

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/BAMSmrTrenberth.pdf>

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

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

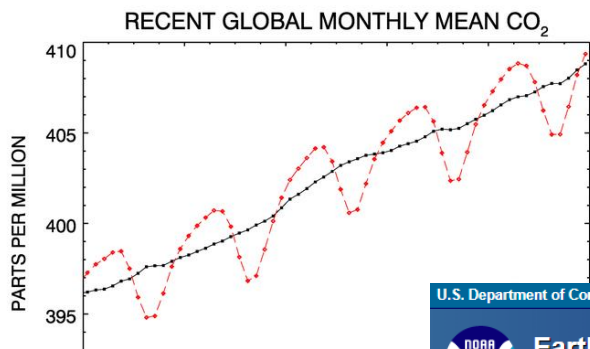
Trends in Atmospheric Carbon Dioxide

[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

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).

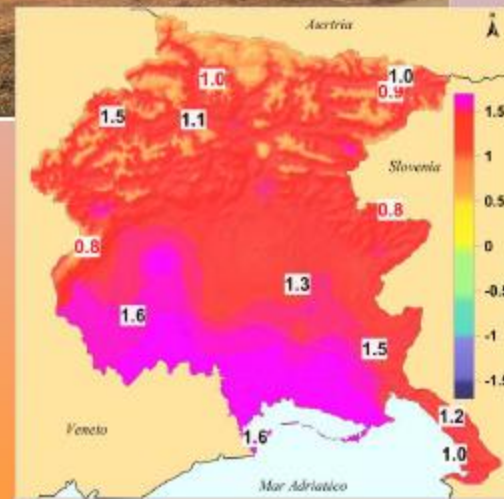
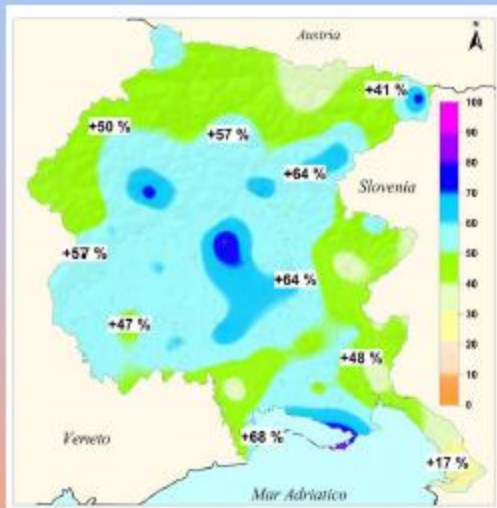
Global Warming

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

The screenshot shows the IPCC website homepage. At the top right, the IPCC logo is displayed alongside the logos for WMO and UNEP. Below the logos, there are dropdown menus for 'Languages' and 'IPCC web pages', and a search box. A vertical navigation menu on the left 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 section for the 'Fifth Assessment Report (AR5)', which includes a sub-section for 'The Physical Science Basis'. This section contains a thumbnail image of the report cover and a brief description of the report's content. Below the description are links for a 'Summary for Policymakers' (available in multiple languages), the 'Working Group I Report website', and a 'Quick link' to report PDFs. At the bottom of this section are buttons for 'SYR', 'WG I', 'WG II', and 'WG III'. Another section titled 'IPCC-43, Nairobi, Kenya' provides information about the plenary meeting taking place in April 2016, with links for an 'Opening statement by IPCC Chair' (marked as 'New'), 'Documents', and 'Media Advisory'. A 'Quick Reference' section is also visible at the bottom. On the right side, there is a 'Recent Reports' section with two featured reports, each with a 'New' badge and a thumbnail image.

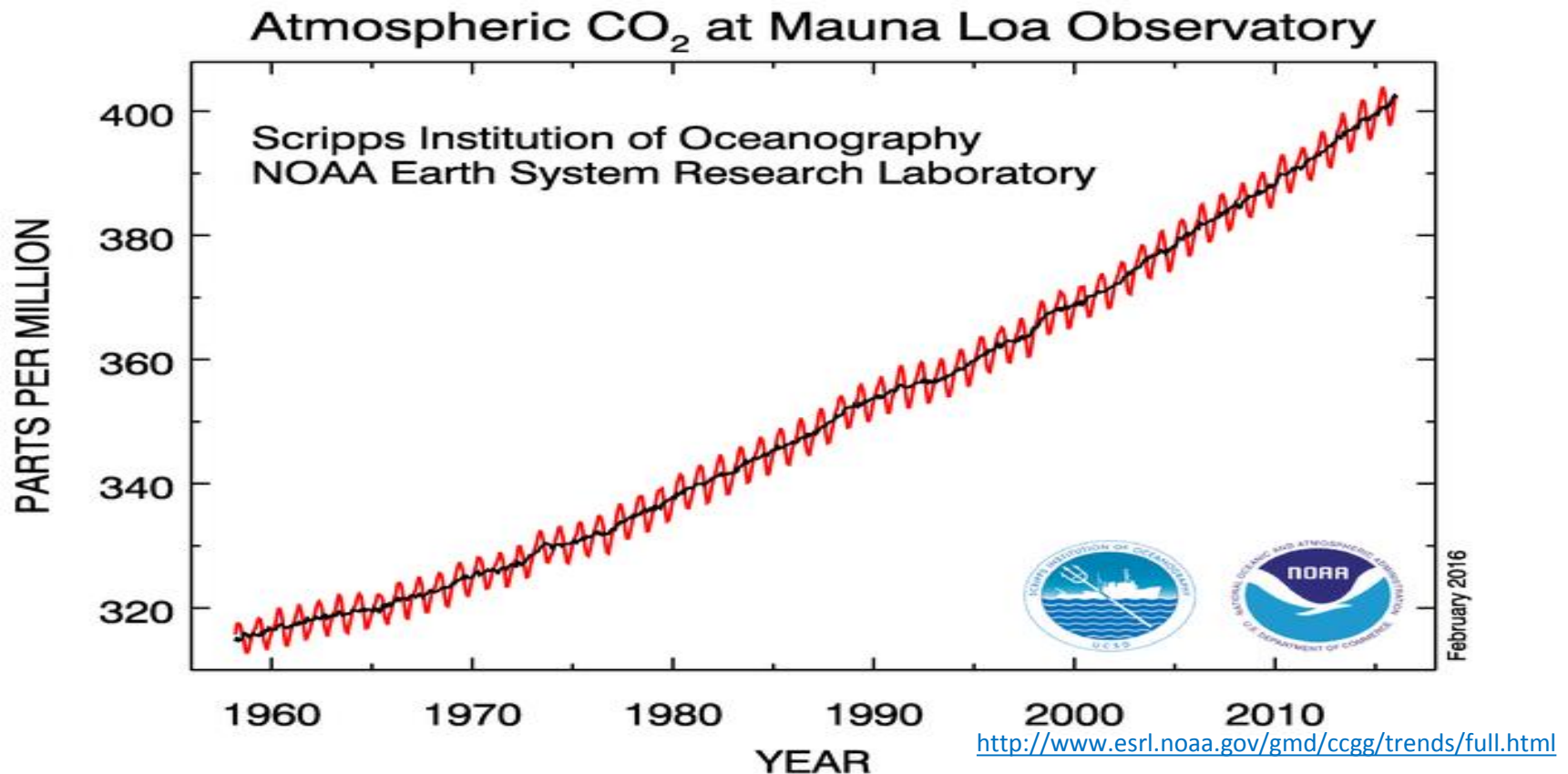
<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

cosa si registra in Friuli Venezia Giulia?



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

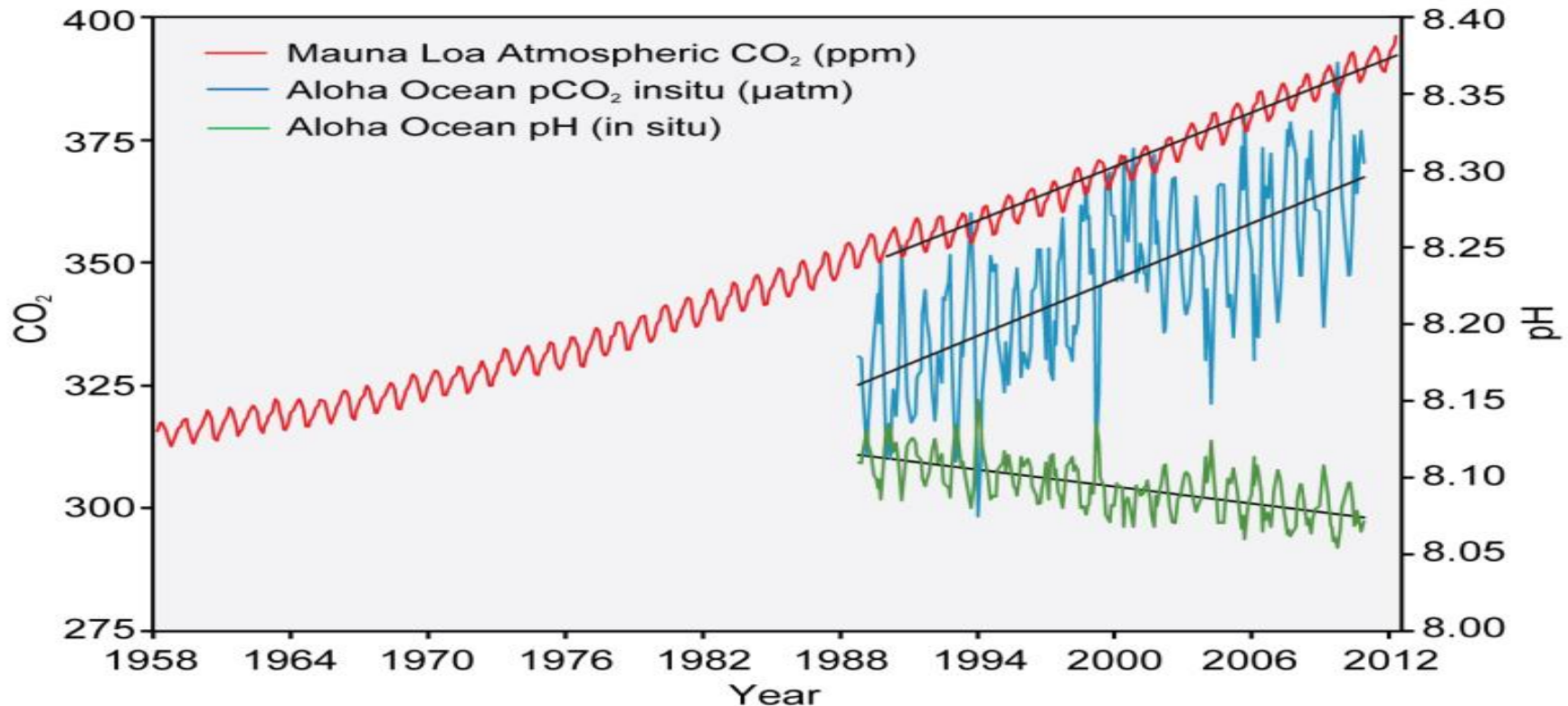
L'incremento di CO₂ atmosferico



- 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

Feely et al., 2009

https://tos.org/oceanography/assets/docs/22-4_feely.pdf

pH acqua di mare: 8.00-8.20

Diminuzione di: 0.10-0.15 unità

Aumento acidità del: 100-150 % entro il 2100

https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends_ch4/



Global Monitoring Laboratory

Earth System Research Laboratories

[Home](#) [About](#) [People](#) [Research](#) [Observing Networks](#) [Data](#) [Products](#) [Information](#)

