Proprietà dei materiali ed “Effetto Serra”

Progetto Lauree Scientifiche 2017

Rolando Rizzi

Dipartimento di Fisica ed Astronomia

Università di Bologna

Di che cosa parleremo oggi?

...di scienza, ed in particolare di meteorologia e climatologia

...di alcuni fenomeni che stanno interessando il nostro pianeta

- **diminuzione del volume di ghiaccio nei ghiacciai di media altezza**
- **diminuzione dell'estensione e del volume dei ghiacci della calotta artica**

...di meccanismi di controreazione (che rendono un sistema complesso) e vi mostrerò degli esempi

...di ciò che bisogna conoscere per cominciare a comprendere il cosiddetto “effetto serra”

A che serve la scienza?

Quando la scienza si interessa ad un fenomeno osservato

- **Cerca di descriverne le caratteristiche essenziali**
- **Cerca di capire le forze fondamentali che lo generano**
- **Genera un modello quantitativo operando semplificazioni**
- **Usa il modello per prevedere l'evoluzione del fenomeno**
- **Confronta tale previsione con l'evoluzione reale**
- **Migliora il modello e le previsioni che esso genera**

La scienza quindi non cerca la verità.

Fisica dell'atmosfera, meteorologia, climatologia

La fisica dell'atmosfera studia

- **le leggi che regolano il moto del fluido (la dinamica),**
- **la termodinamica del fluido gassoso,**
- **i processi di scambio di energia (radiazione, conduzione, convezione) all'interno del fluido, con la superficie e con lo spazio**
- **Le proprietà del materiale in sospensione (goccioline di acqua, cristalli di ghiaccio, particolato atmosferico, ecc.)**
- **Proprietà elettriche e magnetiche, ecc…..**

Fisica dell'atmosfera, meteorologia, climatologia

L'osservazione dei fenomeni atmosferici ci mostra che ci sono tanti fenomeni: dai mulinelli d'aria nei nostri cortili, ai tornado, ai temporali, ai fronti (caldo e freddo), ai cicloni tropicali ed ai cicloni ed anticicloni delle medie latitudini, alle onde planetarie…

La meteorologia

- **studia alcuni "fenomeni atmosferici" che si organizzano e si sviluppano su distanze che vanno dalle decine alle migliaia di chilometri,**
- **cerca di prevederne l'evoluzione dinamica su scale temporali che vanno da poche ore ai dieci giorni.**

Fisica dell'atmosfera, meteorologia, climatologia

La climatologia è lo studio del comportamento di lungo periodo (maggiore di 10 anni) del sistema.

Tale comportamento non dipende solo dalle proprietà fisiche dei fluidi (oceani, atmosfera, ghiaccio), ma anche dalle proprietà chimiche e biologiche.

Stiamo imparando che il sistema climatico del nostro pianeta, la nostra casa comune, non è mai stato "stabile" ed è stato soggetto a cambiamenti anche notevoli nel corso della sua storia.

Stiamo imparando che esso è un sistema estremamente complesso, di cui conosciamo molti aspetti, ma in modo approssimato.

Nelle prossime pagine vedremo alcuni dati osservati.

E' stato osservato che l'estensione dei maggiori ghiacciai si sta riducendo.

