

Il calore



Stefano Marcellini, INFN Sezione di Bologna



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Alcuni spunti di discussione:

- Che legame c'è fra movimento delle particelle in un fluido e la sua temperatura?
- Come si propaga il calore?
- Come si raffreddano i corpi?
- Perché un termosifone scalda l'ambiente meglio di un termoconvettore?
- Cos'è l'effetto serra?
- Come si vedrebbe il mondo con gli occhi dei serpenti?
- Come si cammina sui carboni ardenti?

Il frullatore che scalda l'acqua



- Metti dell'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 ancora la temperatura.

COSA SUCCEDE?

Il frullatore che scalda l'acqua



- Metti dell'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 ancora la temperatura.

COSA SUCCEDDE?

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

Relazione fra temperatura e energia

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

$$E = k T$$

E = **energia cinetica**, di movimento delle particelle, che è proporzionale alla loro velocità al quadrato

Il frullatore che scalda l'acqua

L'esperimento appena descritto, effettuato in modo accurato, permette di associare l'equivalente meccanico del 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 1 Kg (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!)**



Quante calorie consumiamo per vivere (un adulto)

Metabolismo basale: (il minimo indispensabile per vivere): circolazione, respirazione, digestione, attività del cervello. **Uomo di 30 anni di media statura e peso normale: circa 2000 kCal/giorno.** (consuma quanto un televisore!).

Il cervello ne consuma la maggior parte!

Consumo dovuto al movimento: vita «normale», al massimo qualche centinaio di calorie.

Un piatto di carbonara: 700 Kcal

Ecco perché ingrassare è un attimo!

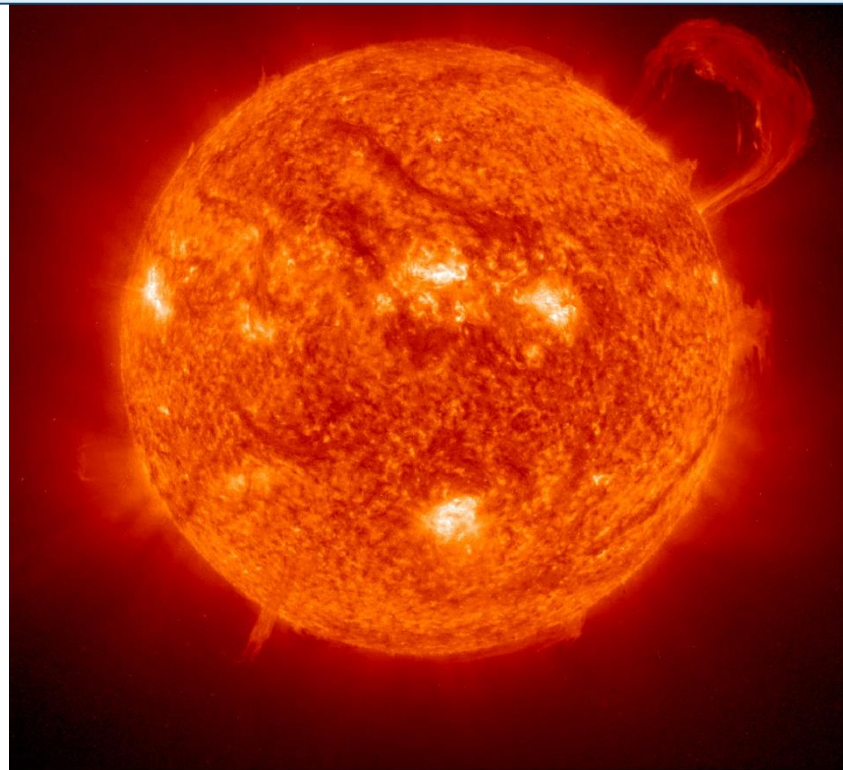
Prendi un bicchiere di acqua calda, e uno di acqua fredda

- **Lasciaci cadere** dentro alcune gocce di colorante alimentare.
- **Osserva** come si comportano le gocce appena entrano a contatto con l'acqua a diverse temperature: **NOTI DELLE DIFFERENZE?**
- **Nell'acqua fredda**, il liquido colorato resta inizialmente ben separato dal resto dell'acqua, e diffonde molto lentamente
- **Nell'acqua calda** il liquido colorato diffonde invece molto velocemente. **PERCHE' QUESTE DIFFERENZE?**

Le molecole nell'acqua fredda hanno minore energia (si muovono più lentamente) e quindi «disturbano» meno la goccia di colorante