[Carbon Cycle Greenhouse Gases](#) » [Trends in CO₂](#)

CCGG Menu ▾

Trends in CO₂

Trends in CH₄

Trends in N₂O

Trends in SF₆




Trends in Atmospheric Carbon Dioxide

- NOTE: Starting Feb. 10, 2021, the CO₂ data is now on the WMO X2019 scale. Read about the [CO₂ Scale](#) for more details.
- [Can we see a change in the CO₂ record because of COVID-19?](#)

Hawaii Ocean Time-series (HOT)

in the School of Ocean and Earth Science and Technology at the University of Hawaii at Manoa

» [Home](#) » [Data Products](#)

-  Overview
- Data
- Nowcast
- References
- Media
- Spe

Data Products

[Station ALOHA Surface Ocean Carbon Dioxide](#) (Readme)

https://hahana.soest.hawaii.edu/hot/products/HOT_surface_CO2.txt

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304420300000220>



Marine Chemistry
Volume 70, Issues 1–3, May 2000, Pages 105–119



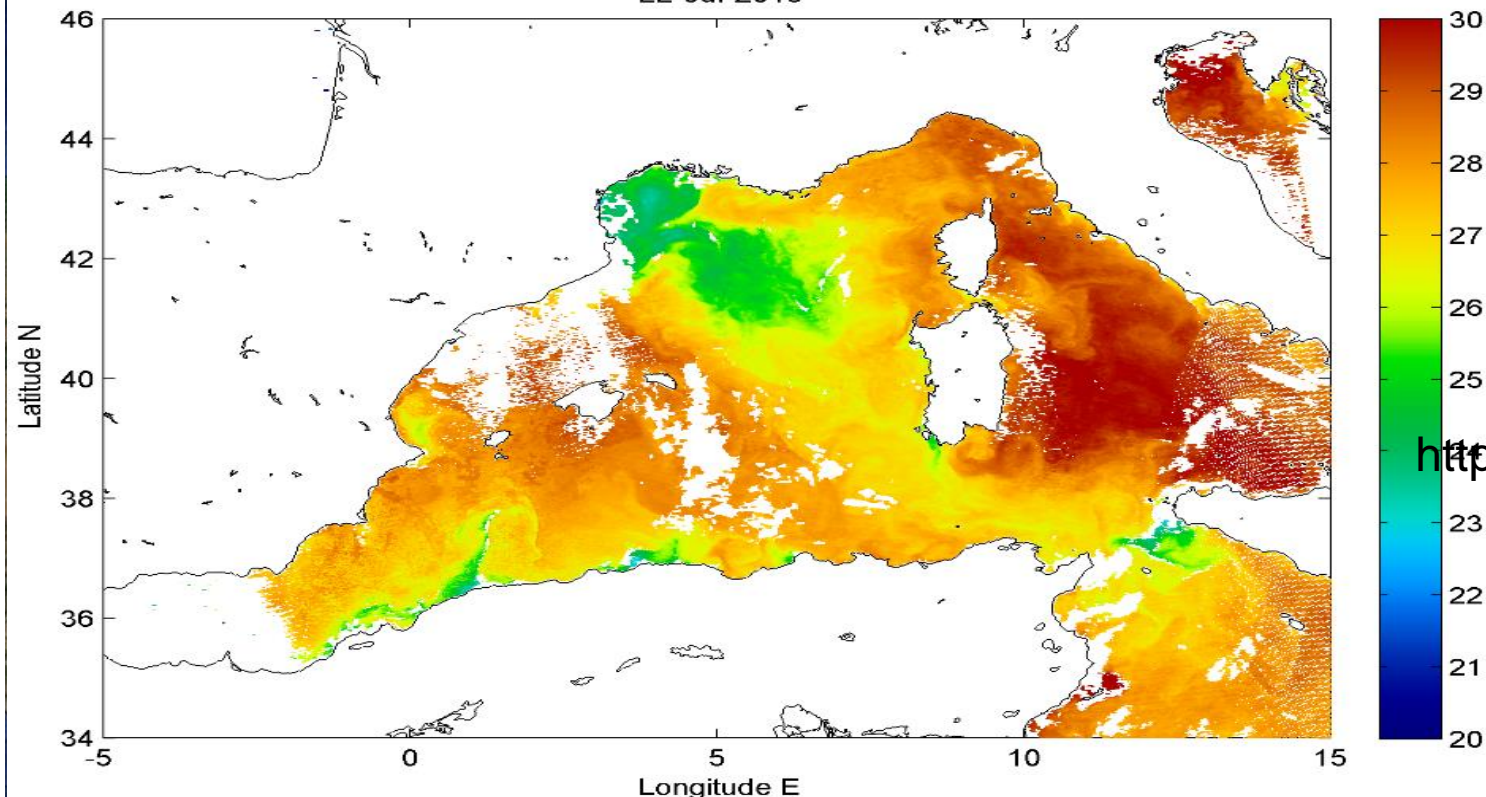
Ocean $p\text{CO}_2$ calculated from dissolved inorganic carbon, alkalinity, and equations for K_1 and K_2 : validation based on laboratory measurements of CO_2 in gas and seawater at equilibrium

Timothy J Lueker , Andrew G Dickson, Charles D Keeling

Scopi della tesi

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

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



Candidato:
Alessandro Cipolla

Carolina Cantoni
CNR ISMAR Trieste

[http://www.ismar.cnr.it/
personale/cantoni-
carolina](http://www.ismar.cnr.it/personale/cantoni-carolina)

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

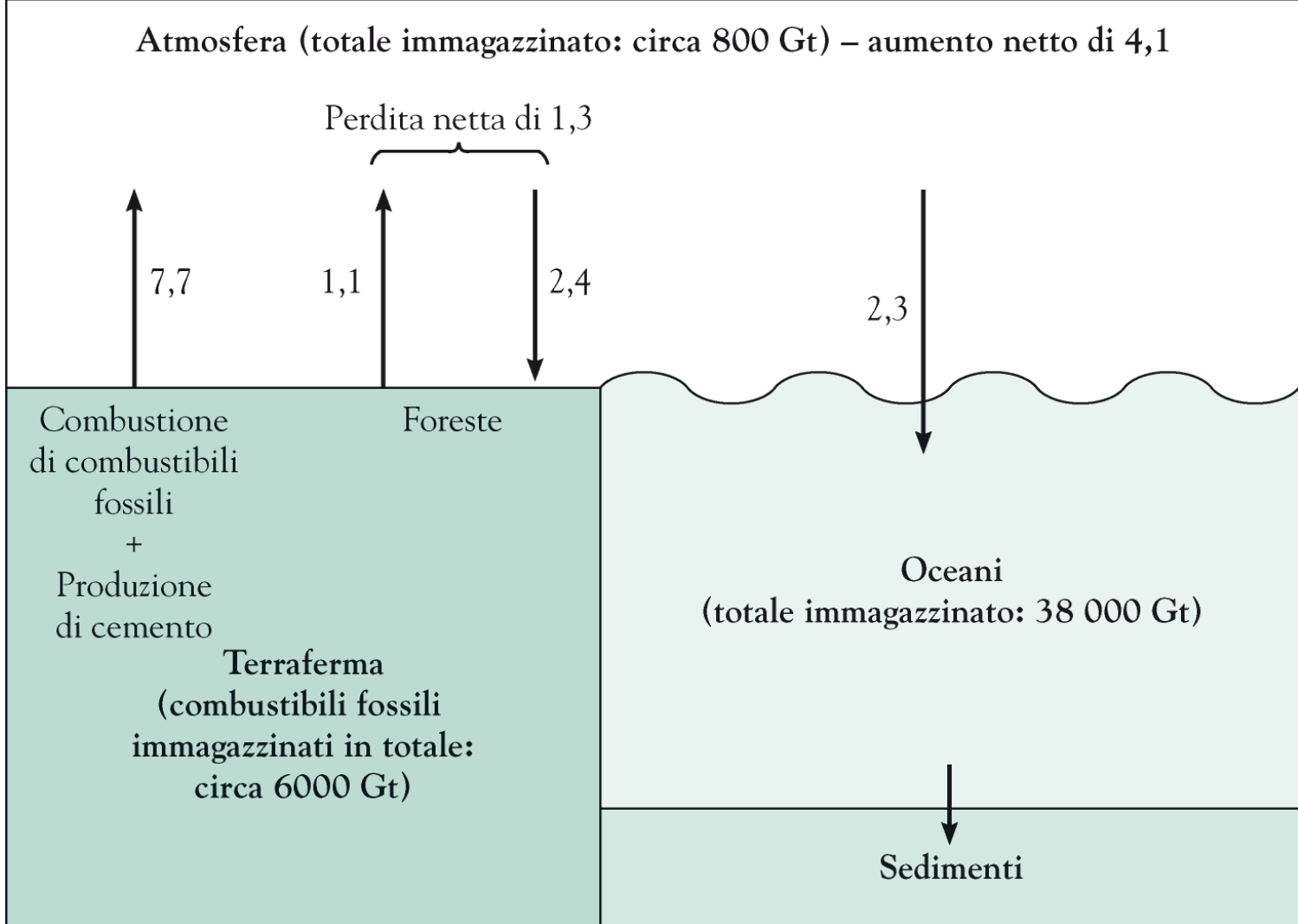
Studi precedenti e nuovi dati

Effetti ondata di calore

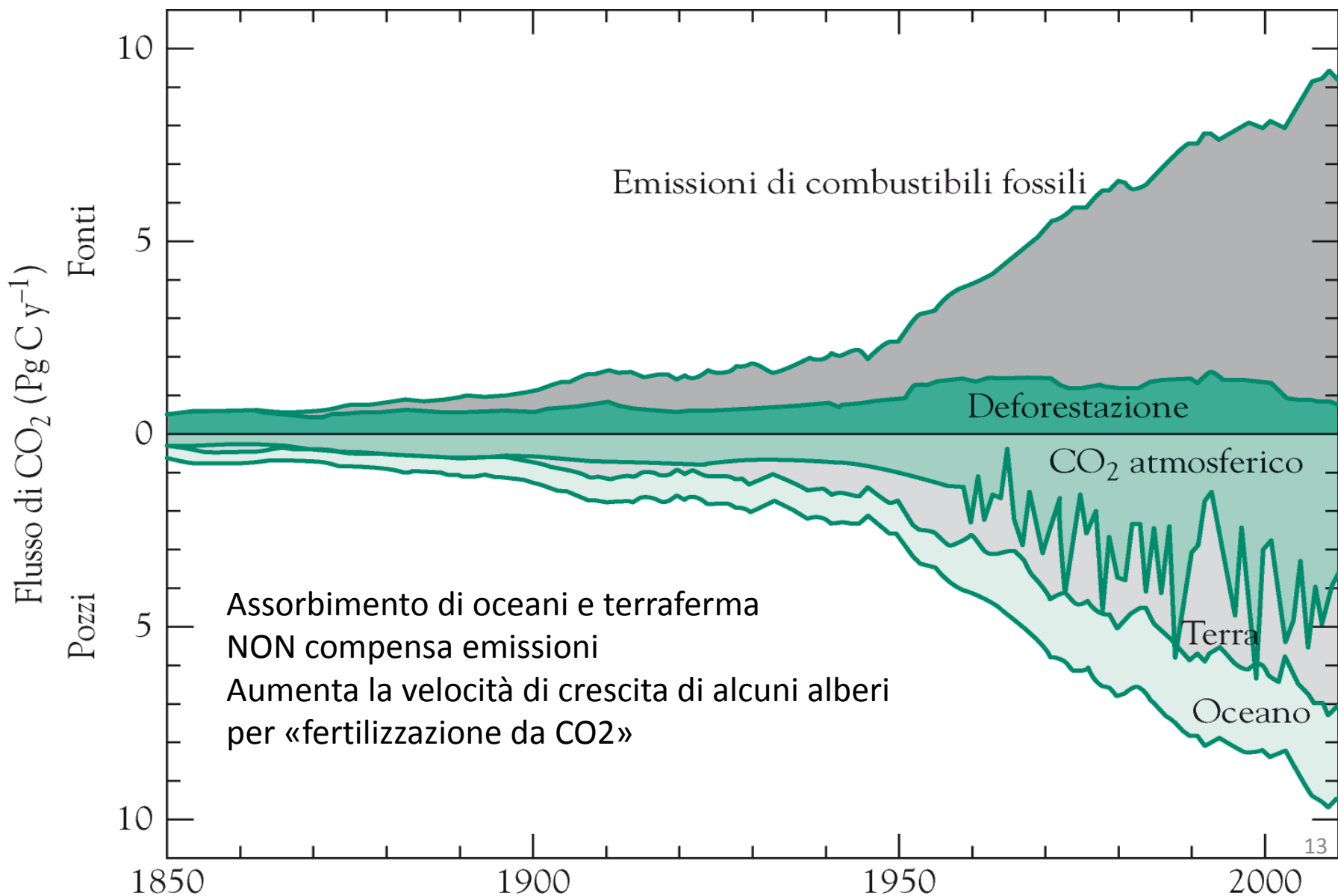
<https://mediterraneanmonitoring.wordpress.com/2015/08/12/the-legacy-of-the-mega-heatwave/>

