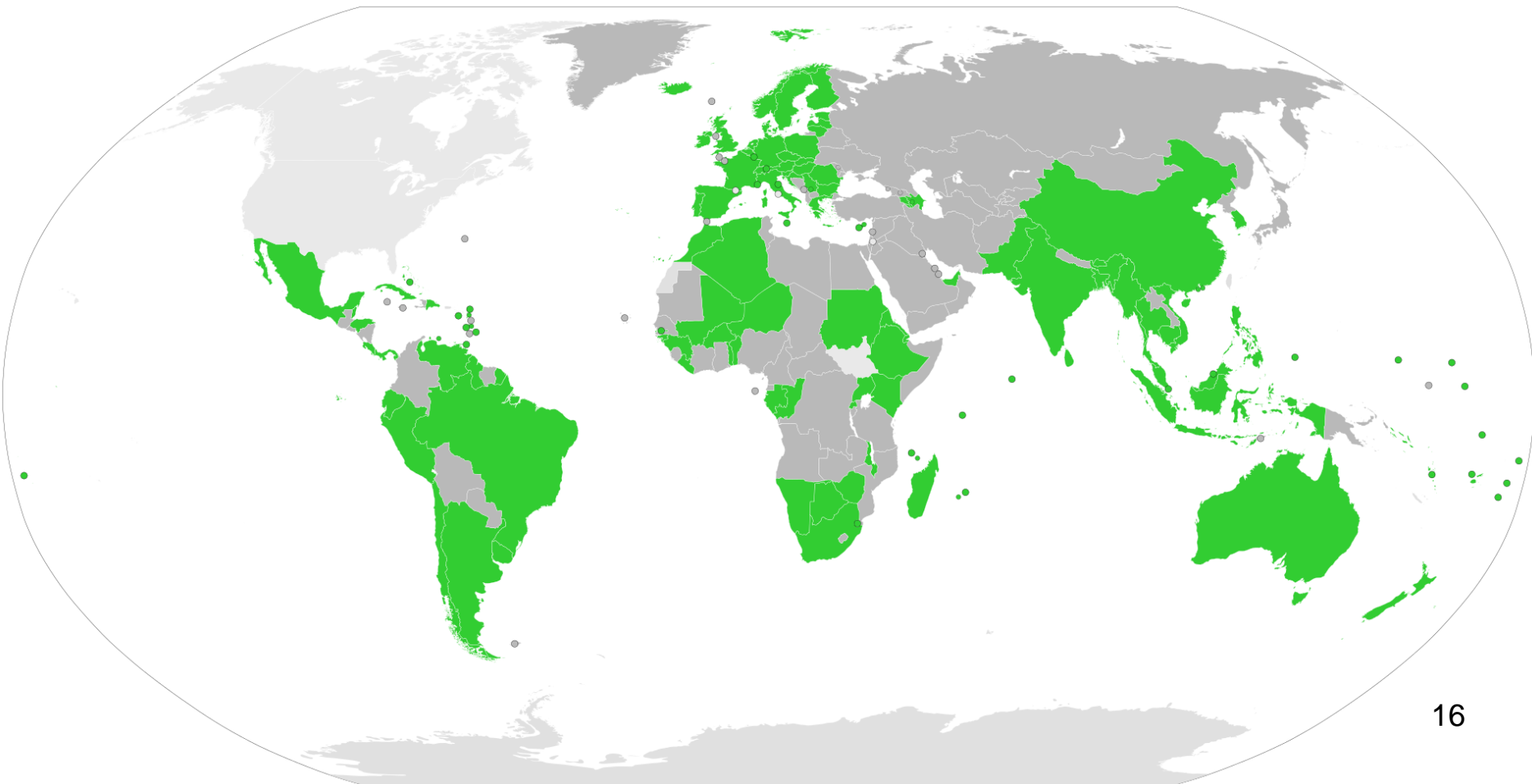
Gli obiettivi per i singoli Paesi sono differenziati: Russia, Ucraina e Nuova Zelanda 0%; Canada, Ungheria, Polonia e Giappone -6%; Usa -7%; Unione Europea -8%.

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



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

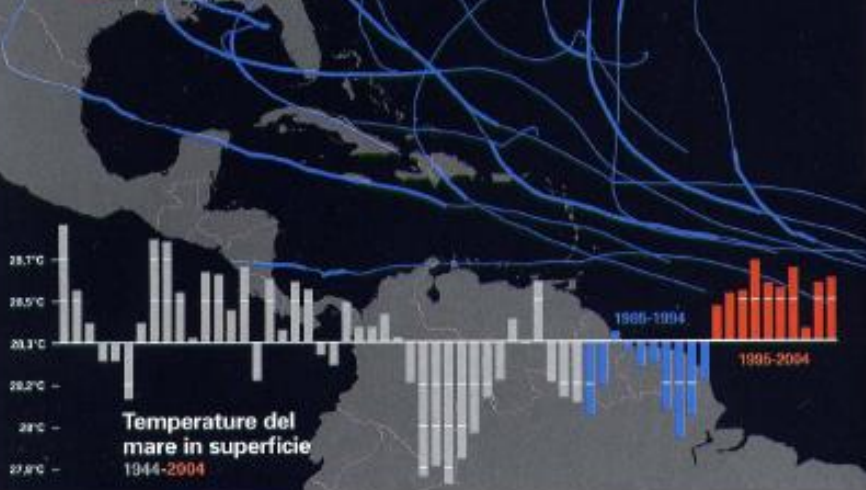
Riduzione dei ghiacciai montani



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/>

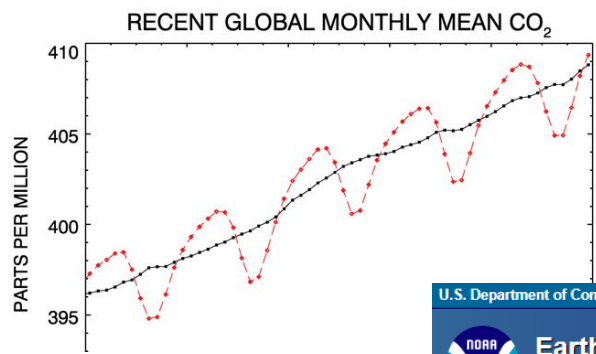
Trends in Atmospheric Carbon Dioxide

[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



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

February 2022: 419.28 ppm
February 2021: 416.75 ppm
Last updated: March 7, 2022

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

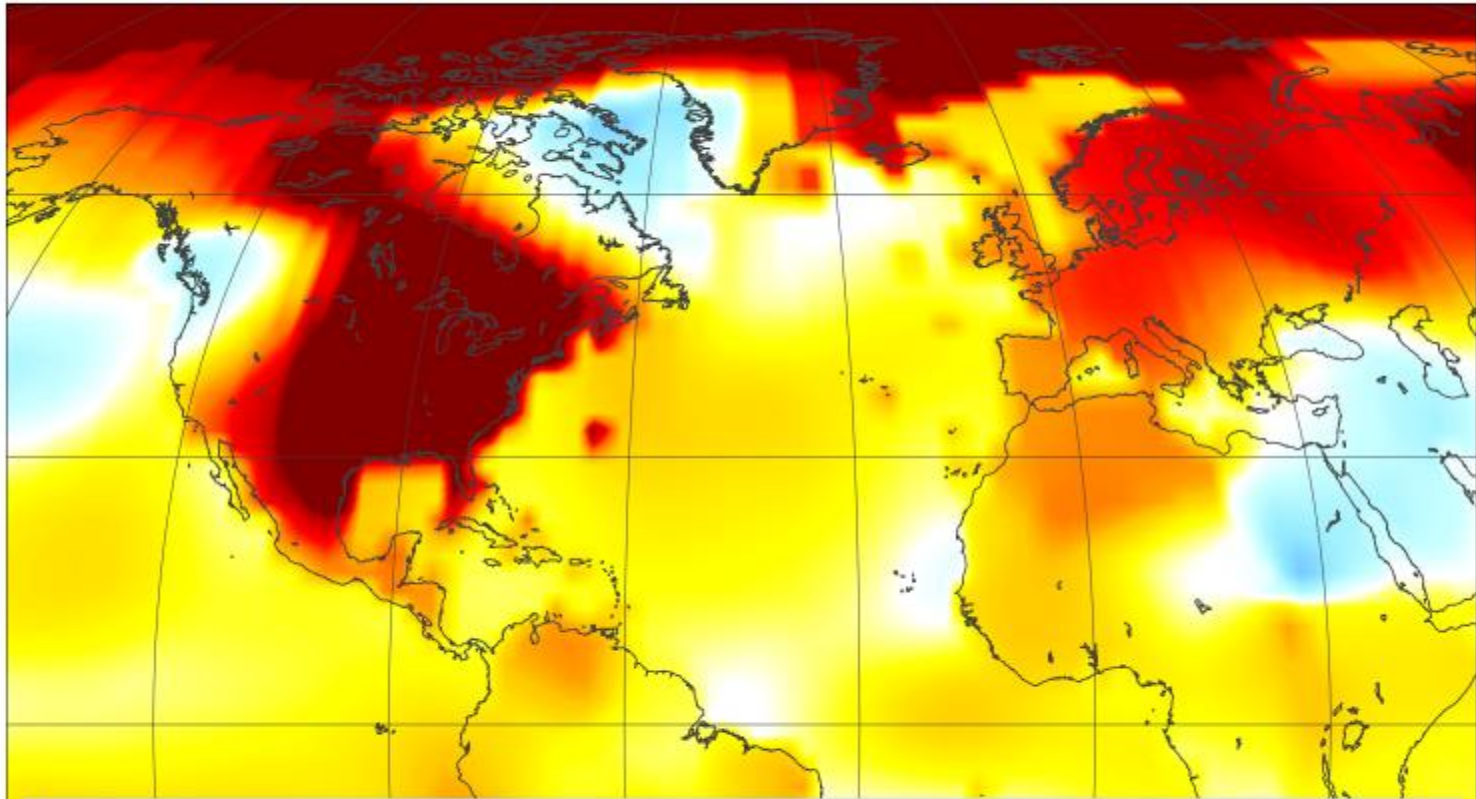
* Extract from a paper presented to the Royal Swedish Academy of Sciences, 11th December, 1895. Communicated by the Author.

† '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 is a search bar and language selection options. 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, a section titled "IPCC-43, Nairobi, Kenya" provides details about the plenary meeting and includes links for an opening statement, documents, and a media advisory. A "Quick Reference" section is also visible at the bottom left. On the right side, a "Recent Reports" section displays thumbnails for two expert meeting reports.

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

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](#)

Recent Reports

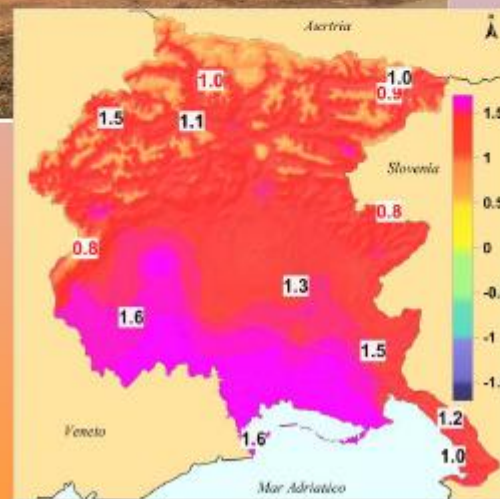
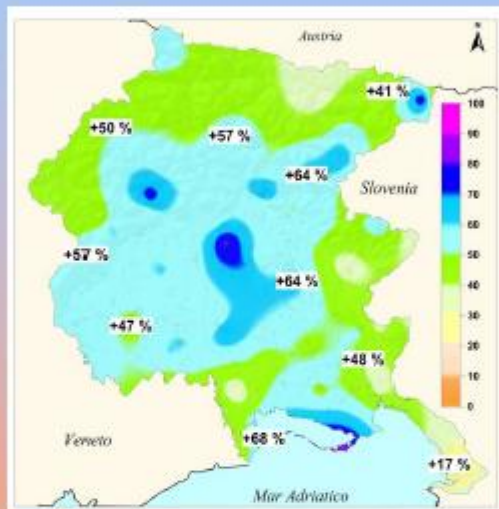
New IPCC AR5
IPCC Expert Meeting on Communication
Meeting Report