Al contrario nell'acqua calda, le molecole si muovono molto più velocemente, e «disturbano» la goccia, tanto da diffondere il liquido colorato in breve tempo in tutto il bicchiere

All'interno del sole, la temperatura di milioni di gradi conferisce **grande energia cinetica** ai nuclei di idrogeno, in modo tale da permettere loro di **vincere la reciproca repulsione elettrica** quando si avvicinano, e farli «**fondere**» in nuclei di Elio, producendo energia tramite la fusione nucleare



Il trasporto del calore

Temperatura maggiore = maggiore energia cinetica delle molecole del corpo (moto disordinato delle molecole)

Temperatura minore: le molecole si muovono più lentamente

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



Un altro esempio:

inchiostro versato in un bicchiere 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. **Se osservassimo il film al contrario noteremmo subito che c'è qualcosa di sbagliato.**

Tuttavia, se potessimo osservare al contrario il filmato del moto di ciascuna molecola di inchiostro e di acqua, non noteremmo nulla di contrario alle leggi della natura!

Non succede soltanto per una questione di probabilità estremamente bassa!

Questo aspetto merita di essere approfondito:

Il calore fluisce sempre **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 acqua più calda, la prima ghiaccerebbe facendo bollire la seconda!

Purtroppo non accade mai!

Tuttavia questo **non accade per questioni statistiche:**

dato il numero enorme di molecole coinvolte in un volume macroscopico di materia (N_{Avogadro} o più, $> 10^{23}$), **è immensamente improbabile** che gli urti fra molecole siano tali da rallentare (e quindi raffreddare ulteriormente) le molecole lente (cioà l'acqua fredda), aumentando l'energia (e quindi riscaldando) le molecole dell'acqua calda.

E' **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.

La direzione del
tempo è un concetto
macroscopico, ma
non esiste nel
mondo microscopico

Sacra Sindone? No, la mia impronta «calda» sul letto

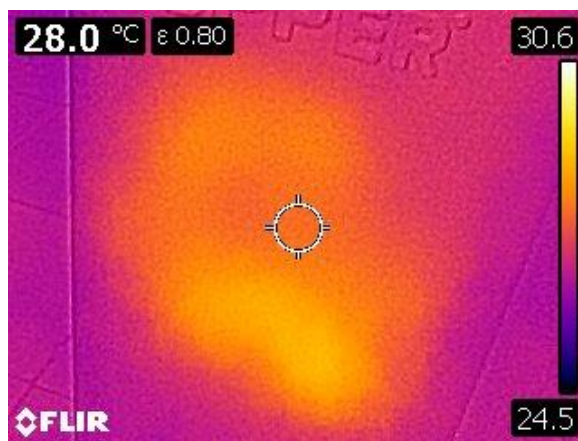
Giochiamo con la macchina fotografica termografica