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...)

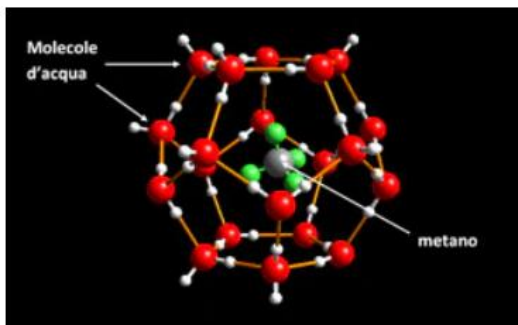
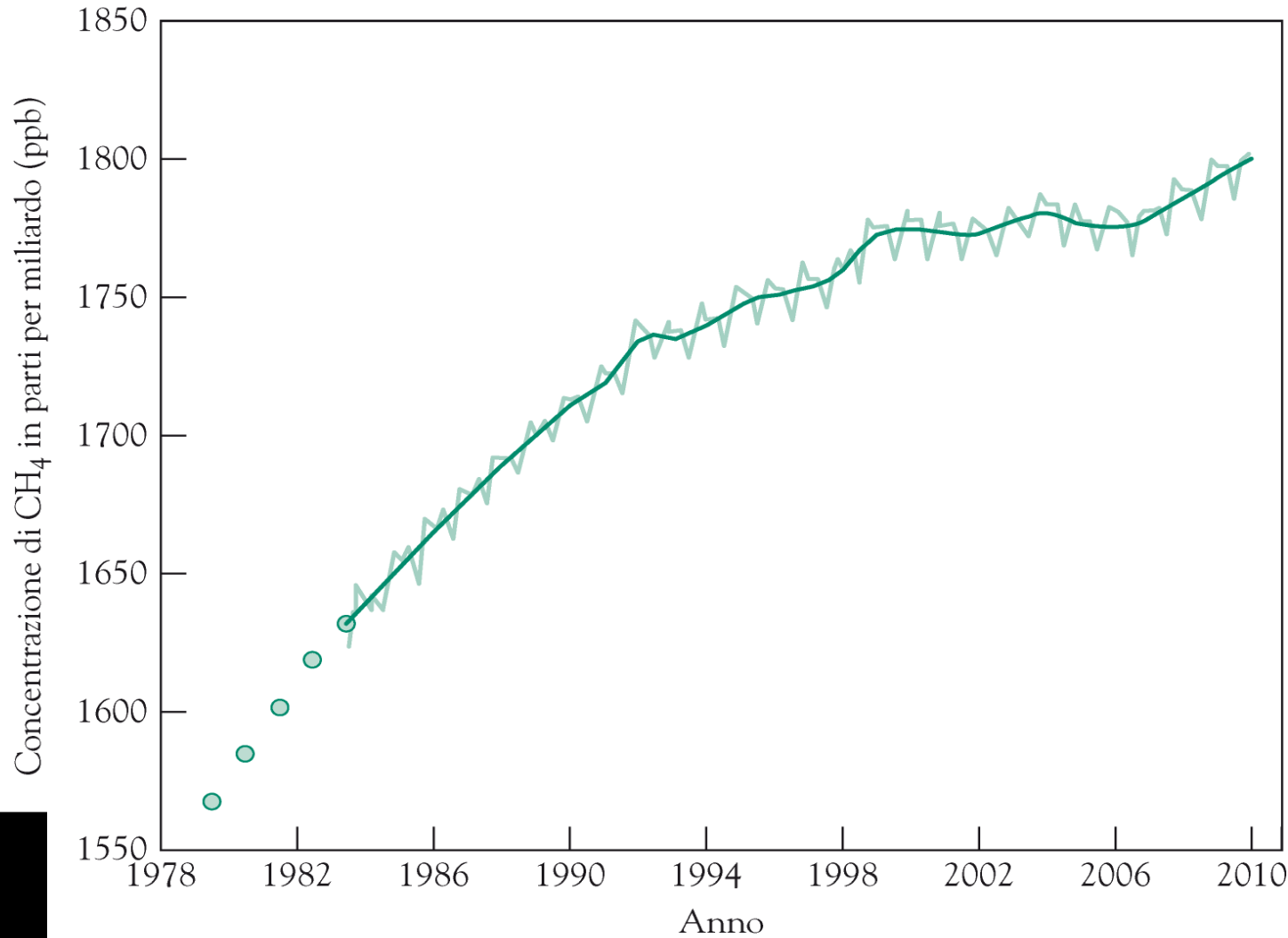
Metano assorbe nella parte inferiore alla regione finestra; tempo di vita in atmosfera un decennio (CO_2 secoli). Pozzo principale è reazione con radicale OH e formazione $\text{CH}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} \rightarrow \text{CO}_2$; altri pozzi reazioni con terreno e passaggio in stratosfera.

70% CH_4 antropico

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

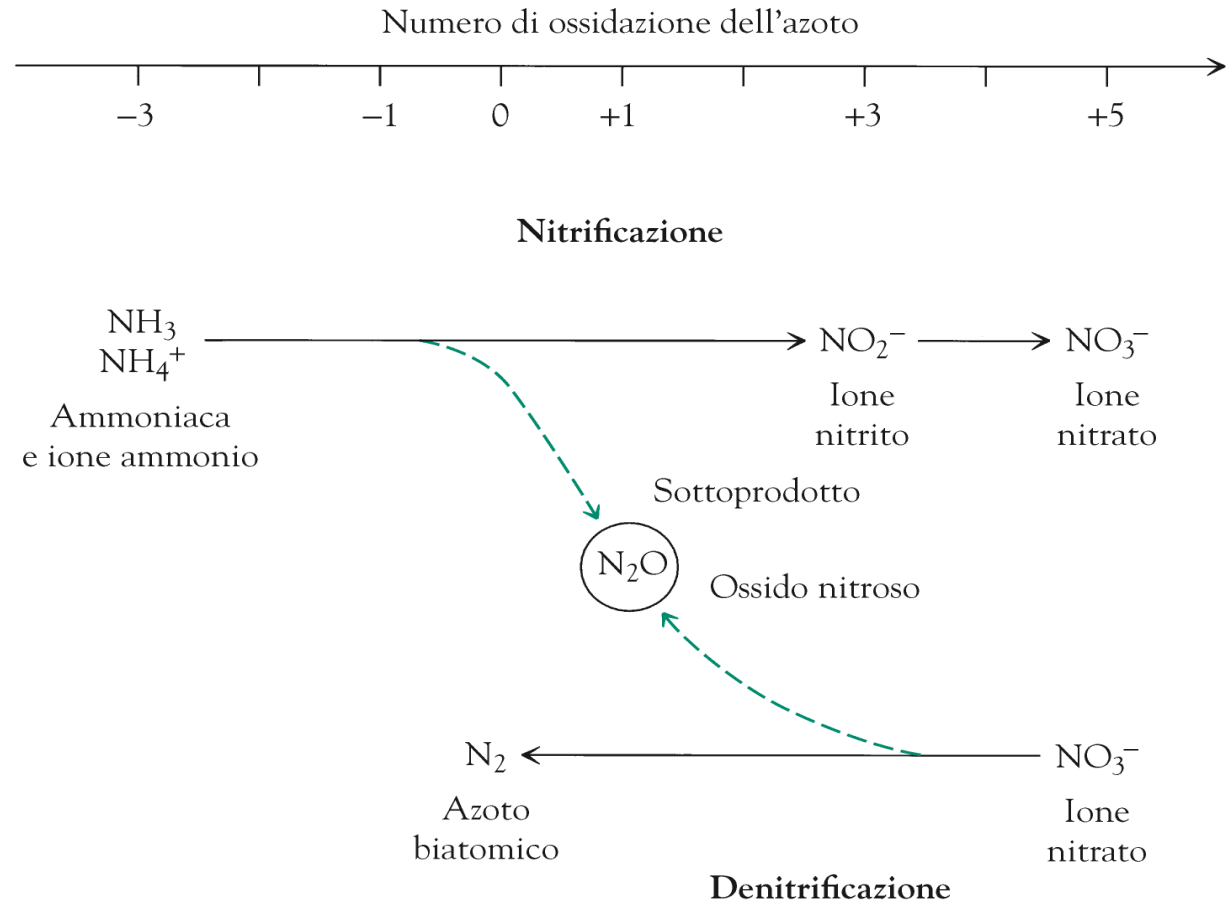
In futuro potrebbe aumentare:

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);

