

Lezione n. 1: Calore

G. Signorelli e L. Galli
23/1/2019



aggiornamenti
laboratorio di didattica della scienza



aggiornamenti
laboratorio di didattica della scienza

calore

/ca·ló·re/

sostantivo maschile

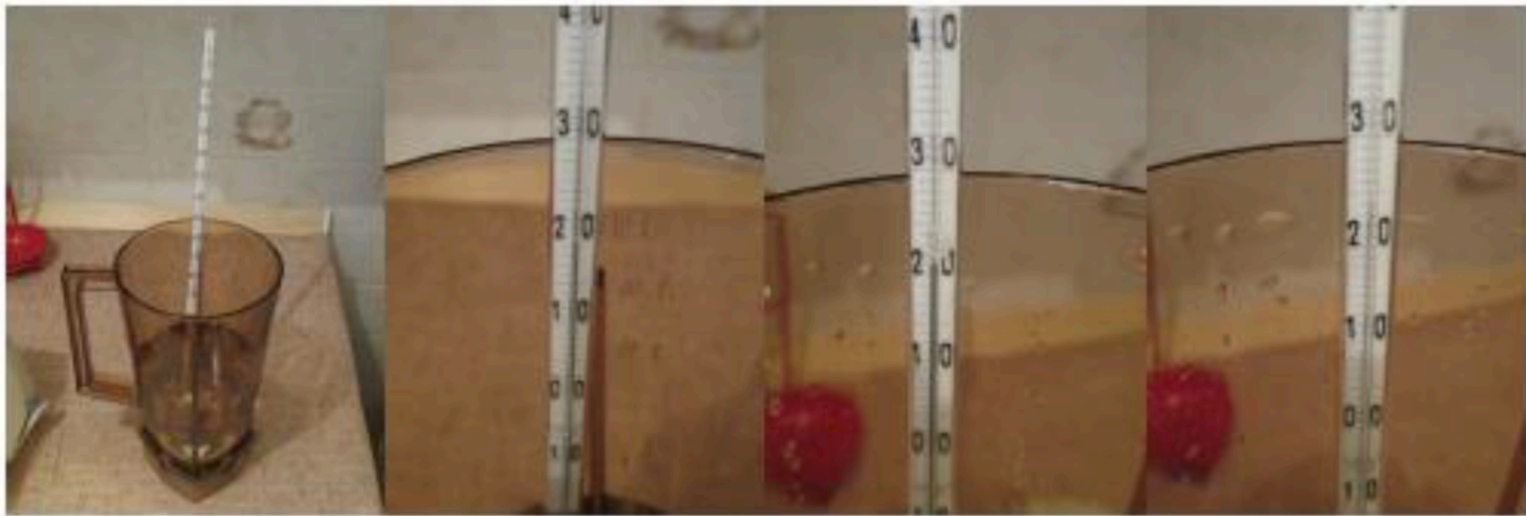
1. In fisica (secondo la *teoria cinetica del c.*), forma di energia interna a un corpo dovuta al moto disordinato e rapidissimo delle molecole che lo compongono; si trasmette da un corpo a un altro quando tra essi ci sia una differenza di temperatura, fluendo da quello a temperatura maggiore a quello a temperatura minore.
2. COM.
La fonte delle sensazioni di 'caldo', o la causa di fenomeni quali l'ebollizione dei liquidi, la dilatazione dei corpi, ecc., e anche la sensazione stessa prodotta dal contatto o dalla vicinanza di un corpo caldo: c. solare; il c. estivo; il c. del fuoco, della stufa; il c. della mano, della fronte.

Alcuni spunti di discussione

- Che legame c'è tra movimento delle particelle in un fluido e la sua temperatura?
- Come si propaga il calore?
- Come si raffreddano i corpi?
- Cosa è l'effetto serra?
- Perché un termosifone scalda l'ambiente meglio di un termoconvettore?
- Come si cammina sui carboni ardenti?



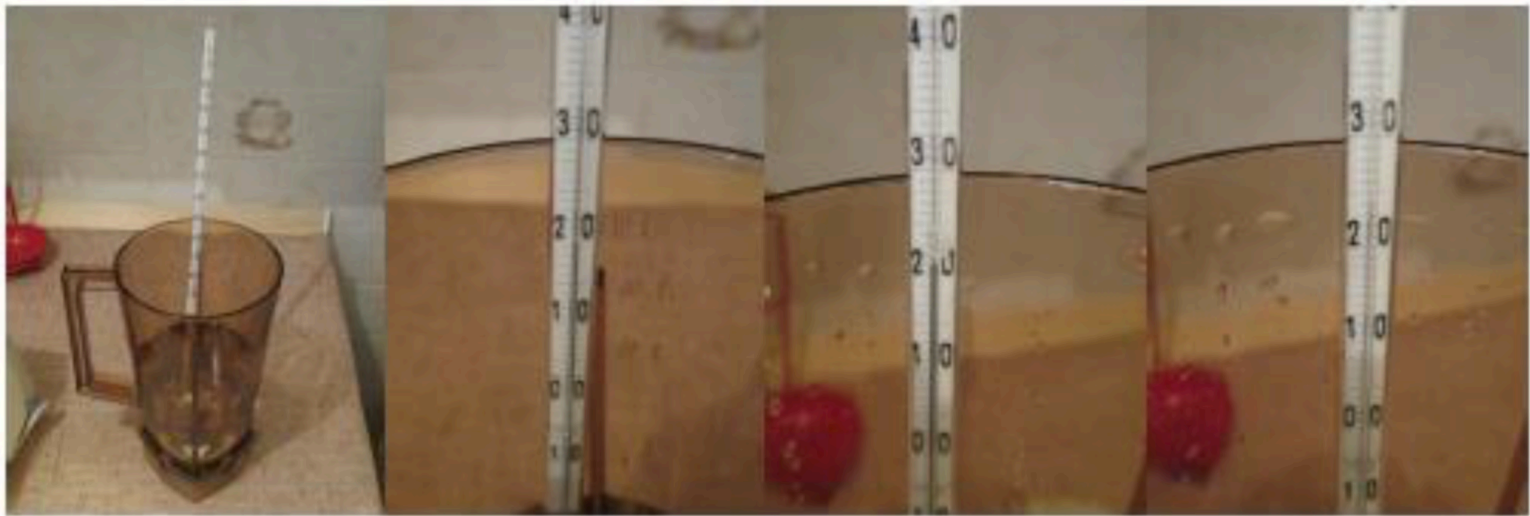
Esperimento #1: Il frullatore che scalda l'acqua



- Metti l'acqua in un frullatore e misurane la temperatura
- Fai andare il frullatore per un minuto e misura di nuovo la temperatura
- Fallo andare ancora e misura nuovamente la temperatura

COSA SUCCEDDE?

Esperimento #1: Il frullatore che scalda l'acqua



- Metti l'acqua in un frullatore e misurane la temperatura
- Fai andare il frullatore per un minuto e misura di nuovo la temperatura
- Fallo andare ancora e misura nuovamente la temperatura

COSA SUCCEDA?

L'energia meccanica delle pale si è trasferita in energia cinetica (movimento) delle molecole dell'acqua, umentando la temperatura

L'esperimento appena descritto è stato quello che, con in mezzi dell'epoca, ha consentito al fisico **Joule** nel 1850 di stabilire l'*equivalente meccanico del calore*. In suo onore in fisica l'*unità di misura dell'energia* è il Joule (simbolo: J).

Nello studio del calore, ma anche in biologia e in nutrizione (etichette degli alimenti!), l'energia viene spesso misurata in **chilocalorie** (simbolo: Cal o kcal). La chilocaloria è definita come l'*energia necessaria per aumentare di 1 grado la temperatura di 1 kg di acqua* ($1 \text{ Cal} = 4186 \text{ J}$).

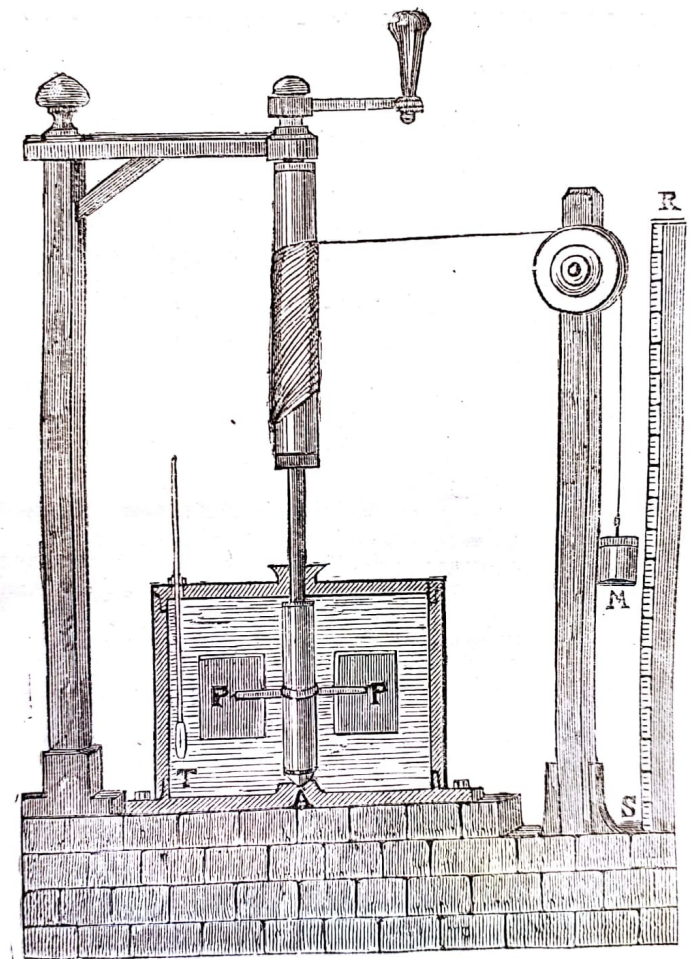


Fig. 205. — APPAREIL DE M. JOULE.

Relazione fra temperatura ed energia

In un fluido, l'**energia media** delle particelle che lo compongono (atomi, molecole ...) è direttamente proporzionale alla **temperatura media** del fluido stesso.

$$E = kT$$

E = energia cinetica, di movimento delle particelle

k = costante di Boltzmann $\sim 1.4 \times 10^{-23}$ J/K

Considerazioni

L'esperimento appena effettuato permette di associare l'equivalente meccanico al calore: **la caloria**.