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

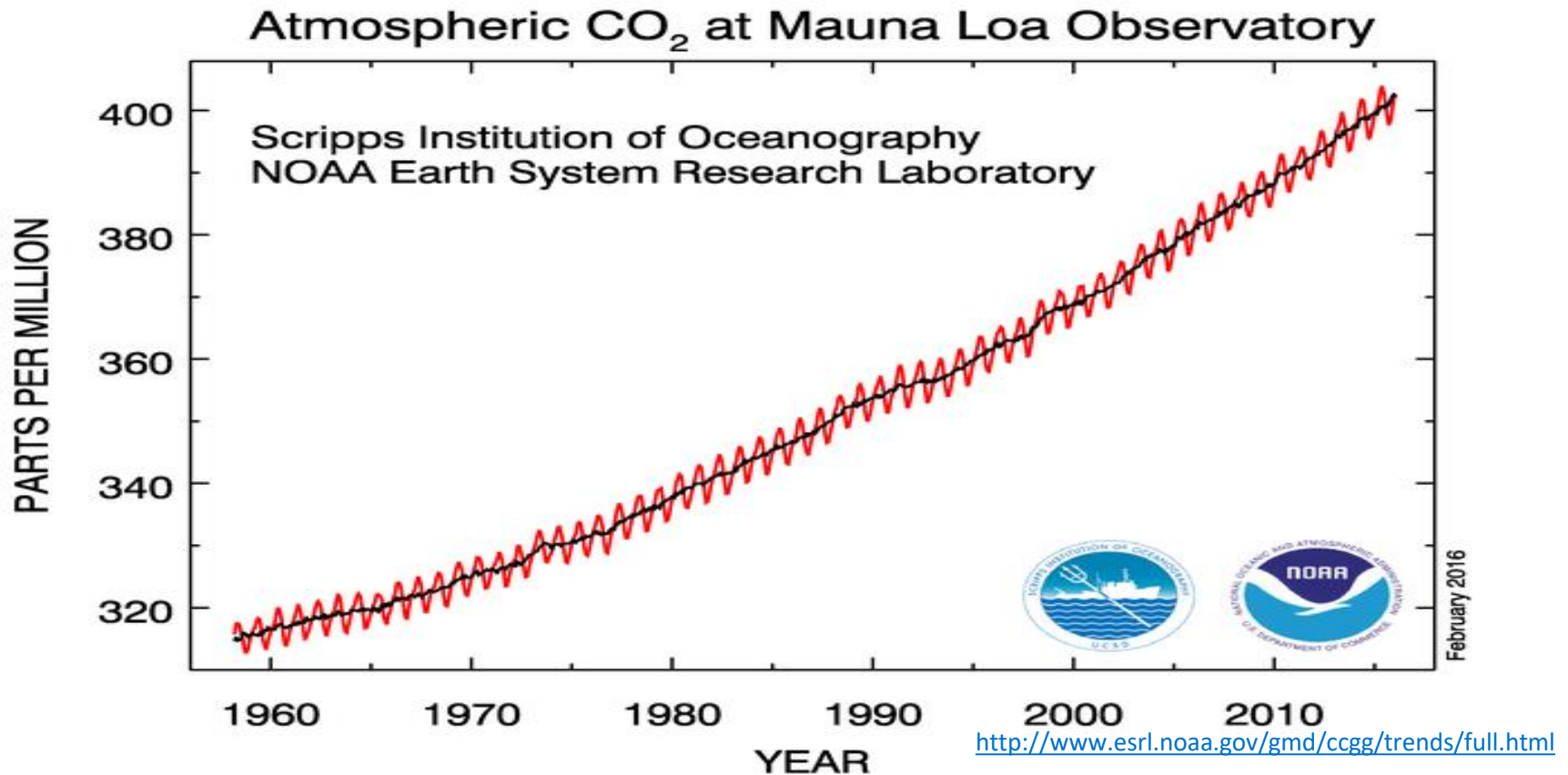
<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

cosa si registra in Friuli Venezia Giulia?



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

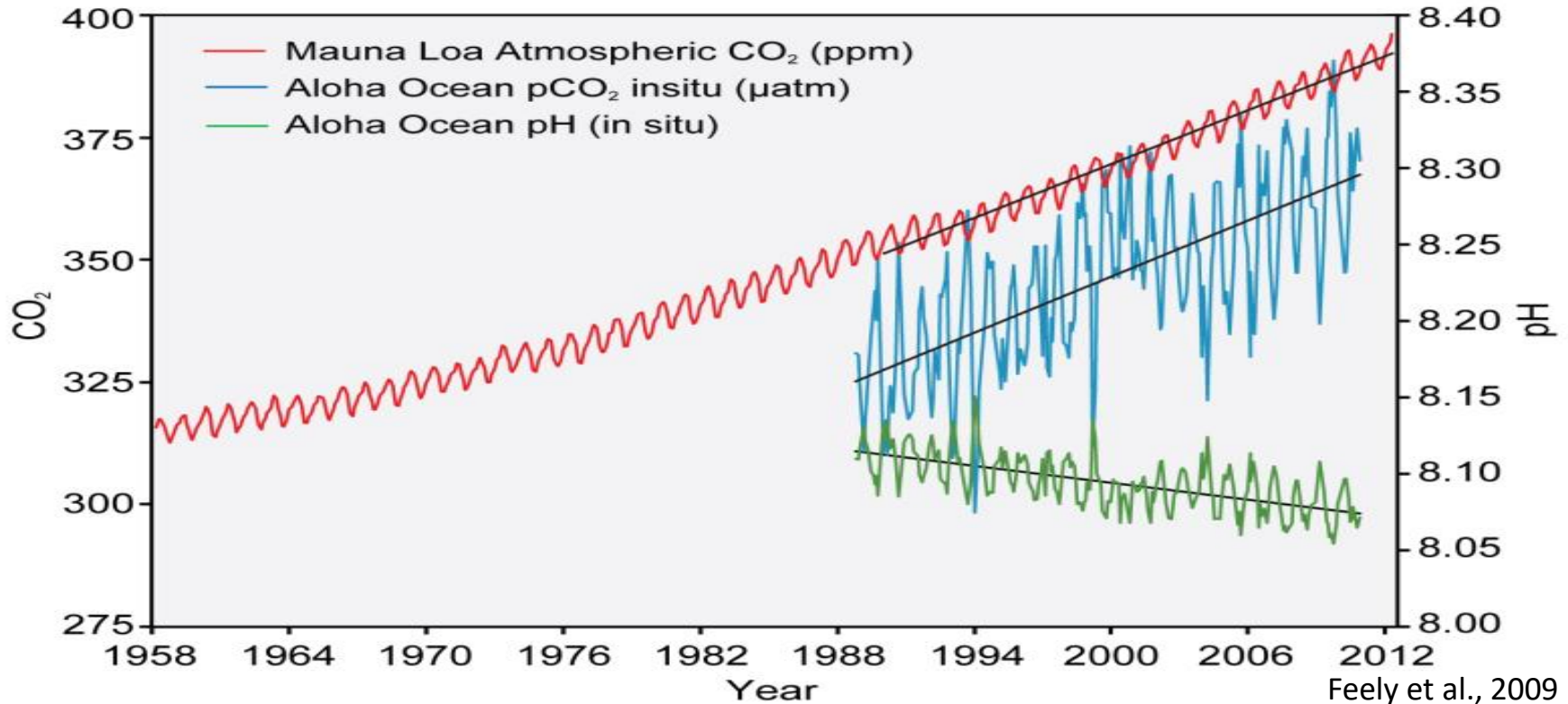
L'incremento di CO₂ atmosferico



- 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

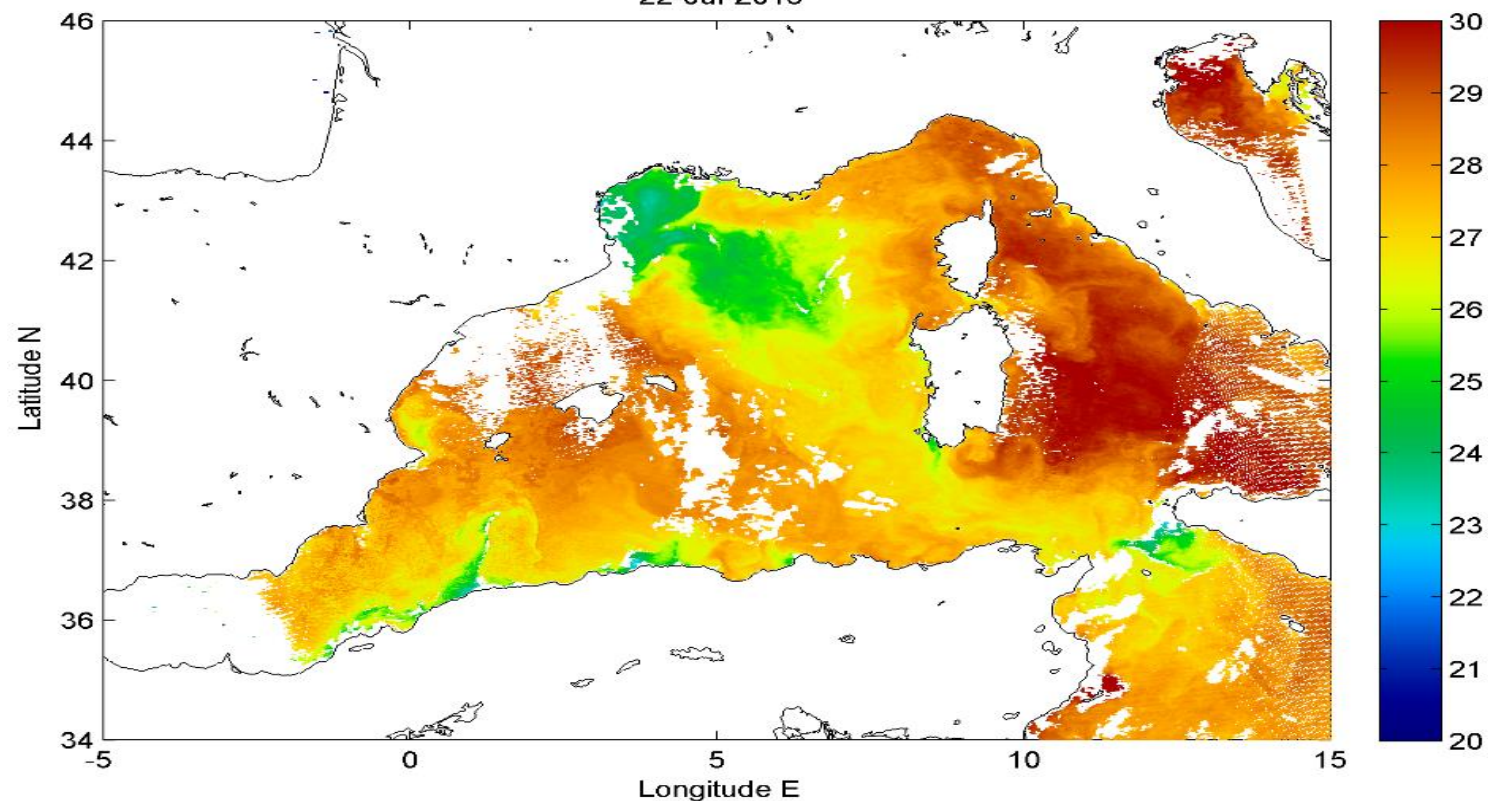
Aumento acidità del: 100-150 % entro il 2100

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

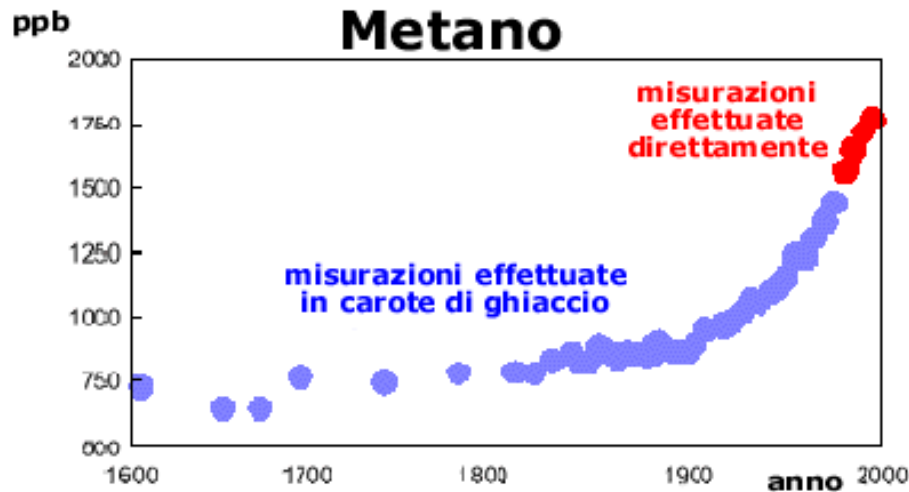
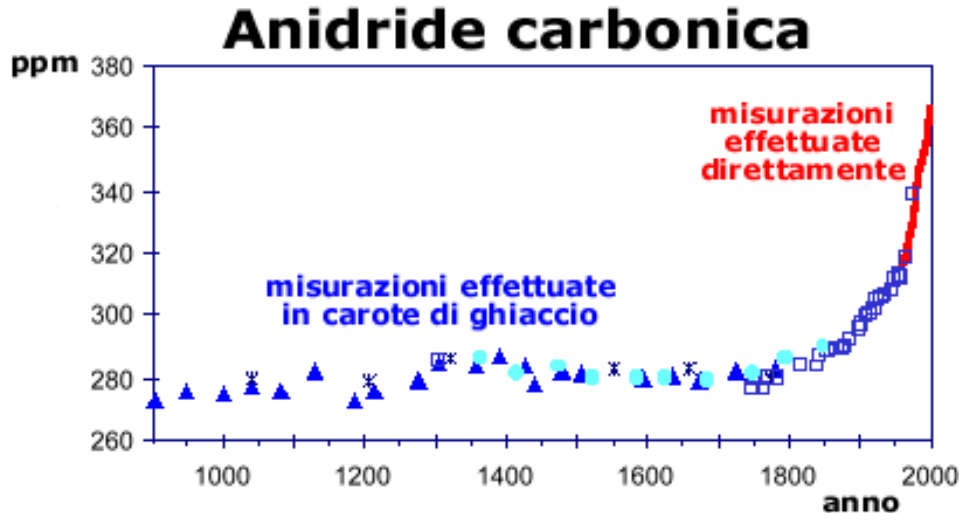
Studi precedenti e nuovi dati