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



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

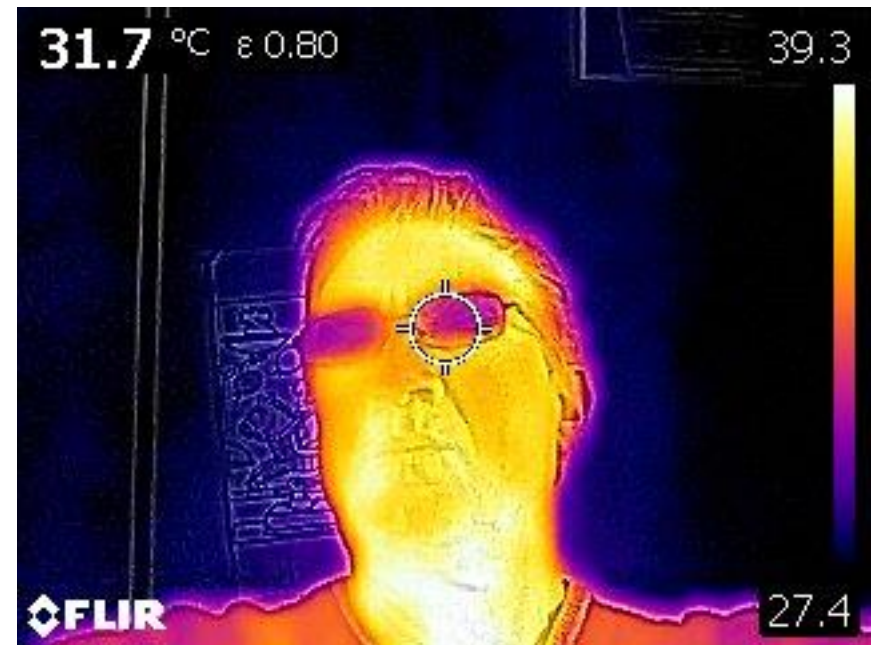
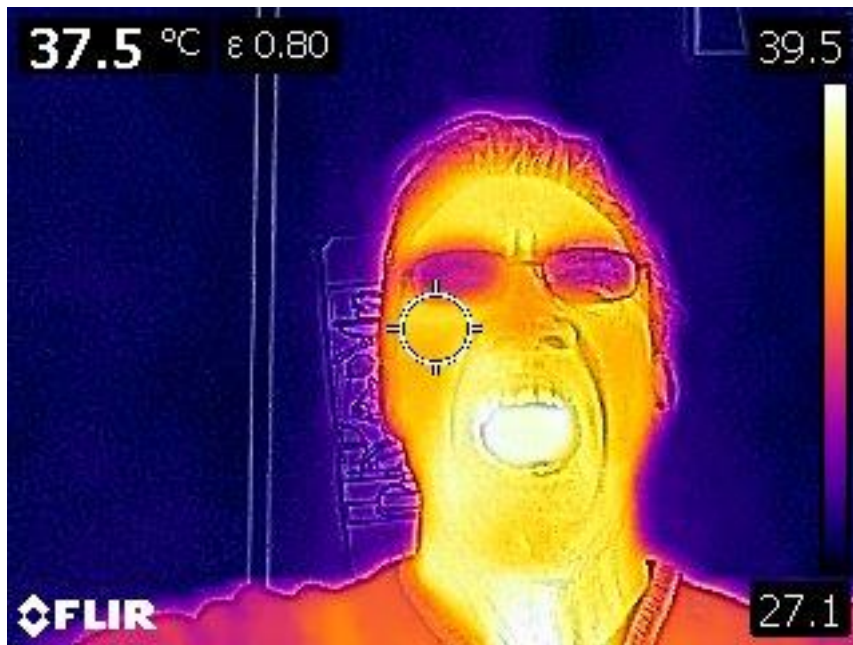


Selfie termografici:

Il collo è mediamente più caldo.

La bocca aperta (a sinistra) è più calda

Gli occhiali sono freddi



Il trasporto del calore: la conduzione

Prendiamo un'asta metallica, e fissiamoci degli spilli, a distanze il piu' possibile uguali, lungo la sua lunghezza, usando la cera.

Mettiamo l'estremo dell'asta su una candela, e osserviamo cosa succede.

Gli spilli cadono uno dopo l'altro.

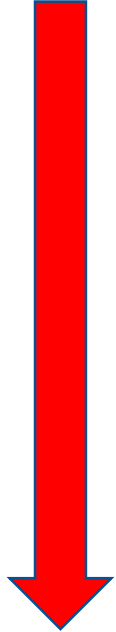
Prendiamo i tempi di quando cadono. Sono a intervalli uniformi?

Gurliamo l'asta di metallo con la macchina termografica

IL CALORE SI PROPAGA LUNGO L'ASTA DI METALLO

Conducibilità termica di alcuni metalli

**CATTIVI
CONDUTTORI DI
CALORE**



**BUONI
CONDUTTORI DI
CALORE**

Sostanza a 25°C	k [W/m°C]	k [kcal/hm°C]
Acciaio Cr 20%	22	19
Bronzo Cu 75%, Sn 25%	26	22
Piombo	35	30
Acciaio C 1,5%	36	31
Acciaio C 0,5%	54	46
Acciaio Cr 1%	61	52
Stagno	64	55
Platino	70	60
Ferro	73	63
Ottone Cu 70%, Zn 30%	111	95
Zinco	112	96
Alluminio	204	175
Rame	386	332
Argento	407	350

Per confronto: POLISTIROLO: 0.04, PANNELLI DI LEGNO: 0.09

Il trasporto del calore: la conduzione

Alcuni materiali conducono il calore meglio di 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, e conducono corrente elettrica e calore in modo efficiente
- **Negli isolanti** la conduzione del calore avviene solo tramite vibrazione degli atomi

Il trasporto del calore: la conduzione

- **Ecco perché** le panchine di ferro in inverno ci sembrano fredde, e quelle di legno no!
- **La loro temperatura è la stessa**, uguale a quella dell'ambiente, ma quelle di ferro sono molto più efficaci nel sottrarci calore dal corpo!