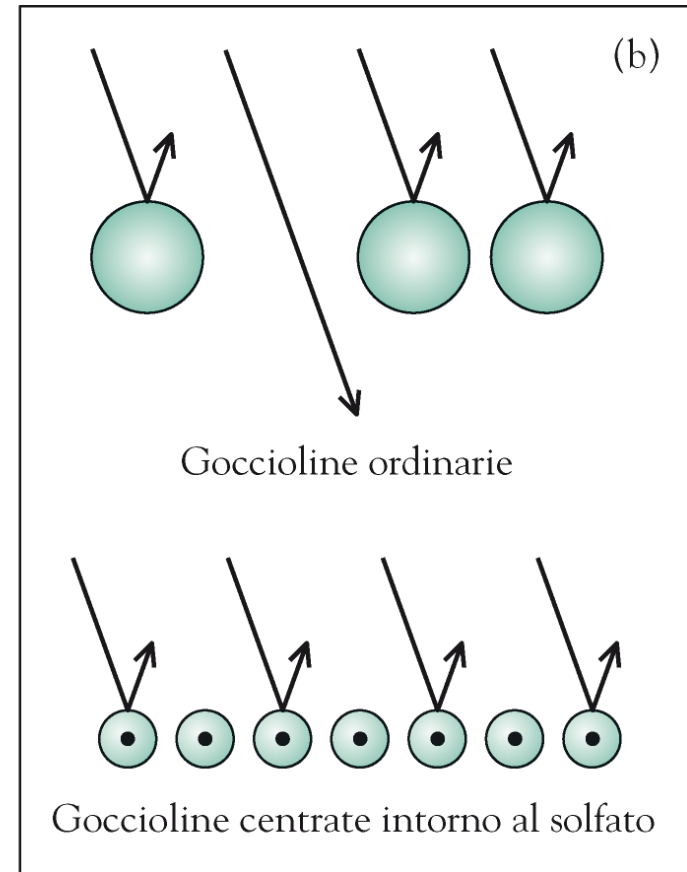
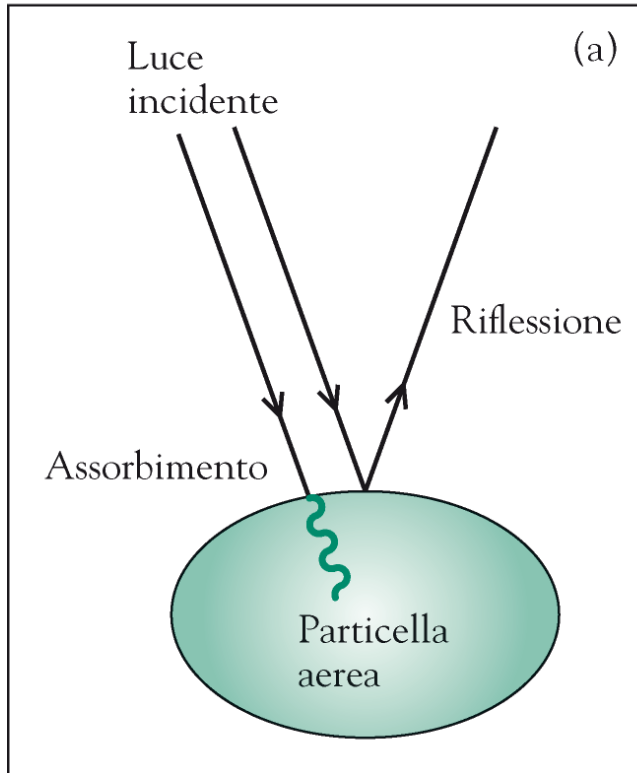
Non esistono pozzi per N₂O in troposfera (finisce in stratosfera (N₂ + O))



CFC e SF₆ lunghi tempi di residenza; O₃

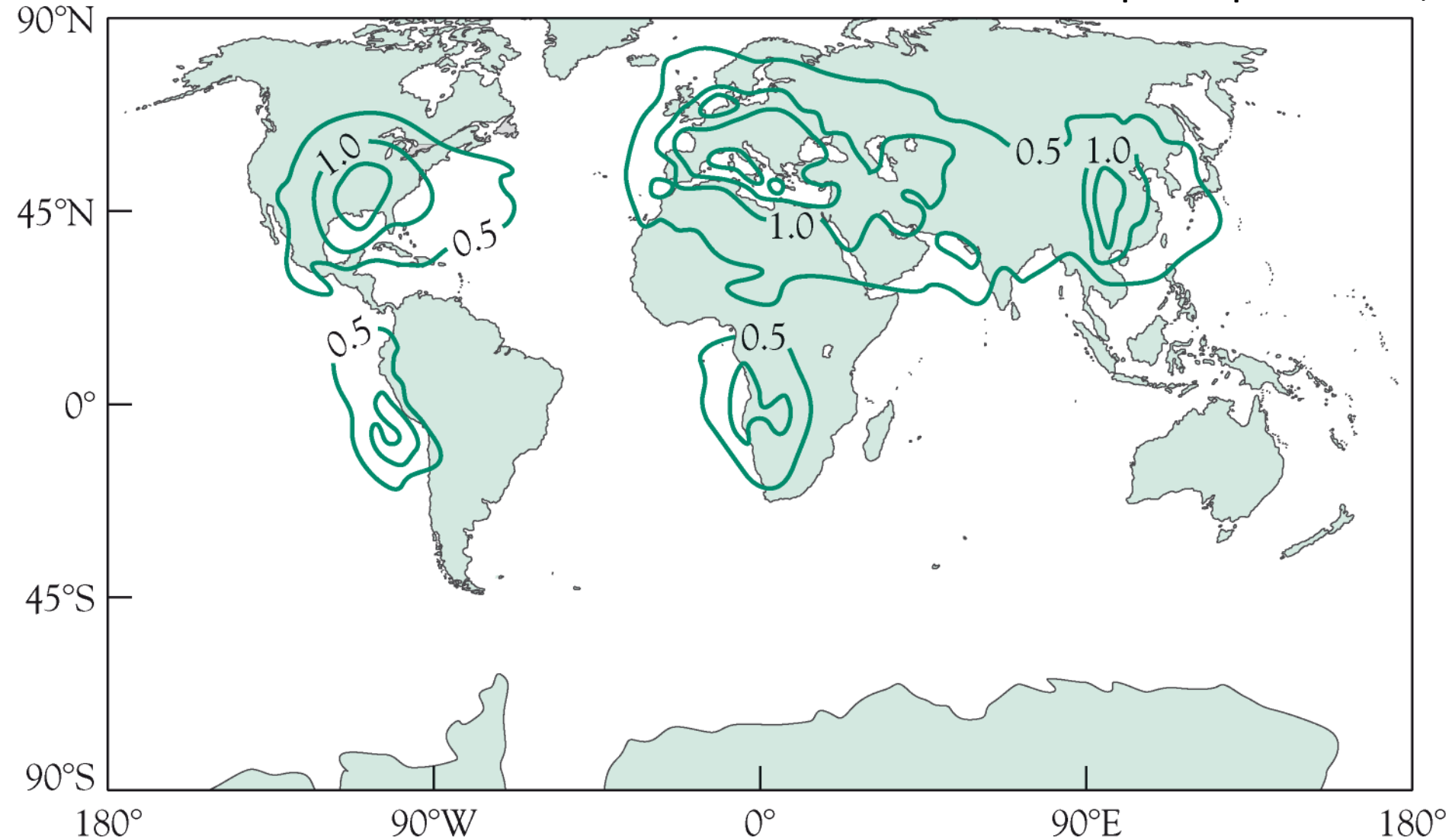
AEROSOL - particelle possono riflettere luce verso lo spazio (compensando parzialmente il riscaldamento) ; deviazione di radiazione da parte di una particella è nota come diffusione (scattering)

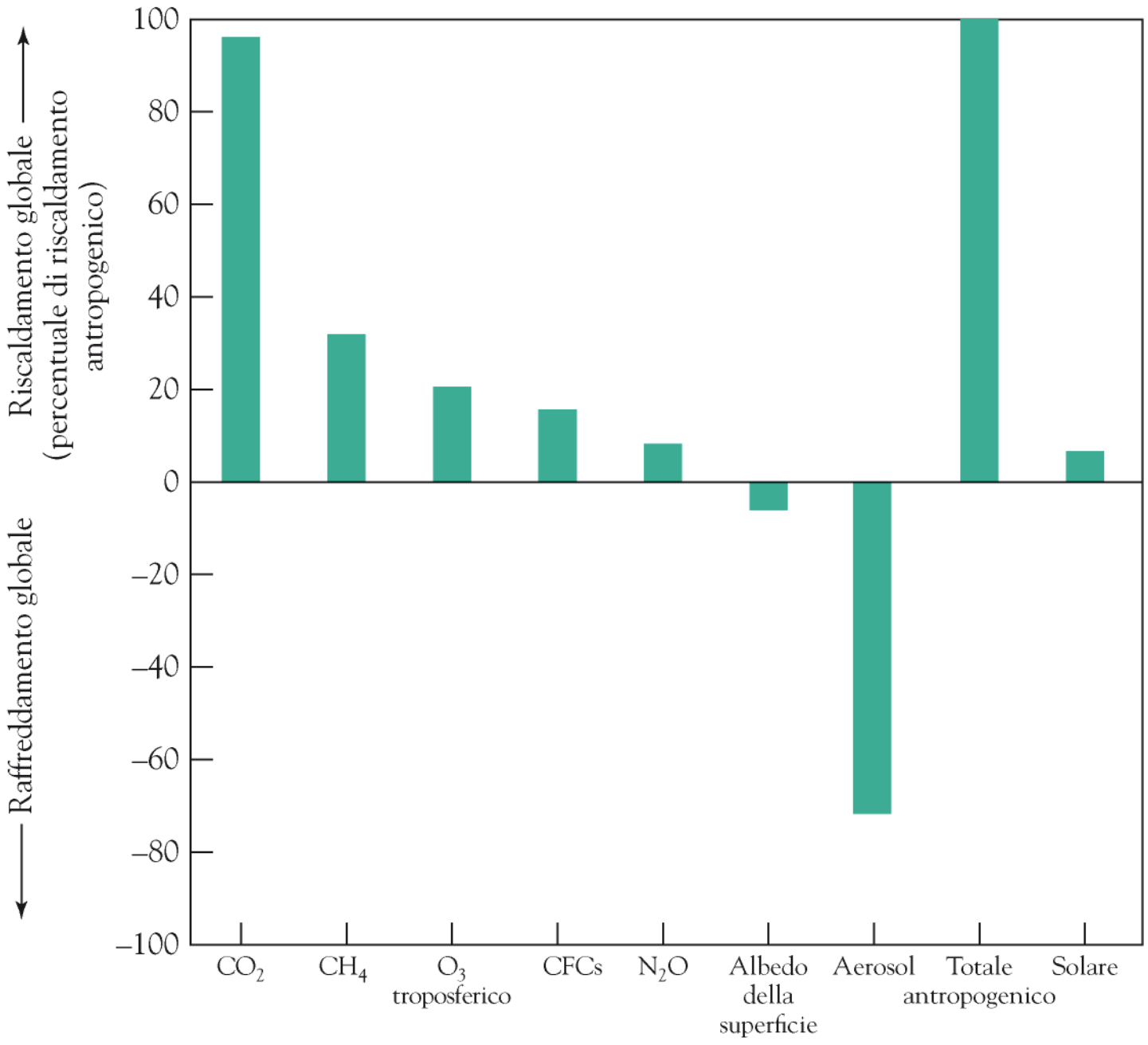
Frazione di luce solare riflessa è detta *albedo*