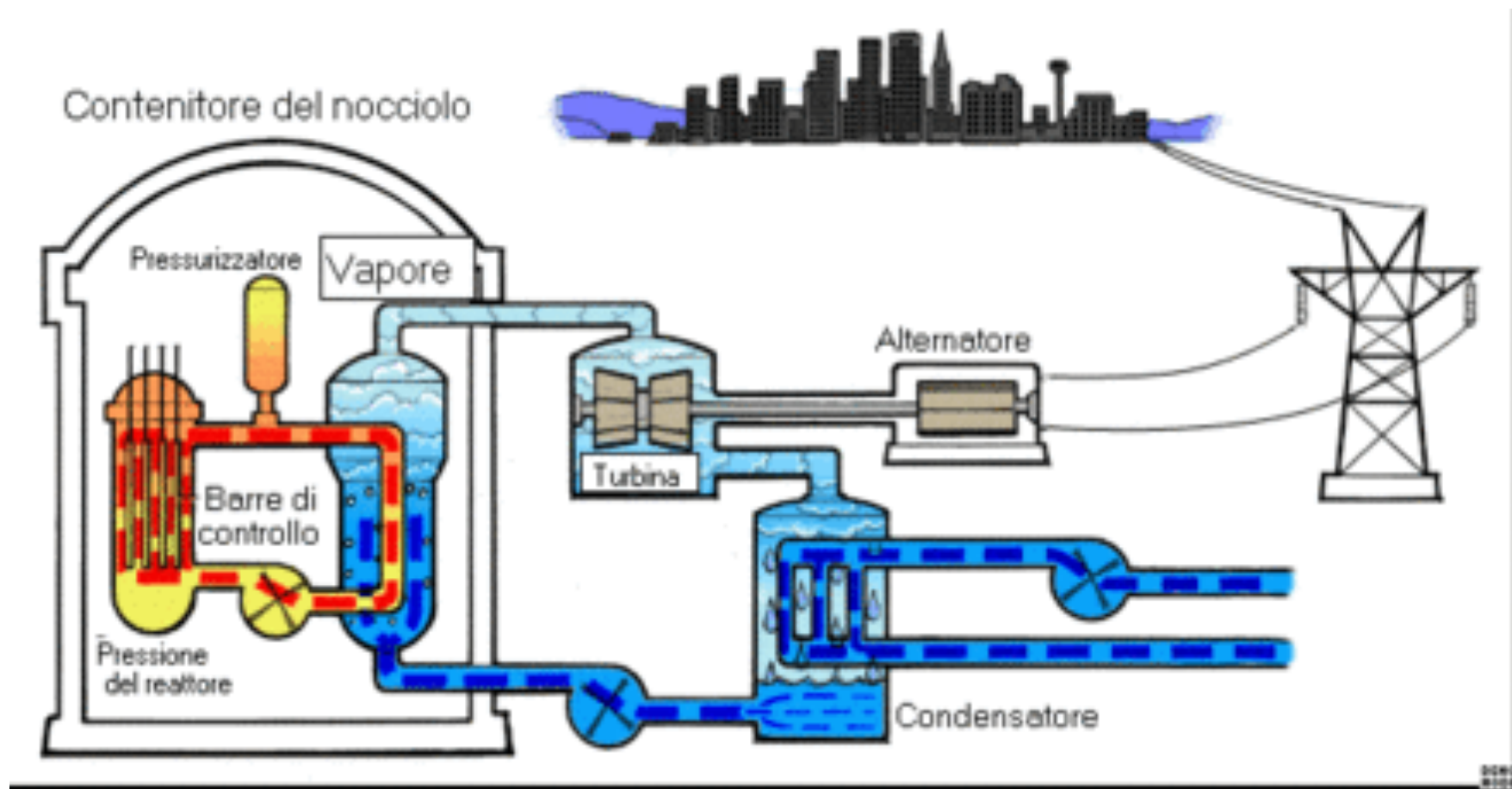
L'energia è spesso espressa in **chilocalorie** (spesso chiamate sui cibi "calorie")

1 chilocaloria = energia necessaria per aumentare di un grado la temperatura di 1kg (1 litro) di acqua

Corrisponde grosso modo all'energia spesa per salire un paio di piani di scale

- **Per cambiare di 1 grado la temperatura di una grossa massa d'acqua occorre molta energia.** Per questo l'acqua è usata come termostato o per raffreddamento (nelle centrali nucleari, ad esempio)
- **Dimagrire facendo solo ginnastica non è facile! (1 cucchiaino di zucchero = 20 kcal = 40 piani di scale!)**

Considerazioni



Quante calorie consuma un adulto per vivere?

Metabolismo basale (il minimo indispensabile per vivere): circolazione, respirazione, digestione, attività del cervello.

Un Uomo di media statura e peso normale: circa 2000 kcal/giorno,

$$2000 \text{ kcal} \times 4186 \text{ J/kcal} / (24 \times 60 \times 60 \text{ s}) \approx 97 \text{ J/s} = 97 \text{ W}$$

Circa quanto una lampadina da 100W accesa tutto il giorno!

In questa stanza stiamo riscaldando come una stufetta da 2kW (3kW il contratto di casa)

Il cervello ne consuma la maggior parte

Consumo dovuto al moto: vita “normale” al massimo qualche centinaio di calori

Quante calorie ingeriamo? **Un piatto di carbonara:** 700 kCal

Ecco perchè ingrassare è “semplice”!



Trasporto del calore

Temperatura maggiore = maggiore energia cinetica delle molecole del corpo (moto disordinato in tutte le direzioni)

Temperatura minore = le molecole si muovono più lentamente

Corpi caldi a contatto con corpi freddi comunicano calore **tramite agitazione termica**, cioè comunicando parte della loro energia alle molecole più “lente” del corpo freddo con cui sono in contatto

Approfondimento

Il calore fluisce da un corpo **caldo** a uno **freddo**, ma mai il contrario. **Se potesse accadere il contrario**, avremmo risolto tutti i problemi energetici della terra: mettendo a contatto dell'acqua a temperatura ambiente con dell'altra più calda, la prima ghiaccerebbe facendo bollire la seconda!

Purtroppo non accade mai! Perché?

Le ragioni sono prettamente statistiche: dato il numero di molecole coinvolte in un volume macroscopico di materia ($>N_{\text{Avogadro}}$ che vale $\sim 10^{23}$), è immensamente improbabile che gli urti fra le molecole siano tali da rallentare (e quindi raffreddare ulteriormente) le molecole lente (cioè l'acqua fredda), aumentando l'energia (e quindi riscaldando) le molecole dell'acqua calda.

È molto più probabile che una molecola veloce, urtando una lenta, perda energia a favore di quella lenta. Alla fine si avrà quindi una uniformità della temperatura in tutto il sistema, con condizione di equilibrio, senza possibilità di effettuare ulteriori scambi di calore.

In altre parole la reazione più probabile è quella che statisticamente definisce la condizione finale del sistema.

Esperimento #2

Inchiostro versato in un bicchiere pieno d'acqua. Dopo un po' il bicchiere sarà **uniformemente grigio**.



Non succede mai che la soluzione acqua + inchiostro, da uniformemente grigia, si separi in acqua pulita e inchiostro.

Tuttavia, *se potessimo osservare al rovescio il filmato del moto di ciascuna molecola e di acqua, non vedremmo niente che vada contro le leggi della natura!*

Non succede soltanto perché la probabilità è estremamente bassa!

Esperimento #2

Inchiostro versato in un bicchiere pieno d'acqua. Dopo un po' il bicchiere sarà **uniformemente grigio**.



Non succede mai che la soluzione acqua + inchiostro, da uniformemente grigia, si separi in acqua pulita e inchiostro.

Tuttavia, *se potessimo osservare al rovescio il filmato del moto di ciascuna molecola e di acqua,* **non vedremmo niente che vada contro le leggi della natura!**

Non succede soltanto perché la probabilità è estremamente bassa!

Il trasporto del calore

L'energia (il calore) può essere trasportata tramite **tre meccanismi diversi**:

1. **Conduzione**: tramite le collisioni e le vibrazioni reticolari (**contatto** tra corpi)
2. **Convezione**: **trasporto diretto di materia** tra le zone più calde a zone più fredde (ad esempio in atmosfera)
3. **Irraggiamento**: ogni corpo a una qualunque temperatura diversa dallo zero assoluto emette **onde elettromagnetiche**. Un corpo caldo (ad esempio un calorifero, ma anche il corpo umano) emette **raggi infrarossi**. Le onde elettromagnetiche vengono assorbite dai corpi circostanti, che quindi si scaldano.

Il trasporto del calore: la conduzione

Alcuni materiali conducono il calore meglio degli altri:



- . I metalli sono ottimi conduttori di calore
- . Legno e plastica sono invece isolanti termici

- Queste proprietà sono dovute alla loro struttura microscopica.
- Nei metalli gli elettroni sono liberi di muoversi, conducono corrente elettrica e calore in modo efficiente
- Negli isolanti la conduzione di calore avviene solo tramite la vibrazione degli atomi

Il trasporto del calore: la conduzione

Ecco perché le panchine in inverno ci sembrano più fredde, e quelle di legno no!

La loro temperatura è la stessa, uguale a quella ambiente, ma quelle di ferro sono molto più efficaci nel sottrarci calore da corpo!

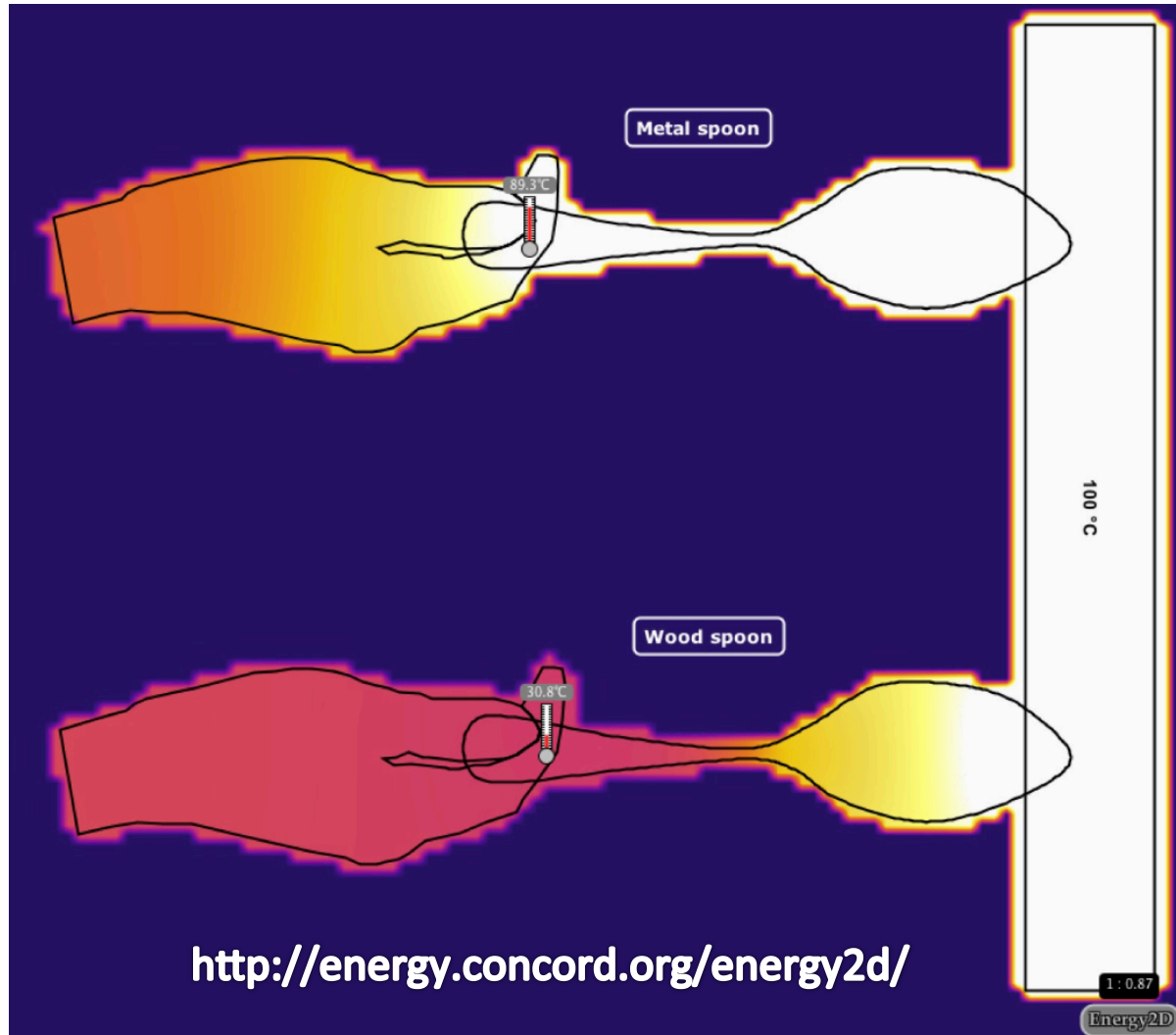


Il trasporto del calore: la conduzione

Invece nella sauna, dove la temperatura è molto alta, un sedia di ferro al contatto con il nostro corpo ci trasmetterebbe immediatamente una grande quantità di calore, al contrario di una sedia di legno



Simulazione



Esperimento #3

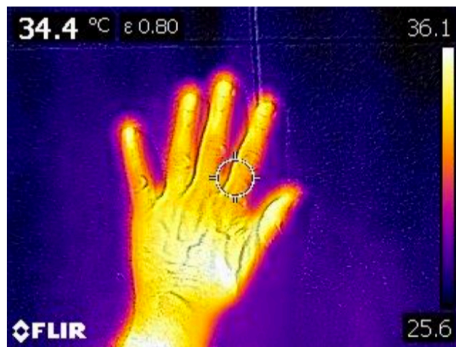


- Chi conduce di più?
- Quale cece cadrà per primo?

ergy2d/

Esperimento #4: giochiamo con la macchina termografica

Appoggia la mano su un oggetto di legno, di plastica o di metallo e poi toglila: Cosa succede all'immagine?