Un ghiacciaio del Nepal

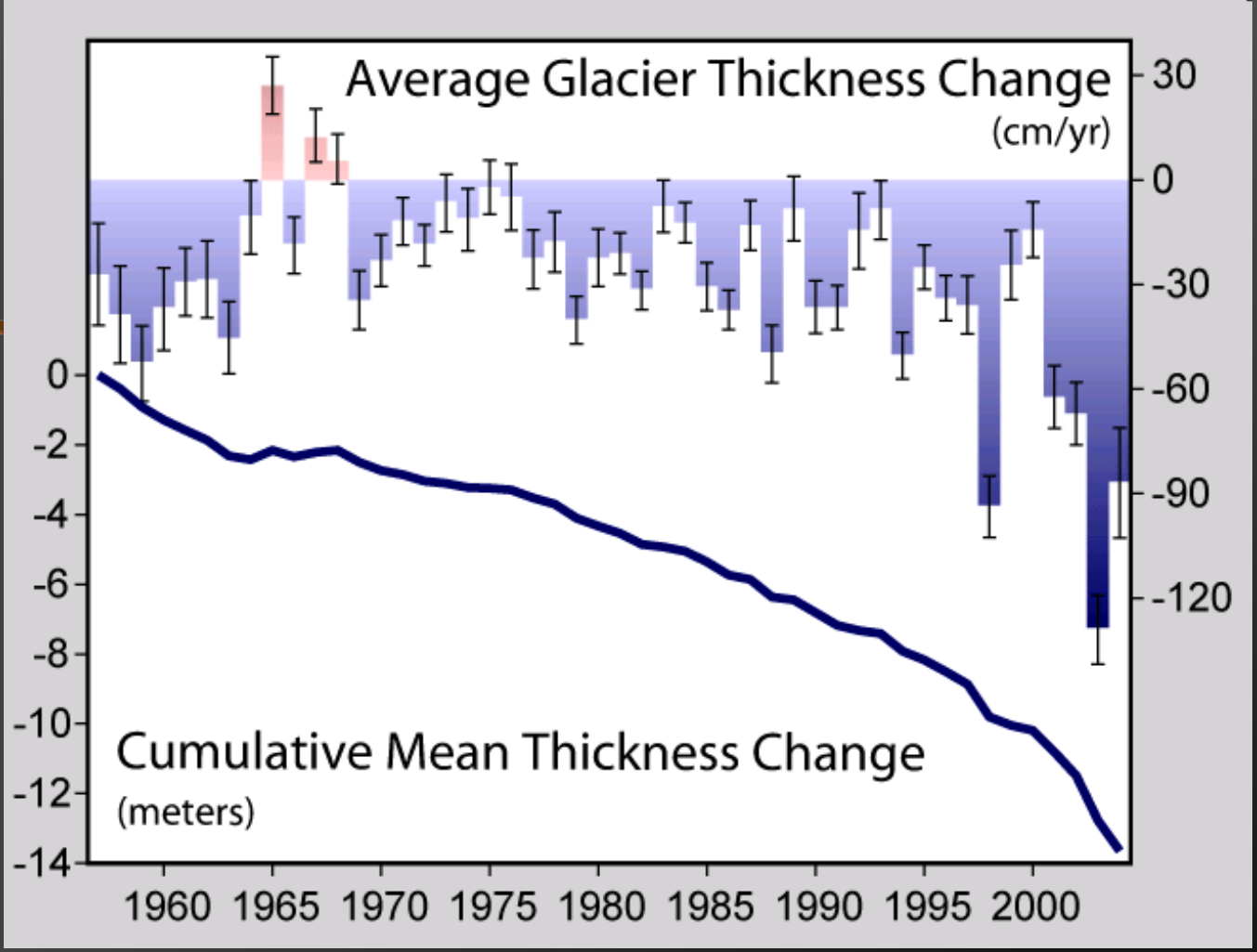
Columbia Glacier c. 1980

Columbia Glacier 2005

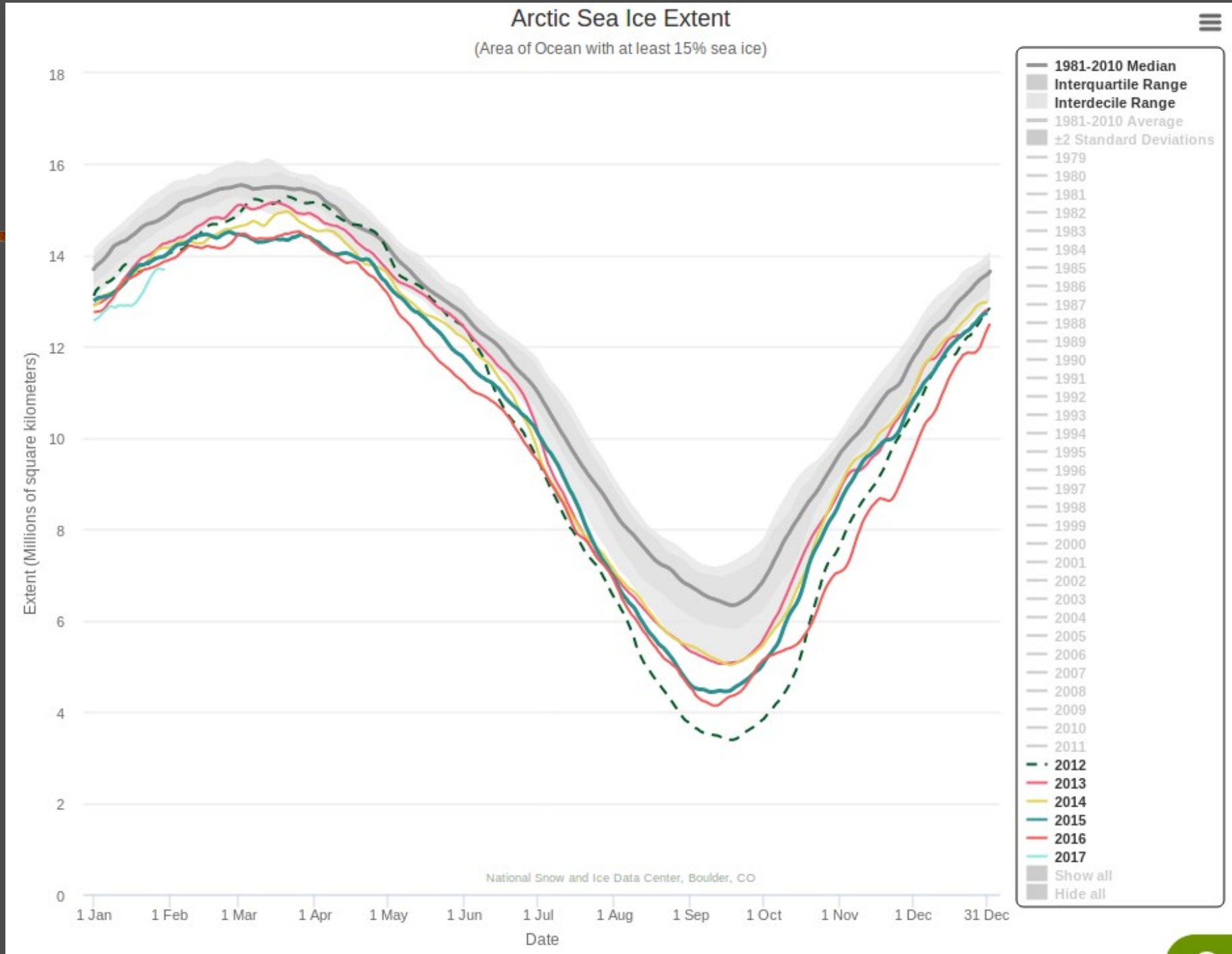
Arapaho Glacier 1898

Arapaho Glacier 2003

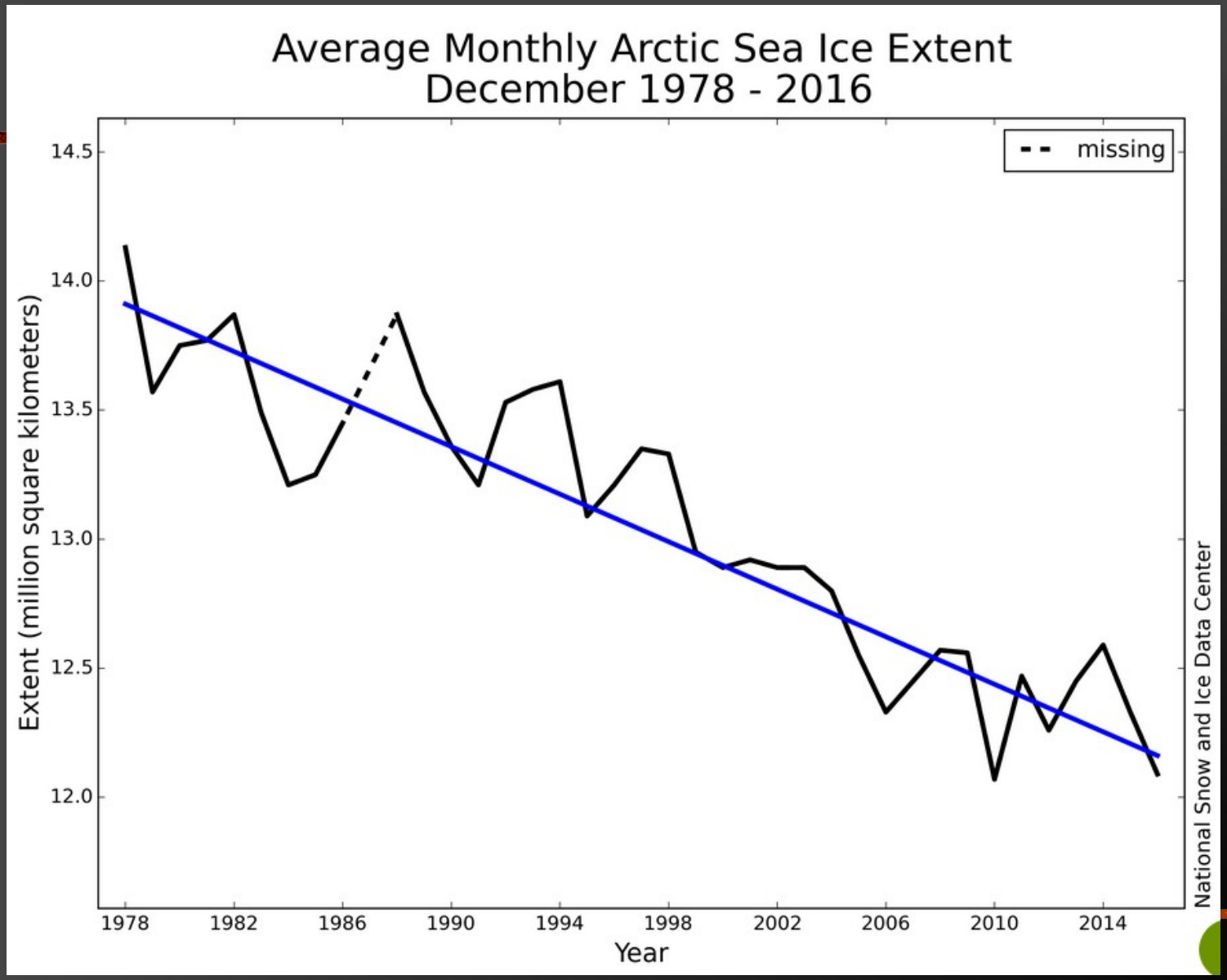
The Columbia Glacier flows down from the Chugach Mountains and into Prince William Sound about 40 miles west of Valdez, Alaska. Since the Columbia began retreating around 1980, the terminus has retreated approximately 15 kilometers. The Arapaho



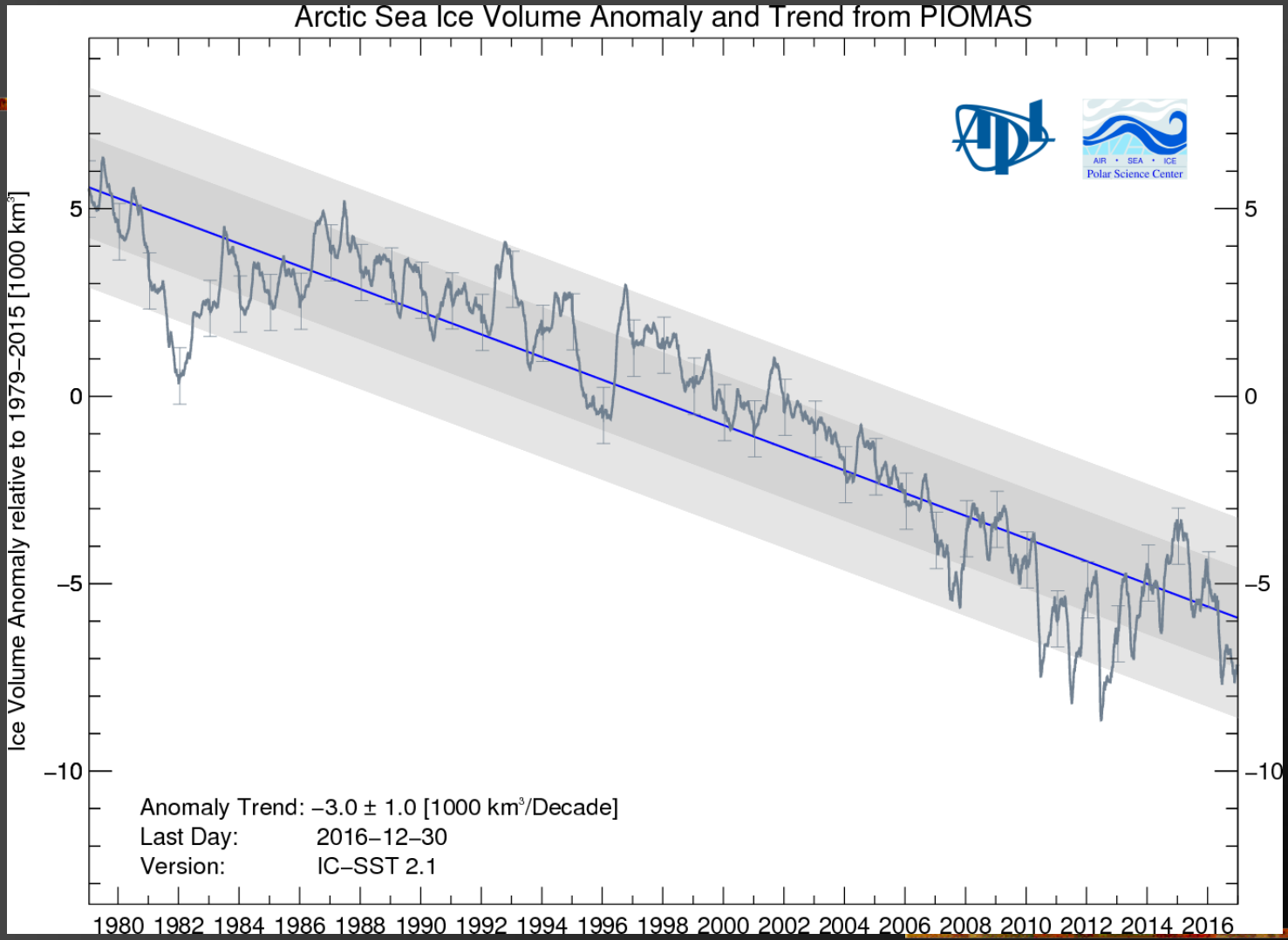
This figure shows the average rate of thickness change in mountain glaciers around the world. This information, known as the glaciological mass balance, is found by measuring the annual snow accumulation and subtracting surface ablation driven by melting, sublimation, or wind erosion. These measurements do not account for thinning associated with iceberg calving, flow related thinning, or subglacial erosion. All values are corrected for variations in snow and firn density and expressed in meters of water equivalent (Dyurgerov 2002).


Arctic Sea Ice Extent
(Area of Ocean with at least 15% sea ice)
Extent (Millions of square kilometers)
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
1 Jan
1 Feb
1 Mar
1 Apr
1 May
1 Jun
1 Jul
1 Aug
1 Sep
1 Oct
1 Nov
1 Dec
31 Dec
Date
National Snow and Ice Data Center, Boulder, CO
1981-2010 Median
Interquartile Range
Interdecile Range
1981-2010 Average
±2 Standard Deviations
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
Show all
Hide all

la superficie dei ghiacci artici in dicembre



Da pochi anni gran parte del ghiaccio Artico è prodotto l'anno precedente; questo è un fatto nuovo che implica che anche il volume del ghiaccio Artico si sta riducendo in fretta.



The picture above is from the University of Washington's Applied Physics Laboratory, and shows yearly Arctic Ice Pack volume anomalies.

Perchè il sistema climatico è complesso?

Un sistema complesso è tale perchè:

1) molti processi sono in atto, descritti da molti parametri

2) alcuni di questi processi non sono lineari

3) i processi si influenzano vicendevolmente.

All'interno del sistema climatico accade spesso che la variazione di un parametro influenzi un altro che a sua volta ha impatto sul primo.

Quando ciò accade si dice che il sistema possiede controreazioni (dette anche feedbacks).