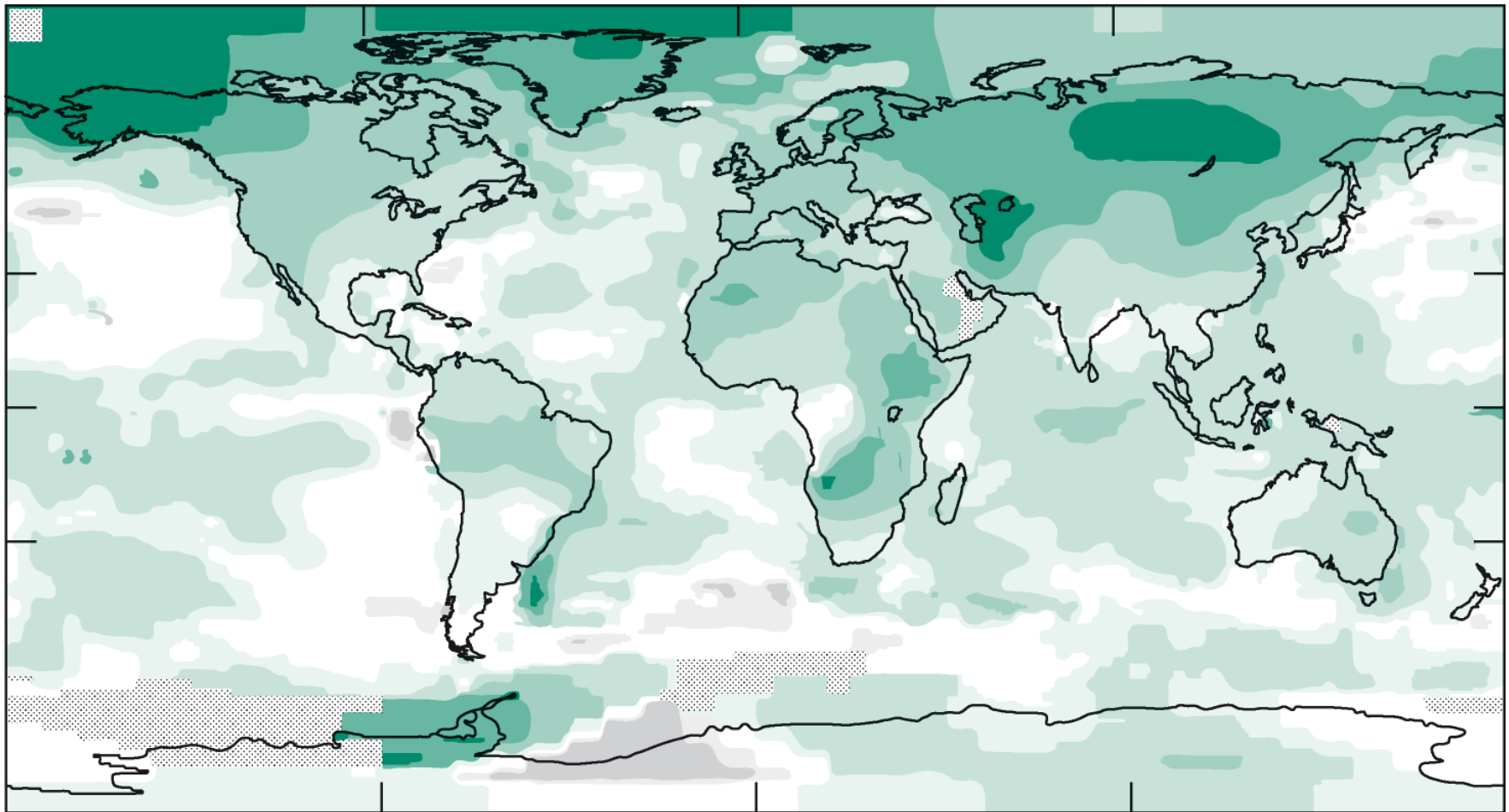


Energia assorbita viene trasformata in calore / riscaldamento dell'aria vicina alla particella
Fuliggine (*soot*) nerofumo assorbe; Aerosol di solfato puri non assorbono. Solfato come nucleo per formazione di goccioline d'acqua dà contributo a incremento dell'albedo. *Wet scavenging*.
Emissioni di SO₂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



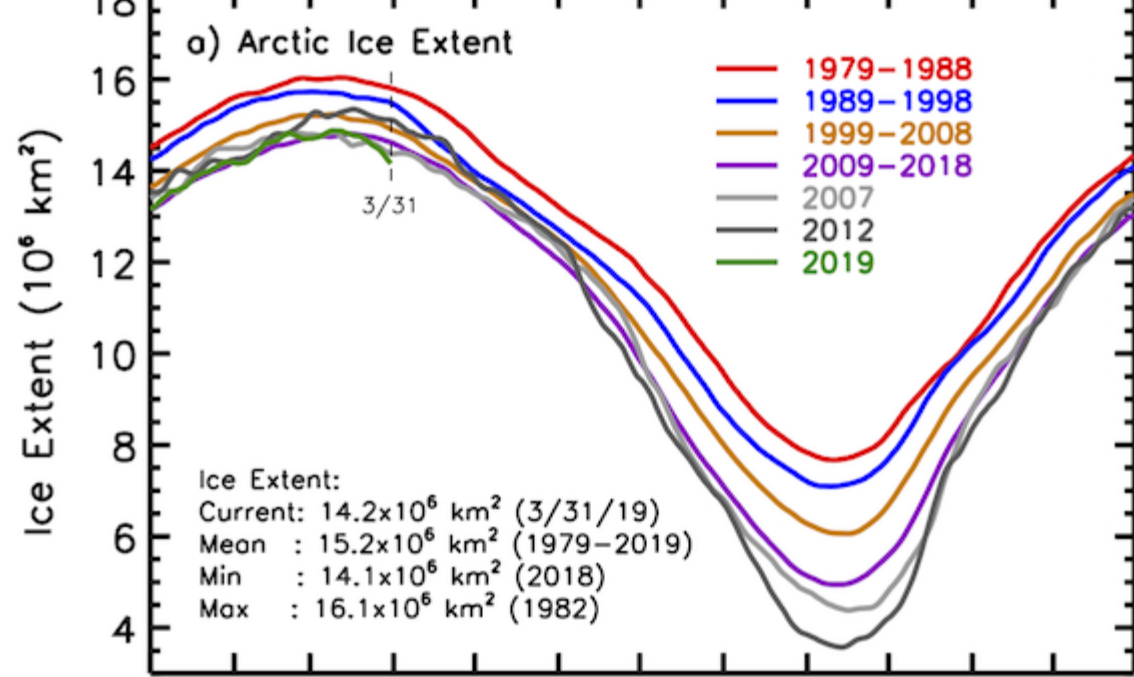




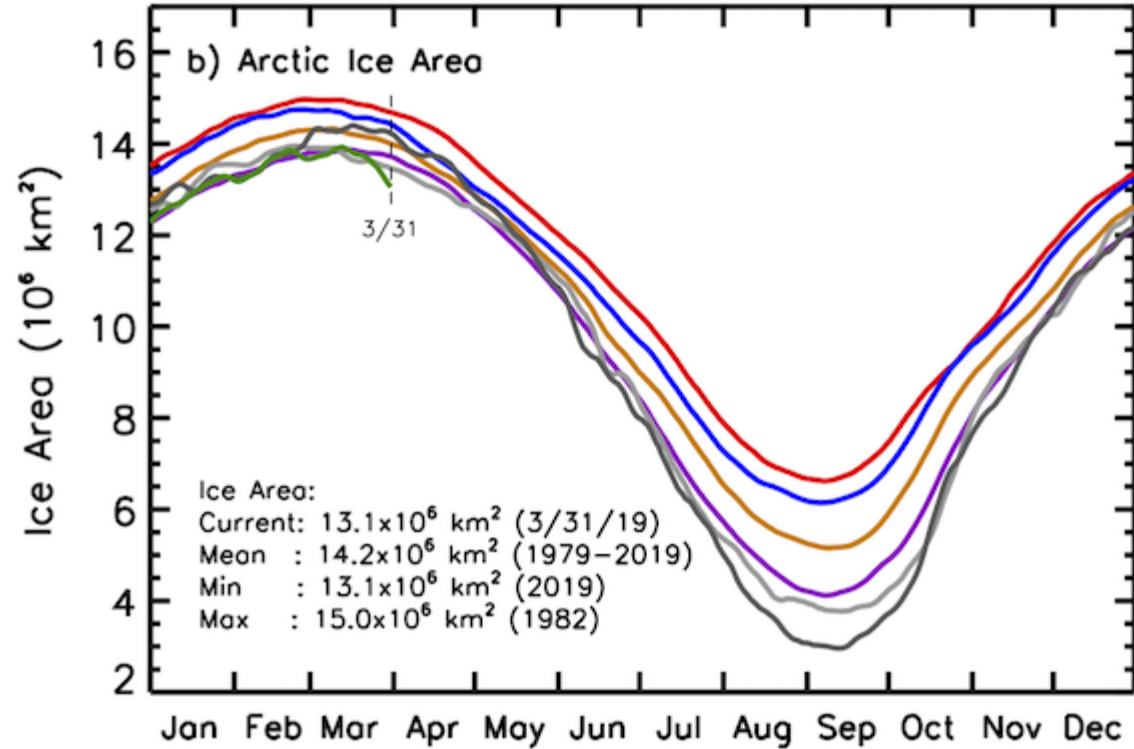
Cambiamento di temperatura (°C)

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



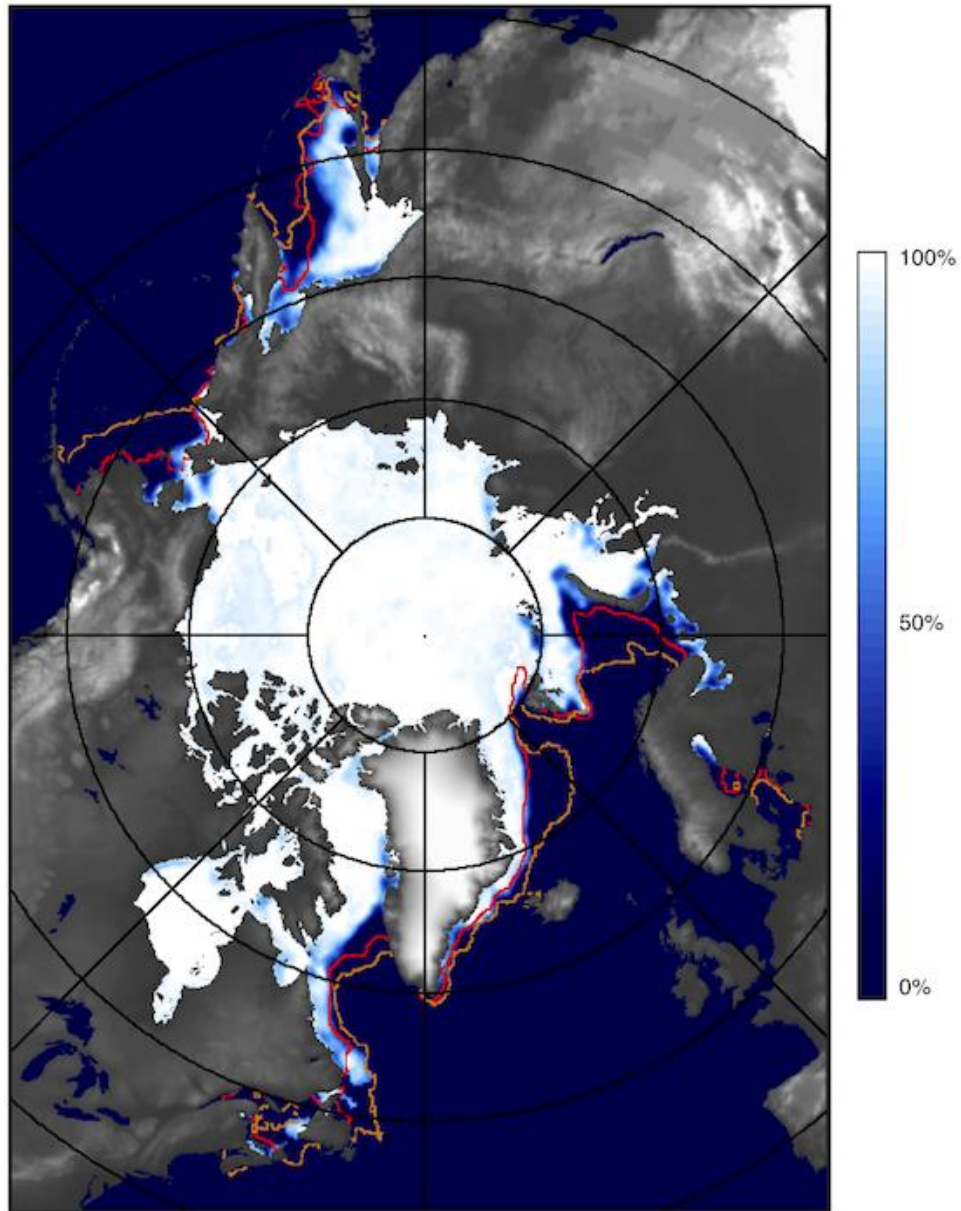
La regione dell'Artide riscaldata più di tutte (ghiaccio marino sta scomparendo; retroazione positiva (rinforzo) del riscaldamento poiché ghiaccio riflette luce solare meglio che acqua liquida)