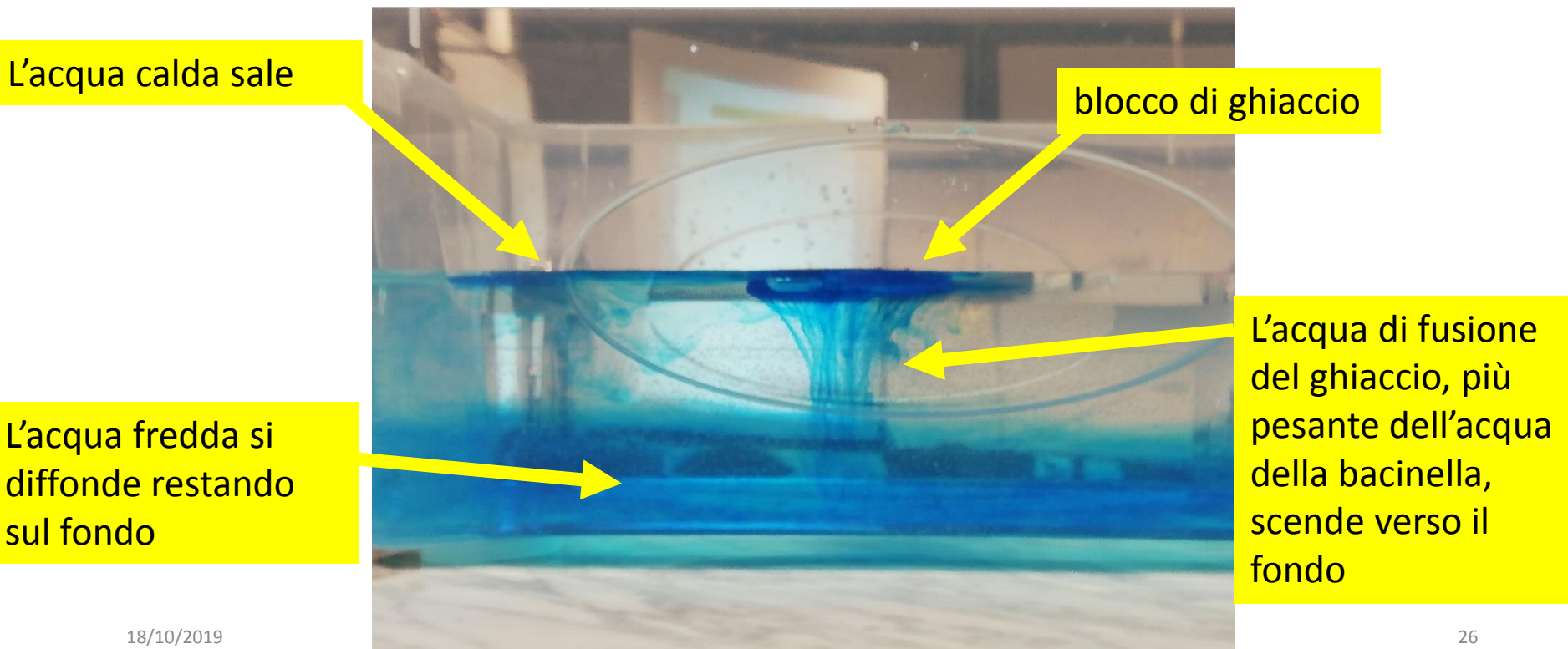
Il trasporto del calore

- Invece nella **sauna**, dove la temperatura è molto alta, una sedia di metallo, al contatto col corpo, ci comunicherebbe velocemente una grande quantità di calore, ustionandoci. Al contrario di una sedia di legno



Il trasporto del calore: la convezione

- Riempi una bacinella d'acqua a temperatura ambiente
- Mettici dentro **un cubetto di ghiaccio** colorato con colorante alimentare: dove va a finire l'acqua fredda di fusione del ghiaccio?
- Mettici adesso, appoggiandola sul fondo, **una boccetta di acqua calda**, colorata con un colore diverso. Dove va a finire l'acqua calda?