Effetti ondata di calore

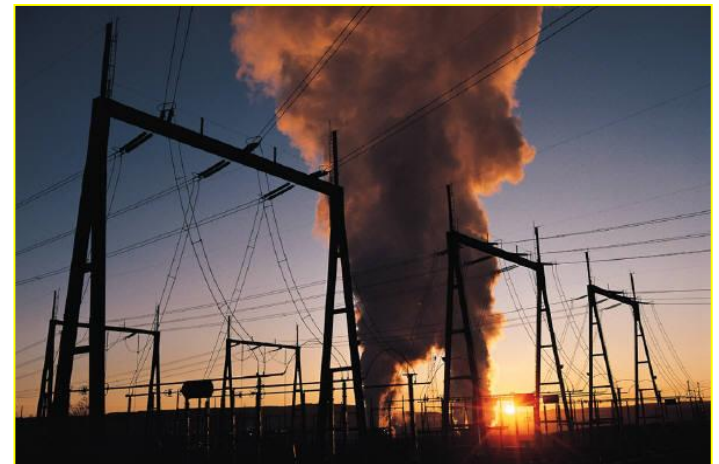
<https://mediterraneanmonitoring.wordpress.com/2015/08/12/the-legacy-of-the-mega-heatwave/>

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.

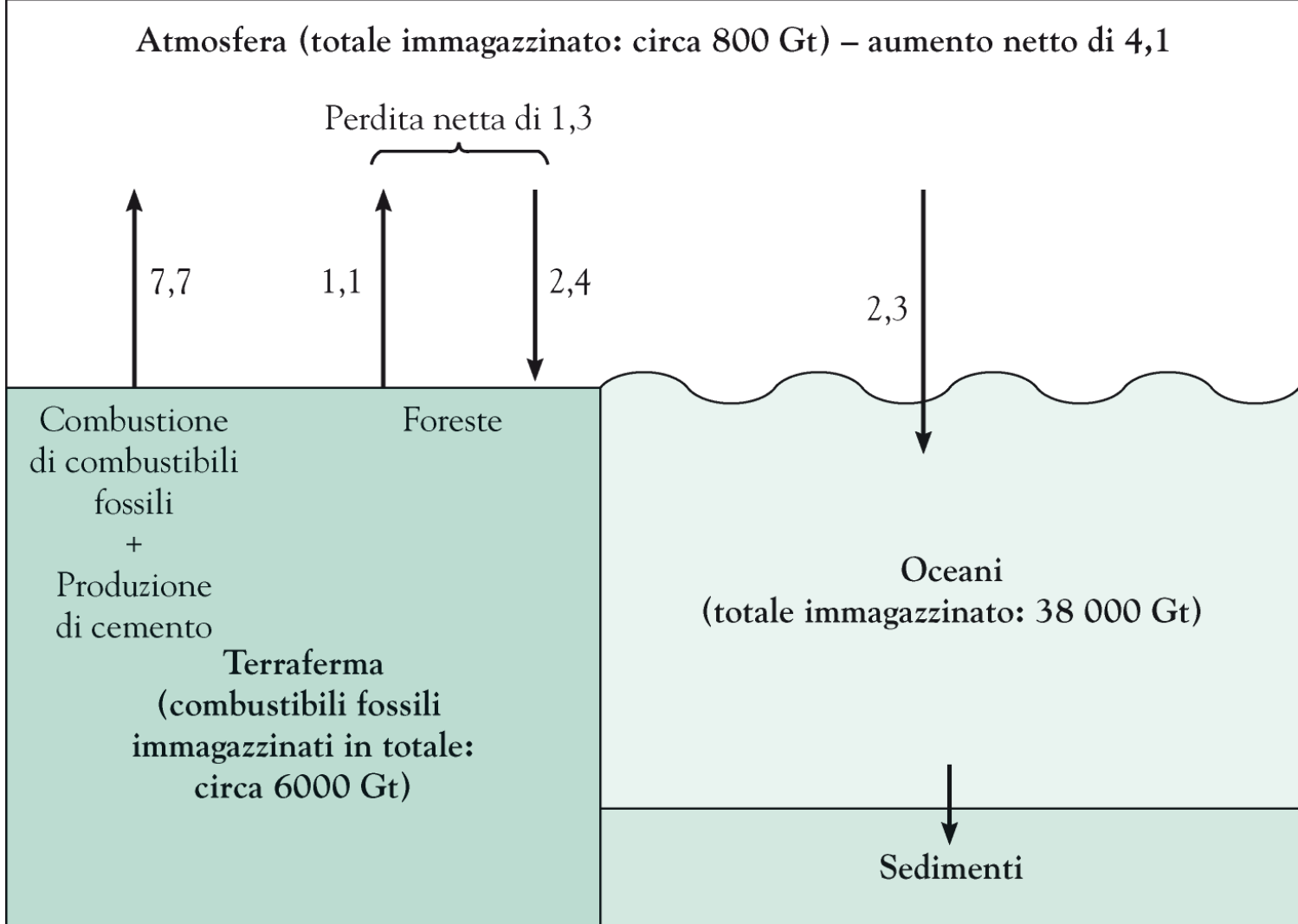


Secondo il Segretariato delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici –UNFCCC
I combustibili fossili sono responsabili in misura del 96.7% delle emissioni dei gas serra (95% CO₂ e 20% CH₄) di cui il 39,1% dovuti alla produzione di energia elettrica e il 26,7% dovuti ai trasporti.

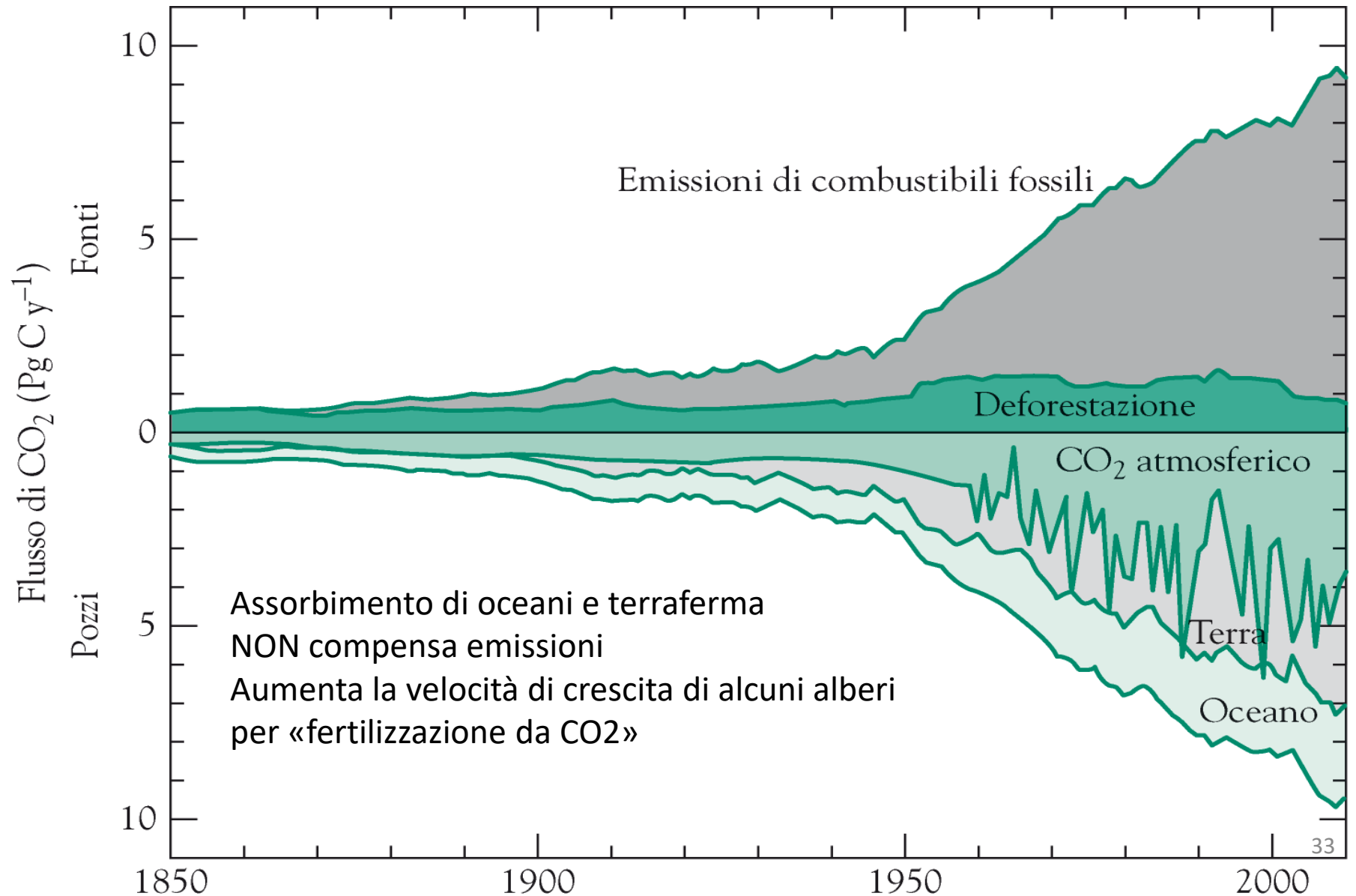


L'unico pozzo permanente per il CO₂ è la deposizione in profondità degli oceani o precipitazione in tali acque come CaCO₃ insolubile.

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...)

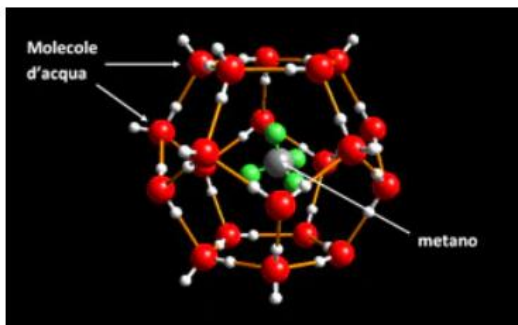
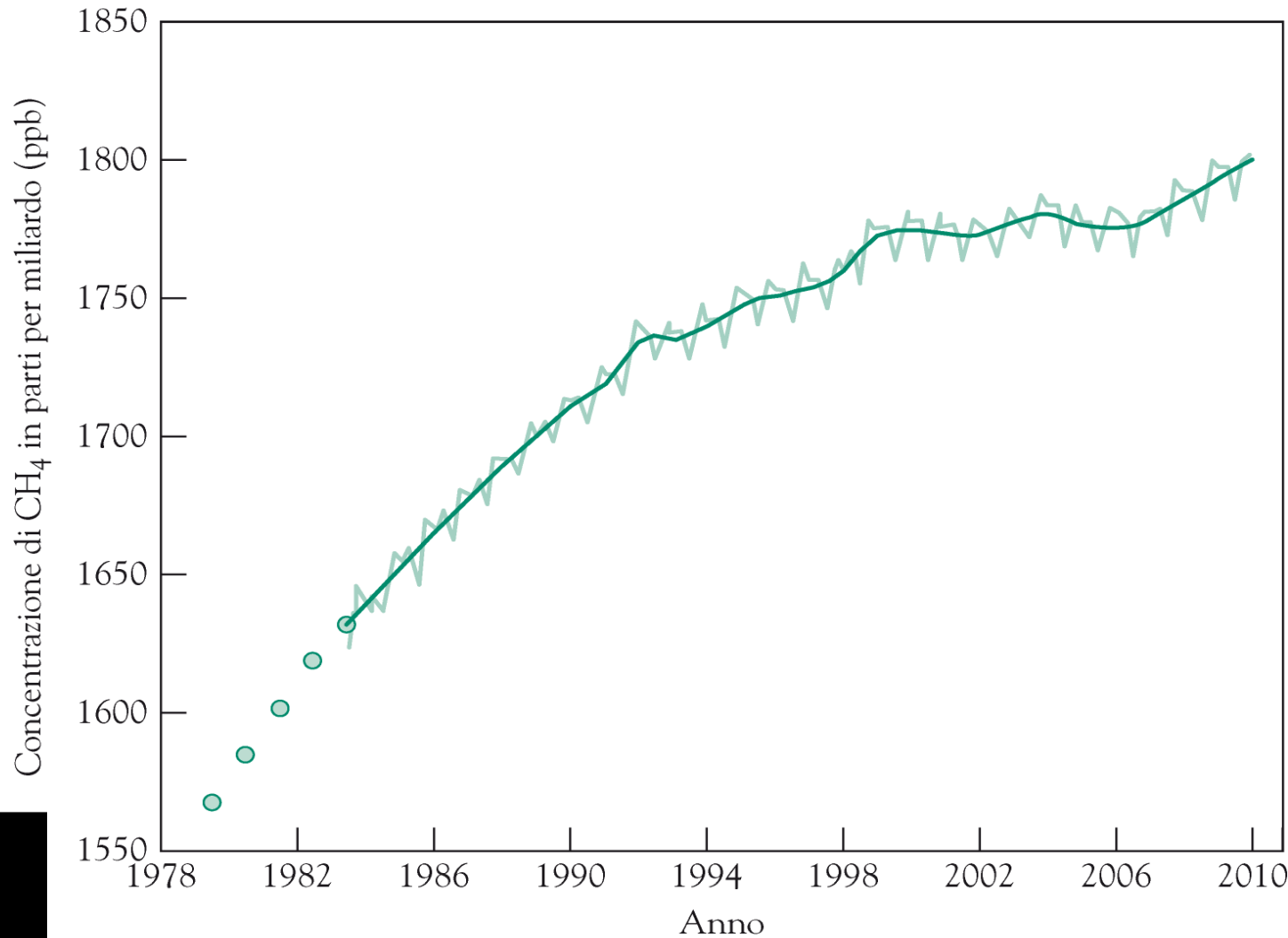
Metano assorbe nella parte inferiore alla regione finestra; tempo di vita in atmosfera un decennio (CO_2 secoli). Pozzo principale è reazione con radicale OH e formazione $\text{CH}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} \rightarrow \text{CO}_2$; altri pozzi reazioni con terreno e passaggio in stratosfera.

