ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Un modello di serra per capire il comportamento del sistema atmosfera-terra in interazione con la radiazione solare assorbita ed emessa:

Esperimenti didattici

E

Modelli teorici

Interazione radiazione-materia:
Relazioni in gioco

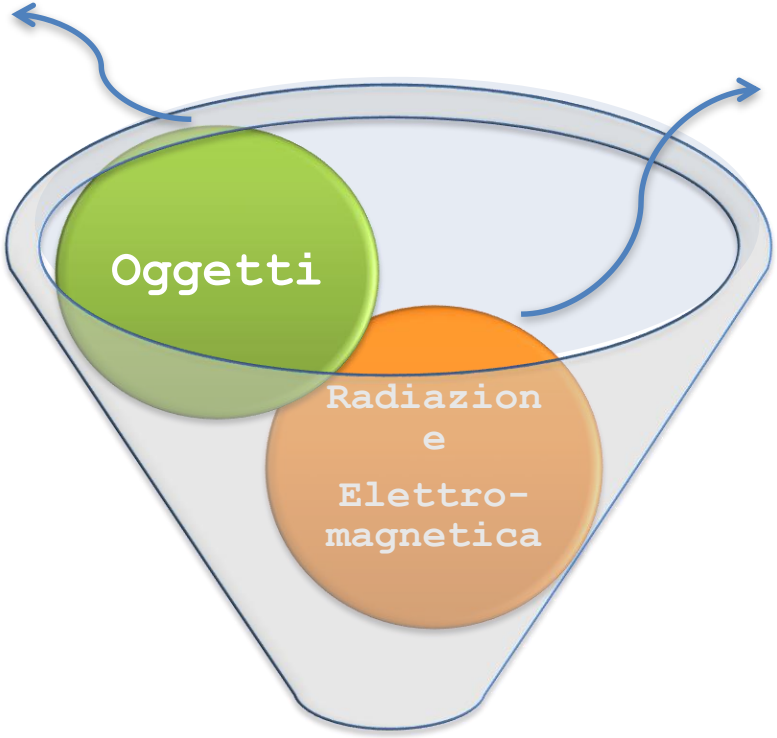
1. $E_{in} - E_{out} = cm\Delta T$ → Bilancio energetico che può essere messo in relazione con il primo principio della TD.

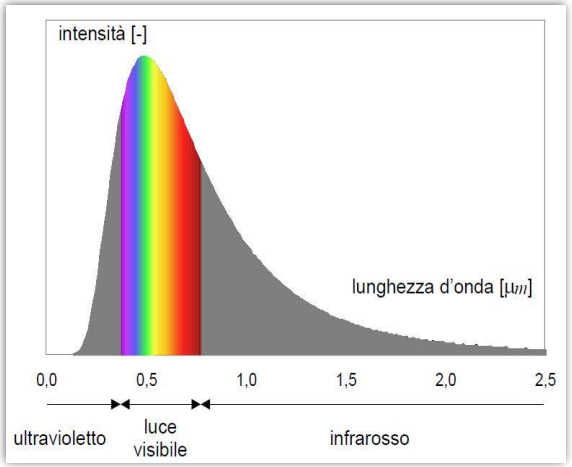
2. $a_\lambda + r_\lambda + t_\lambda = 1$ → Bilancio energetico che pone l'accento sulla radiazione entrante e stabilisce come si "distribuisce" la radiazione che incide su un oggetto.

3. $E = \varepsilon\sigma T^4$ → Legge sperimentale che esprime che l'energia irradiata da un corpo è proporzionale ad un coefficiente di emissione (emissività ε), ad una costante (σ) ed alla quarta potenza della temperatura.

4. $a_\lambda = \varepsilon_\lambda$ → Bilancio energetico, espresso dalla Legge di Kirchhoff, che dice che in condizioni di stazionarietà la radiazione assorbita/entrante è uguale alla radiazione emessa/uscente.