Plastica: conduce poco il calore, e l'impronta calda della mano resta ben visibile nel tempo



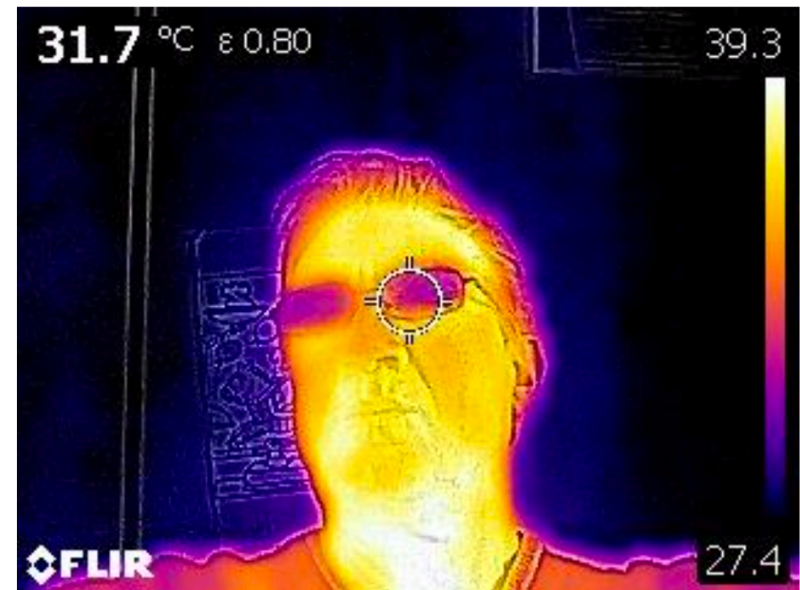
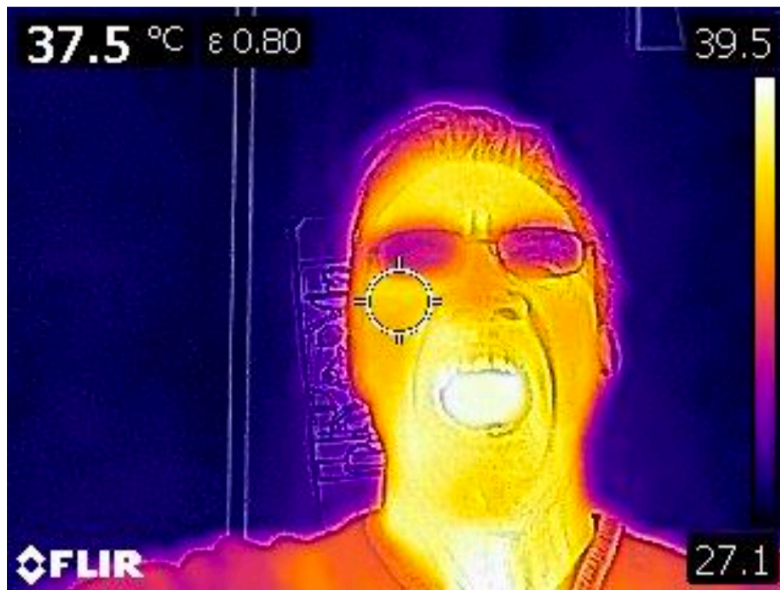
Metallo: conduce bene il calore, e l'impronta calda della mano si sfuma e scompare velocemente





Selfie termografici

Il collo è mediamente più caldo, la bocca aperta (a sinistra) è più calda e gli occhiali sono freddi.



Il trasporto di calore: la convezione

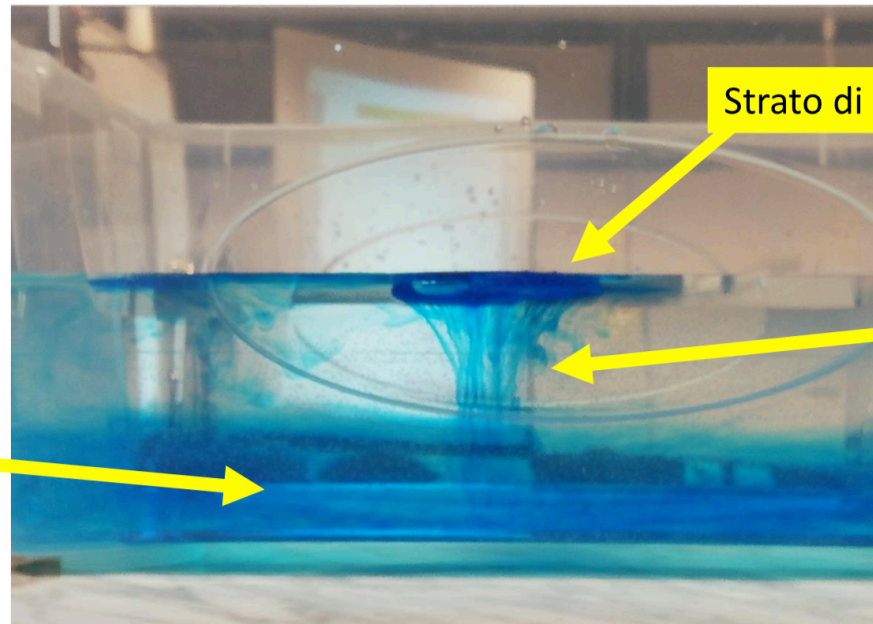
- È un modo per trasportare calore attraverso il **trasporto diretto di materia**
- Si applica a gas a liquidi (fluidi)
- Avviene tipicamente quando una regione di fluido meno denso (più caldo) si trova sotto a una regione più densa (più fredda).
- Avviene ad esempio nell'atmosfera, nelle stelle e nel mantello terrestre



Esperimento #5

Il trasporto di calore: la convezione

- Riempi una bacinella di acqua a temperatura ambiente
- Mettici dentro un cubetto di ghiaccio colorato con un colorante alimentare: dove va a finire l'acqua fredda di fusione del ghiaccio?



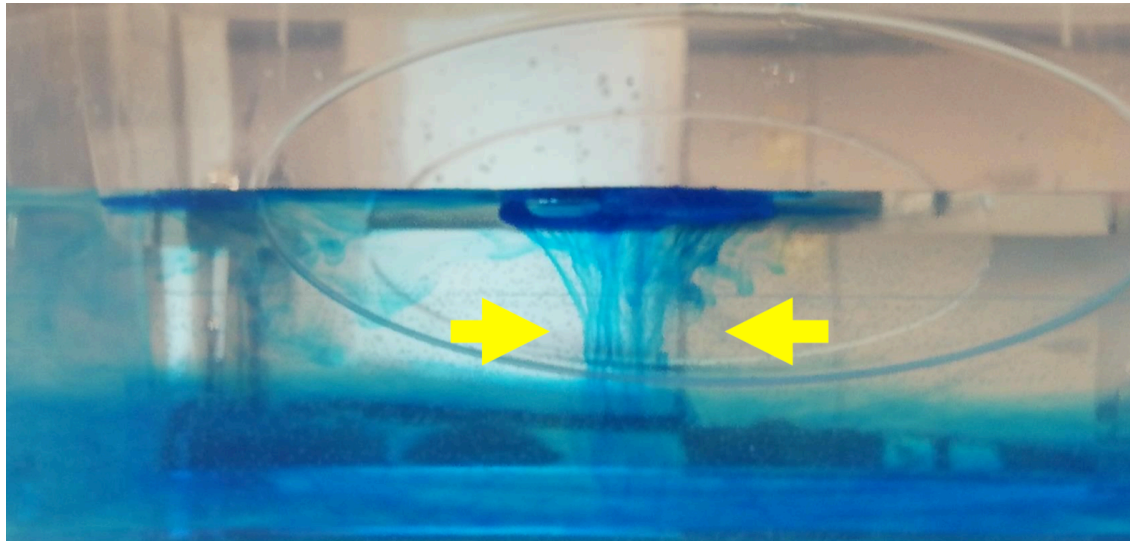
Strato di ghiaccio

L'acqua fredda si diffonde restando sul fondo

L'acqua di fusione del ghiaccio, più pesante dell'acqua della bacinella, scende verso il fondo

Il trasporto di calore: la convezione

Perché le righe blu tendono verso il centro mentre scendono verso il basso?



È legato al teorema di Bernoulli e lo vedremo alla lezione 2 sui fluidi!

Il trasporto di calore: la convezione

Succede la stessa cosa nell'atmosfera quando c'è l'inversione termica: l'aria calda in alto impedisce il rimescolamento dell'atmosfera, causando il ristagno dello smog in basso



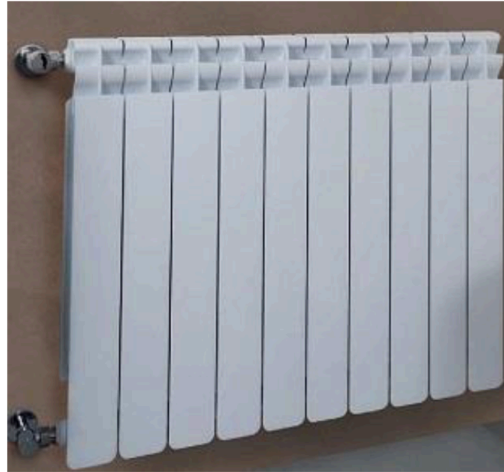
Esperimento #6

Il trasporto di calore: la convezione

- Vediamo cosa succede al rimescolamento dei fluidi utilizzando dei bicchierini con acqua calda e fredda
- Possiamo riprodurre la condizione di inversione termica
- L'acqua fredda in basso non si mescola con la calda superiore



Il trasporto di calore: l'irraggiamento



Il trasporto di calore: l'irraggiamento



Una stufa elettrica quando si scalda (circa 2000 gradi) diventa rossa: emette onde elettromagnetiche!

L'intensità della radiazione em. Emessa dipende **dalla quarta potenza della temperatura**: $I = \sigma T^4$ (legge di Stefan-Boltzmann)

Il colore della luce (lunghezza d'onda dominante) è **inversamente proporzionale alla temperatura**.