70% CH_4 antropico

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

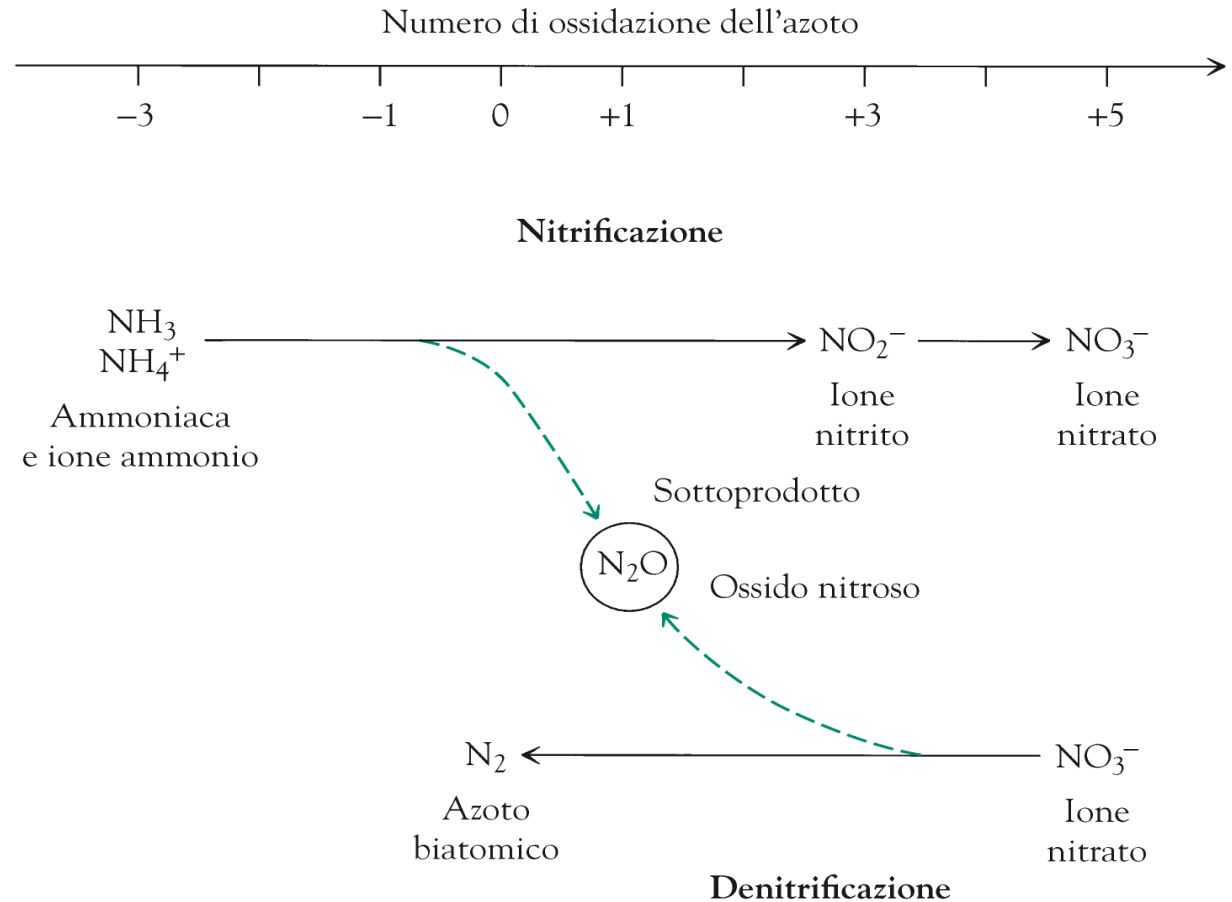
In futuro potrebbe aumentare:

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);

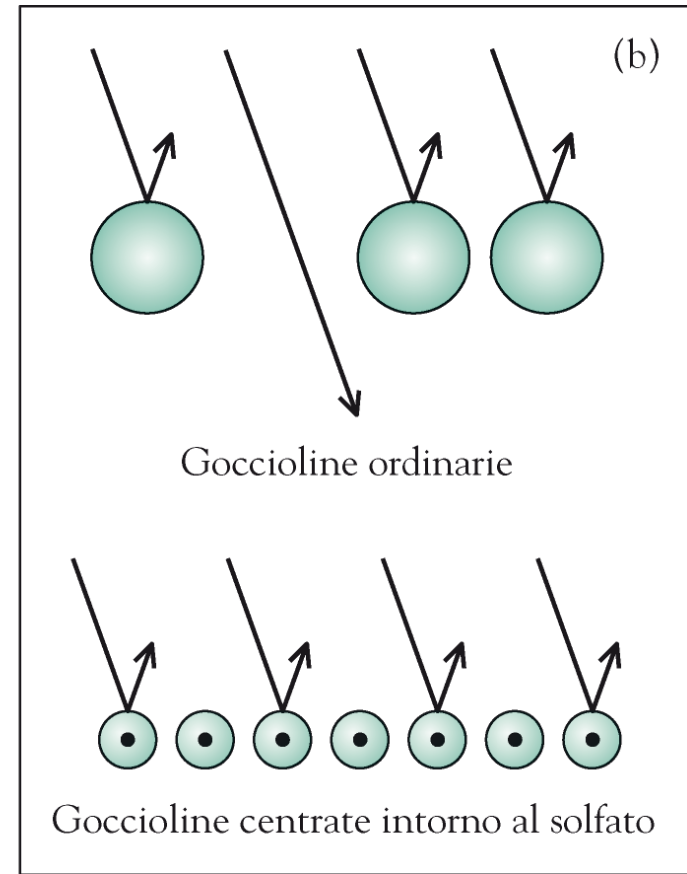
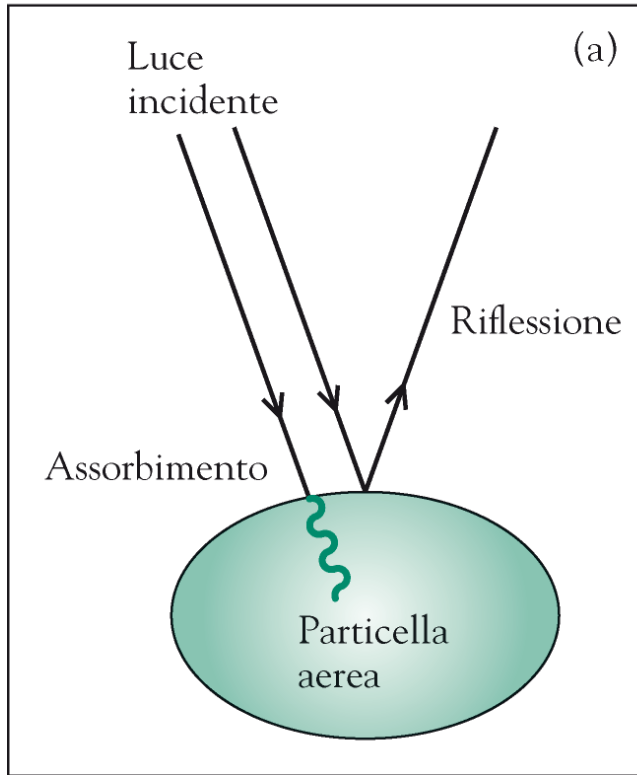
Non esistono pozzi per N₂O in troposfera (finisce in stratosfera (N₂ + O))



CFC e SF₆ lunghi tempi di residenza; O₃

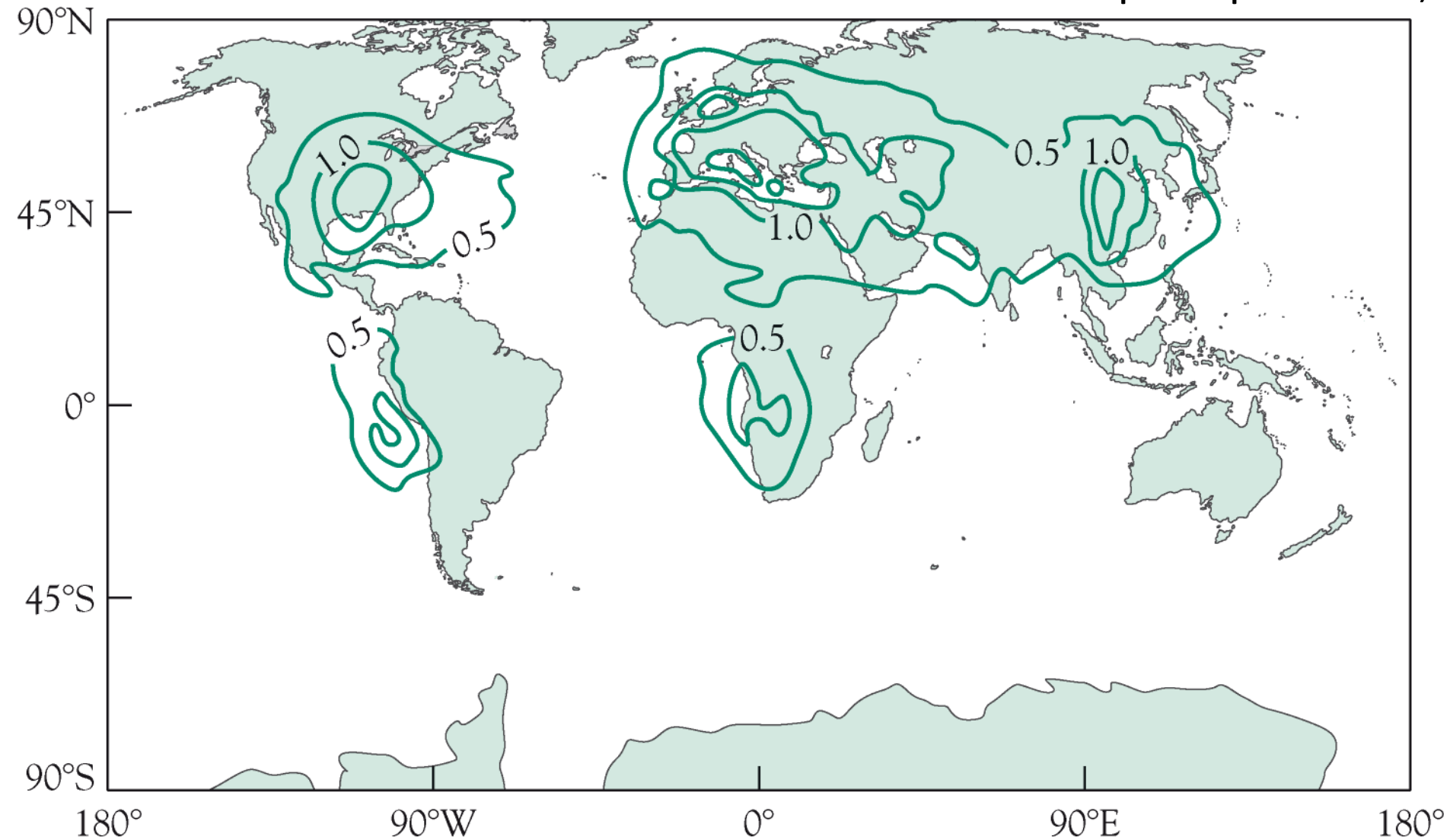
AEROSOL - particelle possono riflettere luce verso lo spazio (compensando parzialmente il riscaldamento) ; deviazione di radiazione da parte di una particella è nota come diffusione (scattering)