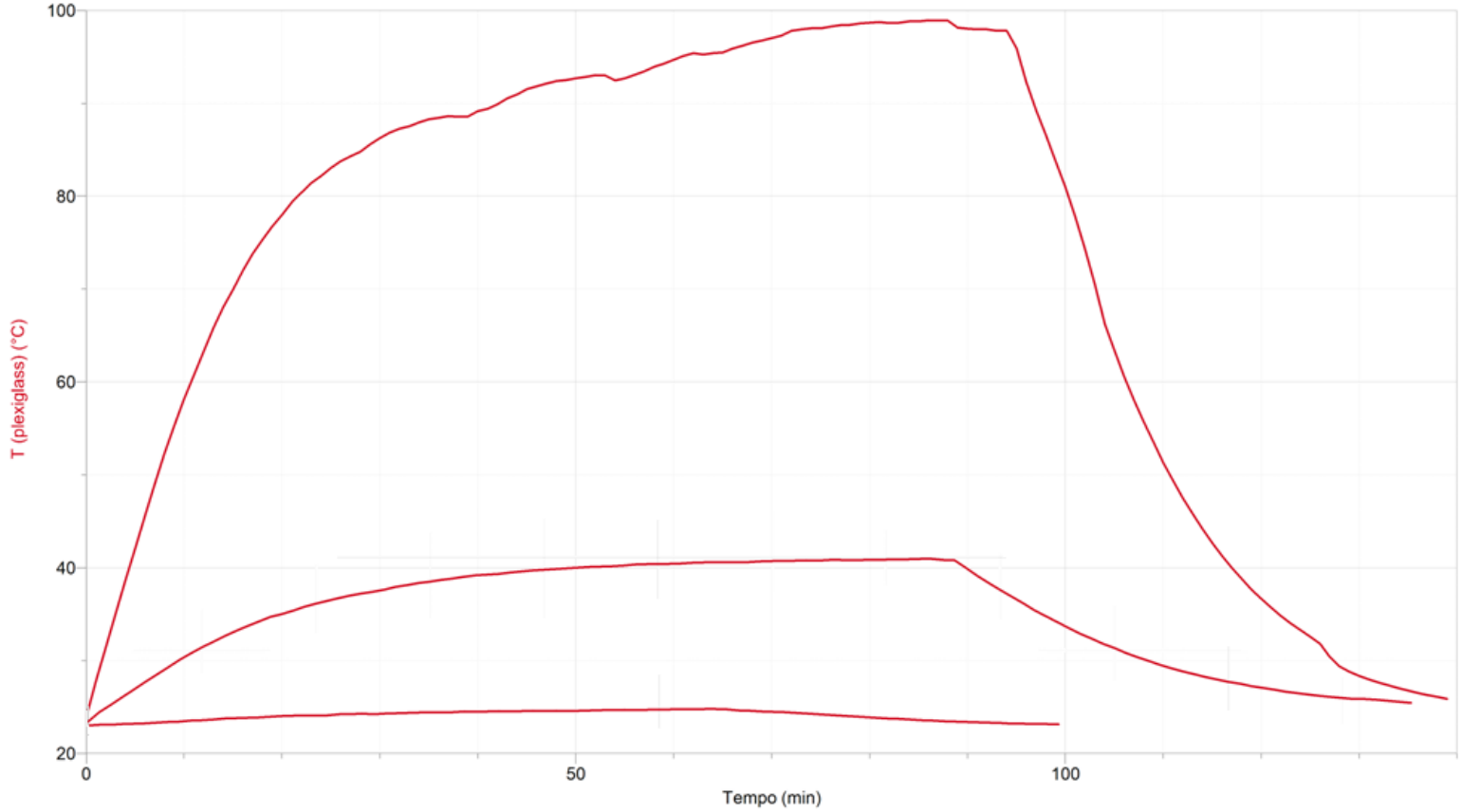
I protagonisti dell'interazione



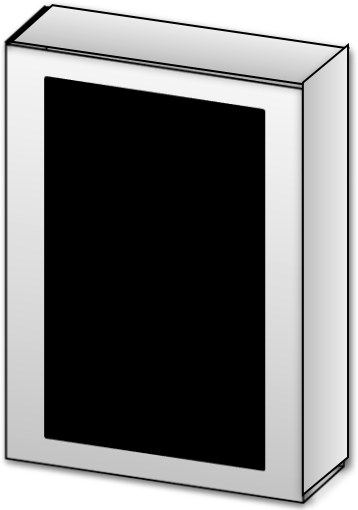


Interazione
RADIAZIONE-MATERIA

"Trasparenza" … cilindro in plexiglass



L'ESPERIMENTO

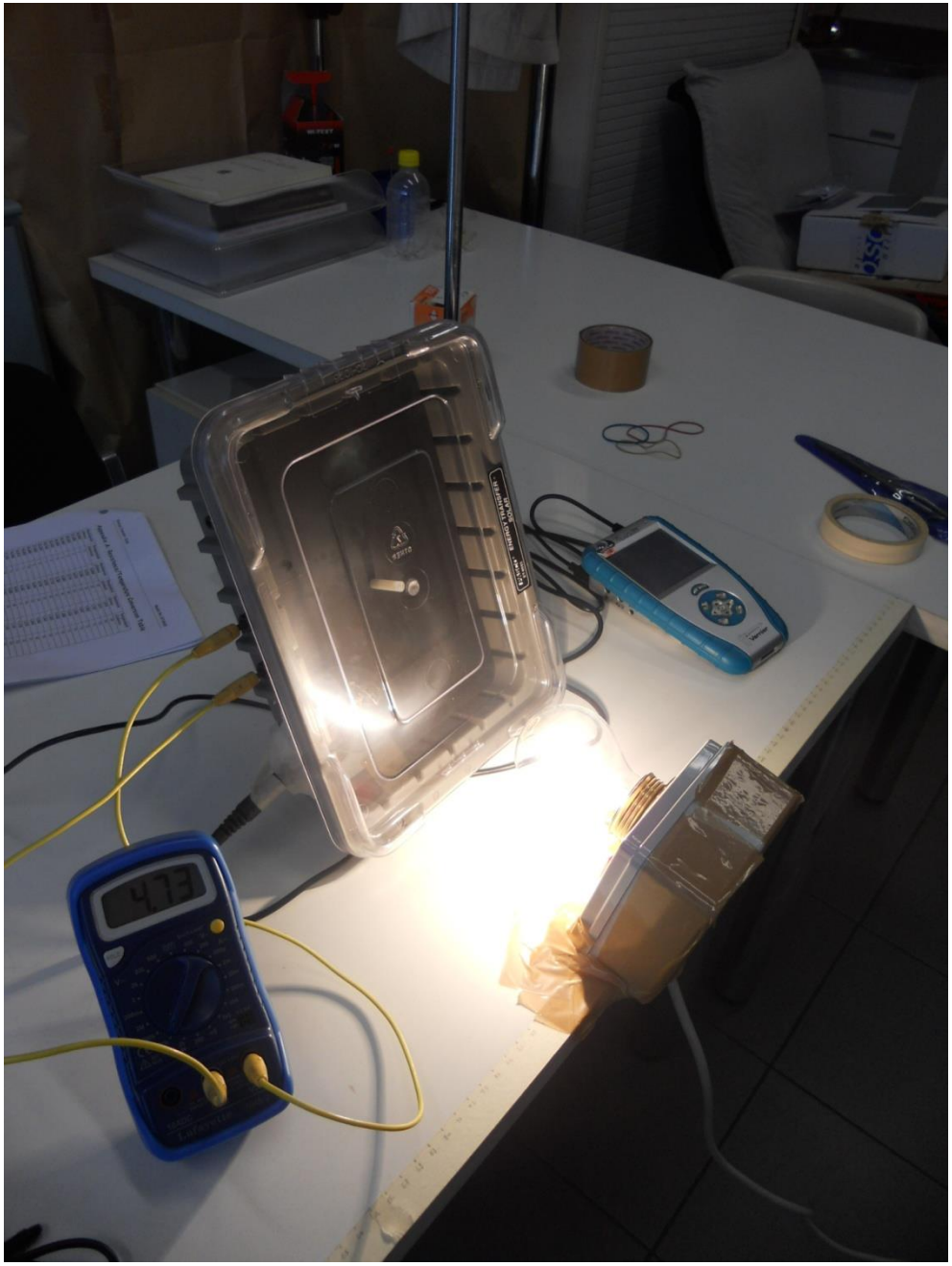


MATERIALE ESPERIMENTO:

- 1 lampadina
- 1 scatola "serra": piatto di allumino nero, coperchio in plastica
- 1 sensore di temperatura
- 1 interfaccia grafica
- Software LP3

CARATTERISTICHE E IPOTESI FISICHE ALLA BASE DELL'ESPERIMENTO:

- Il sensore di T è appoggiato sul retro del piatto di alluminio (si fa l'ipotesi che la T sia uniforme in tutto il piatto);
- Il piatto di alluminio nero "simula" la superficie terrestre modellizzata come corpo nero;
- Il coperchio di plastica "simula" l'atmosfera (facendo l'ipotesi che essa sia uno strato uniforme).