Il trasporto del calore: la convezione

- Riempi due bicchieri, uno con acqua calda, e un altro con acqua fredda.
 - Colorali diversamente con del colorante
 - **Metti una cannuccia nel bicchiere più caldo** e fai entrare qualche cm di acqua (calda) nella cannuccia. Poi chiudi la cima della cannuccia con il dito, in modo da non far uscire l'acqua all'interno (*vedi slides sulla pressione per spiegare perché l'acqua non esce!*)
 - **Metti la cannuccia dentro l'altro bicchiere (quello freddo)**, solleva il dito per un secondo e fai entrare il liquido freddo, poi richiudi la cima della cannuccia con il dito, e tirala fuori dal bicchiere
 - Guarda la cannuccia. **Il liquido caldo e freddo restano ben separati.**
- PERCHE'?** L'acqua calda è più leggera e resta in alto.
- **Adesso ripeti l'intera operazione facendo entrare prima l'acqua calda e poi l'acqua fredda. Cosa succede?**
- L'acqua fredda è più pesante, e scende verso il basso mescolandosi.

- **Metti una pentola su un fornello, e porta l'acqua a ebollizione.**
- **Osserva le varie fasi.**
- Si formano delle bolle sul bordo
- Si staccano delle bolle dal fondo
- Quando l'acqua sta per bollire, il moto delle bolle diventa collettivo.
- Osserva il moto delle bolle mentre l'acqua bolle.
- Le bolle provengono dal basso (l'acqua calda va dal basso verso l'alto perché è più leggera
- Arrivata in superficie, l'acqua si raffredda un po', e diventa più pesante dell'acqua sottostante, scendendo di nuovo verso il basso. Questa è la **CONVEZIONE**

Il trasporto del calore: la convezione

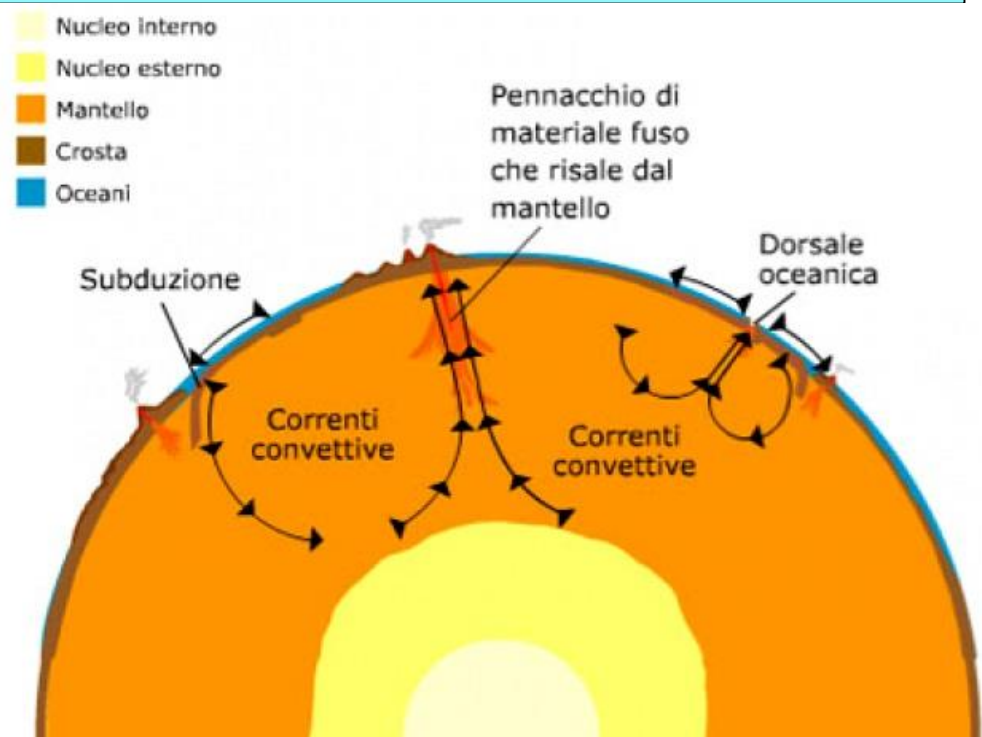


Succede la stessa cosa nell'atmosfera, quando c'è inversione termica: l'aria calda in alta quota, più leggera, impedisce il rimescolamento dell'atmosfera, causando il ristagno dello smog in basso.