I colori delle stelle dipendono dalla loro temperatura superficiale: **rosso-arancio circa 3000 gradi**, **blu 7000 gradi**

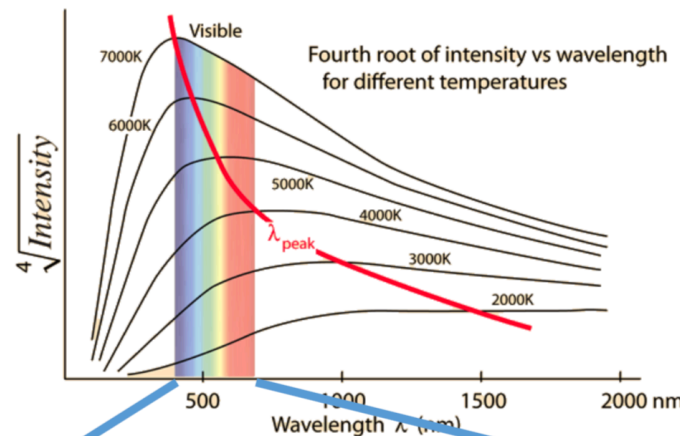
Il trasporto di calore: l'irraggiamento



Quello che ci scalda sotto il sole sono i **raggi infrarossi** che assorbiamo e **non l'aria calda**

Il trasporto di calore: l'irraggiamento

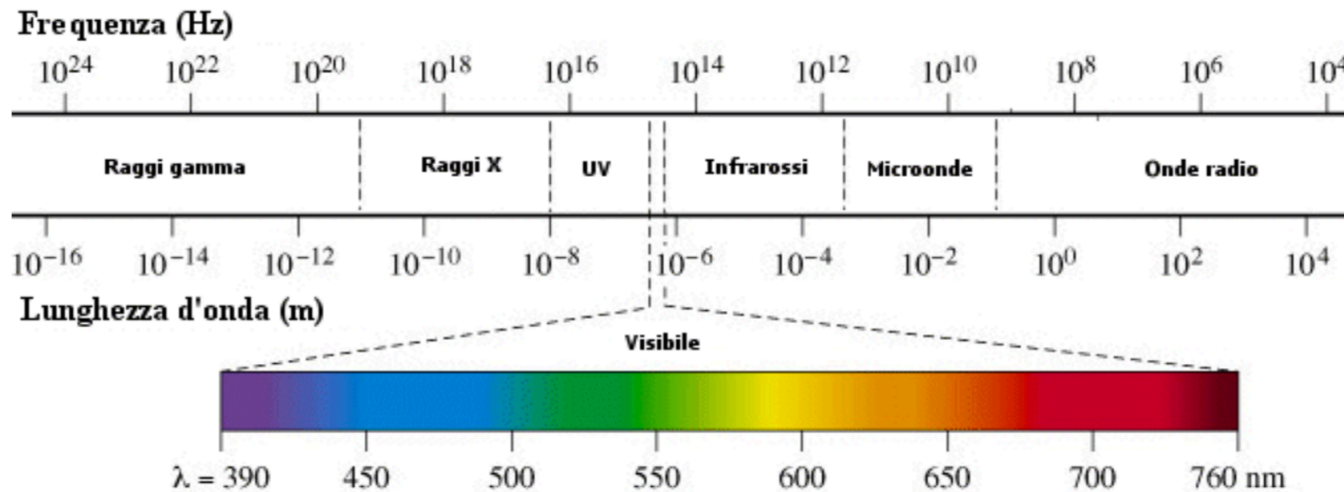
La lunghezza d'onda (che è inversamente proporzionale alla frequenza) della radiazione e.m. emessa da un corpo ad una data temperatura. Ricorda: **piccole lunghezze d'onda = grandi frequenze** (e viceversa) essendo $\lambda = c/f$, dove **c** è la **velocità della luce**



Il nostro occhio vede solo una piccola finestra delle onde elettromagnetiche che ci circondano

Il trasporto di calore: l'irraggiamento

Esistono molti "tipi" di onde elettromagnetiche

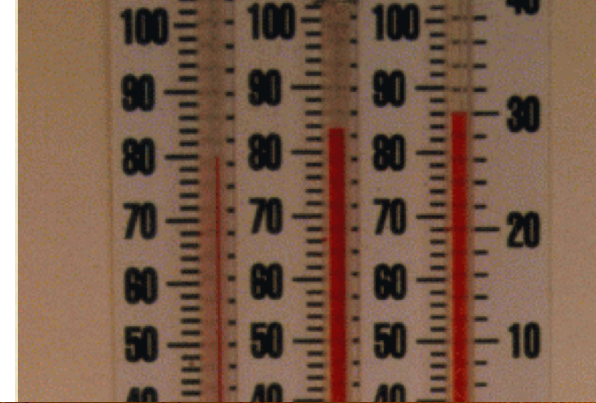
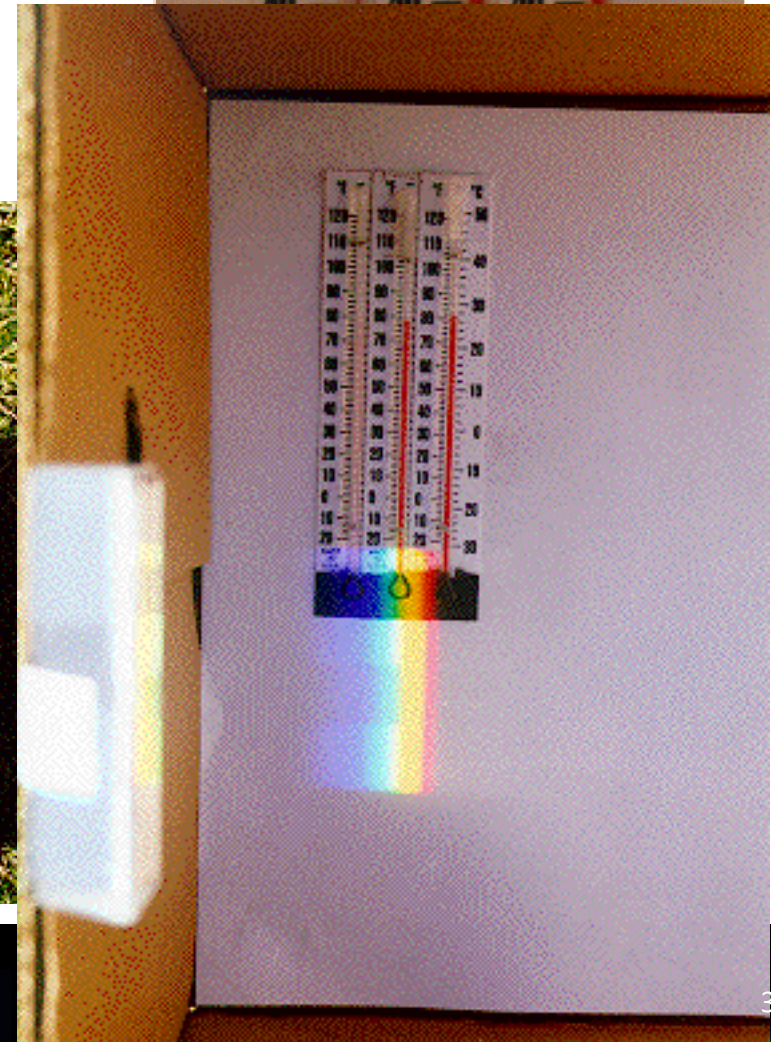
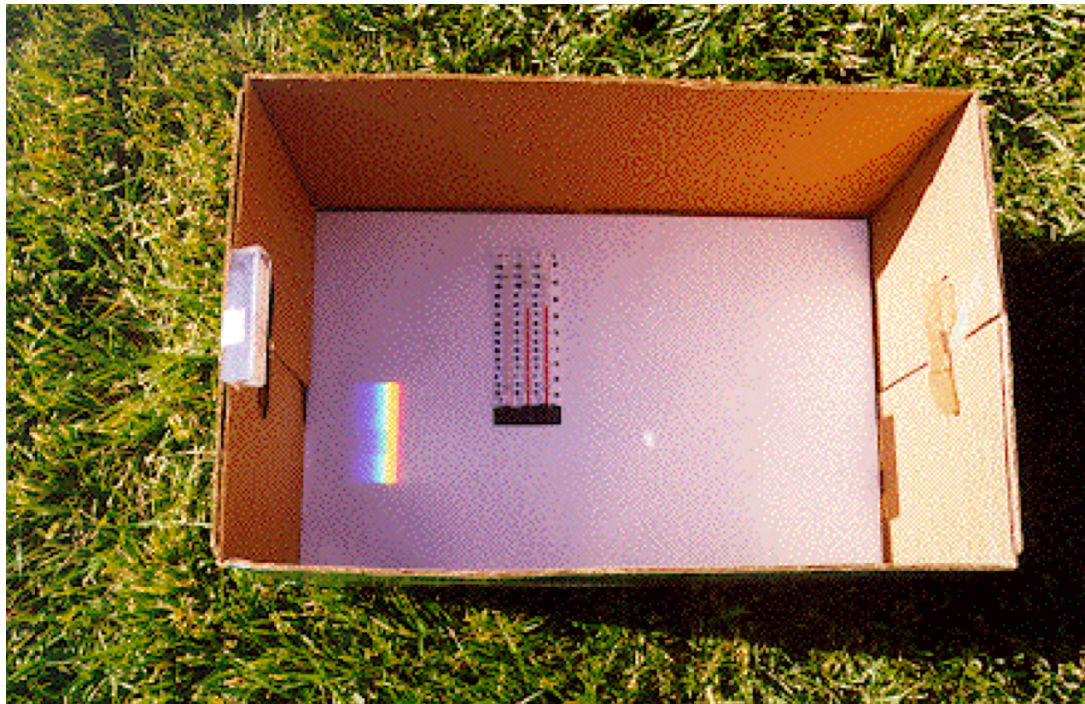


- Quelle **visibili dal nostro occhio** sono una piccola parte
- **Raggi gamma, X, UV**: piccola lunghezza d'onda, grande energia (dannosi per la salute)
- **Infrarossi e microonde** (scaldano)
- **Onde radio**: scavalcano grandi ostacoli grazie alla grande lunghezza d'onda (ne ripareremo nei prossimi incontri)

Herschel ('800)

Il calore è trasportato (anche) dalla luce

Scoperta degli “infrarossi”

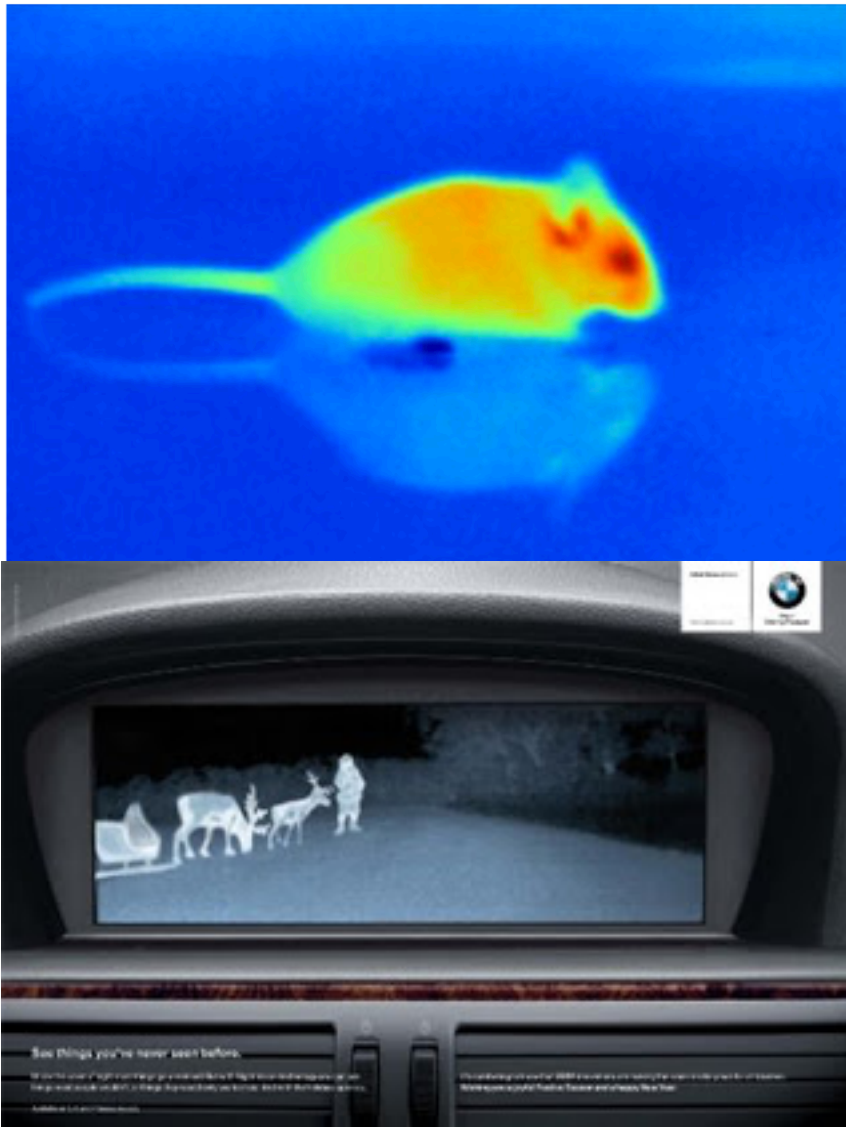


Il trasporto di calore: l'irraggiamento

Visione all'infrarosso.