4.73

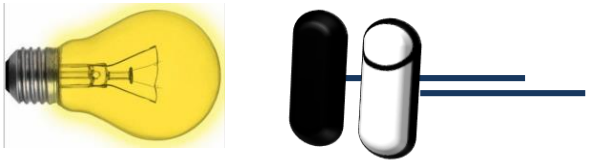
ESPERIMENTO in corso

…

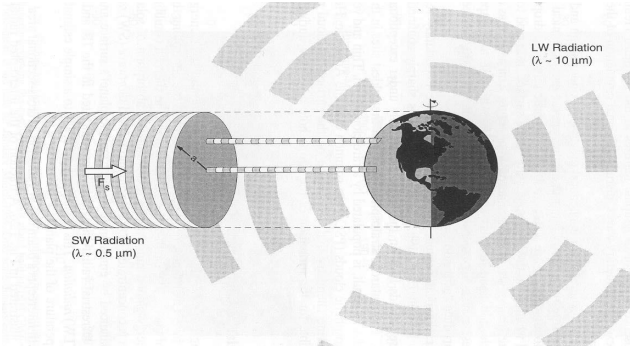
LAVORI DI GRUPPO!!!

Dagli ESPERIMENTI al MODELLO

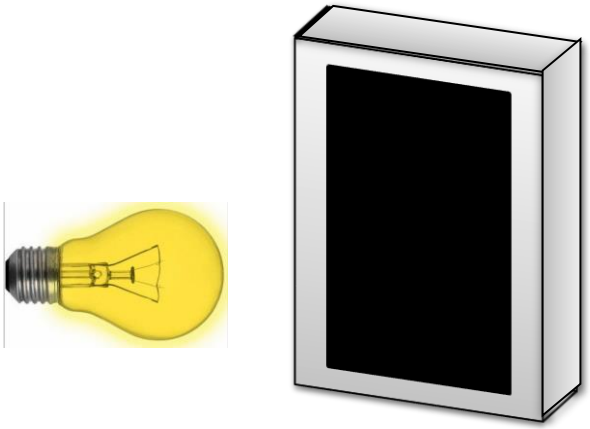
Dai cilindri …



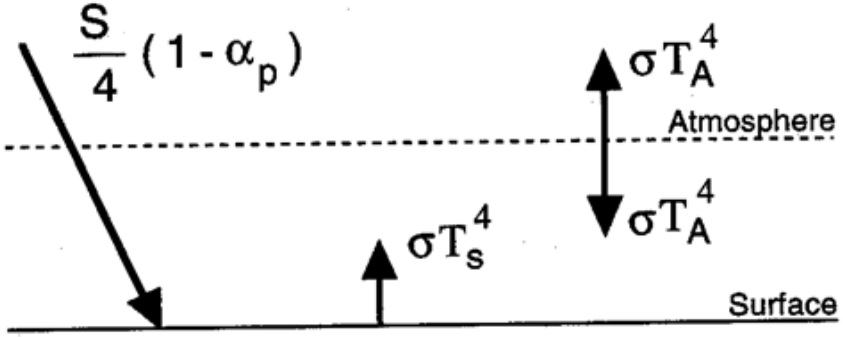
… al modello planetario



Dalla scatola …



… al sistema Terra-Atmosfera



LE PROPRIETA' DI INTERAZIONE

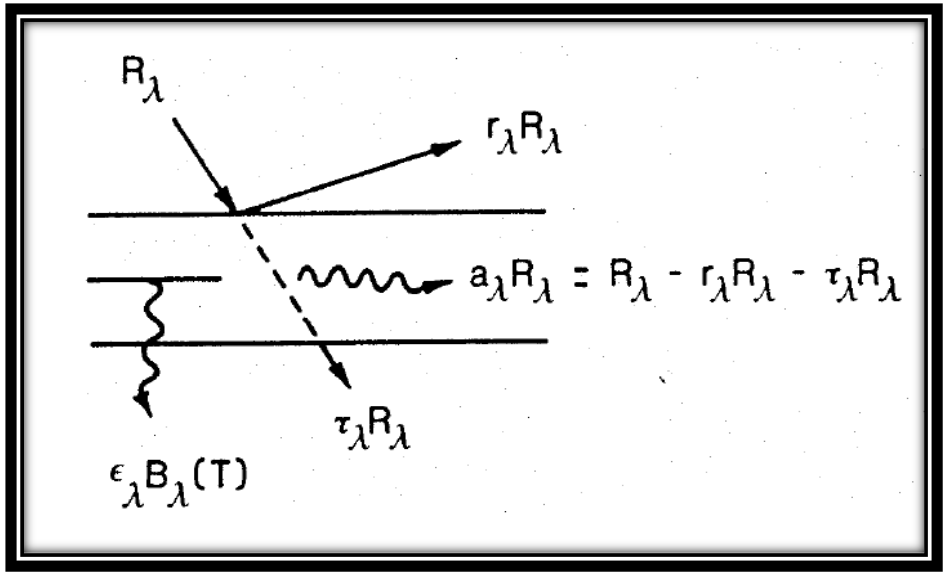
Il sistema Terra-Atmosfera

Applicheremo le:

- proprietà di interazione tra radiazione e materia (**a,r,t**)

- emissività **ε**

→ **per capire l'influenza di una atmosfera che circonda un pianeta.**



Ricordiamoci che: a,r,t ed ε variano con la lunghezza d'onda!!

Continueremo ad adottare un modello semplificato e parleremo di proprietà **medie** nell'intervallo di onda corta (SW, 0.3-4 microns) ed in quello di onda lunga, o infrarosso (LW, 4-50 microns).

Questa è una semplificazione!!

Modello 1: un pianeta senza atmosfera (già visto)

Modello 2: un pianeta con una atmosfera omogenea (1 strato)