Il trasporto del calore: la convezione

- E' un modo per trasportare calore attraverso **il trasporto diretto di materia**
- **E' tipico di gas e liquidi.**
- Avviene tipicamente quando una regione di fluido meno denso si trova sotto una regione di fluido più denso. **L'acqua che bolle in pentola è un esempio**

Avviene ad esempio nel **mantello terrestre, negli oceani, in atmosfera, o nelle stelle**, e è responsabile del trasporto di energia dall'interno alla superficie



Il trasporto del calore: la convezione

- Prendi dell'acqua calda, e colorala di **blu**
- Prendi dell'acqua fredda, e colorala di **rosso**
- Inserisci una cannuccia nell'acqua calda e fai entrare qualche centimetro di liquido.
- Chiudi la cannuccia con il dito, e inseriscila nel liquido freddo.
- Solleva il dito per un secondo, per far entrare il liquido freddo, ritappando subito la cannuccia.
- Osserva la cannuccia in trasparenza. **I due liquidi restano ben separati.**
- **PERCHE'?** Il liquido caldo è più leggero, e quindi resta sopra.
- **Adesso fai il contrario:** fai entrare prima il liquido freddo, e poi quello caldo.
- **COSA SUCCEDE?** I liquidi si mescolano subito! Il liquido caldo è più leggero di quello pesante

Il trasporto del calore: l'irraggiamento



Il trasporto del calore: l'irraggiamento



Una sfufa 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)

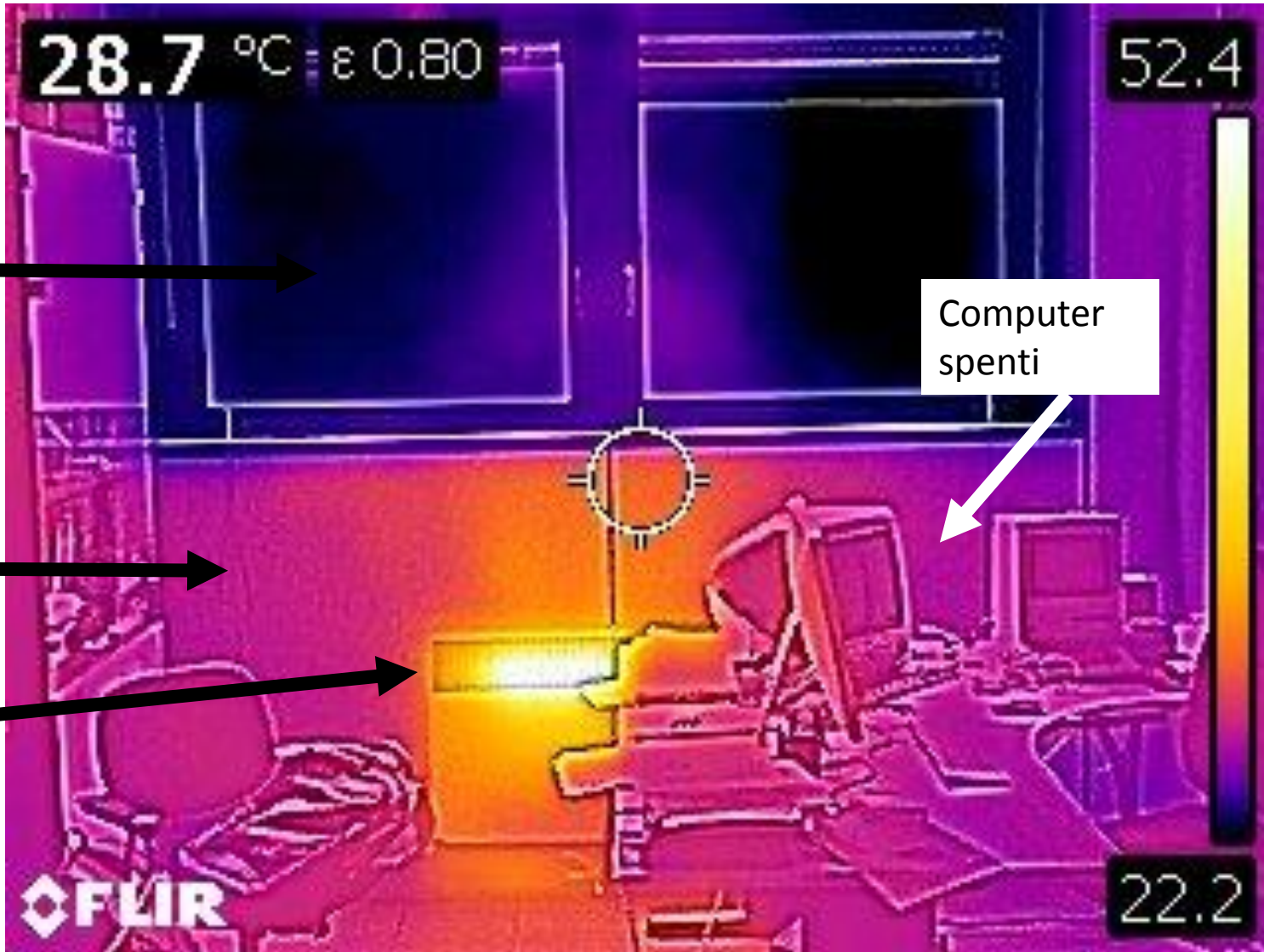
Il colore (lunghezza d'onda dominante) è **inversamente proporzionale alla temperatura:**