Gli occhi dei serpenti e di altri animali sono sensibili all'infrarosso. Gli esseri viventi sono caldi, e quindi emettono onde e.m. nella banda dell'infrarosso. Quindi riescono a vedere le prede (o i pericoli) anche in mezzo all'erba.

Automotive IR vision per la sicurezza



Il trasporto di calore: l'irraggiamento



Perché ai feriti mettono le coperte di alluminio? È sottilissima e non può certo proteggere dal freddo!

Proviamo a capirlo con un esperimento

Esperimento #7

Facciamo un set di esperimenti



Versa l'acqua molto calda (70,80 gradi) in una bottiglia, e misura l'andamento della temperatura nel tempo, nei seguenti casi:

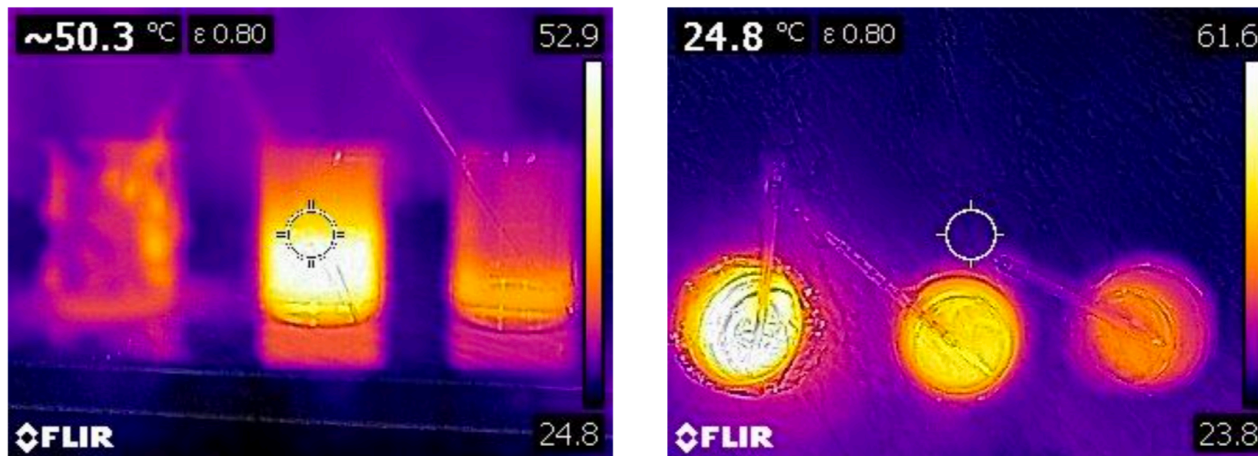
- Poca acqua
- Molta acqua
- Bottiglia ricoperta da carta di alluminio

Vediamo con quale velocità si raffreddano!



Il trasporto di calore: l'irraggiamento

Osserva i contenitori con e senza la carta di alluminio tramite una camera termica, noti qualche differenza?

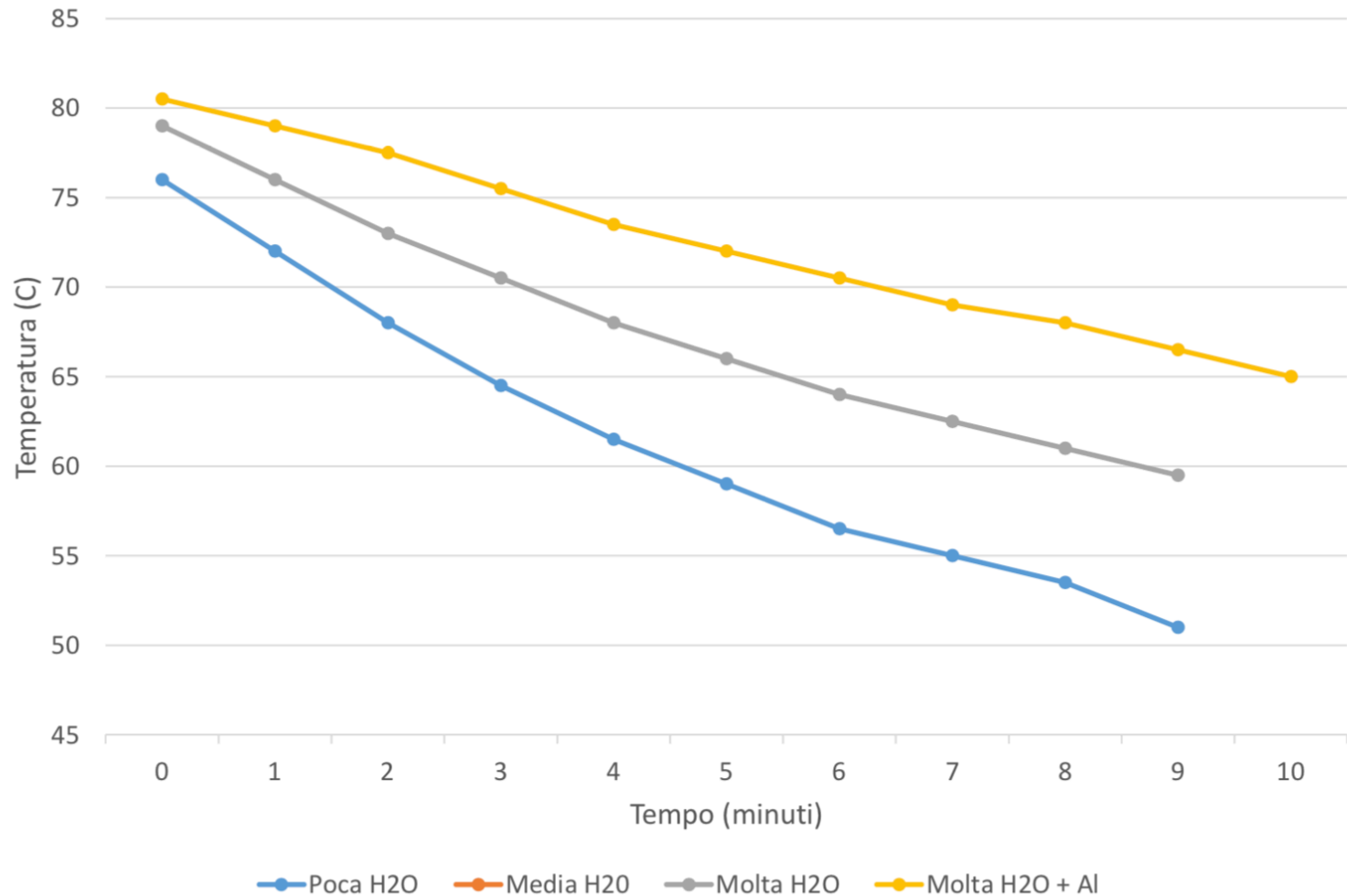


- Il contenitore a sinistra, ricoperto di alluminio, appare più freddo, perché l'alluminio scherma i raggi infrarossi, riflettendoli all'interno del bicchiere
- In realtà visto dall'alto dove c'è lo schermo l'acqua nel bicchiere appare più calda, essendosi raffreddata meno degli altri

Cosa impariamo?

- I tre insiemi di punti hanno **pendenze diverse**: vuol dire **che l'acqua si raffredda con velocità diverse** nei tre casi
- **La pendenza è la variazione di temperatura nel tempo** (la derivata della temperatura rispetto al tempo) e rappresenta la **velocità di raffreddamento**
- **Il caso "poca acqua" si raffredda più velocemente** (è più pendente). Essendoci meno materiale da raffreddare (la capacità termica, che è proporzionale alla massa, è minore), è giusto che sia così (una piscina si raffredda, o si riscalda, più velocemente di una bacinella!)
- **Se c'è "molta acqua", la velocità di raffreddamento è di conseguenza minore (meno pendente)**
- Nel caso "molta acqua", mai con **il contenitore ricoperto di alluminio, la velocità di raffreddamento è ancora più lenta**. Il motivo è che l'alluminio essendo un metallo, **scherma i raggi infrarossi** emessi dall'acqua calda e li riflette di nuovo verso l'interno, mantenendo l'acqua più calda.
- Col tempo le due curve tendono ad appiattirsi: all'inizio l'acqua si raffredda velocemente perché la sua temperatura è molto maggiore dell'ambiente. Po, col tempo, diminuendo la differenza di temperatura con l'esterno, la velocità di raffreddamento cala

Temperatura in funzione del tempo

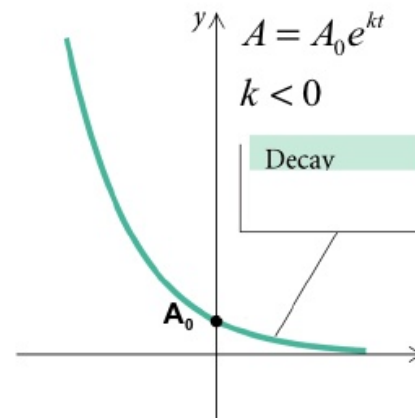
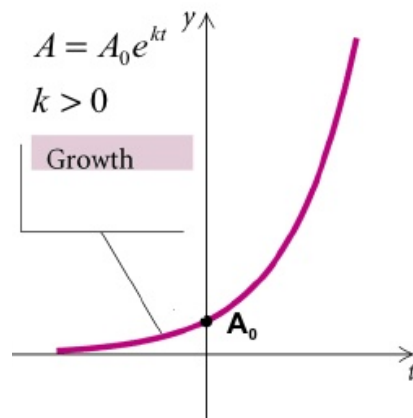