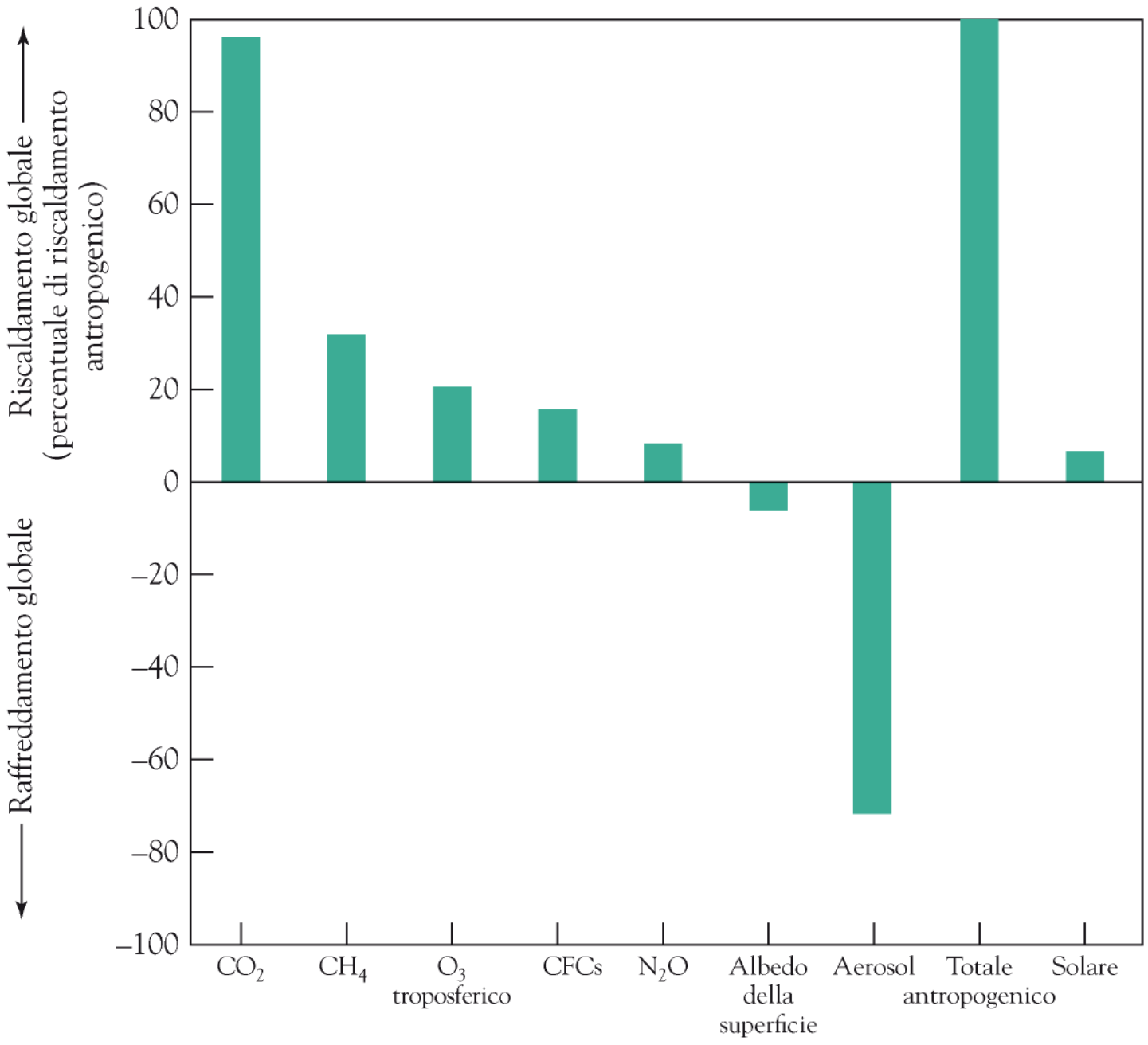
Frazione di luce solare riflessa è detta *albedo*

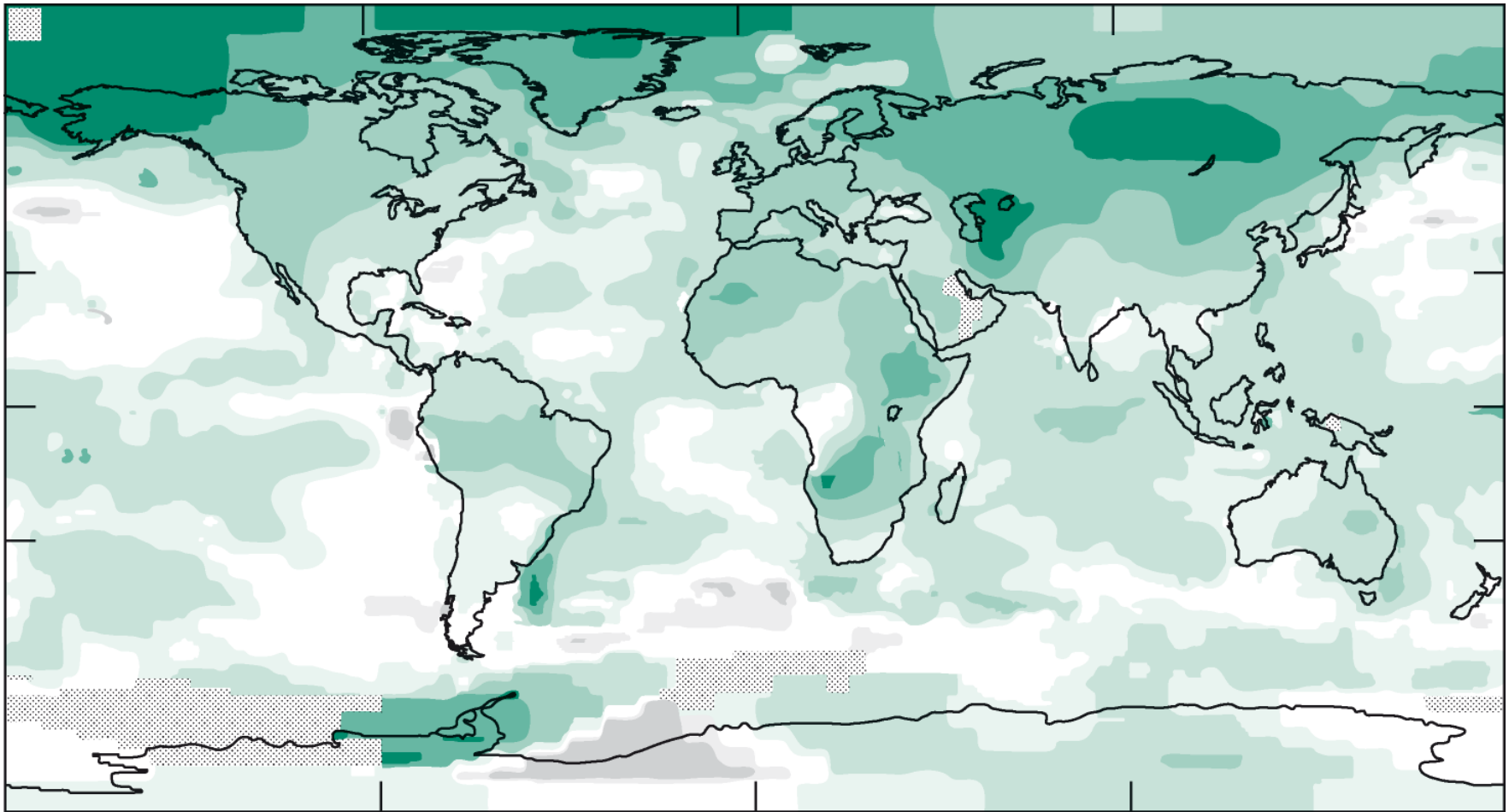


Energia assorbita viene trasformata in calore / riscaldamento dell'aria vicina alla particella
Fuliggine (*soot*) nerofumo assorbe; Aerosol di solfato puri non assorbono. Solfato come nucleo per formazione di goccioline d'acqua dà contributo a incremento dell'albedo. *Wet scavenging*.
Emissioni di SO₂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



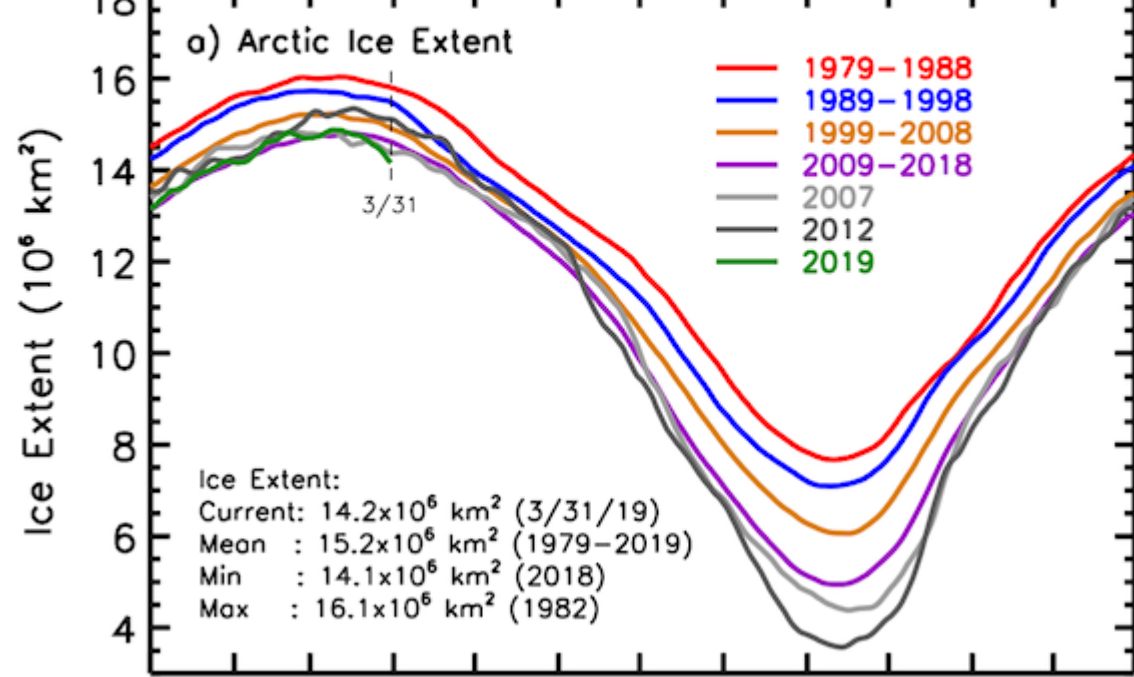




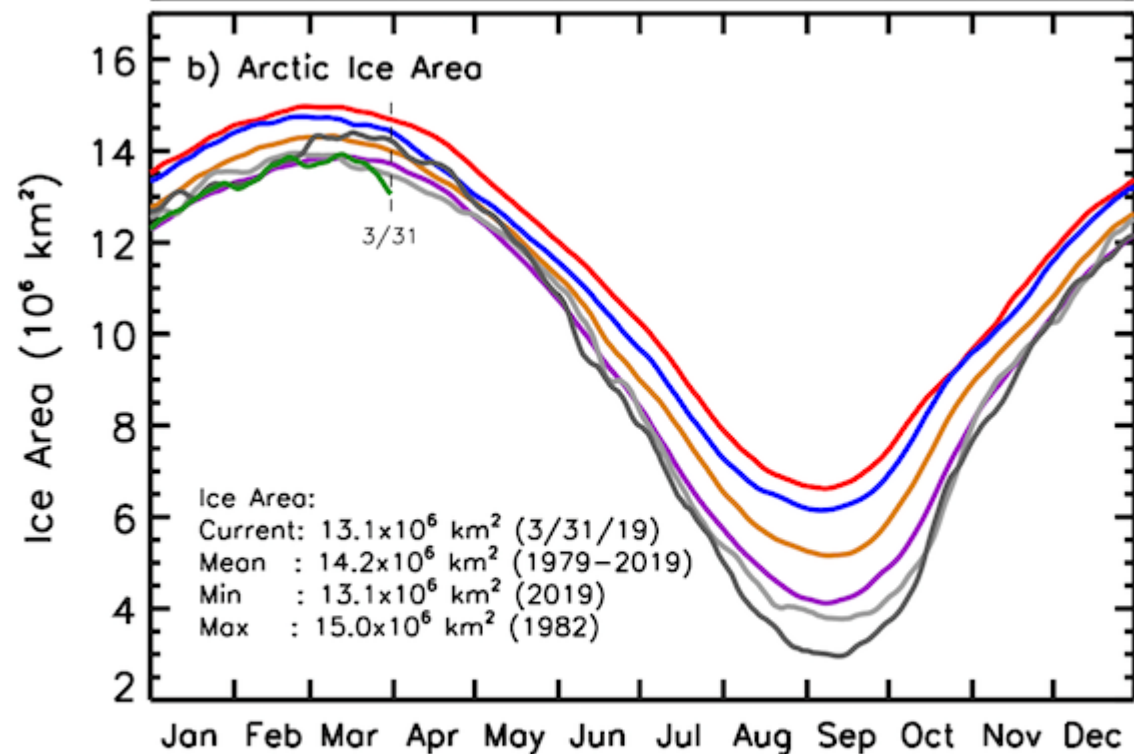
Cambiamento di temperatura (°C)