I colori delle stelle dipendono dalla loro temperatura superficiale: rosso-arancio circa 3000 gradi, blu 7000 gradi
Il nostro sole, **giallo**, ha una temperatura superficiale di circa 5000 gradi

Il trasporto del calore: l'irraggiamento



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



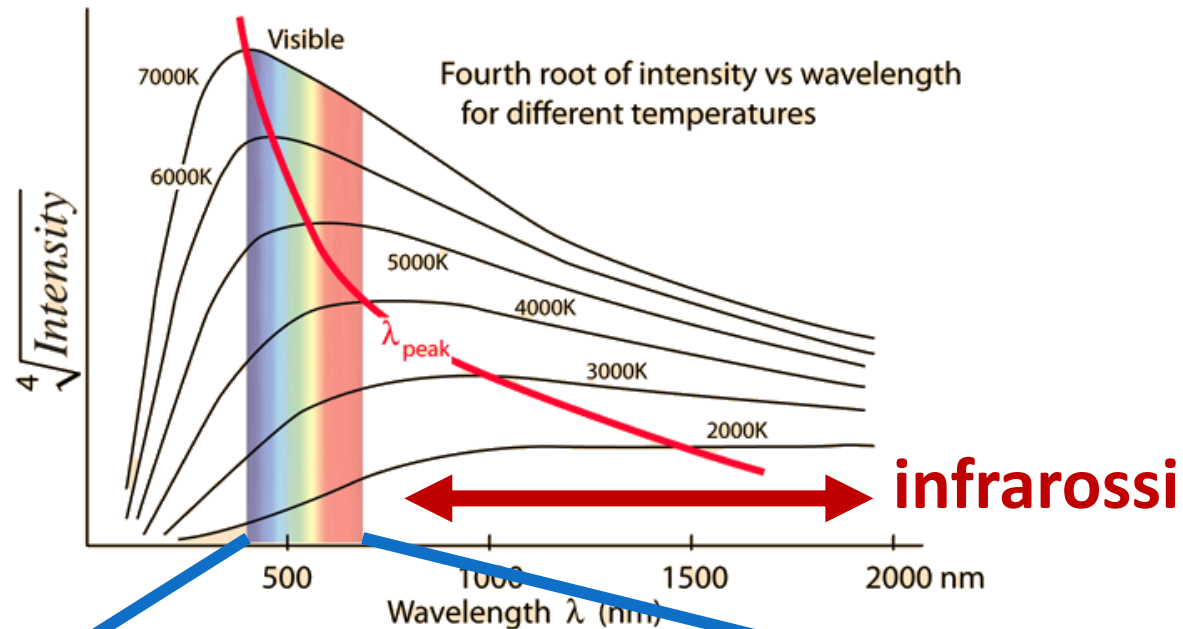
Vetro delle finestre: freddo

Ambiente: temperatura media

Computer spenti

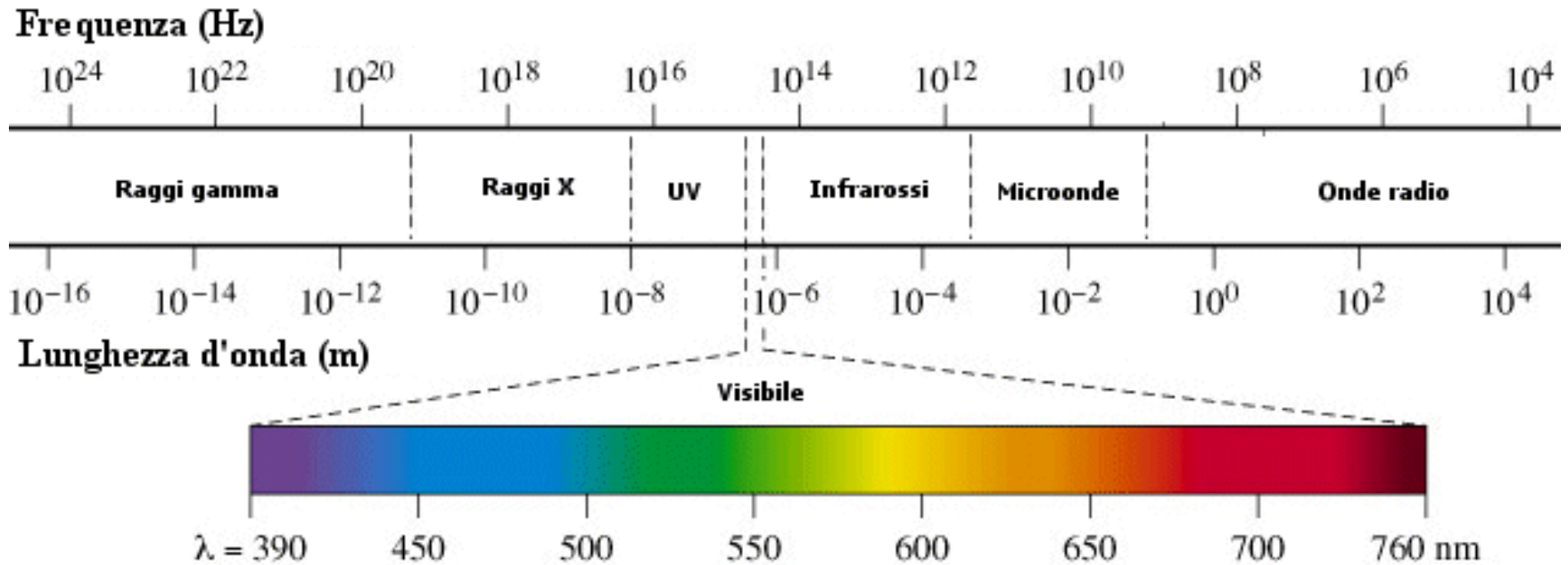