Modello 1: bilancio climatico planetario

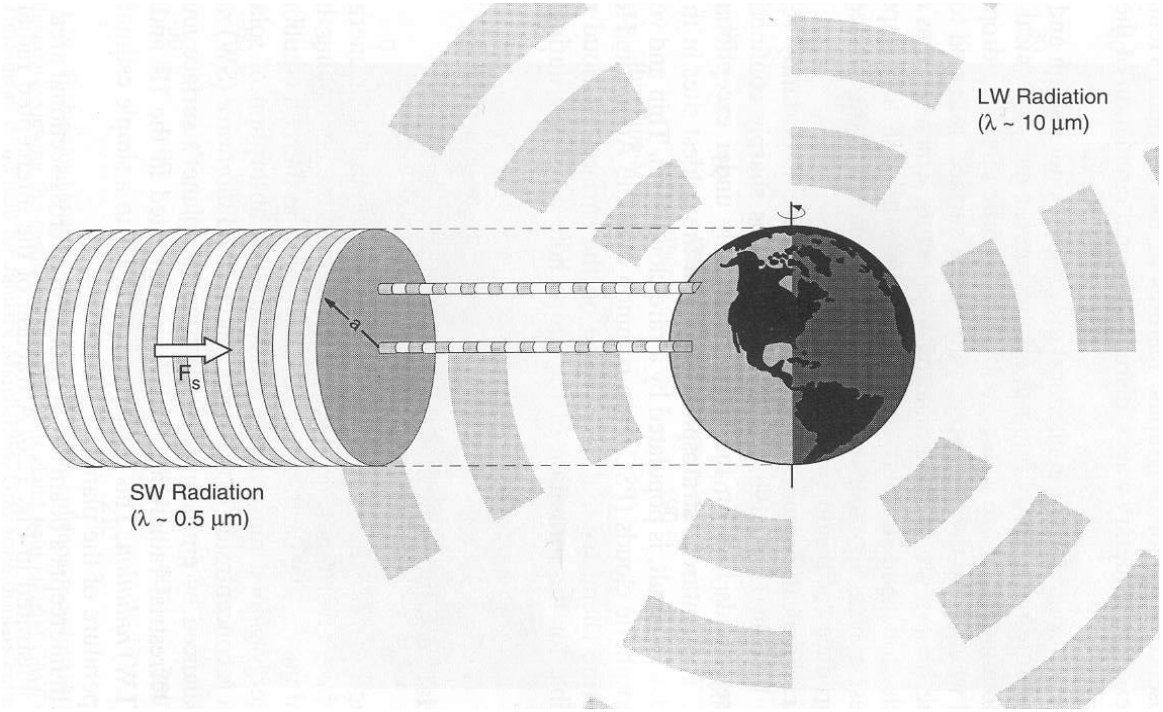
In condizioni di equilibrio (allo stato stazionario) è possibile scrivere una relazione tra l'energia media in entrata (solare) e quella media emessa.

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

Radiazione (netta) ENTRANTE

Radiazione EMESSA

- **Albedo planetario**
- **Radiazione che arriva dal sole (W/m^2)**
- **Sezione illuminata dal sole**
- **Superficie della sfera (m^2)**



Modello 1: bilancio climatico planetario

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

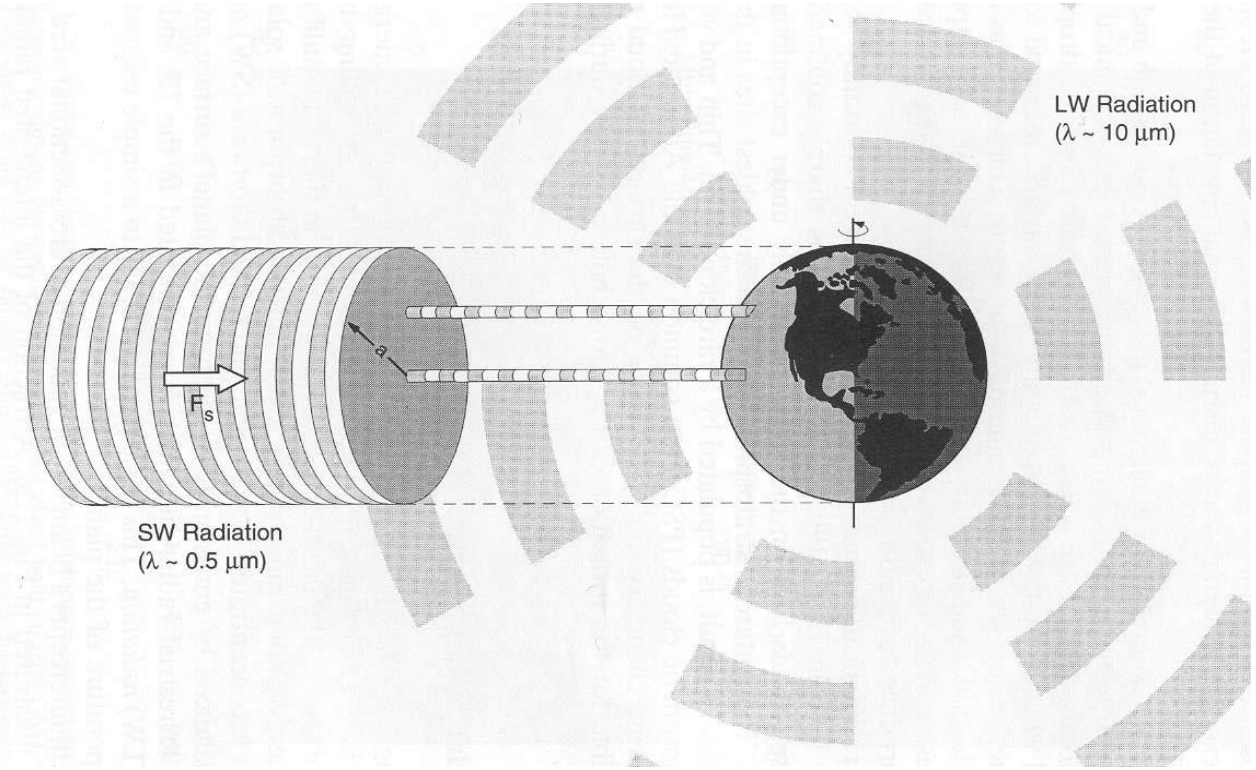
$$T_e = \left[\frac{(1-\alpha_p)S}{4\sigma}\right]^{1/4}$$

$\alpha_p = 0.3$ *(parte riflessa)*

$S \cong 1370\ W/m^2$

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}\ W/(m^2 \cdot K^4)$

T_e=255 °K



Quali sono le ipotesi/scelte fatte in questo MODELLO?

1) Ci siamo messi una condizione di **equilibrio**, cioè si tratta di una relazione di bilancio planetario e quindi identifica una situazione stazionaria.

2) Può applicarsi al nostro pianeta per identificare una situazione **media su un periodo lungo** se confrontato con il periodo della rivoluzione terrestre (per eliminare le variazioni stagionali e quindi anche quelle giornaliere).

3) Abbiamo considerato la **Terra** come:

   a) una palla perfettamente sferica (ipotesi sulle sue proprietà geometriche);

   b) un corpo nero (un'ipotesi sulle sue proprietà di interazione con la radiazione)

Quali sono le ipotesi/scelte fatte in questo MODELLO?

4) Abbiamo considerato l'irraggiamento del corpo come se questo fosse irradiato perpendicolarmente da un raggio luminoso a sezione cilindrica, con sezione di raggio pari a quello della Terra (ipotesi geometrica)

5) Abbiamo fatto una **media globale dell'energia assorbita** dal corpo (*es:* essendo una superficie sferica ai poli l'energia netta entrante è inferiore che all'equatore) ed anche **una media globale dell'energia emessa**.

6) Ci siamo messi in **assenza di atmosfera**

→ **Ipotesi che "sbloccheremo" nel modello successivo!**

Modello 2: ruolo di una atmosfera

La presenza, attorno ad un pianeta, di un'atmosfera che interagisce con la radiazione e.m., **pur non cambiando l'equilibrio tra radiazione entrante ed uscente**, modifica sostanzialmente la temperatura media dello strato e della superficie.