Approfondimento: La funzione esponenziale

- Il decrescita (o la crescita) esponenziale si ritrova ogniqualvolta in seguito ad osservazioni successive la quantità misurata diminuisce di una *frazione* costante
- Cfr la decrescita (o la crescita) lineare in cui in seguito ad osservazioni successive la quantità misurata diminuisce di una *quantità* costante

$$N_i/N_{i-1} = \alpha$$

$$N_i - N_{i-1} = \alpha$$



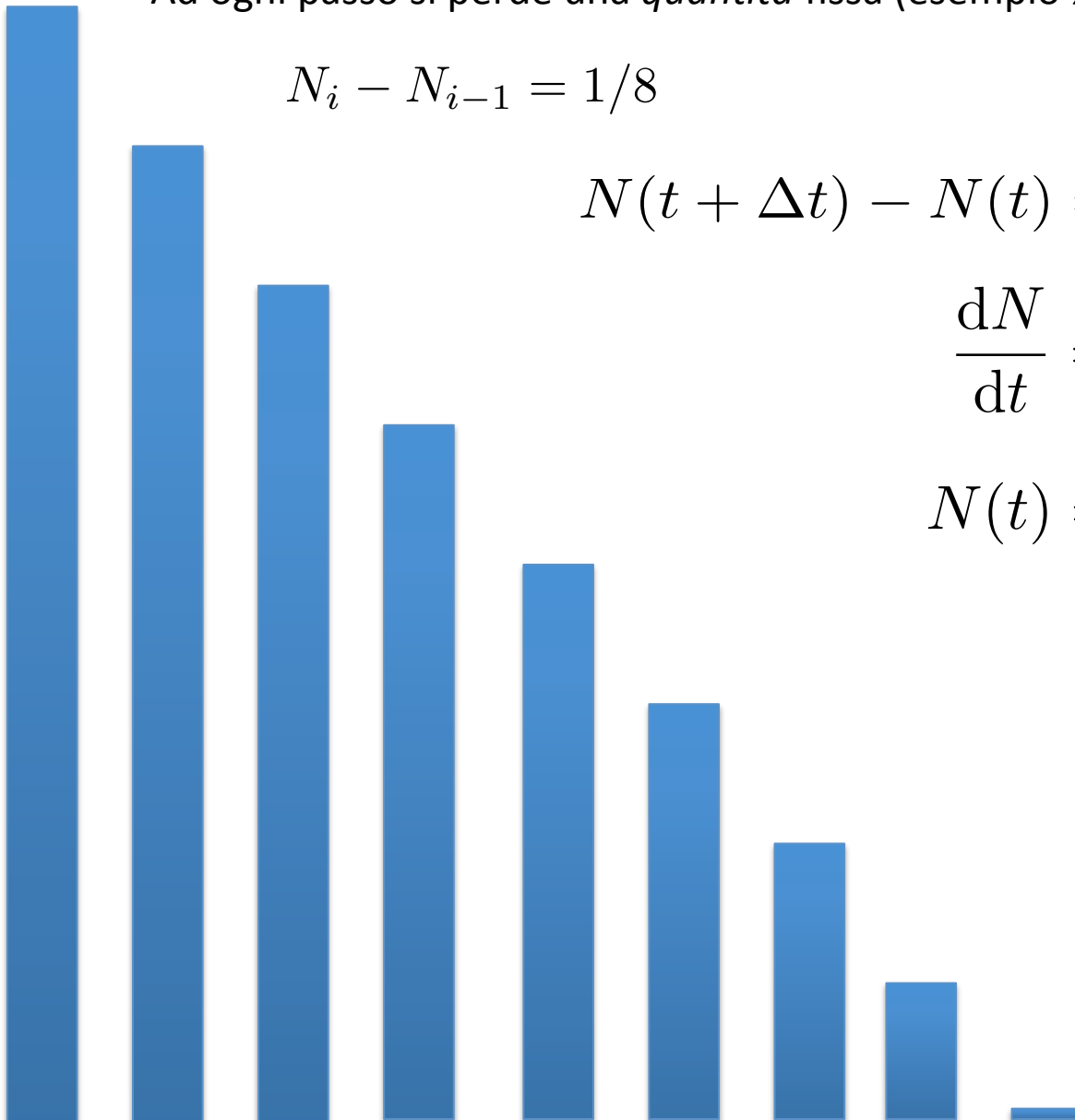
Ad ogni passo si perde una *quantità* fissa (esempio $\frac{1}{4}$) rispetto al campione precedente

$$N_i - N_{i-1} = 1/8$$

$$N(t + \Delta t) - N(t) = -\alpha \Delta t$$

$$\frac{dN}{dt} = -\alpha$$

$$N(t) = -\alpha t + \text{cost}$$



Ad ogni passo si perde una *quantità* fissa (esempio $\frac{1}{4}$) rispetto al campione precedente

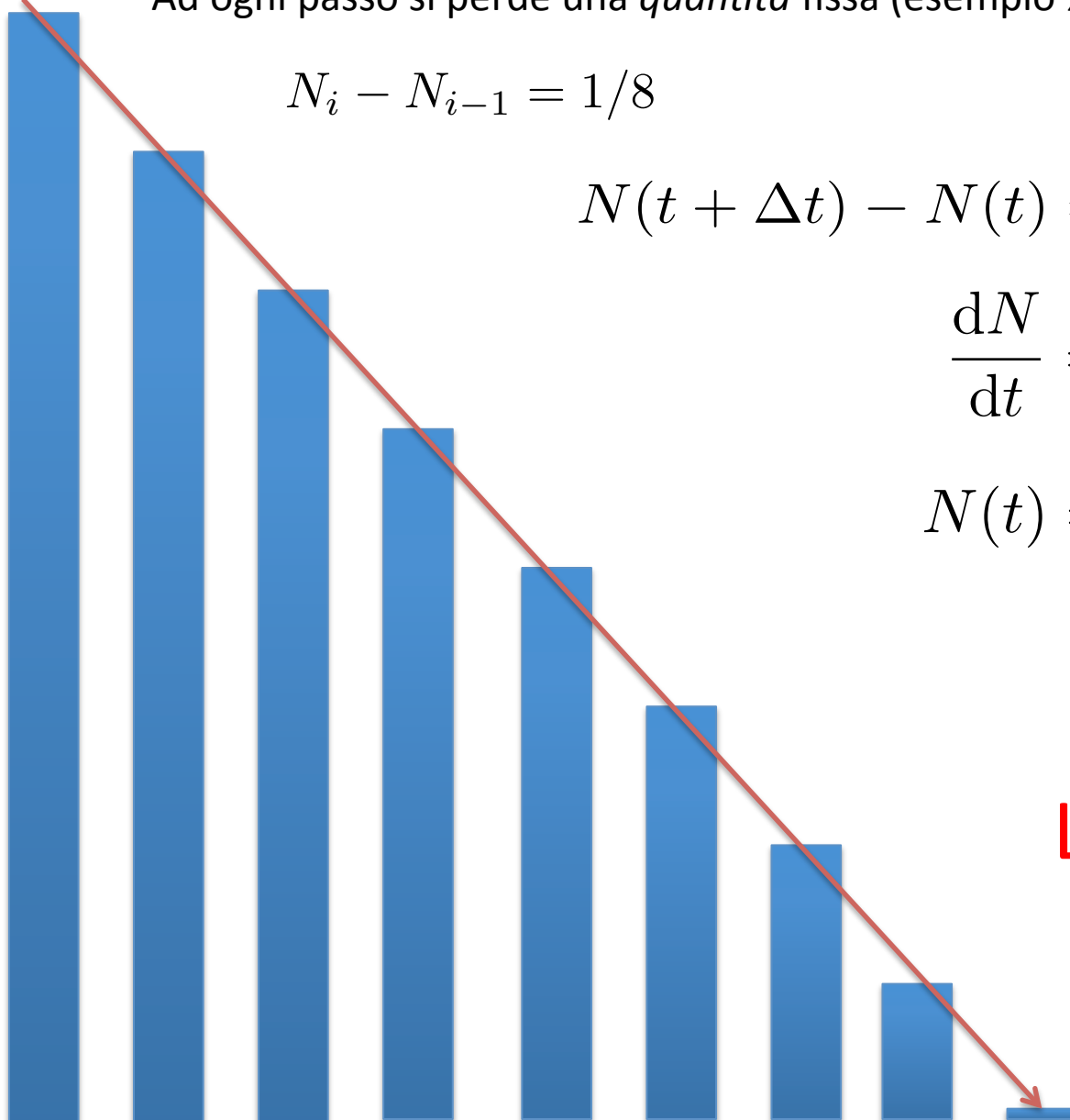
$$N_i - N_{i-1} = 1/8$$

$$N(t + \Delta t) - N(t) = -\alpha \Delta t$$

$$\frac{dN}{dt} = -\alpha$$

$$N(t) = -\alpha t + \text{cost}$$

LINEARE



Ad ogni passo si perde una *frazione* fissa (esempio $\frac{1}{4}$) del campione precedente

$$\frac{N_i}{N_{i-1}} = \frac{3}{4}$$

$$N(t + \Delta t) - N(t) = -\lambda \Delta t N(t)$$

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

$$N(t) = N(0)e^{-\lambda t} = N(0)e^{-t/\tau}$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

$$\frac{N(t + \Delta t)}{N(t)} = \frac{N(0)e^{-\lambda(t+\Delta t)}}{N(0)e^{-\lambda t}} = e^{-\lambda \Delta t} = \text{numero}$$

Ad ogni passo si perde una *frazione* fissa (esempio 1/2) del campione precedente

$$\frac{N_i}{N_{i-1}} = \frac{1}{2}$$

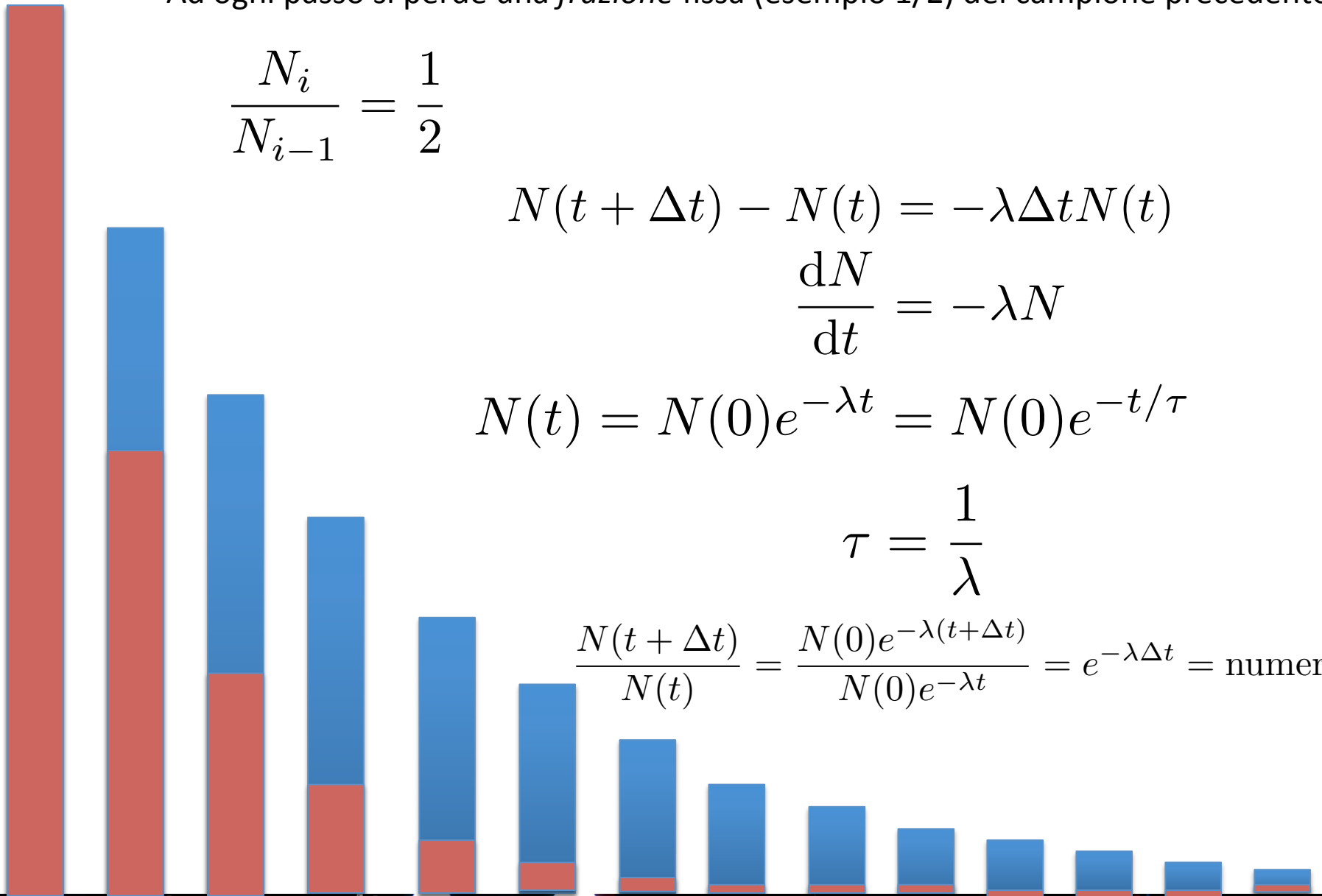
$$N(t + \Delta t) - N(t) = -\lambda \Delta t N(t)$$