Ne esamineremo in dettaglio solo due:

- **il feedback tra la variazione della superficie dei ghiacci Artici e la temperatura dei primi 150m dell'oceano Artico.**
- **Il feedback tra aumento di temperatura e ciclo idrologico (vapore acqueo, nuvolosità)**

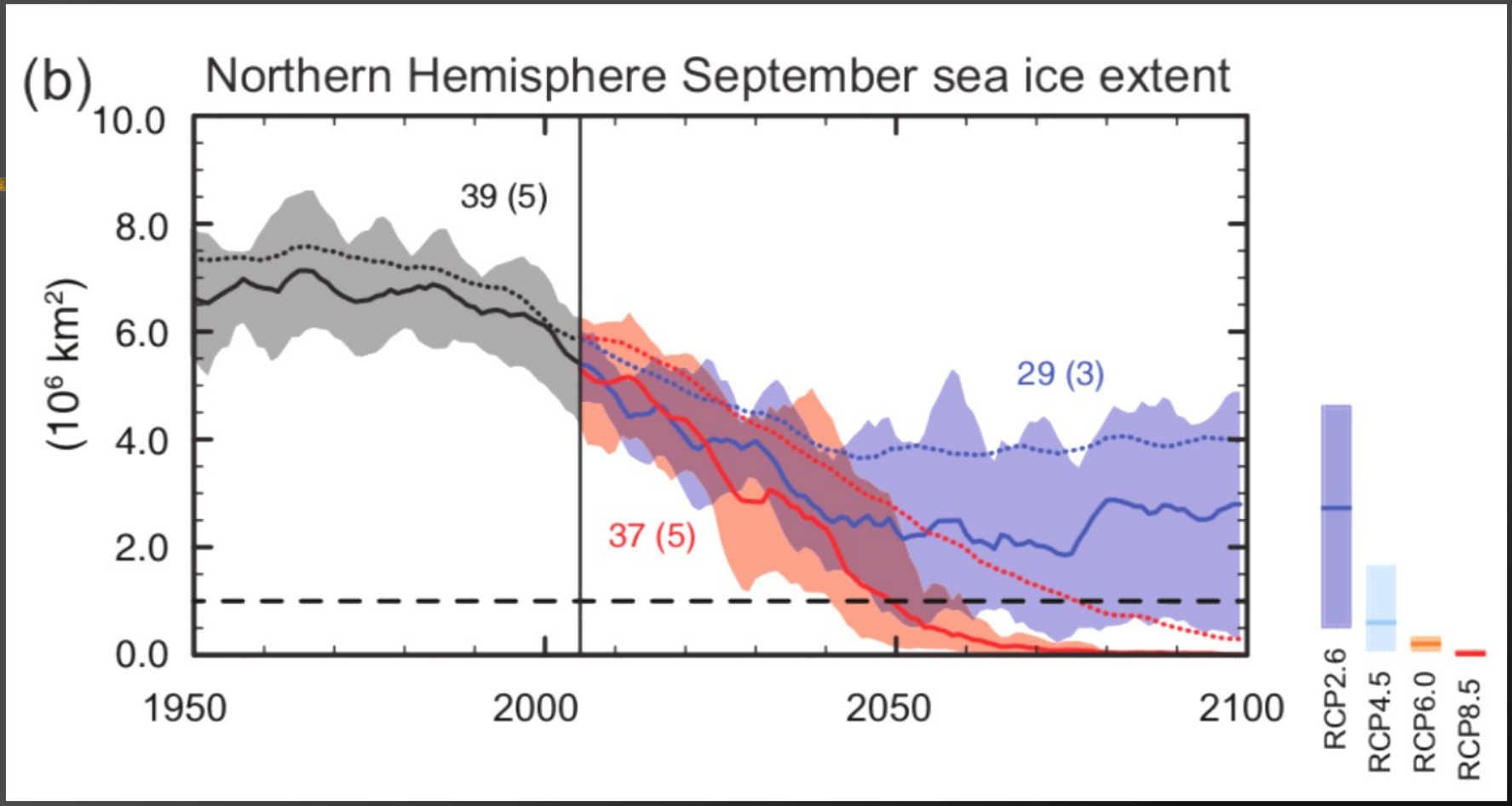
Il feedback Artico

1) La superficie dei ghiacci varia, durante ciascun anno, in risposta ai fenomeni di natura stagionale ed anche meteorologica: ha un massimo al termine dei mesi invernali ed un minimo alla fine del periodo caldo (attorno al mese di settembre)

2) Nella regione coperta dai ghiacci gran parte della radiazione solare viene riflessa verso lo spazio; nelle zone libere dai ghiacci la radiazione solare penetra nell'oceano Artico, viene assorbita dall'acqua e riscalda l'oceano (i primi 150 m)

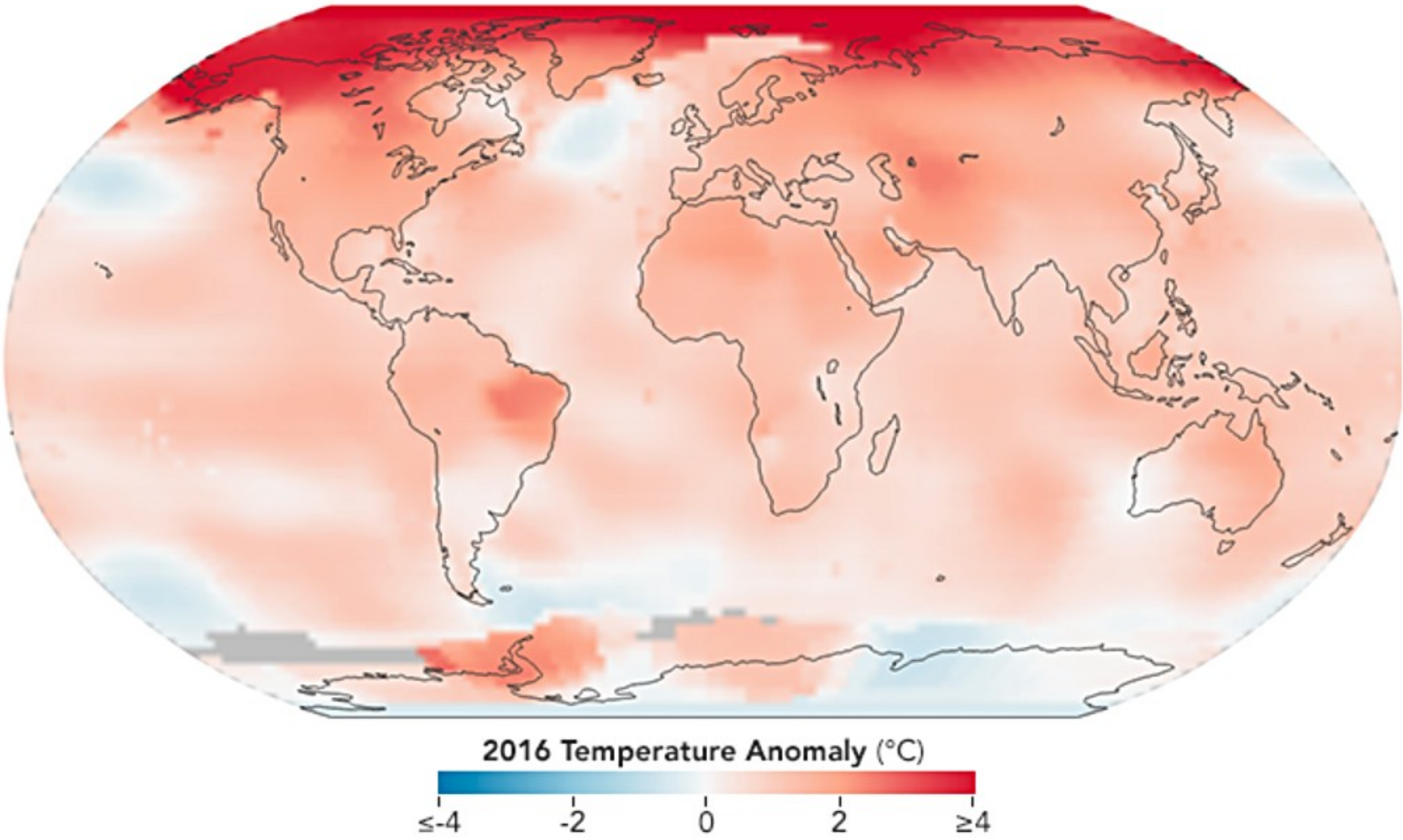
3) L'aumento della temperatura delle acque 1. facilita lo scioglimento del ghiaccio (feedback positivo) 2. Aumenta lo scambio di vapore acqueo ed energia tra oceano ed atmosfera (feedback positivo)

Abbiamo un buon modello del feedback Artico?



For the Fifth Assessment Report of IPCC, the scientific community has defined a set of four new scenarios, denoted Representative Concentration Pathways (RCP). They are identified by their approximate total radiative forcing in year 2100 relative to 1750: 2.6 Wm-2 (RCP2.6), 4.5 Wm-2 (RCP4.5), 6.0 Wm-2 (RCP6.0) and 8.5 Wm-2 (RCP8.5).
These four RCPs include one mitigation scenario leading to a very low forcing level (RCP2.6), two stabilization scenarios (RCP4.5 and RCP6), and one scenario with very high greenhouse gas emissions (RCP8.5).

Abbiamo un buon modello del feedback Artico?



Anomalia della temperature medianel 2016. Riferimento periodo 1951-1980.