<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 ($16.1 \cdot 10^6 \text{ km}^2$)

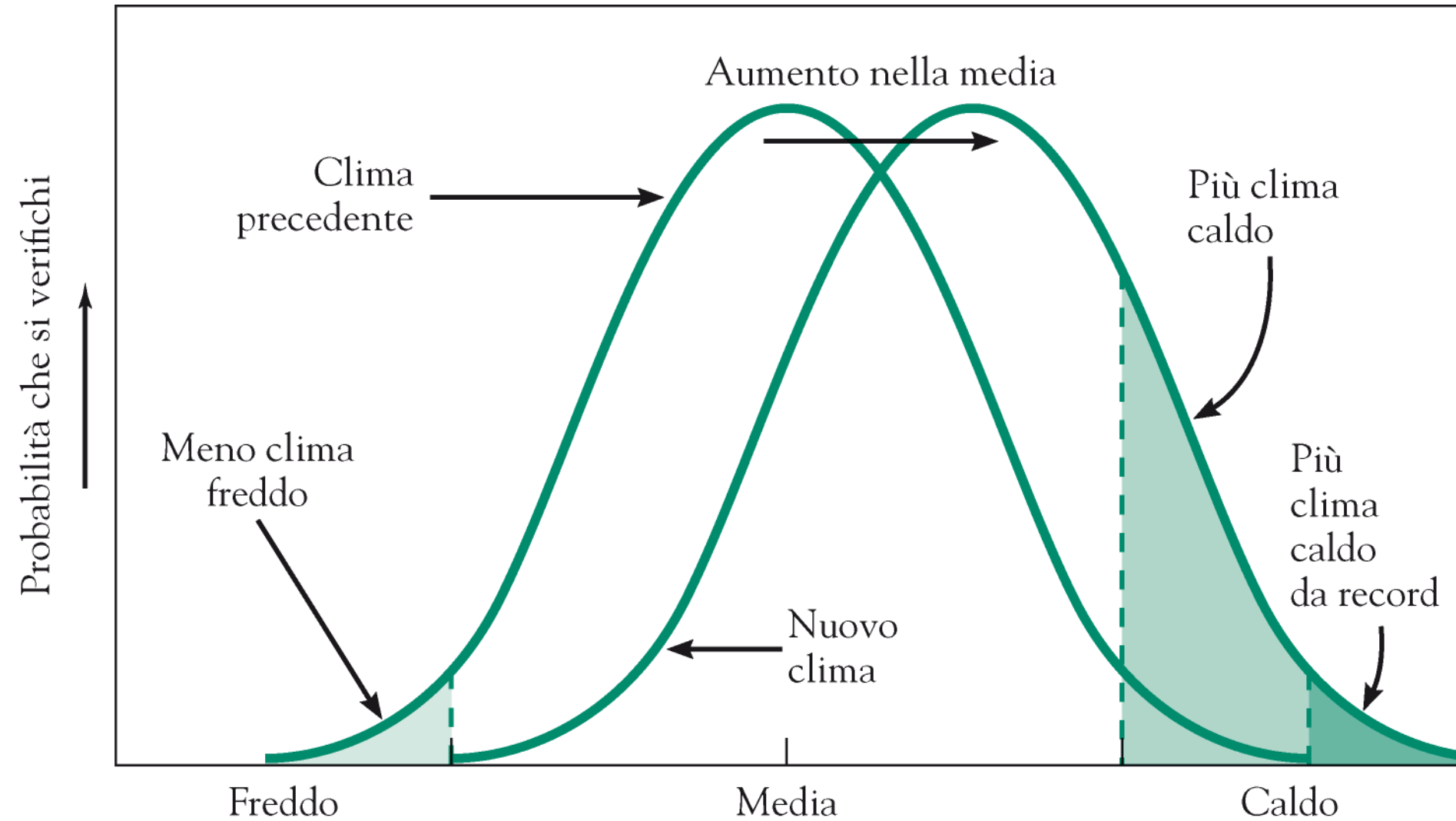
Segni del riscaldamento globale

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

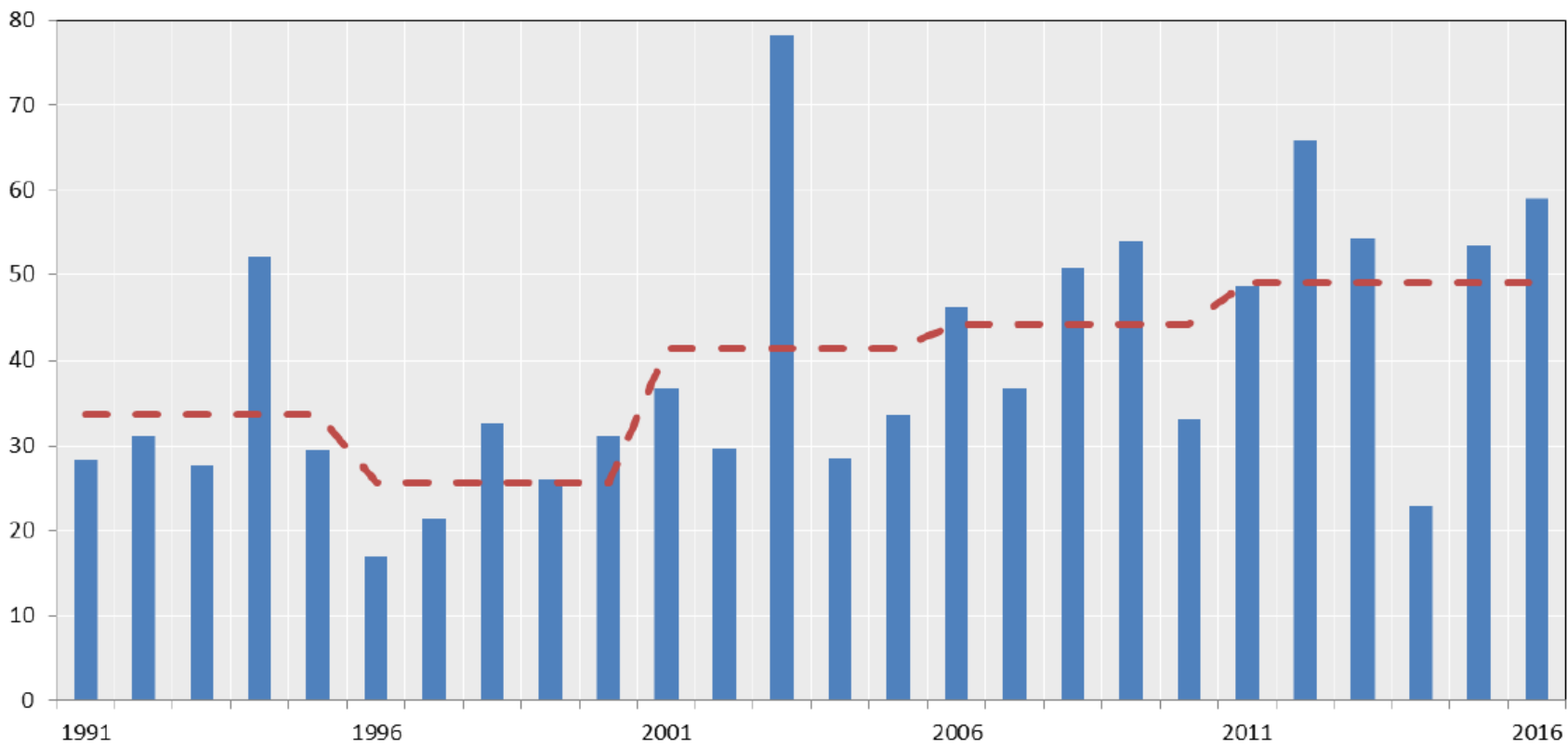


Localmente

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

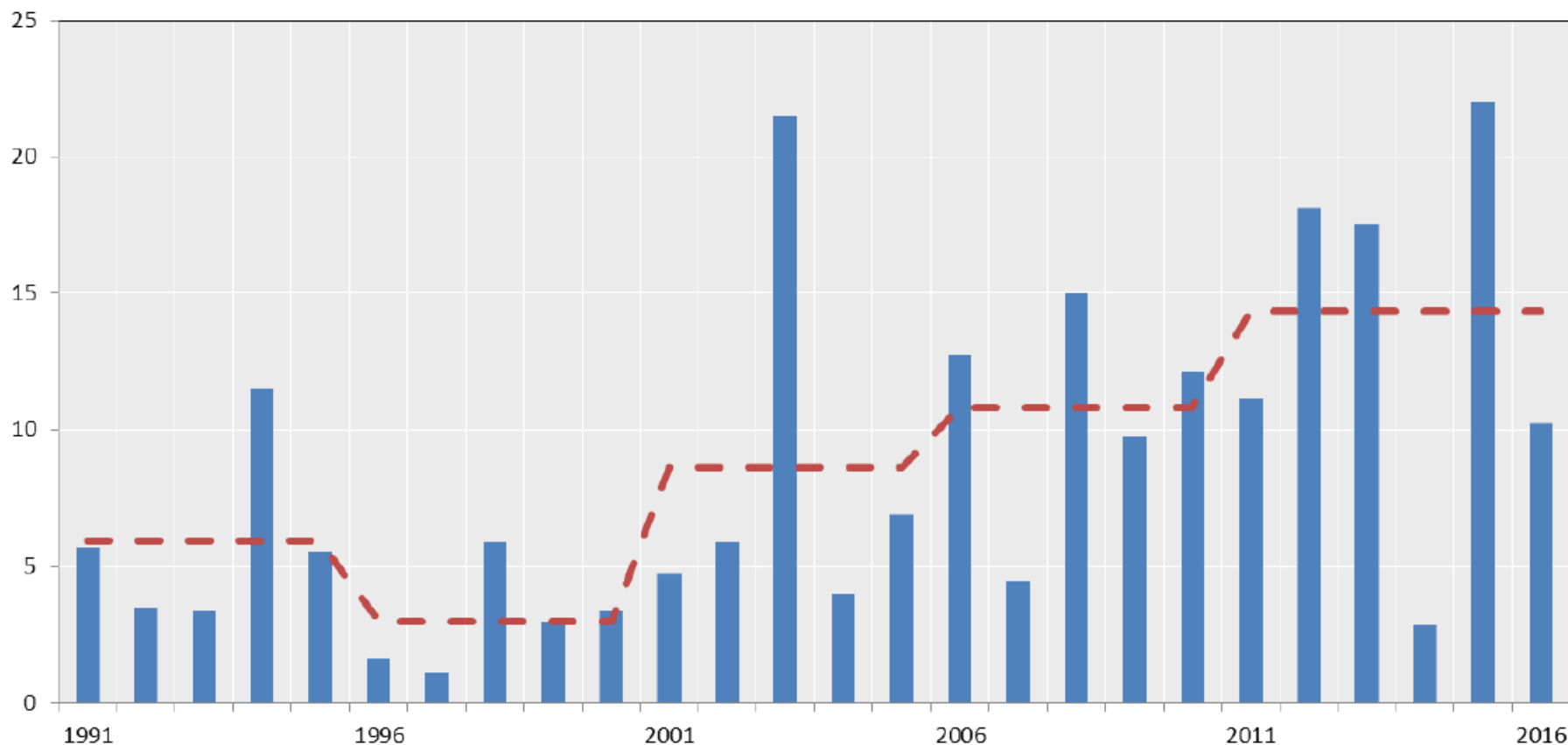
aumentano le T MASSIME estive

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.