Ipotesi

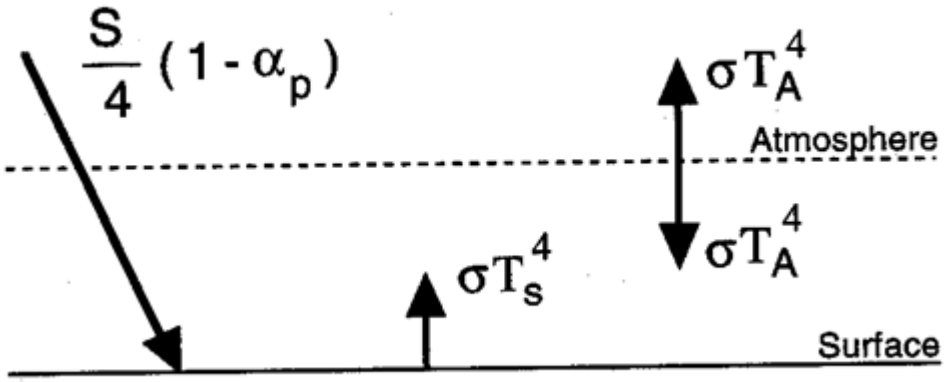
- La radiazione entrante SW non cambia (supponiamo che la costante solare sia costante)
- La radiazione uscente non cambia perché siamo in equilibrio!

- **Nel SW l'atmosfera e' trasparente**
- **Nel LW e' completamente assorbente**

λ (micron)	a (atm)	a (sup)	r
0.5 (SW)	0	1	0
10 (LW)	1	1	0

Modello 2: ruolo di una atmosfera (a_{atm}=1)

L'ipotesi di equilibrio termodinamico ci permette di calcolare la emissività: **ε = a**



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

→ **Bilancio di energia del sistema (sup+atm)**

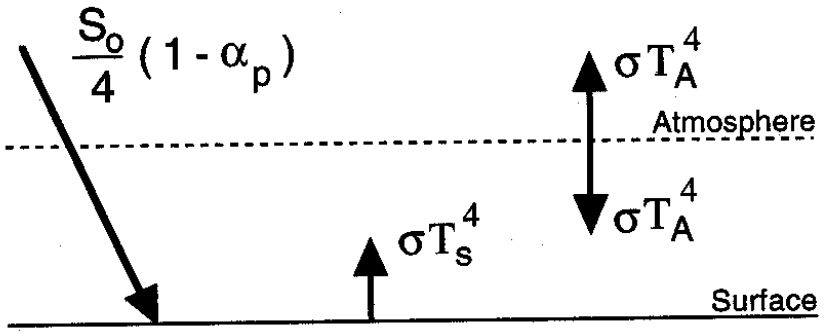
$$(1-\alpha_p)\frac{S}{4} + \sigma T_A{}^4 = \sigma T_S{}^4$$

→ **Bilancio di energia della superficie**

$$T_S{}^4 = 2T_A{}^4 \quad \Rightarrow T_S = 303\,°K$$

Modello 2: ruolo di una atmosfera (a_{atm}=a)

λ (micron)	a (atm)	a (sup)	r
0.5 (SW)	0	1	0
10 (LW)	**a** *	1	0



Equilibrio termodinamico → **ε = a**

(*) 0<*a*<1

$$(1-\alpha_p)\frac{S}{4} = \varepsilon\sigma T_A{}^4 + (1-a)\sigma T_S{}^4$$

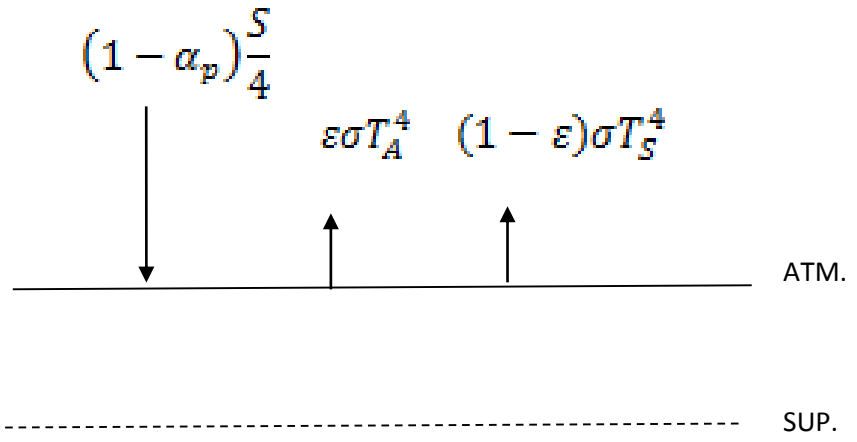
→ **Bilancio di energia del sistema (sup+atm)**

$$(1-\alpha_p)\frac{S}{4} + \varepsilon\sigma T_A{}^4 = \sigma T_S{}^4$$

→ **Bilancio di energia della superficie**

$$T_S{}^4 = \frac{2T_e^4}{2-a} \quad ; \quad T_A{}^4 = \frac{T_e^4}{2-a}$$

Bilancio di sistema (sup+atm)



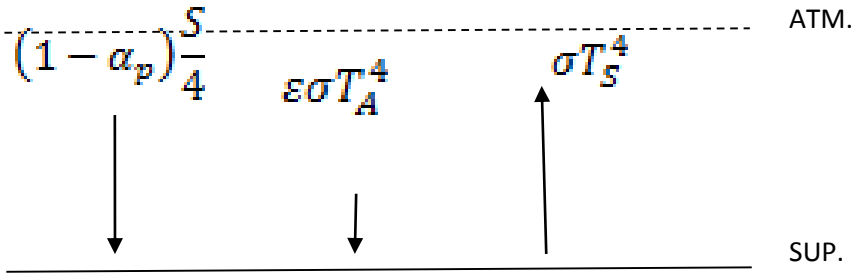
$$(1-\alpha_p)\frac{S}{4} = \varepsilon\sigma T_A{}^4 + (1-a)\sigma T_S{}^4$$

Radiazione solare

Radiazione emessa dall'atmosfera

Radiazione emessa dalla Terra e trasmessa dall'atmosfera nello spazio

Bilancio di energia della superficie



$$(1-\alpha_p)\frac{S}{4}+\varepsilon\sigma T_A{}^4=\sigma T_S{}^4$$

Radiazione solare

Radiazione emessa dall'atmosfera verso la Terra quindi assorbita dalla Terra)

Radiazione emessa dalla Terra

Modello 2: ruolo di una atmsfera (a_{atm}=a)

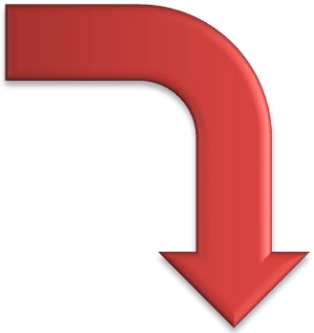
$$T_S^{\,4} = \frac{2T_e^{\,4}}{2-a} \quad ; \quad T_A^{\,4} = \frac{T_e^{\,4}}{2-a}$$

a (atm)	T_A (°K)	T_S (°K)
0	214.4	255.0
0.5	230.4	274.0
0.7	238.8	284.0
1	255.0	303.3

Al crescere di "*a*" la temperatura della atm e della sup crescono, allo scopo di mantenere il bilancio con la radiazione entrante.