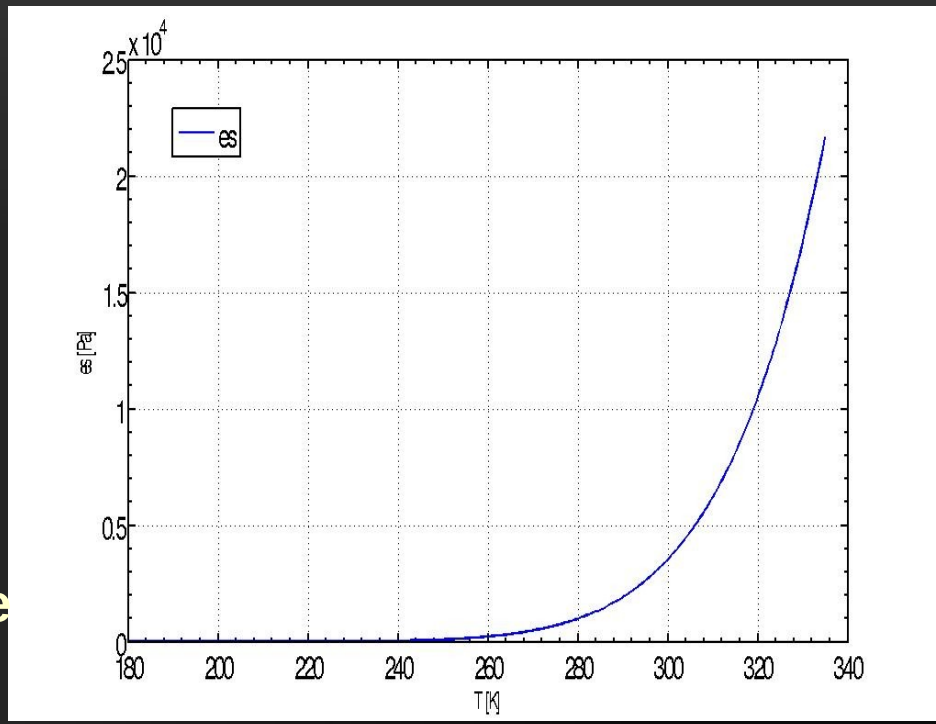
Il feedback temperatura-vapore acqueo

1) Un aumento della temperatura in presenza di superfici coperte da acqua implica un aumento del quantità di vapore a saturazione presente in atmosfera

2) una maggiore quantità di vapore implica un assorbimento maggiore della radiazione emessa dalla superficie da parte dell'atmosfera (feedback positivo)

3) qual'è l'effetto sulla nuvolosità?

- **stesso tipo di nube ma maggiore nuvolosità?**
- **nubi diverse (altezza della base, proprietà ottiche)?**



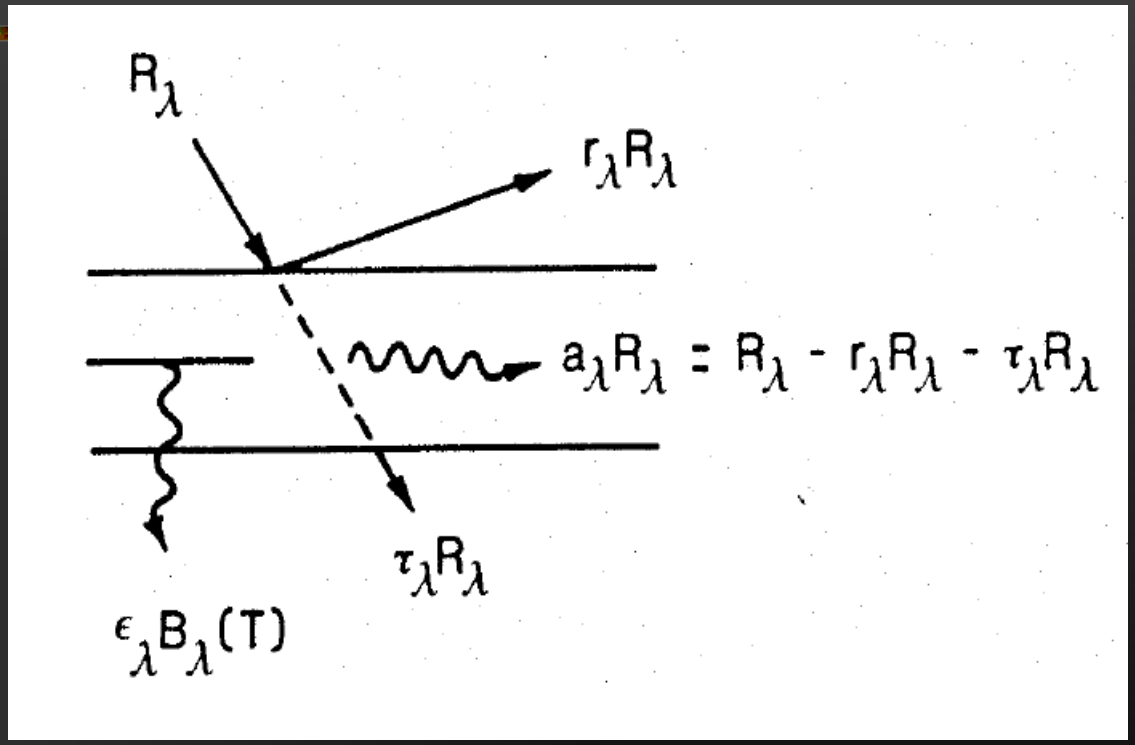
- **NON LO SAPPIAMO**

In che modo i materiali possono interagire con la radiazione?

assorbanza

riflettanza

trasmittanza

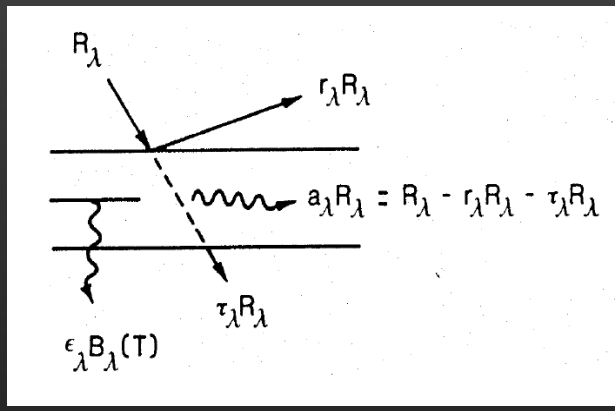


λ lunghezza d'onda

Il principio di conservazione dell'energia impone che:

$$a_\lambda + r_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

In che modo i materiali possono interagire con la radiazione?



ε emissività

Ogni corpo, a qualunque temperatura, emette una radiazione e.m. **Un particolare corpo, detto nero, emette**

$$E = \sigma T^4, \qquad (T \text{ in } °K)$$

Un corpo qualunque emette una quantità

$$E = \varepsilon \sigma T^4$$

ε è una proprietà di ciascun materiale. Un corpo nero ha ε=1 a tutte le lunghezze d'onda. Un corpo qualsiasi ha ε (ed anche *a* ed *r*) che varia con la lunghezza d'onda ed è sempre minore di 1.

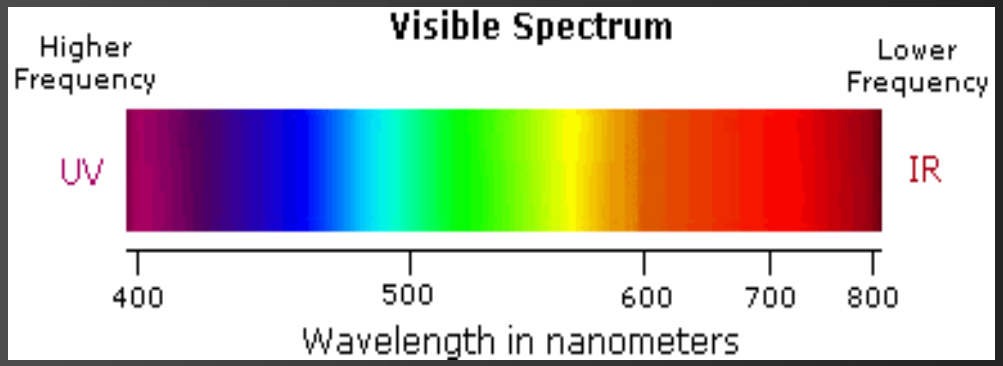
Esempio: ((288+10)/288)^4=1.15

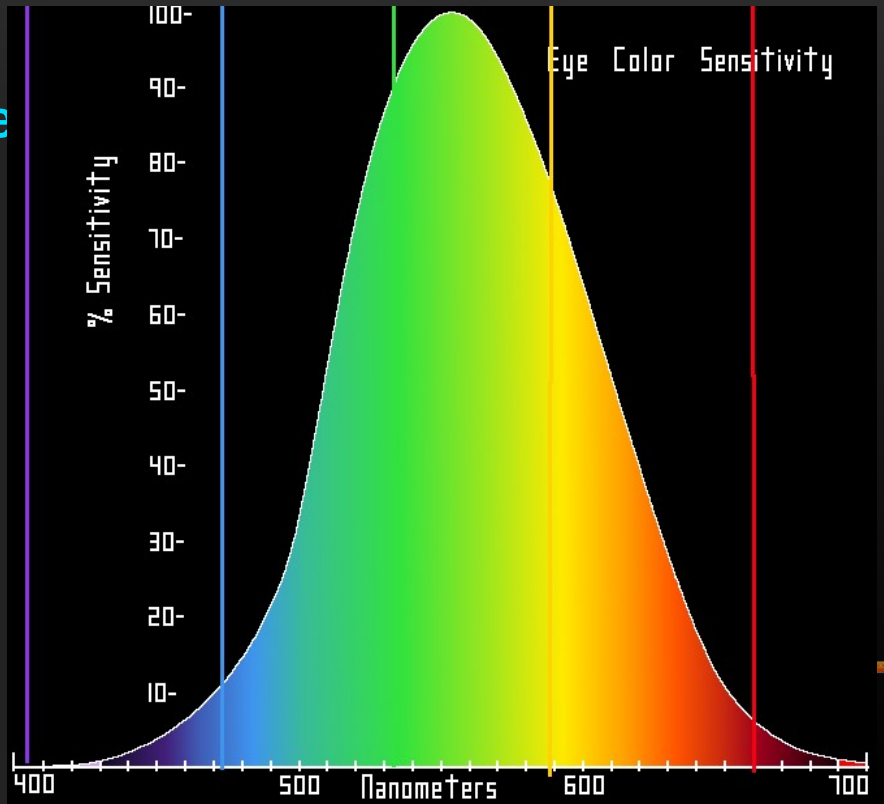
Alcune semplificazioni

Le proprietà di interazione con la radiazione (a_λ,r_λ,t_λ) e l'emissività ε_λ variano con la lunghezza d'onda. Da adesso adotteremo un modello semplificato dell'interazione e parleremo di proprietà medie nell'intervallo di onda corta (0.3-4 microns) e nell'infrarosso (4-50 microns).

Questa è una notevole semplificazione

Inoltre l'intervallo di onda corta non coincide con l'intervallo della luce visibile ai nostri occhi!