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

$$N(t) = N(0)e^{-\lambda t} = N(0)e^{-t/\tau}$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

$$\frac{N(t + \Delta t)}{N(t)} = \frac{N(0)e^{-\lambda(t+\Delta t)}}{N(0)e^{-\lambda t}} = e^{-\lambda \Delta t} = \text{numero}$$



➤ Esempi in svariati campi della fisica

➤ Propagazione del calore

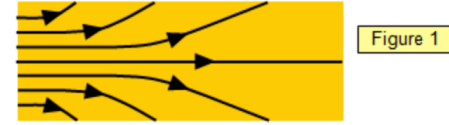


Figure 1

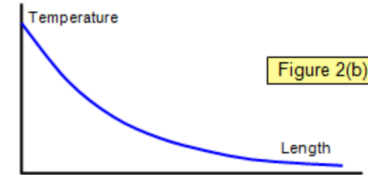
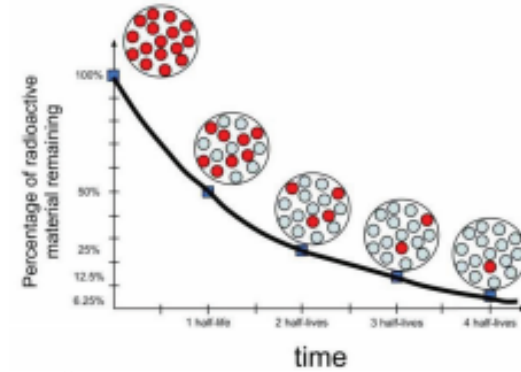


Figure 2(b)

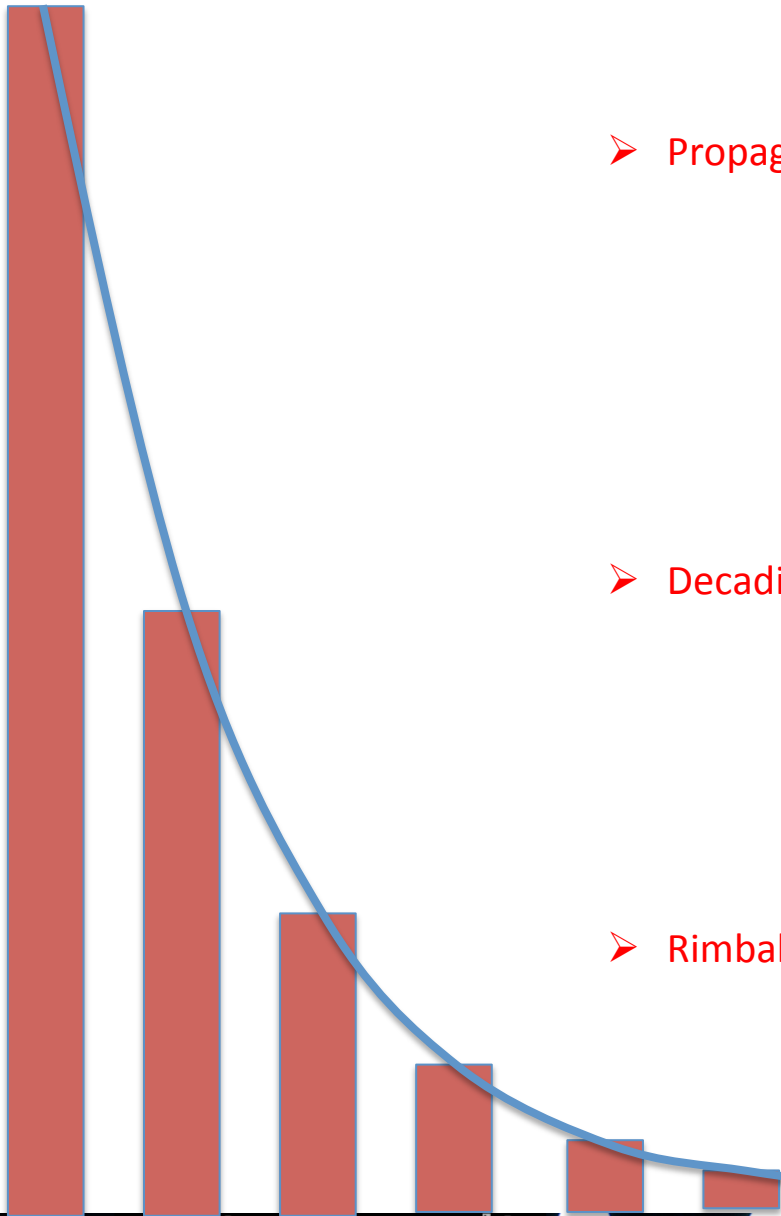
➤ Decadimento Radioattivo



➤ Rimbalzi di una pallina a terra



Esponenziale



Approfondimento: L'equazione del calore

- L'equazione del calore ammette come soluzione, sotto opportune ipotesi, un andamento esponenziale
- Chiamiamo $u(t,x)$ la funzione che descrive la temperatura di un corpo

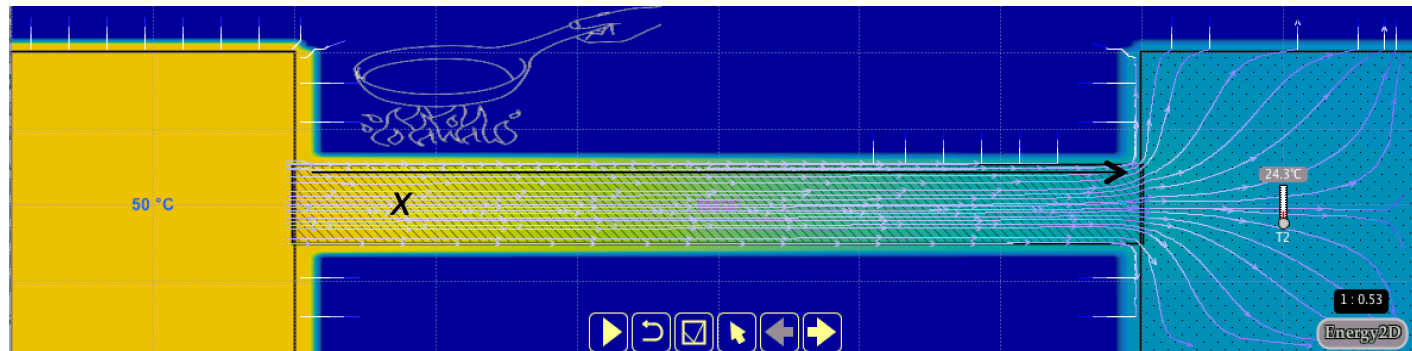
$$\frac{\partial u}{\partial t} - \alpha \nabla^2 u = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial u}{\partial t} - \alpha \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

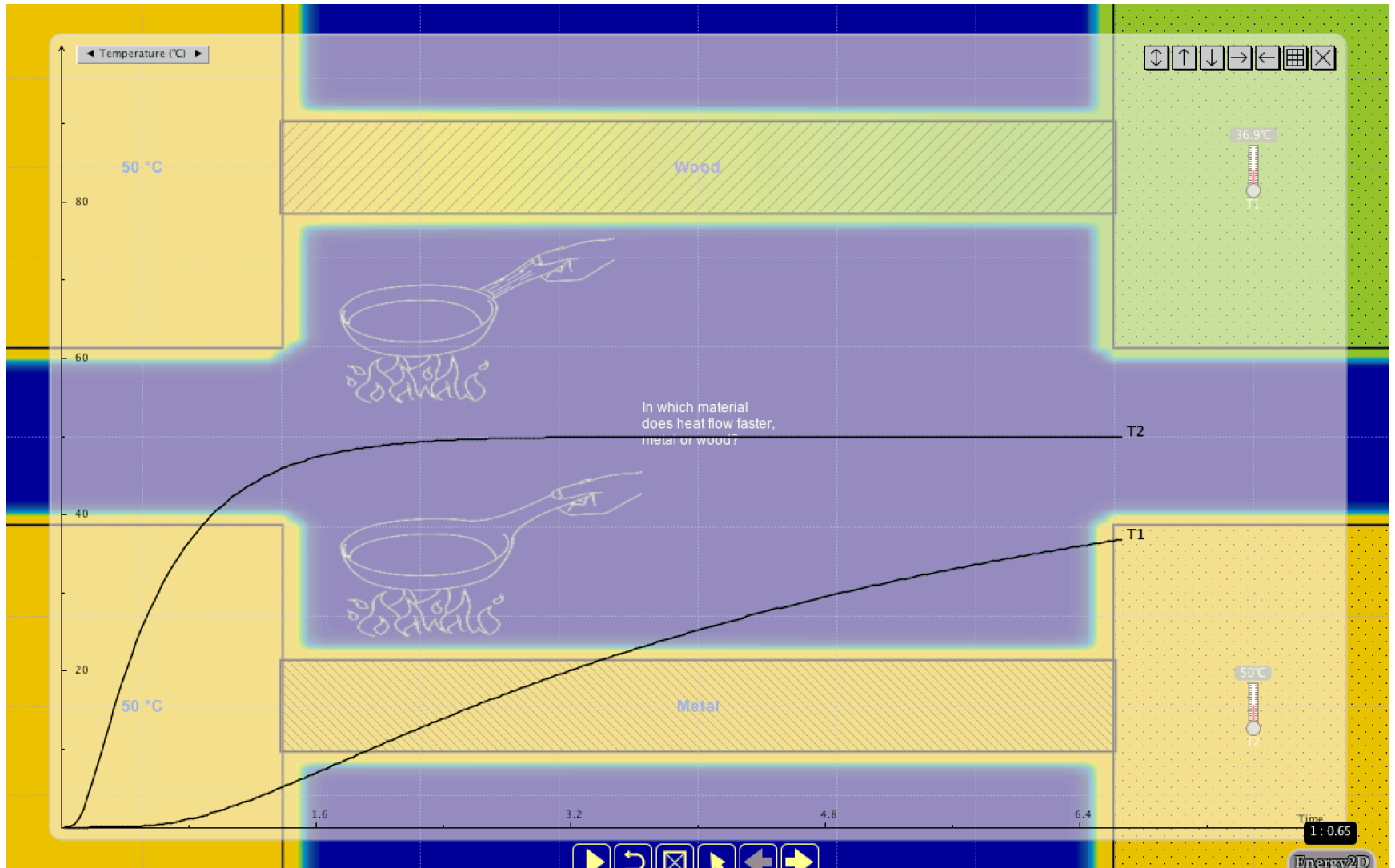
- Se $u(t,x)$ dipende solo dalla coordinata x . Metodo di "separazione delle variabili"

$$u(x, t) = X(x)T(t) \Rightarrow X(x)T'(t) = \alpha T(t)X''(x)$$

$$\frac{T'(t)}{T(t)} = \alpha \frac{X''(x)}{X(x)} = -\lambda \quad \Rightarrow \quad T(t) = T(0)e^{-\lambda t}$$