In questo caso è solo la Terra che contribuisce nel mandare la radiazione nello spazio.

In questo caso è solo l'Atmosfera che contribuisce nel mandare la radiazione nello spazio.



Limiti di questo modello

- Si assume che l'atmosfera sia omogenea ed abbia una sola temperatura.

- Non include il fatto che in un'atmosfera reale i gas hanno densità variabile con la quota ed anche la temperatura varia con la quota.

- Inoltre l'atmosfera nel suo complesso NON e' in equilibrio termodinamico.

Ipotesi/semplificazioni alla base del modello

(consideriamo che il clima non è una cosa così semplice)

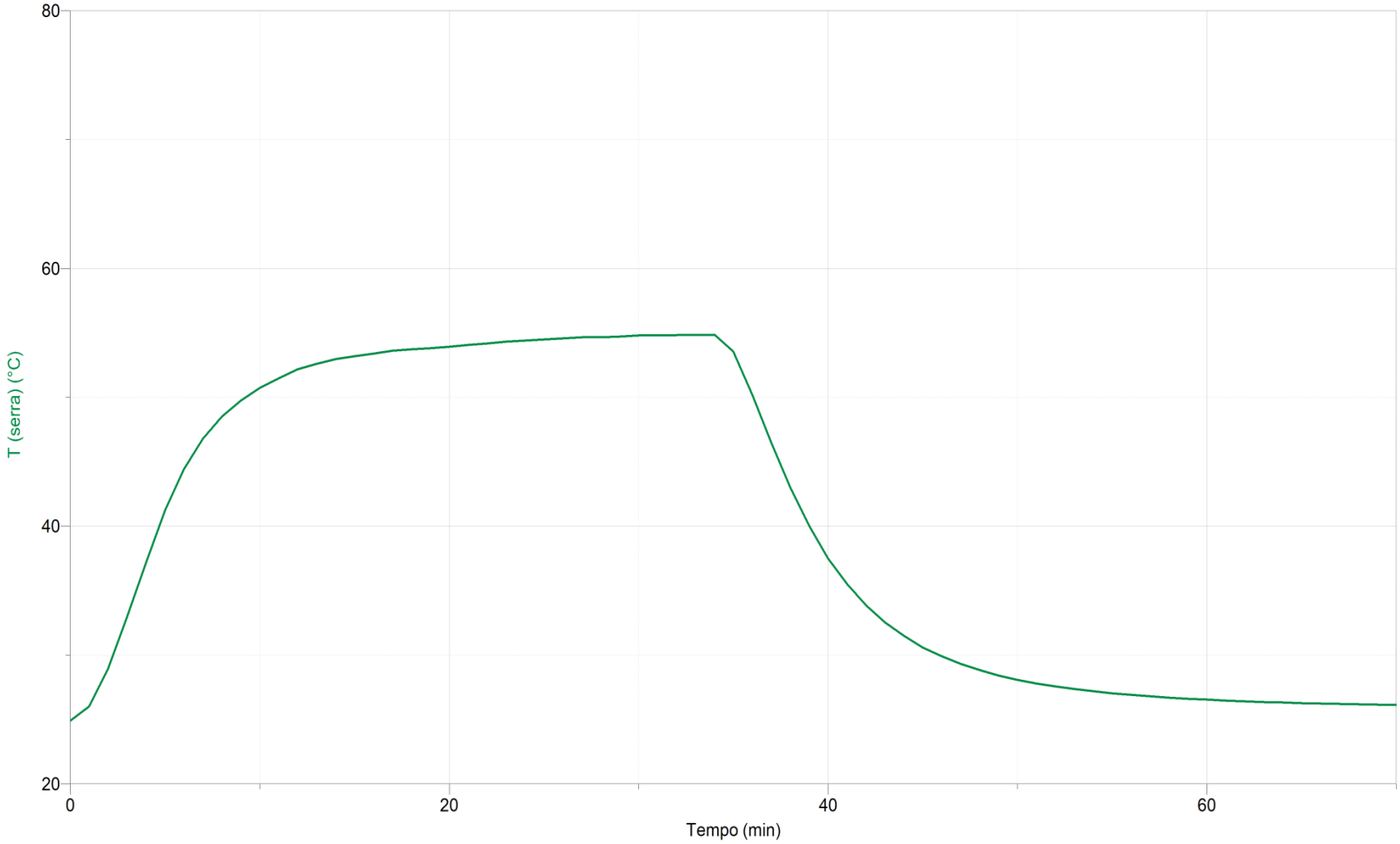
- i nostri calcoli prevedono un pianeta omogeneo
- stiamo facendo delle previsioni medie globali
- stiamo assumendo che l'assorbanza sia media in due soli intervalli (onda corta e onda lunga)

- l'anidride carbonica si suppone distribuita uniformemente su tutto il globo, ma il vapore acqueo invece diminuisce andando verso le zone polari quindi diminuisce l'assorbanza