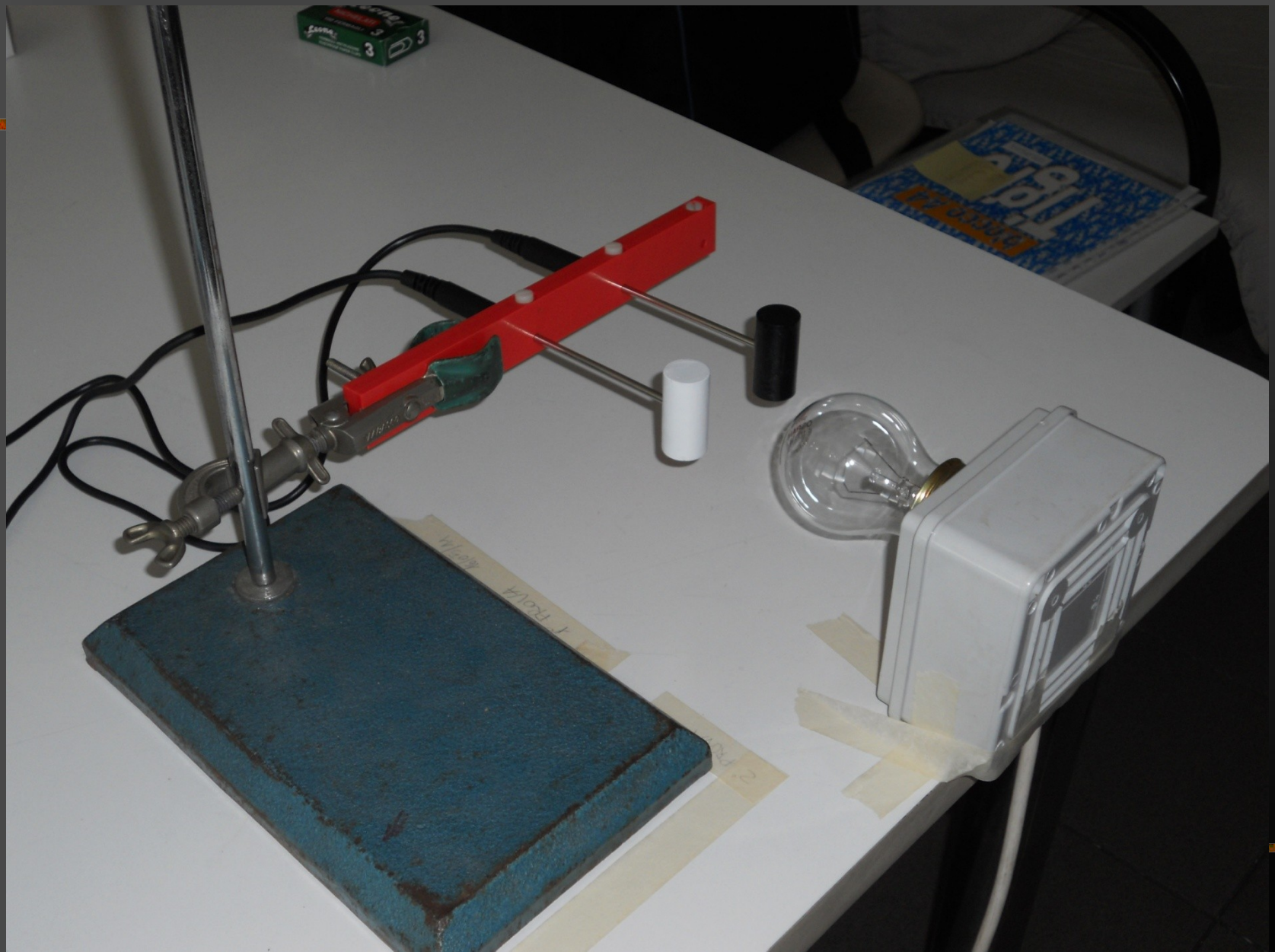


Esempi di materiali e loro proprietà

λ (micron)	a	r	t	Qualità “visibile”	materiale
Qualsiasi	1	0	0	corpo nero	?
0.5	0	0	1	trasparente	vetro perfetto
0.5	0.9	0.1	0	grigio scuro,opaco	plastica
0.5	0.4	0.6	0	grigio chiaro,opaco	alluminio
10	0.9	0.1			vetro
10	0.5	0.5			alluminio
10	0.98	0.02			acqua

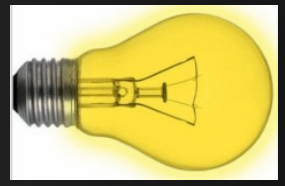
Alluminio verniciato di bianco o di nero?

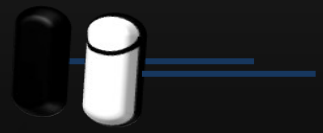
Esperimento (lo farete in laboratorio



MATERIALE ESPERIMENTO:

- 1 lampadina
- 2 cilindri di allumino, stessa capacità termica e colori differenti
- 2 sensori di temperatura
- 1 interfaccia grafica
- Software LP3





Cerchiamo di prevedere l'andamento dell'esperimento che effettuerete (se prevediamo bene vuol dire che abbiamo capito...)

Una sorgente di energia fa arrivare una potenza P_L (energia in 1 secondo) alla superficie dell'oggetto.

L'oggetto riflette una quantità di energia $= r P_L$

ed assorbe una quantità di energia $P = a P_L$

Ipotesi semplificatrice: l'energia assorbita all superficie si diffonde su tutto il materiale e quindi l'oggetto ha una temperatura circa uniforme alla superficie ed al suo interno!

Esperimento in corso: Modello n. 1...

Per effetto della potenza assorbita, la temperatura dell'oggetto aumenta.

In che modo?

$$T(t_0+1)-T(t_0) = \Delta T = a\, P_L / c_v \qquad (°K \text{ ogni secondo})$$

c_v è la quantità di energia necessaria per innalzare la temperatura di 1 °K, ed è una proprietà del materiale che assorbe.

Se il termine $P = a\, P_L / c_v$ è costante nel tempo

$$\Delta T = \text{costante}$$

.....quindi la temperatura cresce, linearmente.

E' ragionevole questa conclusione?

Abbiamo bisogno di un modello migliore?

Modello n.2: lampada spenta

L'energia scambiata (a lampada spenta) può essere descritta come

$$P = -\varepsilon \sigma T^4 + \varepsilon E_a = c_v \Delta T$$

Il primo termine è la potenza (di onda lunga) emessa dal corpo per effetto della sua *T* (e provoca un raffreddamento del corpo stesso)

Il termine E_a è la potenza (di onda lunga) emessa da tutti I corpi nella stanza (anche voi che partecipate all'esperimento) ed assorbita dal cilindro ($a = \varepsilon$): si ipotizza che questo termine sia costante nel tempo.

Se, a lampada spenta, siamo in condizione di equilibrio (oggetto a temperatura ambiente: $T=T_a$)

$P = 0$, e **la variazione di temperatura è:** $\Delta T = 0$

Il ruolo della conduzione

Abbiamo finora ignorato l'effetto dello scambio di energia per conduzione con l'aria circostante.

L'energia trasferita in un secondo (potenza) tra cilindro ed aria circostante può essere descritta dalla equazione

$$P_c = -k(T - T_a)$$

In condizione di equilibrio, a lampada spenta: $T = T_a$

ed il termine di conduzione è nullo.

....ma quando la temperatura del cilindro cresce...?

Accendiamo la lampada...

Comportamento a lampada accesa

Inizialmente la temperatura del corpo cresce

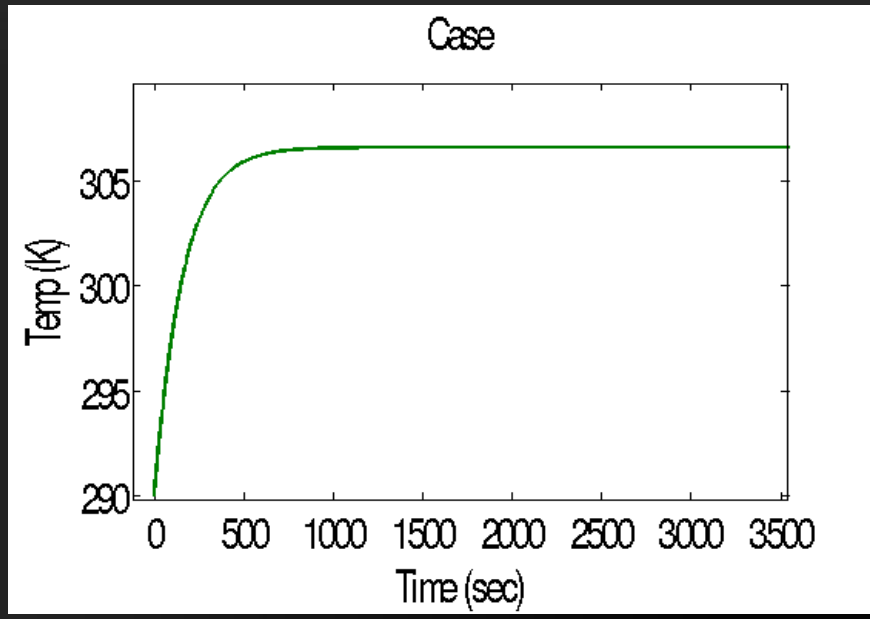
$$c_v \Delta T = a P_L - k(T - T_a) - \varepsilon \sigma T^4 + \varepsilon E_a$$