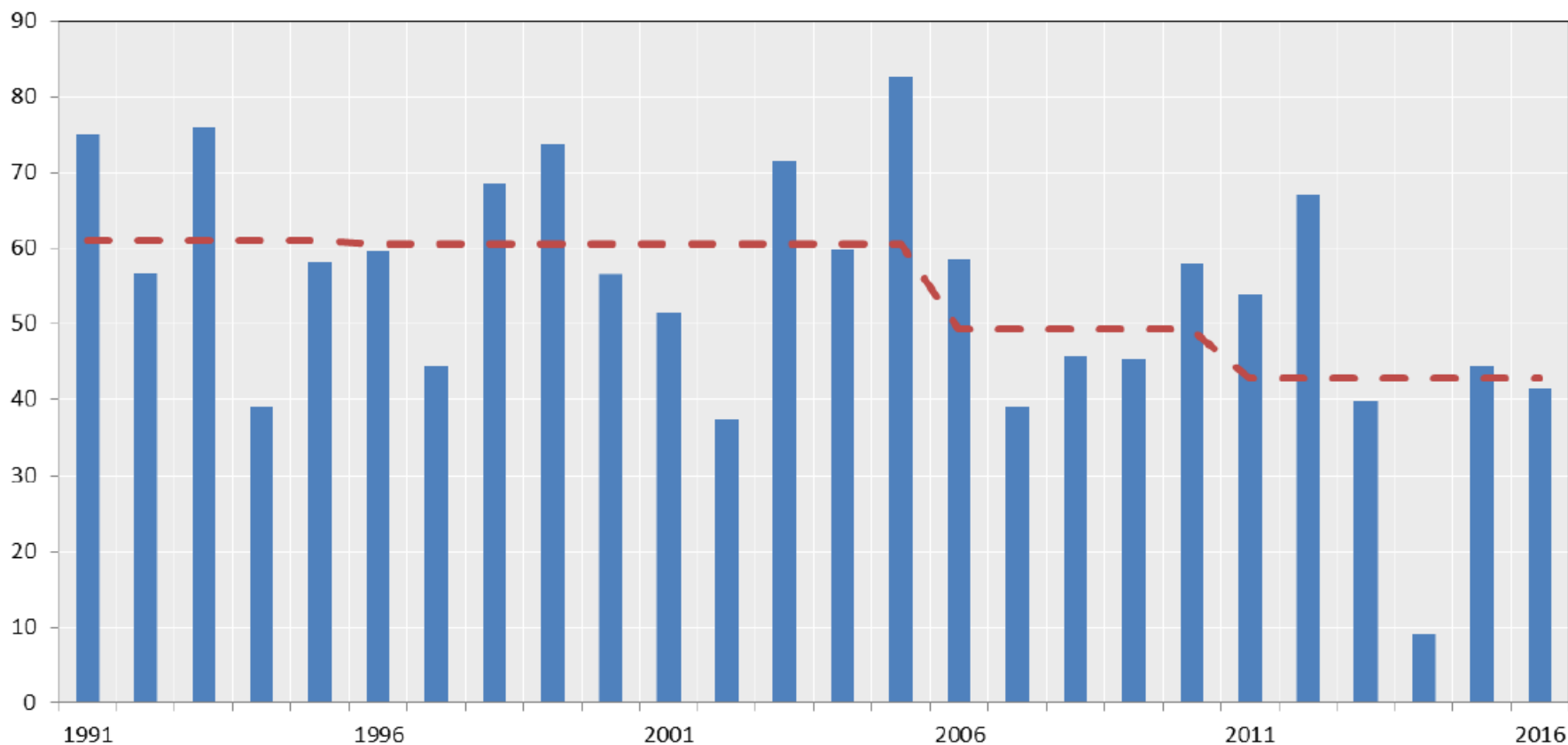
Numero di notti calde (T min maggiore di 20 °C)



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).



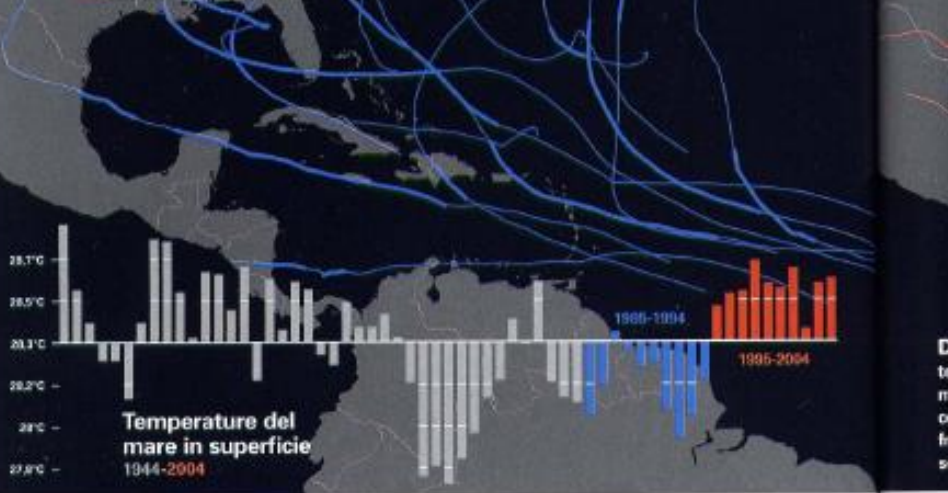
Ruolo
rilevante
dell'aerosol
antropogenico

<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



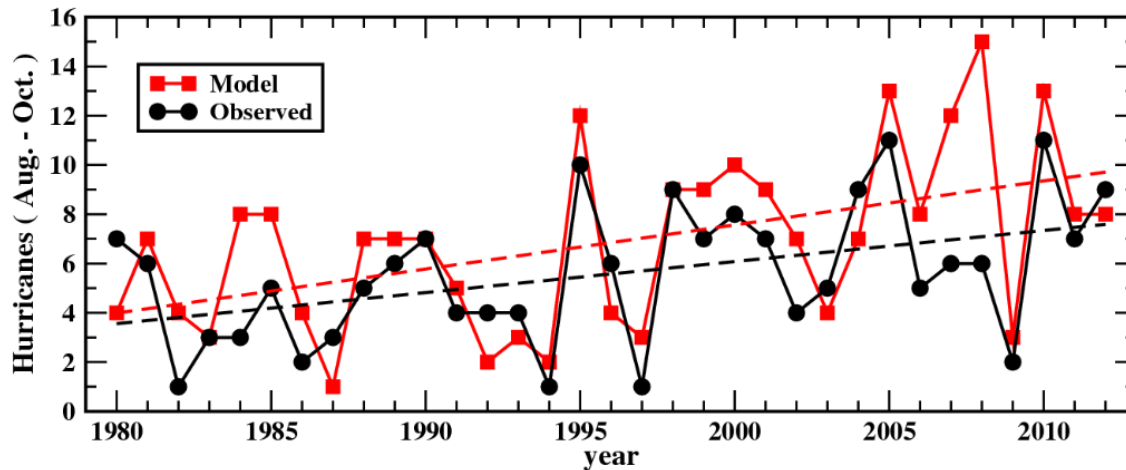
Febbraio 2019:

<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)



(1995-2004)

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 volte meno frequenti, in cui le temperature di superficie sono salite da 0,5 a 1 grado Celsius. I cambiamenti nelle correnti oceaniche che fanno circolare acqua a caldo e acqua a freddo nei 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:

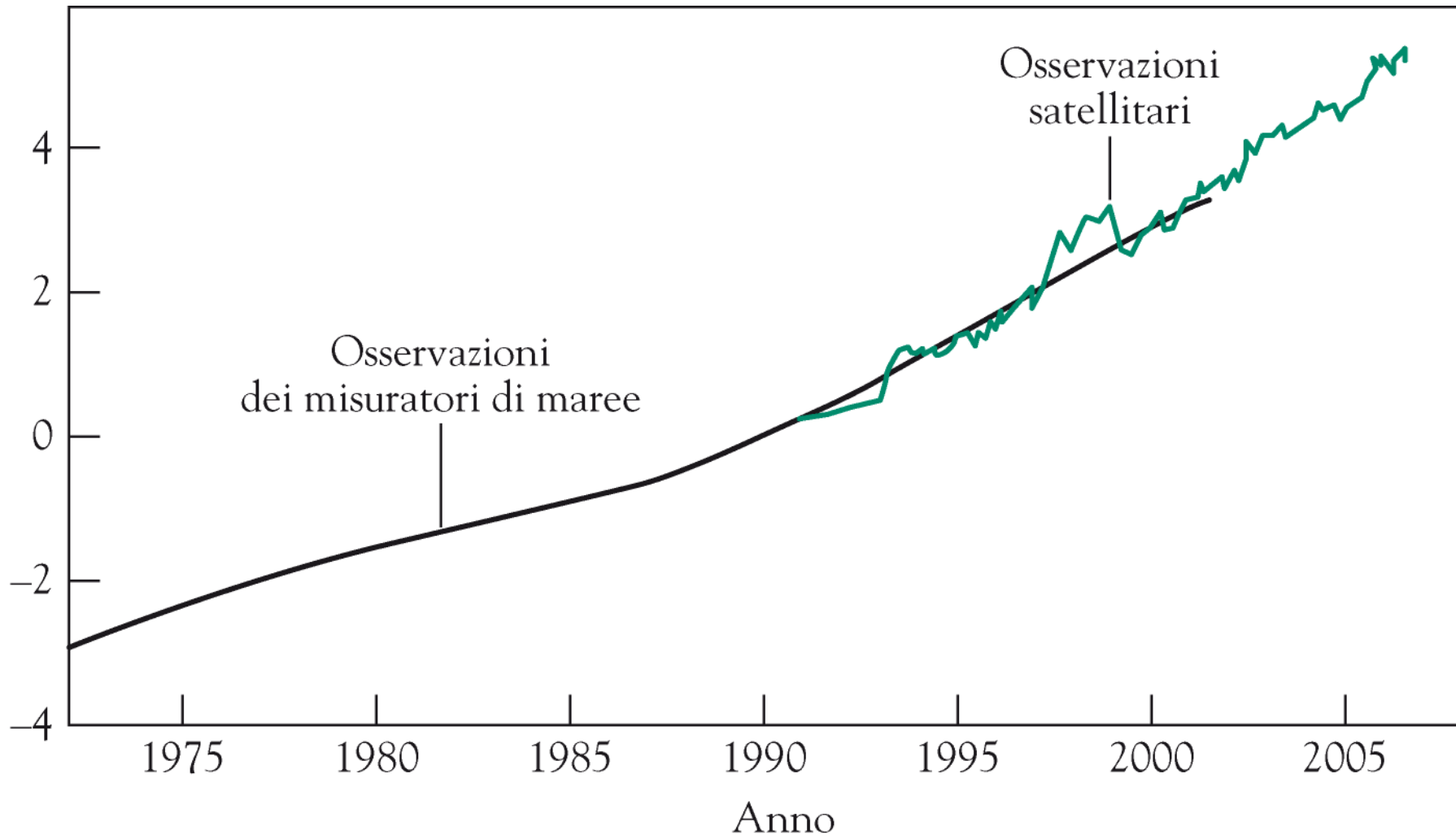
Sea level rise – which very likely has a substantial human contribution to the global mean observed rise according to [IPCC AR5](#) – should be causing higher coastal inundation levels for tropical cyclones that do occur, all else assumed equal.