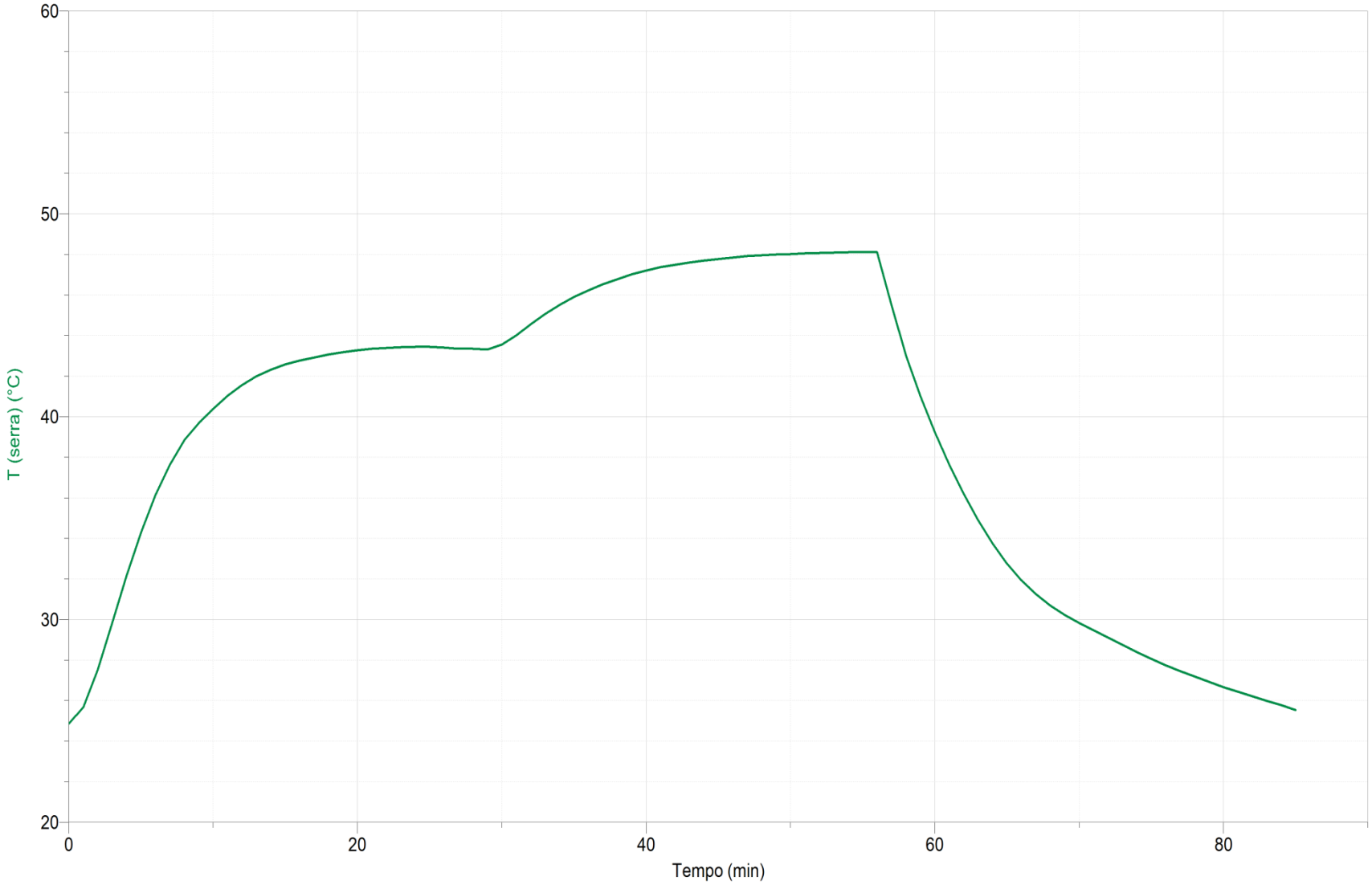
- esistono degli effetti di feedback (lo scioglimento dei ghiacci diminuisce l'albedo planetario, quindi se diminuisce l'albedo aumenta l'assorbanza … e questo è un feedback positivo, cioè va nella direzione di aumentare l'effetto)

I GRAFICI

Serra SENZA coperchio



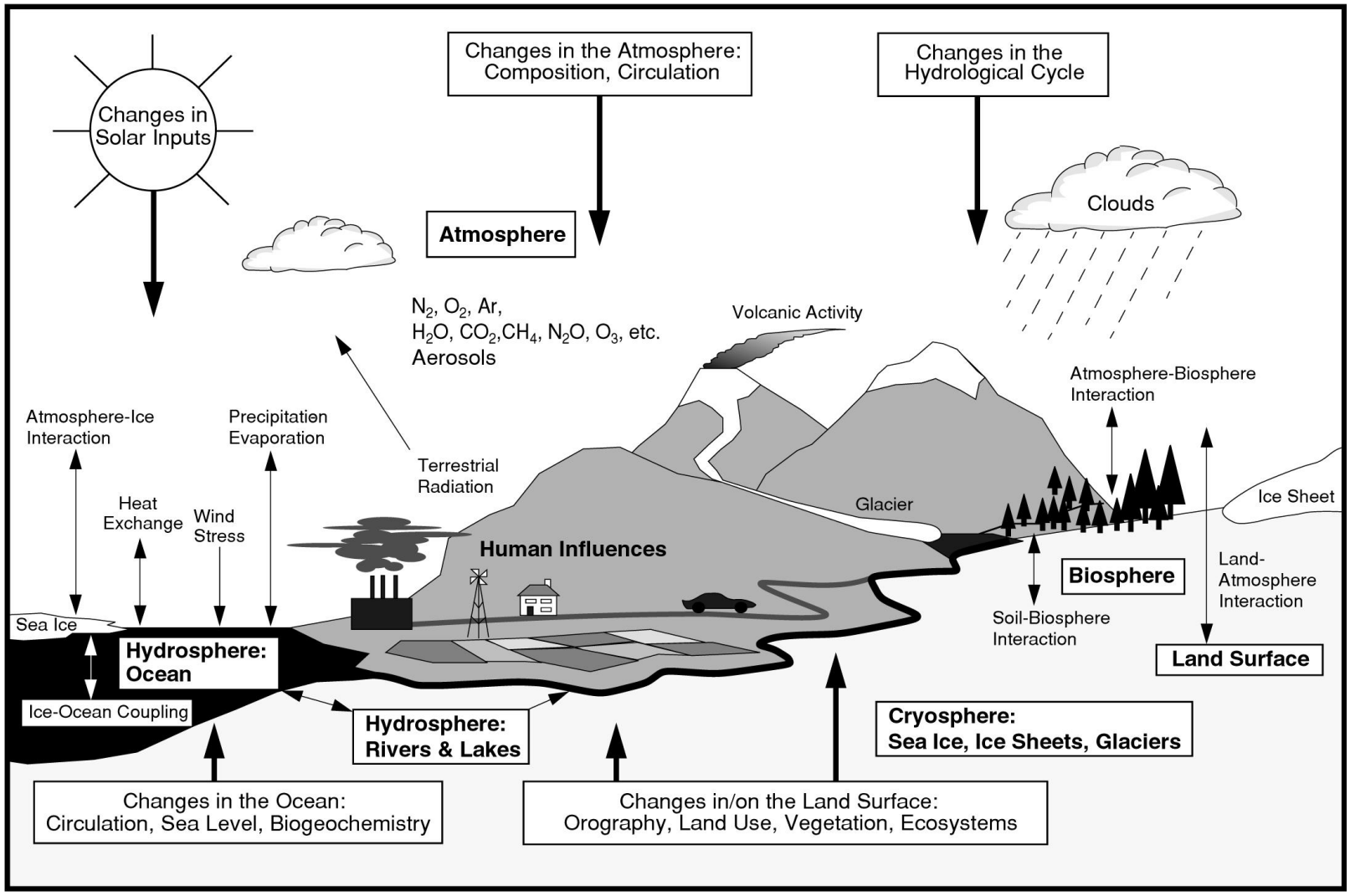
Serra CON coperchio



Dal laboratorio *"reale"* al laboratorio *"virtuale"*

Il "clima" è un sistema complesso!