\+ - - +

…fino a quando

$$a P_L - k(T - T_a) - \varepsilon \sigma T^4 + \varepsilon E_a = 0$$

e la T resta costante $= T_F$



...e dopo lo spegnimento della lampada

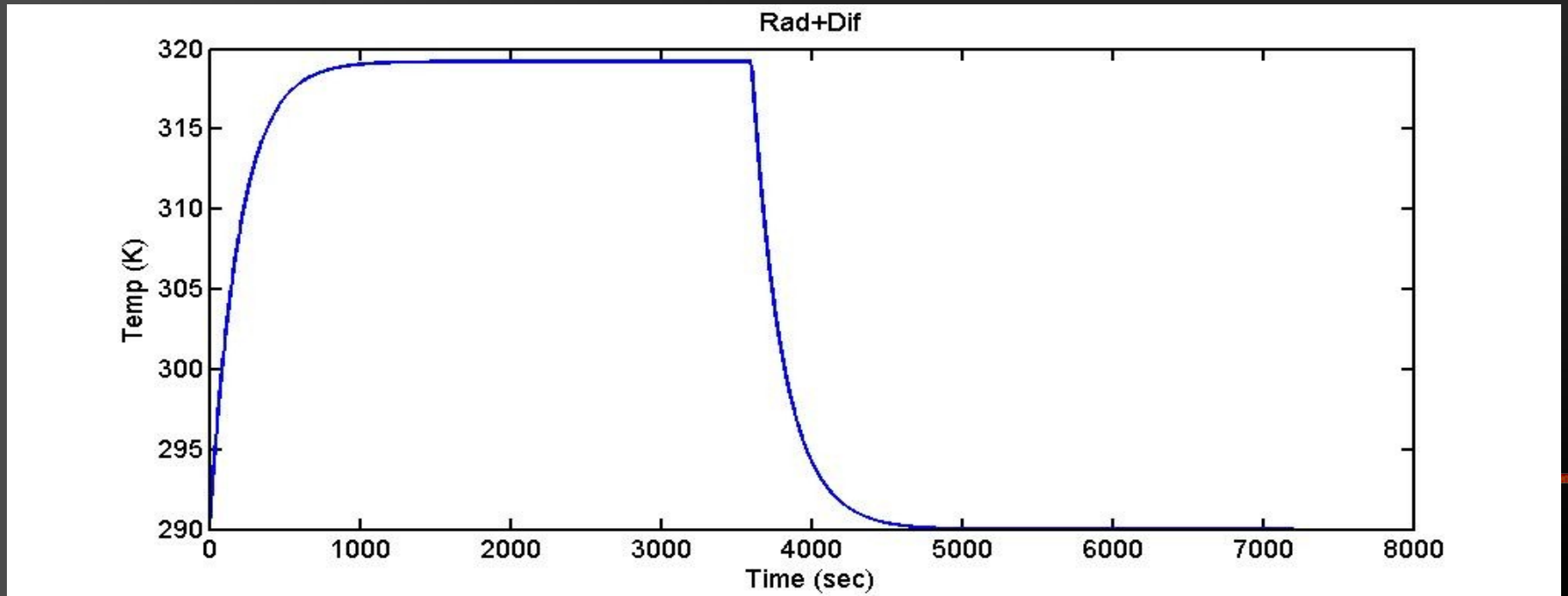
Quando la lampada viene spenta l'equazione del bilancio dell'energia diventa:

$$c_v \Delta T = -k(T-T_a) - \varepsilon \sigma T^4 + \varepsilon E_a$$

\- \- +

e quindi è <u>negativo</u> e diminuisce nel tempo, poiche diminuisce la temperatura del cilindro, fino a raggiungere uno stato stazionario in cui

$$T = T_a \rightarrow c_v \Delta T = 0$$



Comportamento di un sistema reale in laboratorio?

E' quello che vedrete nei prossimi incontri! Così scoprirete se la descrizione matematica semplificata (modello), è in grado di descrivere le principali caratteristiche del sistema che state esaminando e ne prevede, a grandi linee, il comportamento.

Quando avrete visto il sistema reale capirete meglio perchè quello che vi ho presentato è un sistema semplificato.

Modello di bilancio climatico di un pianeta senza atmosfera

- il cilindretto .... diventa la Terra
- la lampada .... è il Sole
- $E_a \sim$ zero (radiazione di fondo dallo spazio)
- $k(T-T_a) \sim$ zero (non c'è conduzione tra la Terra e lo spazio- perchè?)

Quindi il bilancio di lungo periodo (climatico) del sistema Terra dipende dalla radiazione solare assorbita e da quella emessa dal pianeta

$$a P_L - \varepsilon \sigma T^4 \sim 0$$

Ruolo di una atmosfera

La presenza di un'atmosfera attorno al pianeta **può** modificare sostanzialmente la temperatura della superficie e dell'atmosfera (soprattutto nei primi metri dell'atmosfera, a cui siamo particolarmente interessati...).

Naturalmente l'atmosfera deve contenere dei gas che interagiscono con la radiazione emessa dalla superficie ed anche con la radiazione solare.

Per capire questi fenomeni è necessario capire in che modo i materiali di cui è composta l'atmosfera e la superficie interagiscono con la radiazione.

Una volta capite queste "interazioni" siamo in grado di capire un fenomeno che mantiene la superficie, e l'atmosfera vicina alla superficie (dove abitiamo noi), ad una temperatura media di circa 18 °C (invece di -18 °C).

A questo fenomeno è stato dato un nome (del tutto inadatto):

Effetto Serra

Grazie per la vostra attenzione!

la temperatura media globale alla superficie sta aumentando

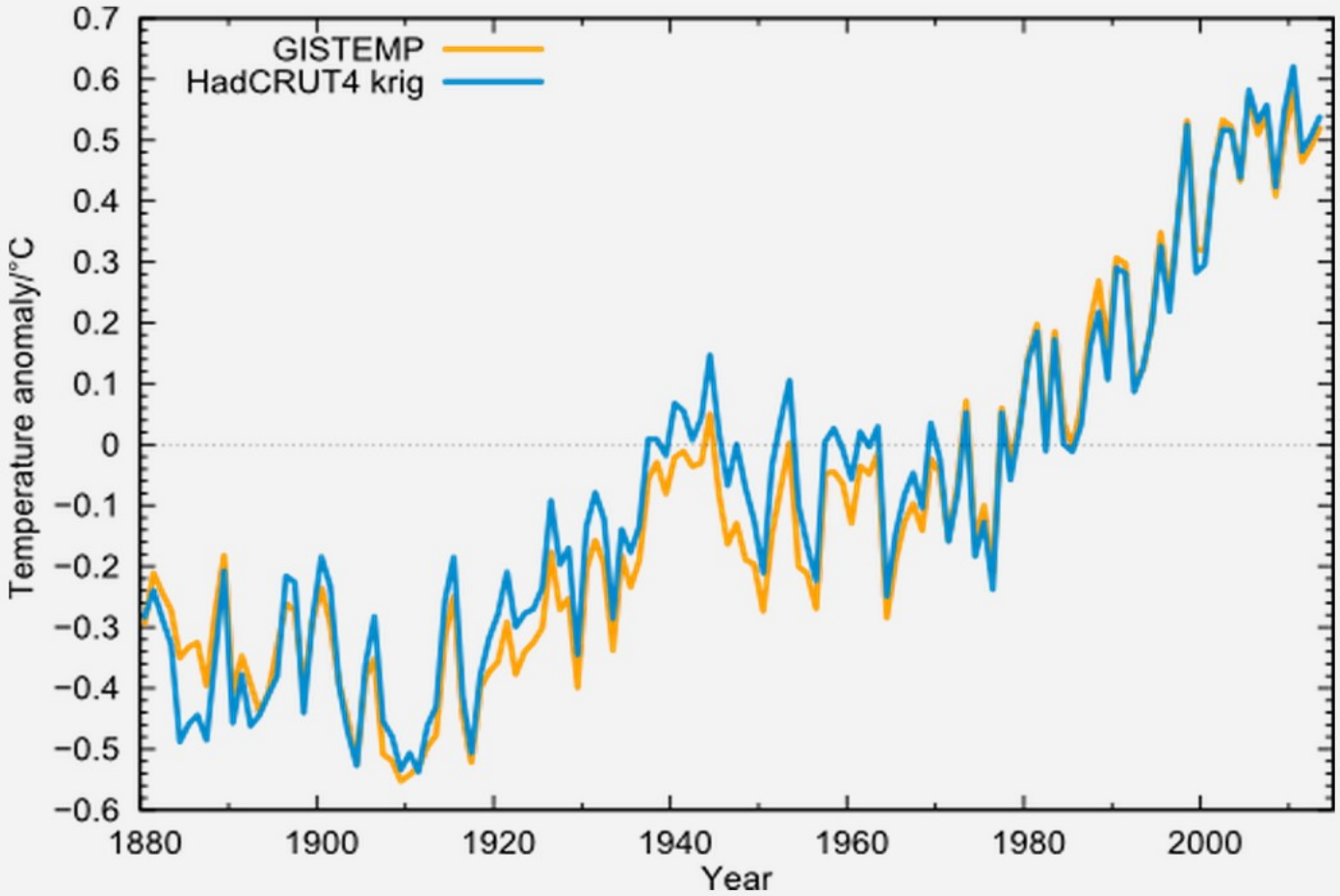
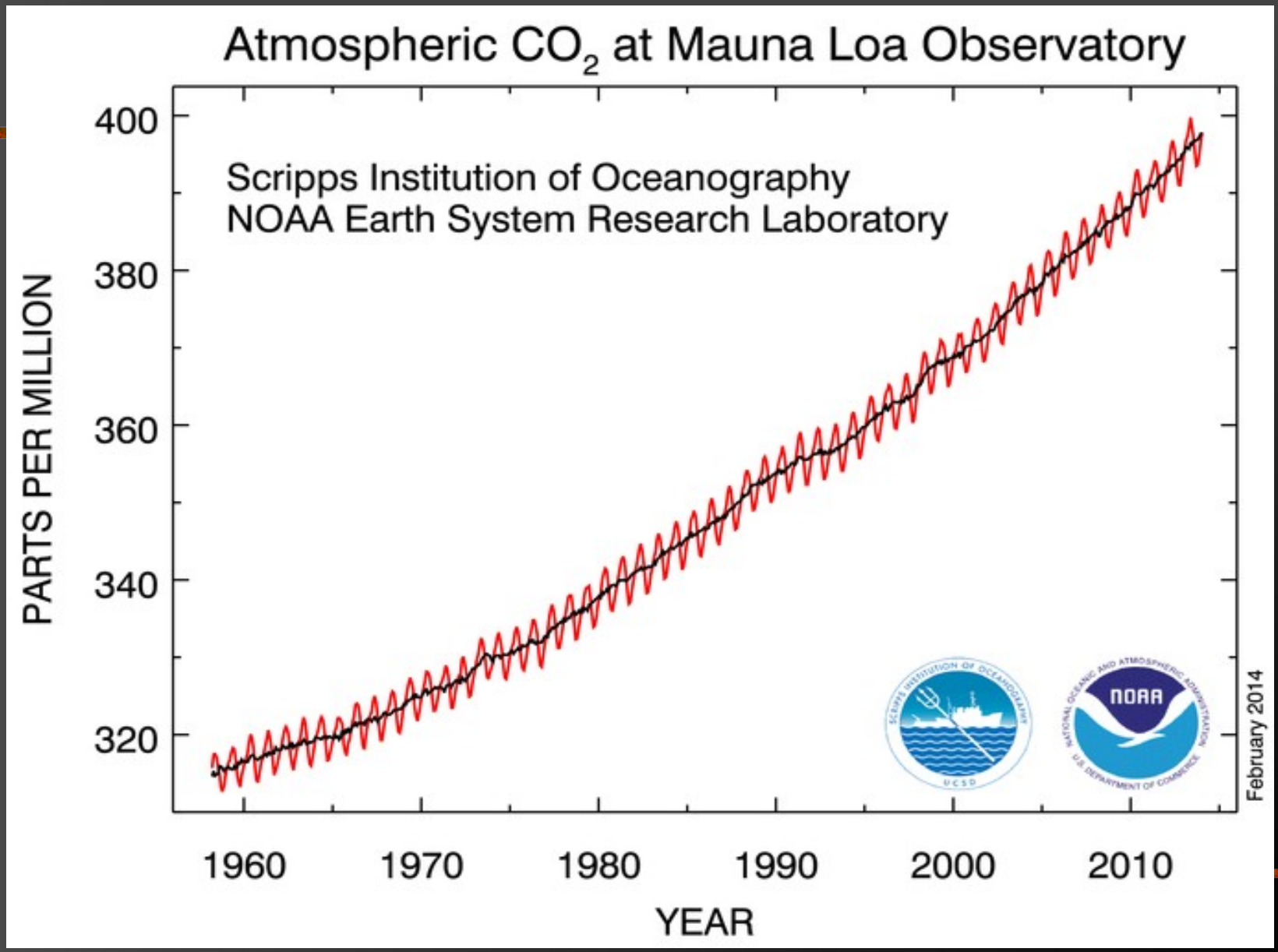
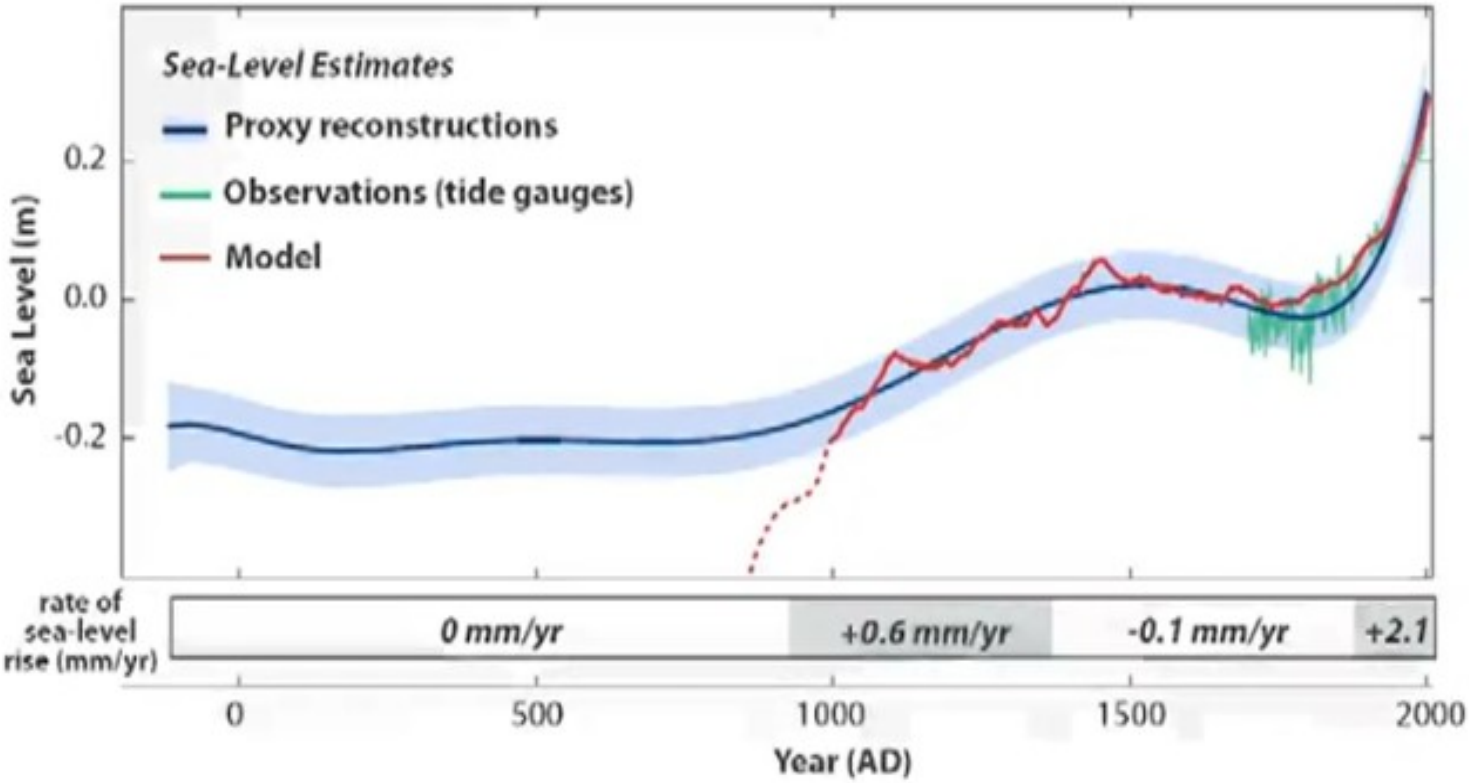