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

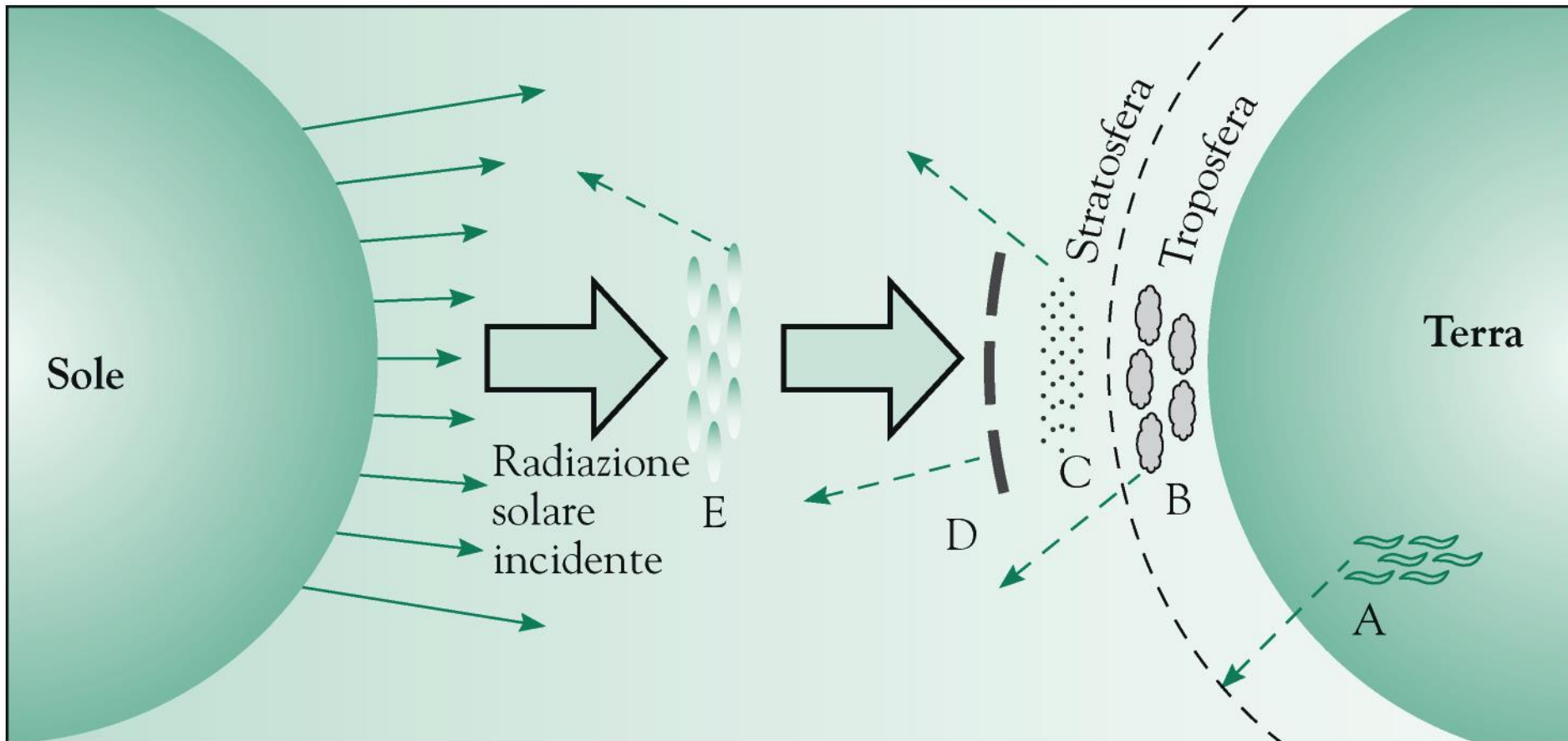
Riduzione dei ghiacciai montani



Risposte alle evidenze di riscaldamento

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

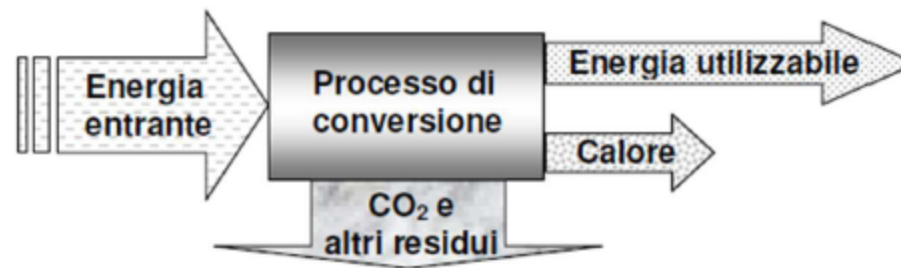
<https://www.nature.com/articles/d41586-018-07533-4>

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

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

USO DELL'ENERGIA, COMBUSTIBILI FOSSILI, EMISSIONI DI CO₂ E CAMBIAMENTO CLIMATICO GLOBALE

L'uso dell'energia comprende la trasformazione dell'energia da una forma all'altra, fino alla sua degradazione in calore, prodotto di scarto senza problema ambientale globale. Tuttavia produzione o consumo di energia presentano alcuni effetti collaterali seri per l'ambiente (es. clima).



Una **fonte di energia** viene definita **primaria** quando è presente in natura e quindi non deriva dalla trasformazione da parte dell'uomo di nessuna altra forma di energia. Rientrano in questa categoria i combustibili direttamente utilizzabili (petrolio grezzo, gas naturale, carbone), l'energia nucleare, l'energia del sole, del vento, dell'acqua e delle biomasse (**fonte di e. secondaria:** e.elettrica, benzina, GPL, idrogeno)

rendimento termodinamico è il rapporto tra il compiuto e l'energia fornita al sistema

Criteri di valutazione delle fonti energetiche

Oltre al rendimento energetico, esistono naturalmente una serie di altri criteri molto rilevanti che concorrono a caratterizzare le fonti energetiche: es.

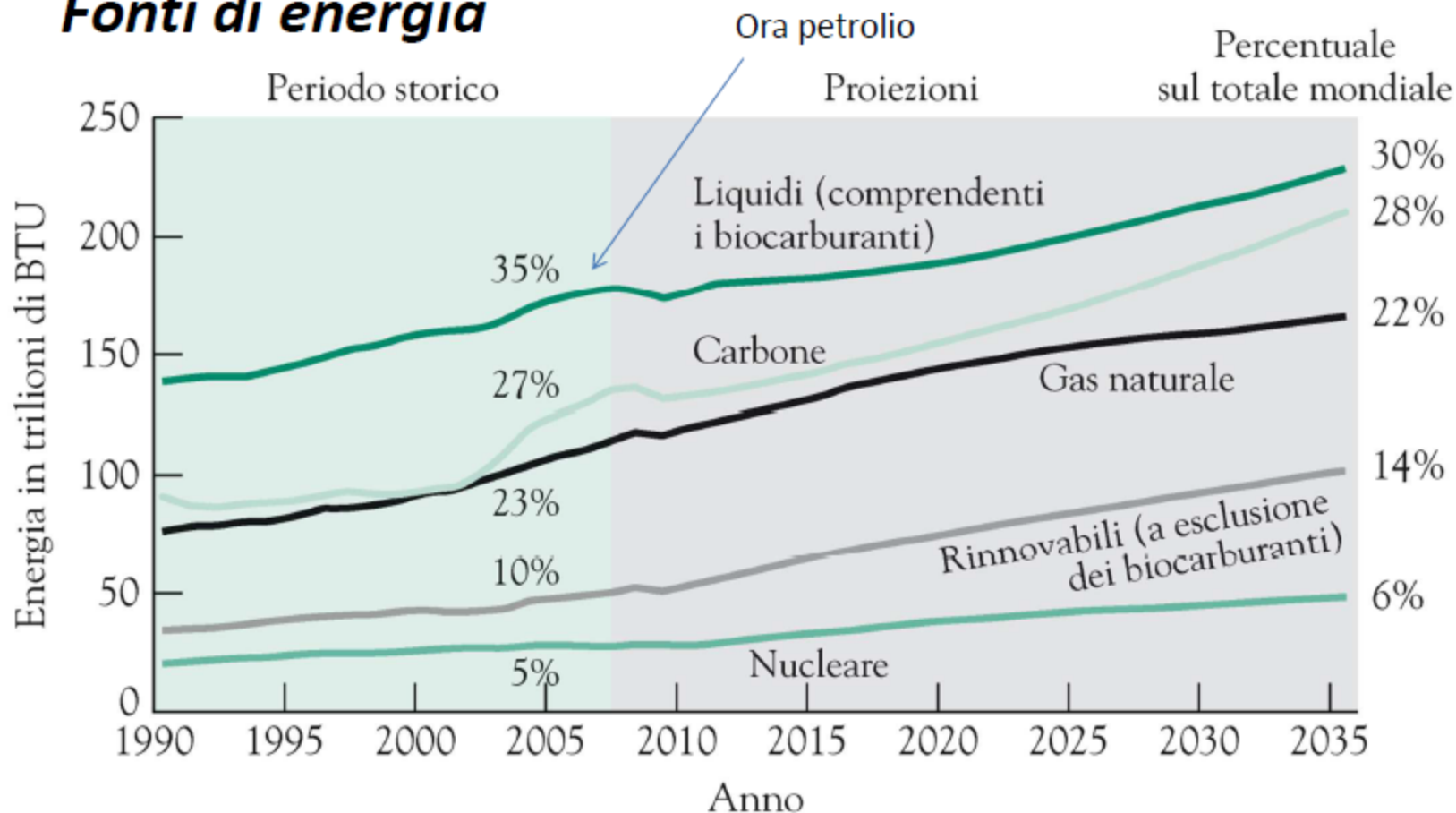
1. **la continuità della fornitura,**
2. **la facilità di trasporto,**
3. **la possibilità di stoccaggio,**
4. **la densità energetica e la densità di potenza,**
5. **l'impatto ambientale e,**
6. **il prezzo di mercato delle risorse energetiche.**

Densità energetica è la quantità di energia immagazinata in un'unità (massa, volume, etc) di combustibile

Il prezzo è ovviamente influenzato dalle dinamiche fra domanda e offerta e risente fortemente

- della situazione politico-sociale contingente (come nel caso delle crisi petrolifere degli anni settanta) e
- delle previsioni, aspettative e speculazioni (anche di natura puramente finanziarie) sulla disponibilità futura delle risorse

Fonti di energia



Il British thermal unit (BTU o Btu) è un'unità di misura dell'energia, usata negli Stati Uniti e nel Regno Unito (dove è generalmente usata nei sistemi di riscaldamento). La corrispondente unità di misura utilizzata nel Sistema Internazionale è, invece, il joule (J). Una BTU è definita dalla quantità di calore richiesta per alzare la temperatura di 1 libbra (ovvero 453,59237 grammi) di acqua da 39 °F a 40 °F (3.8 °C a 4.4 °C).