Modifiche in °C della T media della superficie nel 2001-2005 in rapporto alla media 1951-1980
(puntini nelle aree in cui dati insufficienti)

In generale: Temperature di aria su terre emerse riscaldata più di quella su aree marine



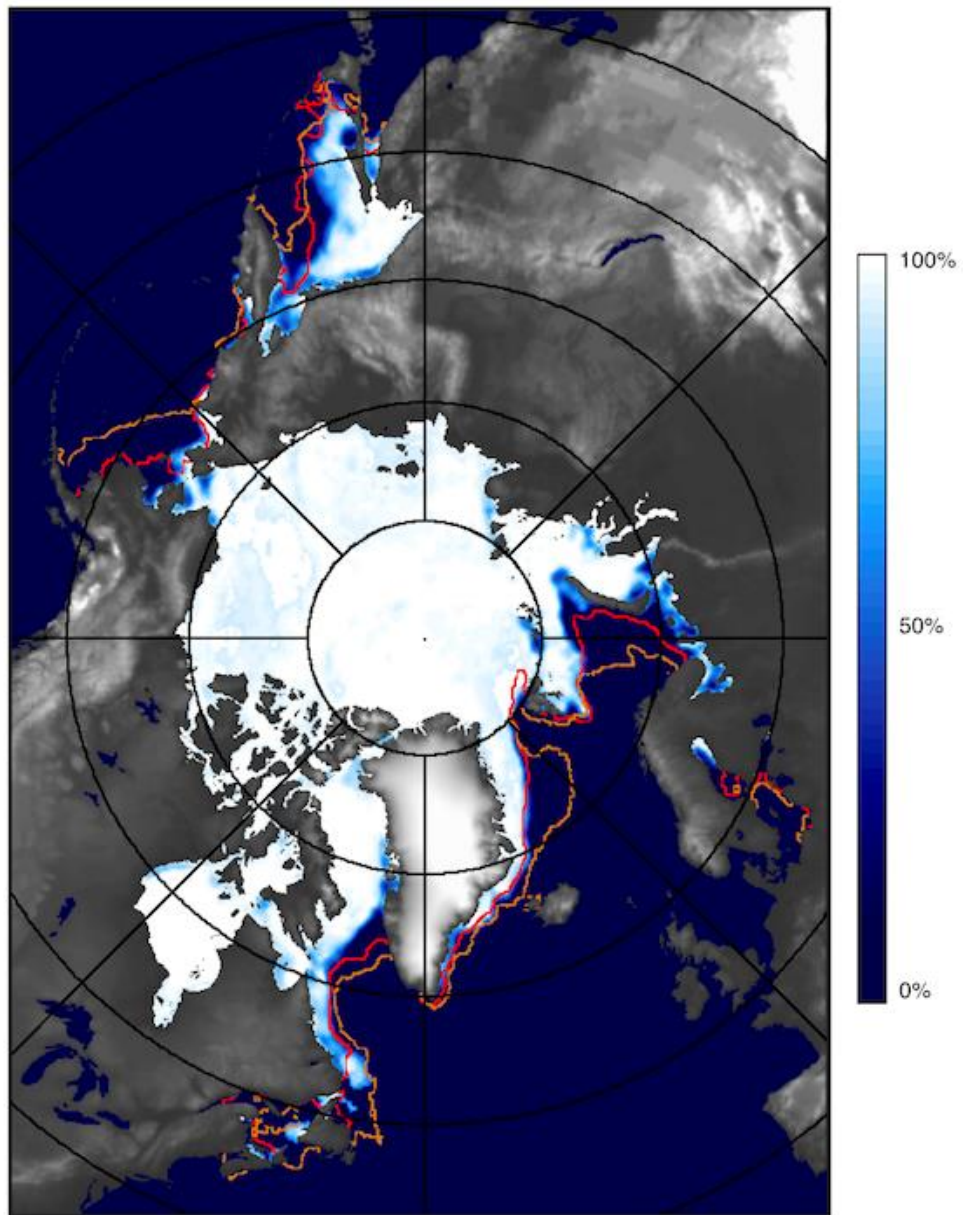
La regione dell'Artide riscaldata più di tutte (ghiaccio marino sta scomparendo; retroazione positiva (rinforzo) del riscaldamento poiché ghiaccio riflette luce solare meglio che acqua liquida)



<https://neptune.gsfc.nasa.gov/csb/index.php?section=234>

<http://nsidc.org/arcticseaicenews/faq/>

Northern Hemisphere, March 31, 2019



Current Ice Extent: $14.2 \cdot 10^6 \text{ km}^2$

— Minimum 3/31 Extent Outline, 2018 ($14.1 \cdot 10^6 \text{ km}^2$)
— Maximum 3/31 Extent Outline, 1982 ($16.1 \cdot 10^6 \text{ km}^2$)

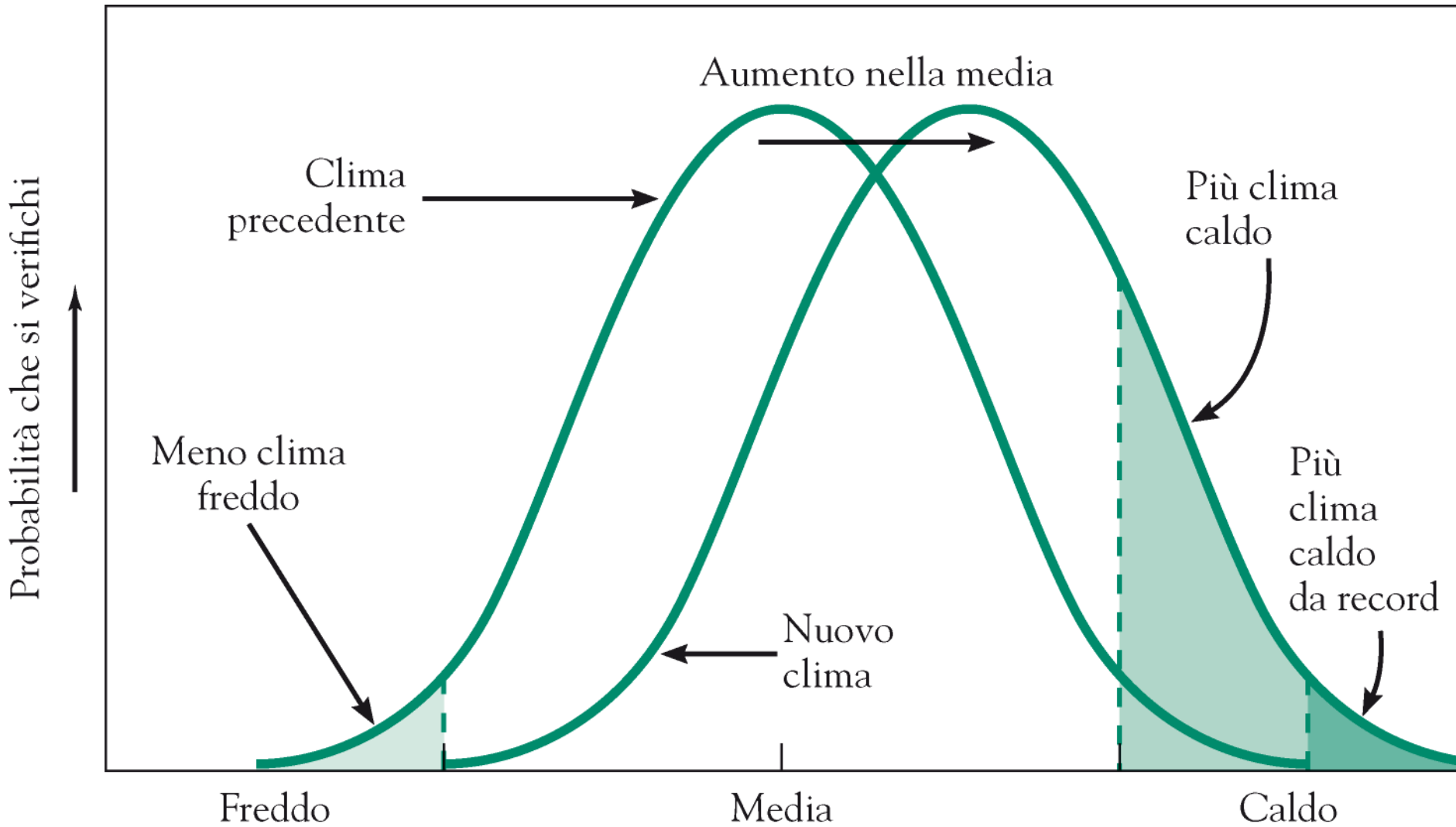
Segni del riscaldamento globale

1. Nella maggior parte delle aree si è registrato aumento delle precipitazioni (in alcune regioni diminuzione)
2. Manifestazioni climatiche estreme sono sempre più comuni (aumentano giorni caldo record e diminuiscono giorni freddi invernali)
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



23 febbraio 2019

Segni del riscaldamento globale

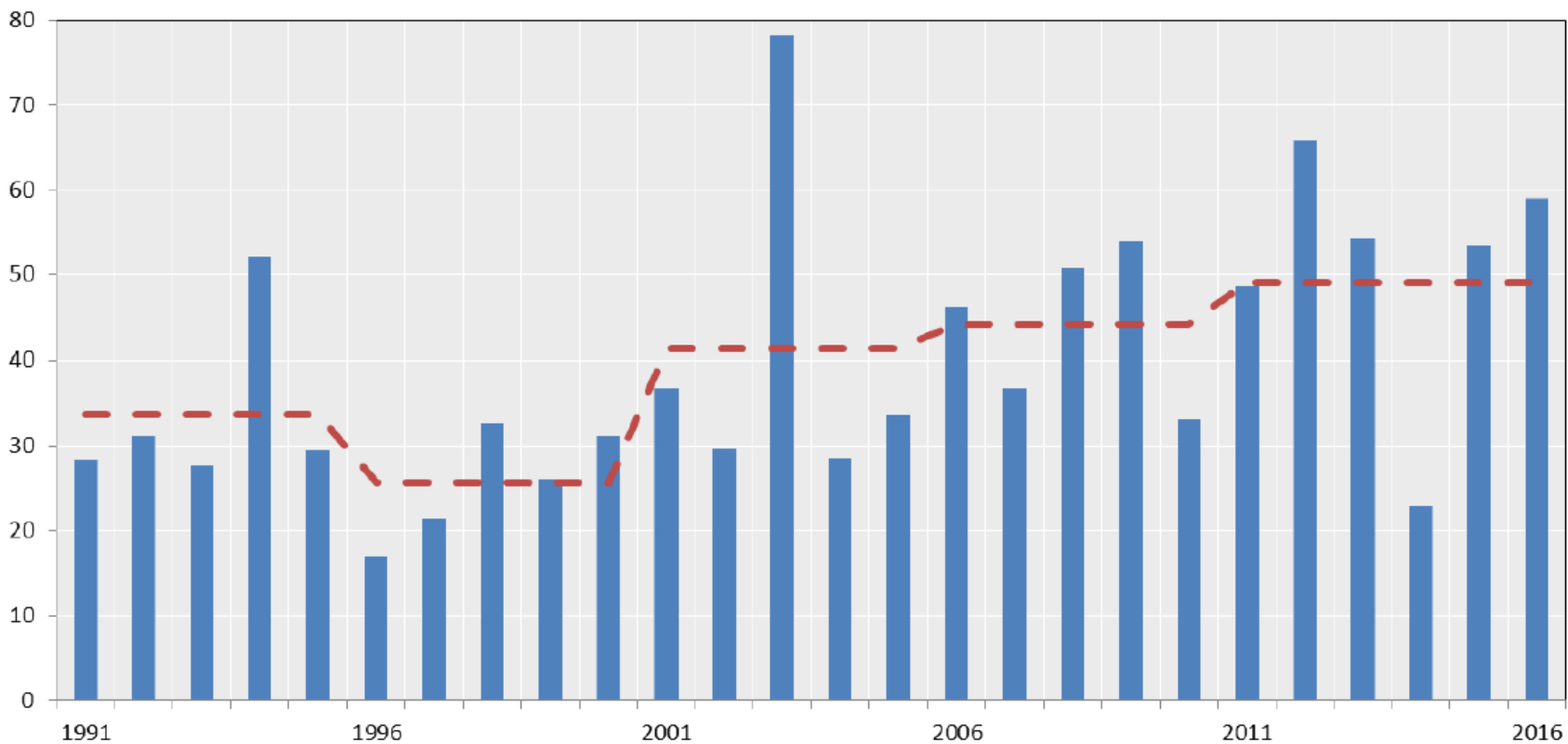


Localmente

http://www.meteo.fvg.it/clima/clima_fvg/03_cambiamenti_climatici/CambiaClimaFVG_Studio2018_sintesi20190315.pdf