È il risultato dell'interazione fra l'atmosfera e il sistema Terra, esso è quindi composto da tanti (e diversi) sotto-sistemi.



(tratta dal report del WG1-IPCC del 2001)

In laboratorio è possibile analizzare separatamente i singoli pezzi, mettendosi in **condizioni controllate e semplificate** …

ma …

È altrettanto possibile mettere insieme i pezzi e ricreare la *realtà climatica*?

Soprattutto per i processi a grande scala spazio-temporale, **non** è possibile farlo in un laboratorio *reale*!!

(*"Ci vorrebbe un'altra Terra gemella"*, Fiorani & Pasini)

Bisogna fare un passaggio al **laboratorio *virtuale***, ricostruendo i processi secondo la nostra esperienza sperimentale e la conoscenza teorica attraverso la ***simulazione*** del comportamento climatico reale.

Ci sono alcune considerazioni importanti da fare:

–Questo processo di "ricostruzione del clima" porta a **NON** avere una soluzione univoca da parte di scienziati diversi

–Nonostante questa diversità, i modelli attuali conducono a risultati simili tra loro

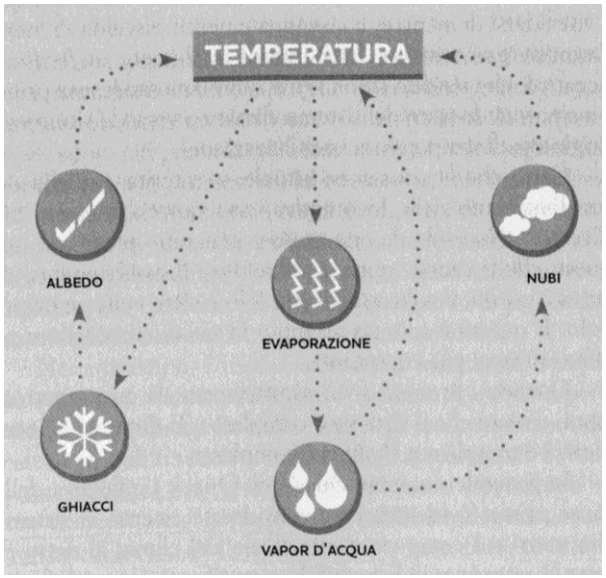
–La bontà di questi modelli va verificata proprio sulla loro capacità di ricostruire l'andamento climatico reale *passato*

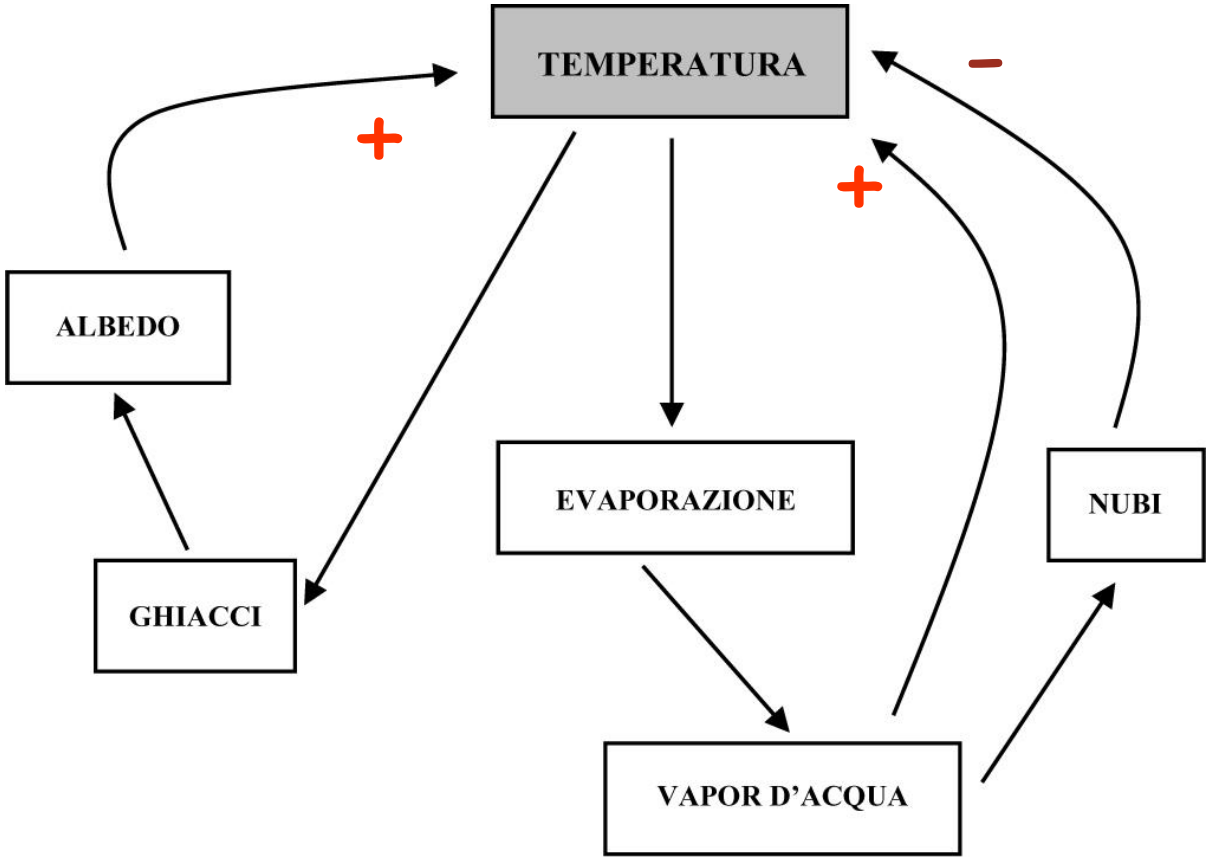
- *Valutare quali azioni (forzanti) esterne fanno variare e hanno fatto variare il comportamento del clima nella realtà climatica recente e remota*

–La "ricomposizione" delle parti non restituisce il sistema totale in maniera lineare, in quanto l'interazione fra le parti produce effetti di ***feedback*** (retroazioni):

- ***Feedback positivi:*** se vanno ad incrementare la causa prima
- ***Feedback negativi:*** se vanno a smorzare la causa prima

Esempio qualitativo su tre processi di feedback nel sistema clima





Verso la complessità …

Grazie

per l'attenzione!!