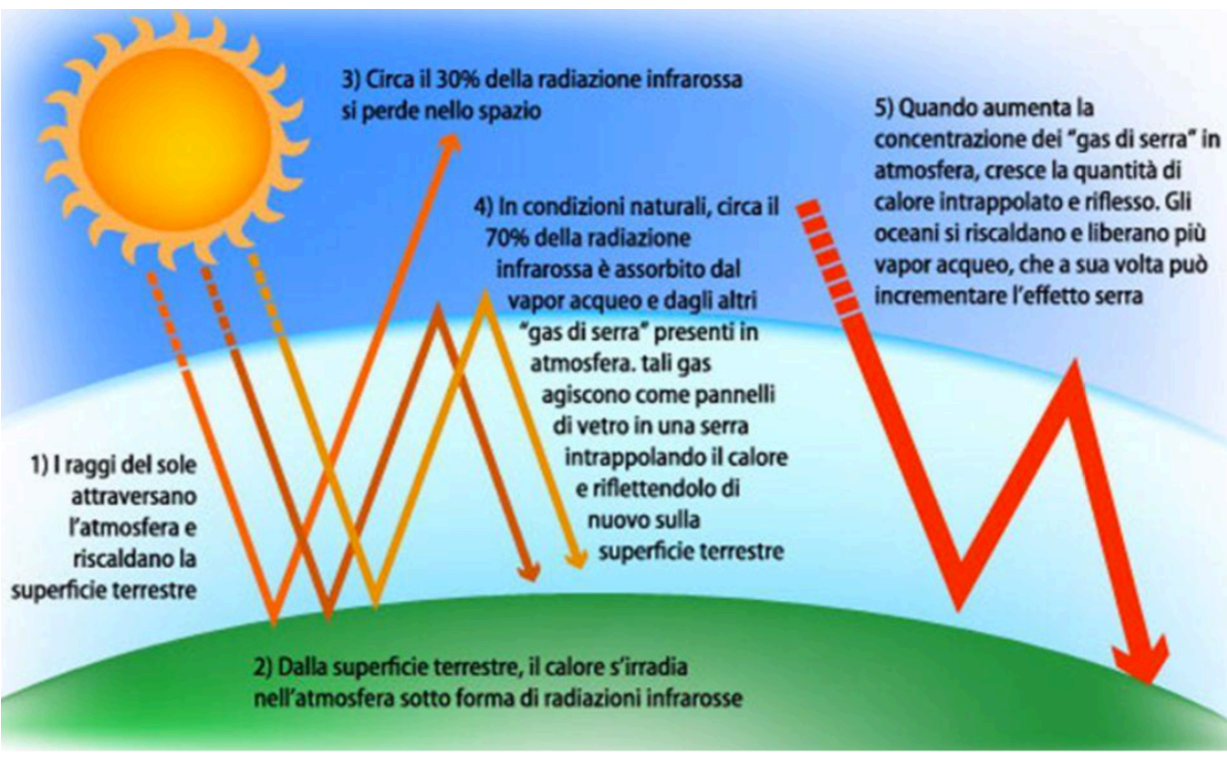
- Il caso generale, più complicato, descrive l'andamento della temperatura nello spazio e nel tempo





L'effetto serra

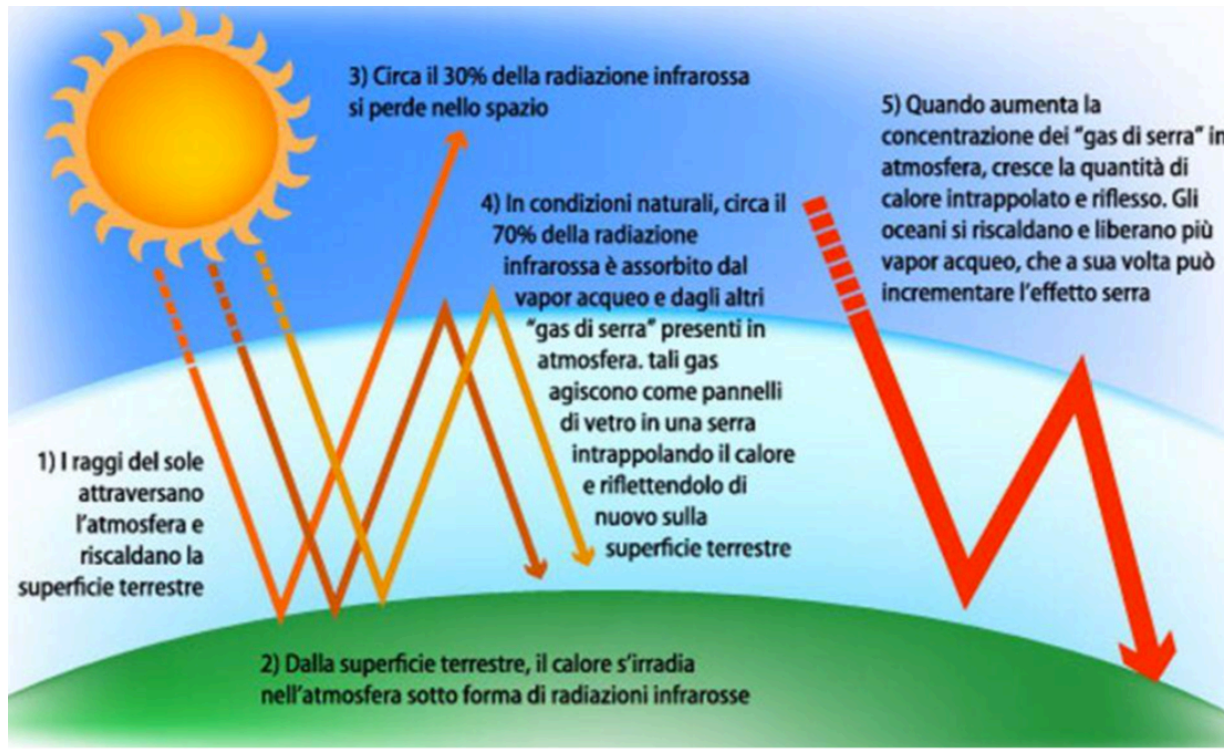
La terra può essere paragonata alla bottiglia di plastica, chi fa il ruolo dell'alluminio riflettendo i raggi infrarossi emessi dal suolo verso l'interno?



La CO_2 presente in atmosfera assorbe la radiazione infrarossa emessa dal terreno impedendo che si disperda nello spazio. Tale radiazione viene quindi riemessa dalla molecola in ogni direzione, anche quindi, nella direzione di provenienza contribuendo al riscaldamento del pianeta.

L'effetto serra

La CO₂ nell'atmosfera è indispensabile per la vita. Senza la temperatura della superficie sarebbe troppo bassa. Il problema nasce quando è in eccesso e la superficie si scalda più del dovuto!



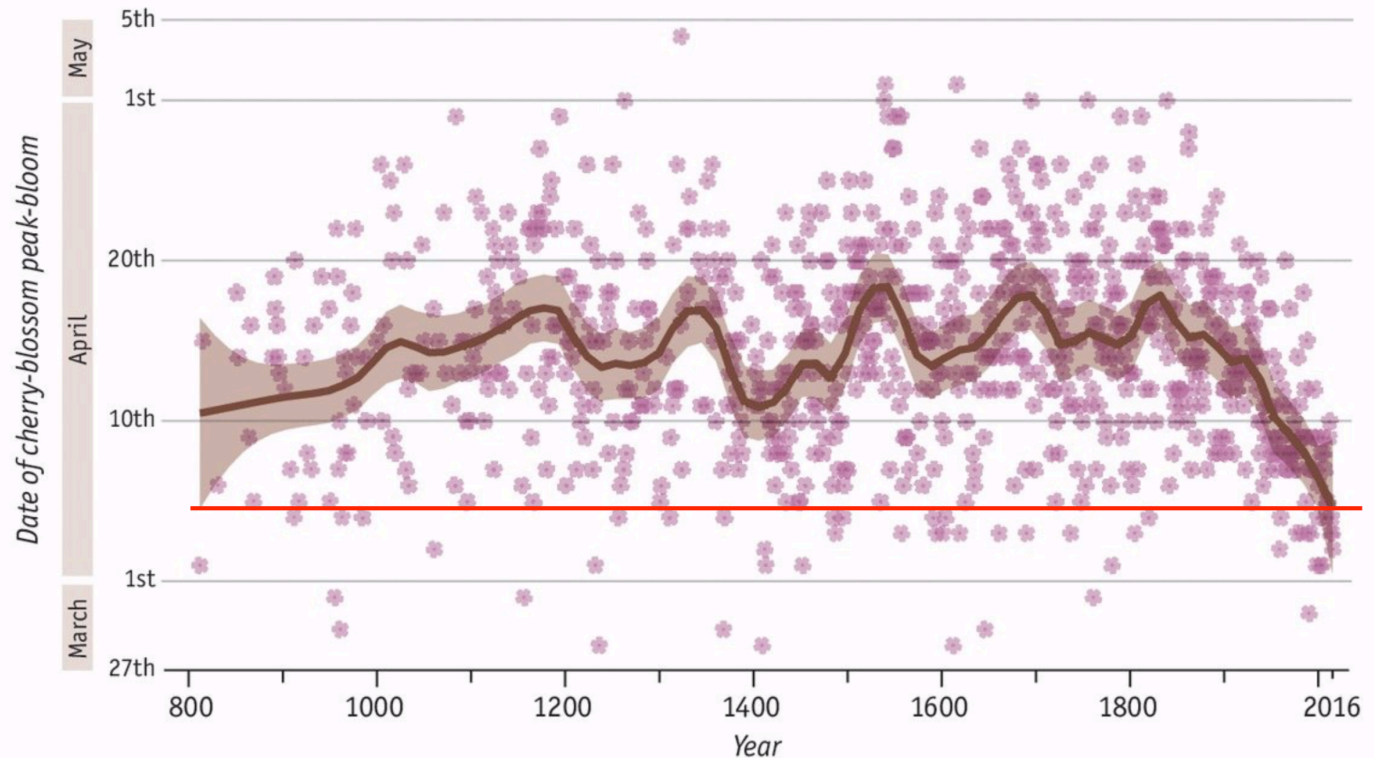
Come lo misuriamo? Termometro naturale!

Cherry bomb

Last ~1200 Years

Date of cherry-blossom peak-bloom in Kyoto, Japan, 800AD - 2016

— Trend ■ Confidence interval



Source: Yasuyuki Aono, Osaka Prefecture University

Economist.com



I carboni ardenti

È possibile camminare sui carboni ardenti per ragioni fisiche e non grazie al controllo della mente



https://www.youtube.com/watch?v=hPD4QDkn_AY

<https://www.youtube.com/watch?v=Xf2vX1j2z80>

<https://gizmodo.com/40-people-got-burned-firewalking-in-texas-for-the-dumbe-1782559421>