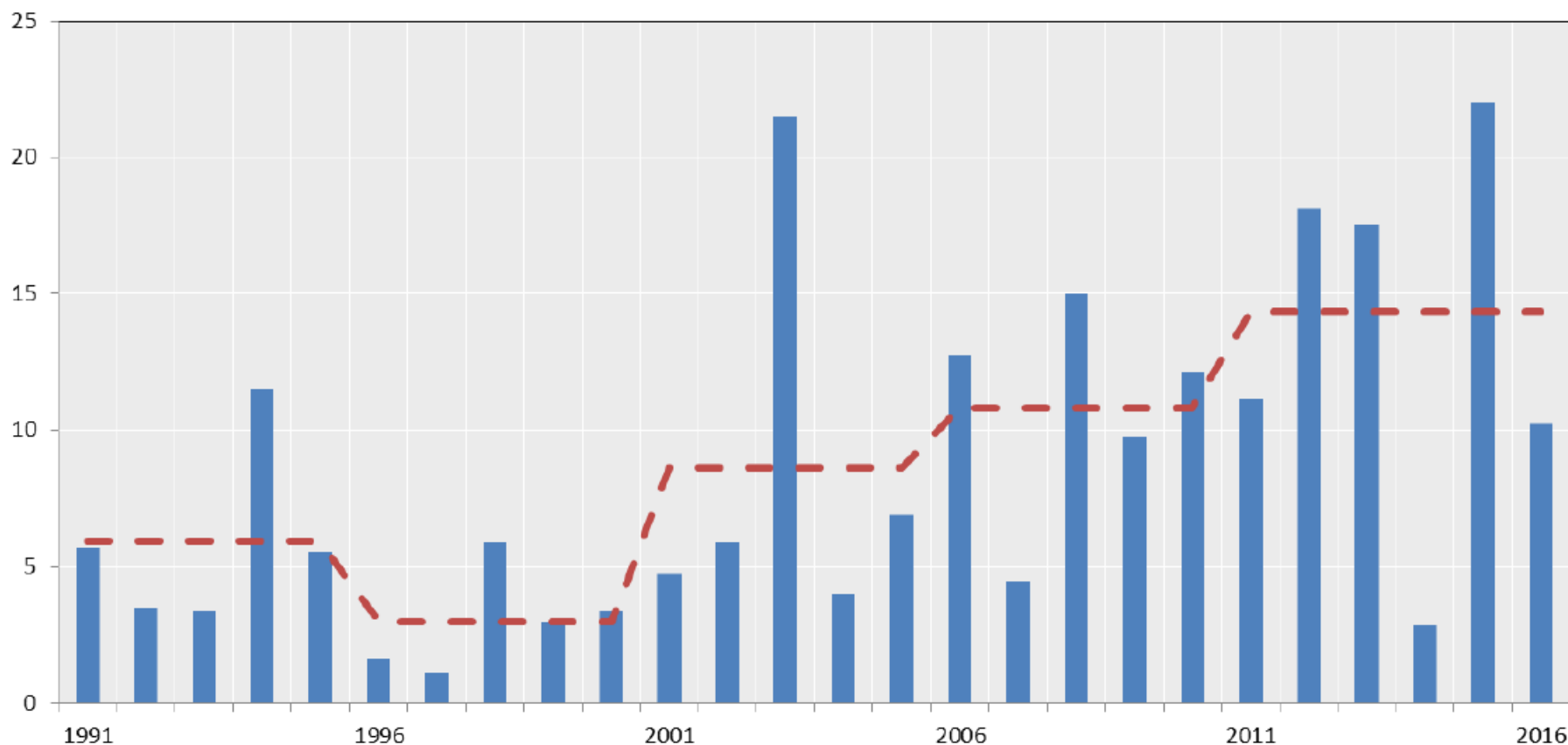
umentano le T MASSIME estive

Numero di giorni caldi (T max maggiore di 30°C)



Periodo 1991-2016 per la pianura del FVG. La linea rossa rappresenta l'andamento medio quinquennale:
da 30 giorni degli anni '90 **a quasi 50** nell'ultimo quinquennio.

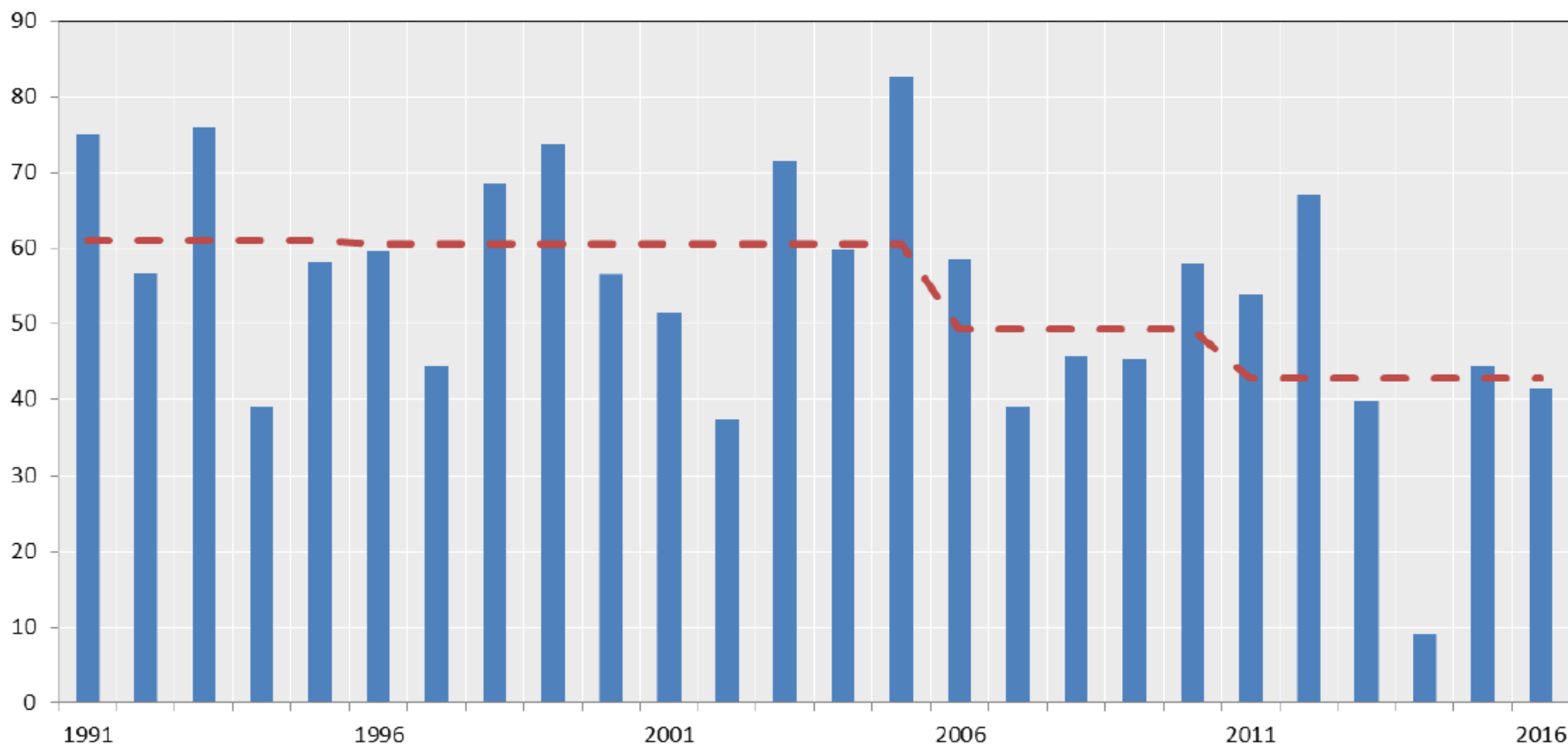
Numero di notti calde (T min maggiore di 20 °C)



Periodo 1991-2016 per la pianura del FVG. La linea rossa rappresenta l'andamento medio quinquennale:

da 5 notti degli anni '90 **a quasi 15** nell'ultimo quinquennio.

Numero di giorni di gelo (T min minore di 0 °C)



Periodo 1991-2016 per la pianura del FVG.

La linea rossa rappresenta l'andamento medio quinquennale.

CLIMATOLOGY

Projected changes in persistent extreme summer weather events: The role of quasi-resonant amplification

Michael E. Mann^{1*}, Stefan Rahmstorf^{2,3}, Kai Kornhuber², Byron A. Steinman⁴, Sonya K. Miller¹, Stefan Petri², Dim Coumou^{2,5}

Persistent episodes of extreme weather in the Northern Hemisphere summer have been associated with high-amplitude quasi-stationary atmospheric Rossby waves, with zonal wave numbers 6 to 8 resulting from the phenomenon of quasi-resonant amplification (QRA). A fingerprint for the occurrence of QRA can be defined in terms of the zonally averaged surface temperature field. Examining state-of-the-art [Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5)] climate model projections, we find that QRA events are likely to increase by ~50% this century under business-as-usual carbon emissions, but there is considerable variation among climate models. Some predict a near tripling of QRA events by the end of the century, while others predict a potential decrease. Models with amplified Arctic warming yield the most pronounced increase in QRA events. The projections are strongly dependent on assumptions regarding the nature of changes in radiative forcing associated with anthropogenic aerosols over the next century. One implication of our findings is that a reduction in midlatitude aerosol loading could actually lead to Arctic de-amplification this century, ameliorating potential increases in persistent extreme weather events.

Copyright © 2018
The Authors, some
rights reserved;
exclusive licensee
American Association
for the Advancement
of Science. No claim to
original U.S. Government
Works. Distributed
under a Creative
Commons Attribution
NonCommercial
License 4.0 (CC BY-NC).

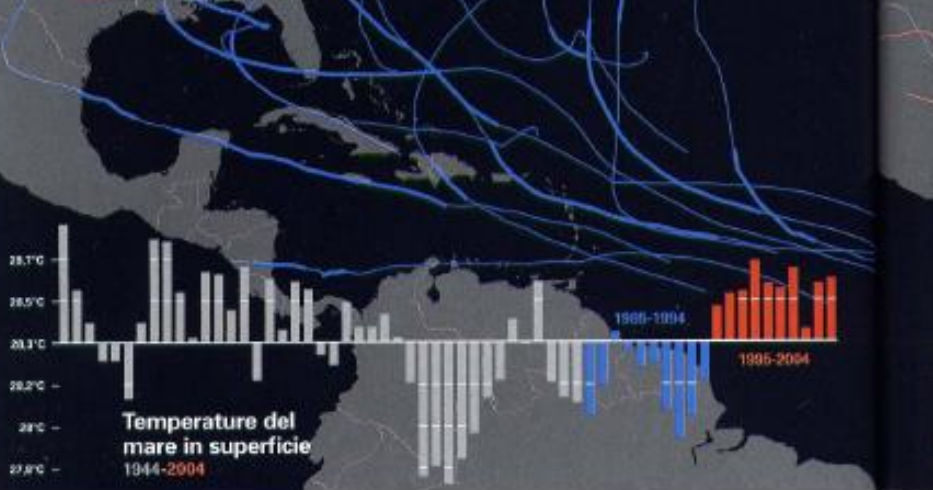

Ruolo
rilevante
dell'aerosol
antropogenico

<http://advances.sciencemag.org/content/advances/4/10/eaat3272.full.pdf>

Il percorso degli uragani

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

- Categoria 3-5
- Tempesta di minore intensità



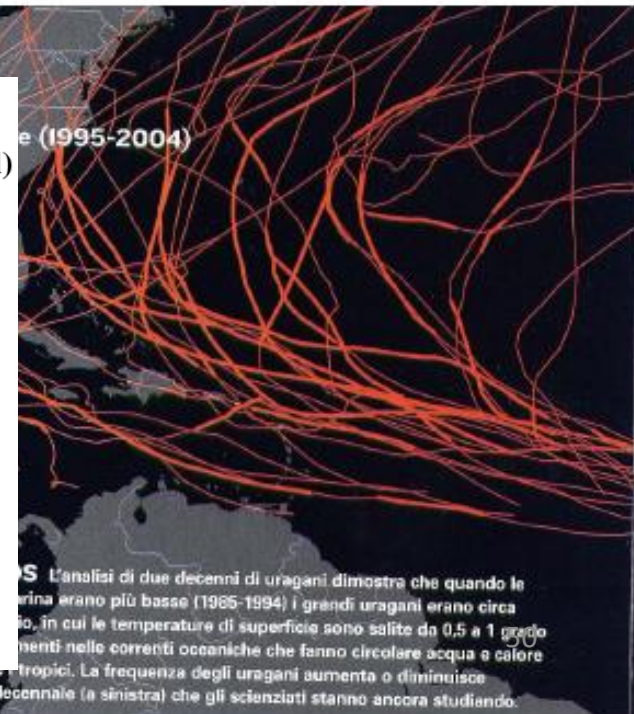
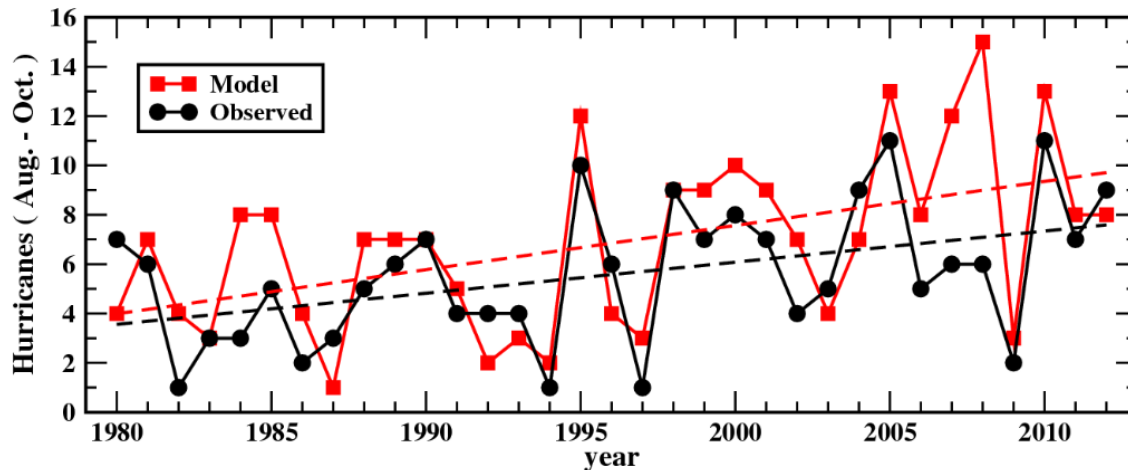
Febbraio 2019:

<https://www.gfdl.noaa.gov/global-warming-and-hurricanes/>

National Geographic
Agosto 2005

Atlantic Hurricanes (1980-2012): Simulated vs. Observed

Correlation = 0.73; Linear trends: +0.18 storms/yr (model) and +0.13 storms/yr (observed)



L'analisi di due decenni di uragani dimostra che quando le temperature in superficie erano più basse (1985-1994) i grandi uragani erano circa 10, in cui le temperature di superficie sono salite da 0,5 a 1 grado Celsius nelle correnti oceaniche che fanno circolare acqua a caldo dai tropici. La frequenza degli uragani aumenta o diminuisce seguendo uno schema multidecennale (a sinistra) che gli scienziati stanno ancora studiando.

The [IPCC AR5](#) presents a strong body of scientific evidence that most of the global warming observed over the past half century is very likely due to human-caused greenhouse gas emissions. But what does this change mean for hurricane activity? Here, we address these questions, starting with those conclusions where we have relatively more confidence. The main text then gives more background discussion. “Detectable” change here will refer to a change that is large enough to be clearly distinguishable from the variability due to natural causes. Our main conclusions are:

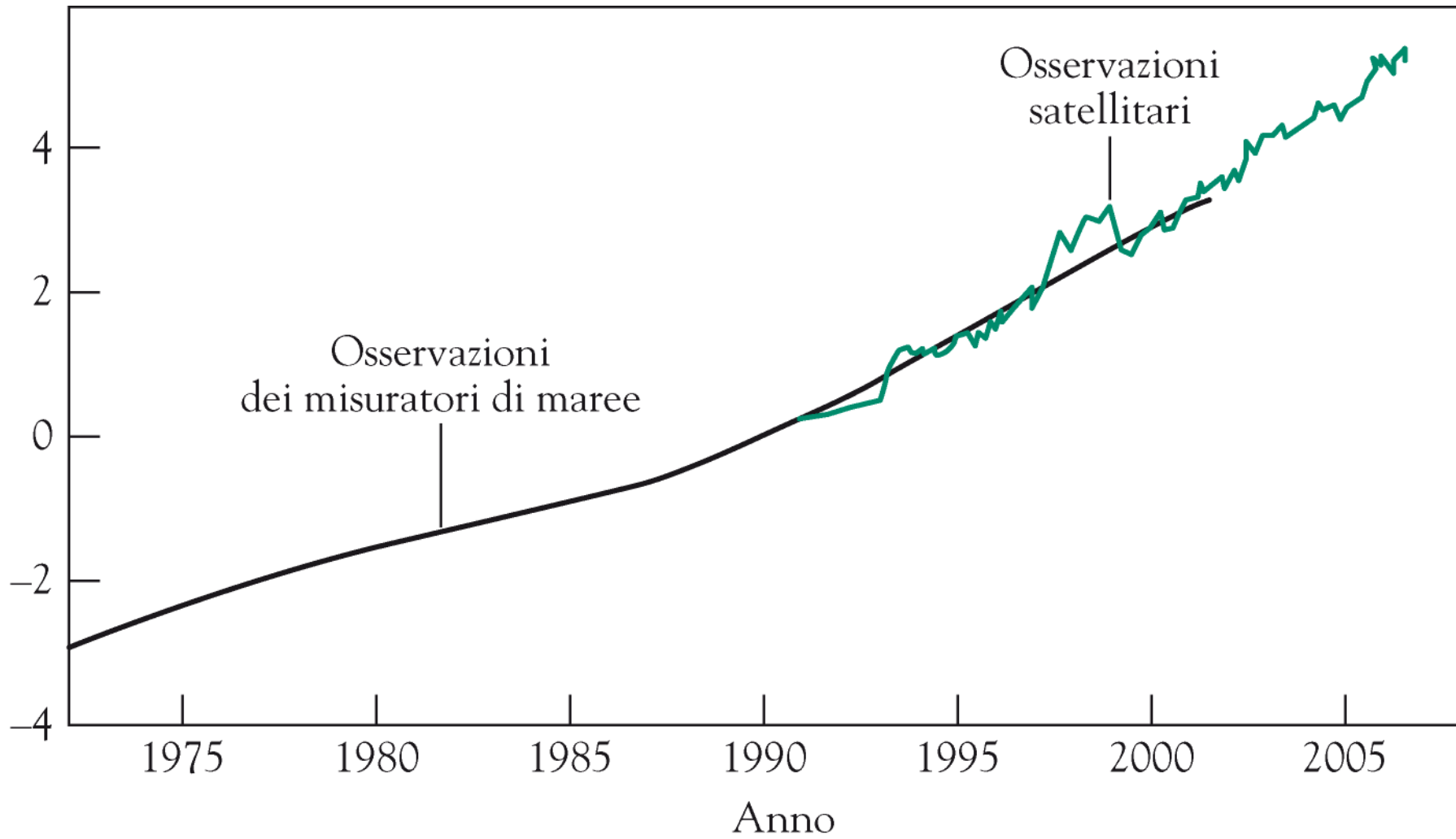
Sea level rise – which very likely has a substantial human contribution to the global mean observed rise according to [IPCC AR5](#) – should be causing higher coastal inundation levels for tropical cyclones that do occur, all else assumed equal.

Tropical cyclone rainfall rates will likely increase in the future due to anthropogenic warming and accompanying increase in atmospheric moisture content. Modeling studies on average project an increase on the order of 10-15% for rainfall rates averaged within about 100 km of the storm for a 2 degree Celsius global warming scenario.

Tropical cyclone intensities globally will likely increase on average (by 1 to 10% according to model projections for a 2 degree Celsius global warming). This change would imply an even larger percentage increase in the destructive potential per storm, assuming no reduction in storm size. Storm size responses to anthropogenic warming are uncertain.

The global proportion of tropical cyclones that reach very intense (Category 4 and 5) levels will likely increase due to anthropogenic warming over the 21st century. There is less confidence in future projections of the global number of Category 4 and 5 storms, since most modeling studies project a decrease (or little change) in the global frequency of all tropical cyclones combined. ...

Cambiamento del livello del mare (cm)



Riscaldamento Globale

Riduzione dei ghiacciai montani



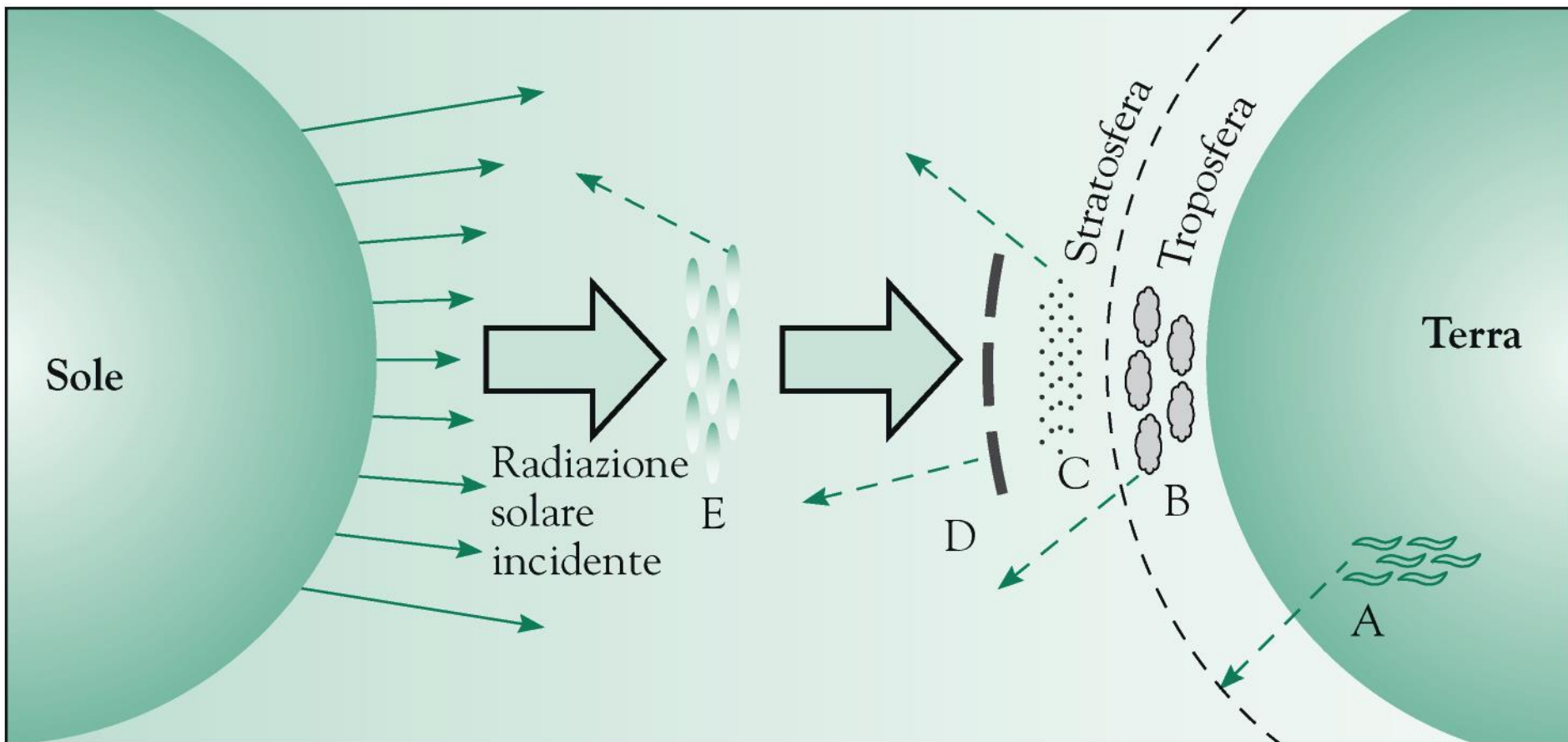
Risposte alle evidenze di riscaldamento

Baird & Cann 213, p.191: **Interventi di geingegneria per combattere il riscaldamento globale**

Geingegneria: elaborazione di progetti su larghissima scala finalizzati a modificare

intenzionalmente il clima dell'intero pianeta: riflettere radiazione incidente (-2% I) o assorbire CO₂

SOLAR RADIATION MANAGEMENT: effetti relativamente rapidi



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

TABELLA 5.1 • Caratteristiche dei progetti SARM

Metodo	Efficacia	Accessibilità	Velocità di implementazione	Sicurezza
Dischi nello spazio	Alta	Da bassa a molto bassa	Molto bassa	Media
Aerosol nella stratosfera	Alta	Alta	Alta	Bassa (problemi legati alle piogge)
Sbiancamento delle nubi	Bassa-media	Media	Media	Bassa (quadri climatici)
Imbiancamento di tetti e strade	Molto bassa	Molto bassa	Media-alta	Molto alta
Riflettori nei deserti	Da bassa a media	Molto bassa	Alta	Molto bassa

Nota: adattata da "Geoengineering the Climate," *The Royal Society*, settembre 2009.

Nel frattempo ad Harvard

<https://www.nature.com/articles/d41586-018-07533-4>

<https://projects.iq.harvard.edu/keutschgroup/scopex>

<https://geoengineering.environment.harvard.edu/>