Figure 1 Global temperature (annual values) in the data from NASA GISS (orange) and from Cowtan & Way (blue), i.e. HadCRUT4 with interpolated data gaps. – See more at: http://www.realclimate.org/index.php/archives/2014/01/global-temperature-2013/#sthash.02esfhhG.dpuf

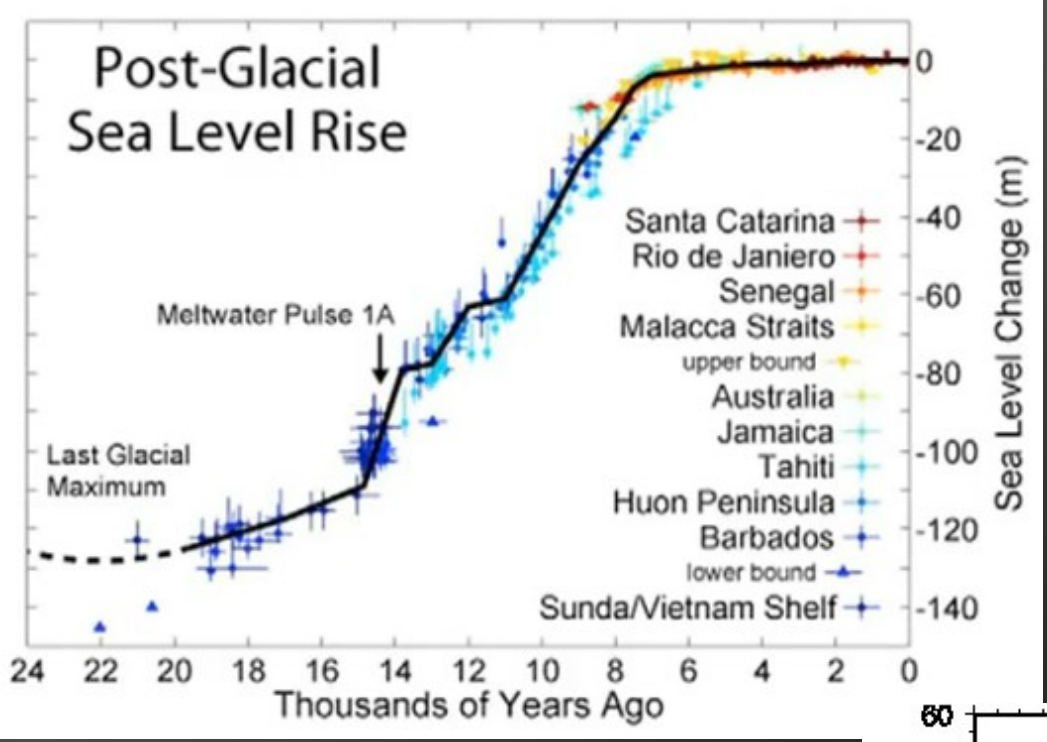
il contenuto di CO_2 sta aumentando

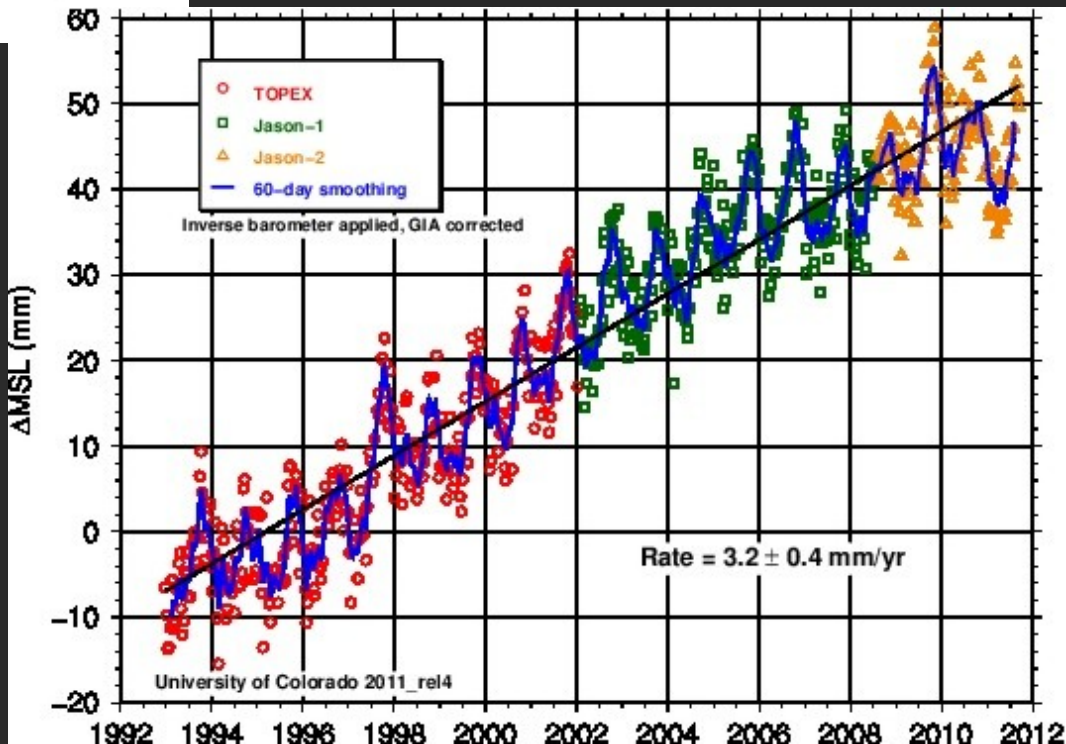


il livello medio degli oceani sta aumentando



Kemp 2011


Post-Glacial
Sea Level Rise
Meltwater Pulse 1A
Last Glacial
Maximum
Santa Catarina
Rio de Janiero
Senegal
Malacca Straits
upper bound
Australia
Jamaica
Tahiti
Huon Peninsula
Barbados
lower bound
Sunda/Vietnam Shelf
Sea Level Change (m)
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
24 22 20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 0
Thousands of Years Ago


TOPEX
Jason-1
Jason-2
60-day smoothing
Inverse barometer applied, GIA corrected
ΔMSL (mm)
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
Rate = 3.2 ± 0.4 mm/yr
University of Colorado 2011_rel4
1992 1994 1996 1998 2000 2002 2004 2006 2008 2010 2012

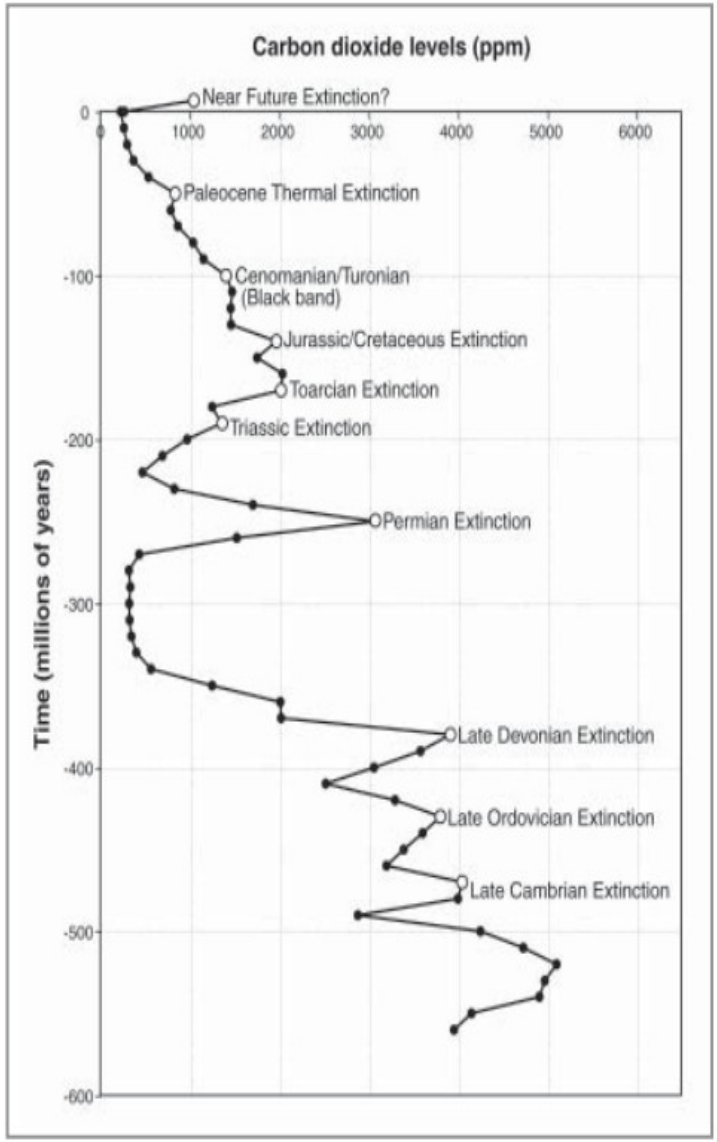


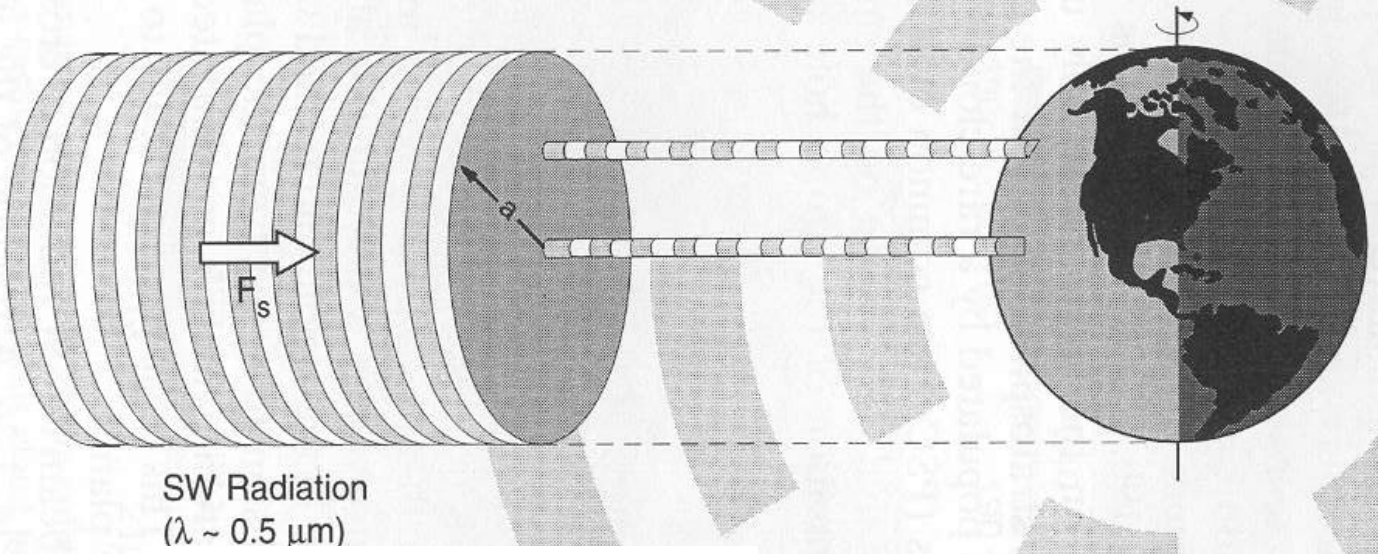
FIGURE 6.1

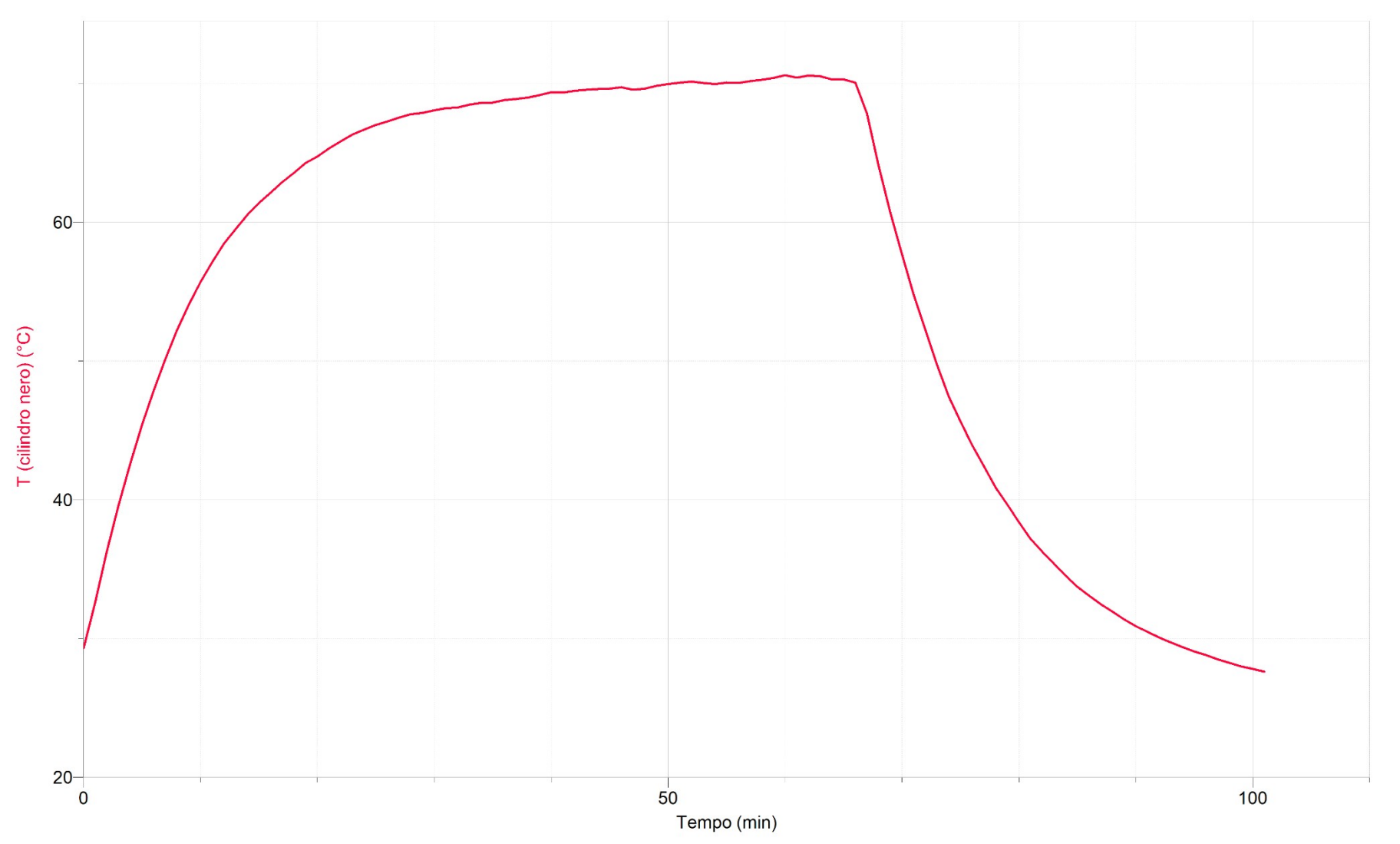
Carbon dioxide through time, as computed with GEOCARB, a computer program for estimating past levels of carbon dioxide. Each of the open bullets designates a mass extinction, and they can be seen to correspond either with high or sharply increasing carbon dioxide levels.

Modello “0” di bilancio climatico planetario

$$S\pi r^2 \bar{a} = 4\pi r^2 \bar{\varepsilon}\sigma T_e^{\,4}$$

$$(1-\alpha_p)S\pi r^2 = 4\pi r^2 \sigma T_e^{\,4}$$



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

Comportamento di un sistema reale in laboratorio?