Calorifero: caldo

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



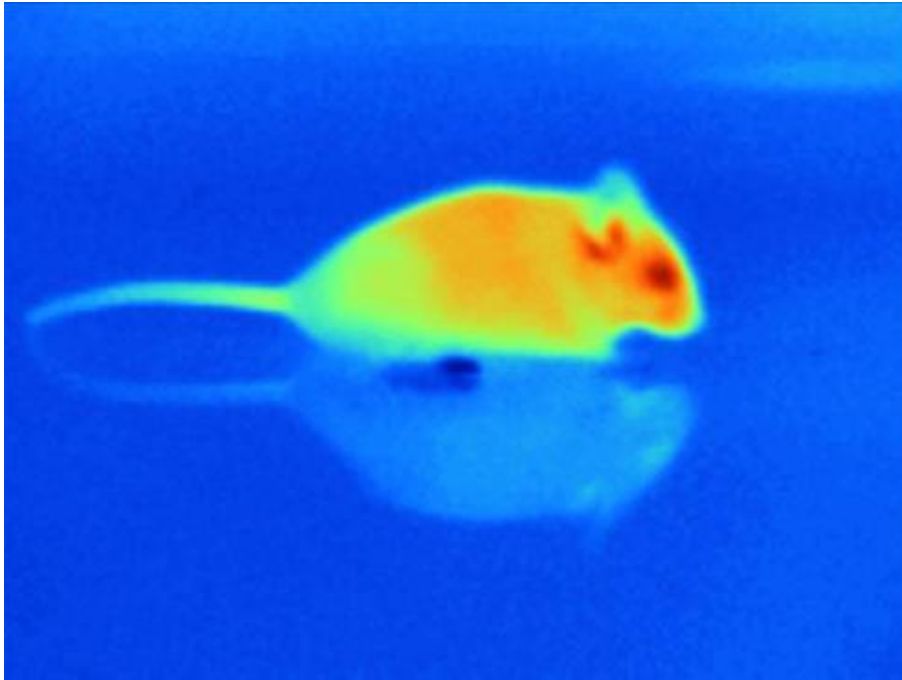
Il nostro occhio vede solo una piccola finestra delle onde elettromagnetiche che ci circondano (tra 400 e 700 nm)

Esistono molti «tipi» di onde elettromagnetiche



- Quelle **visibili dal nostro occhio** sono solo 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 riparleremo nei prossimi incontri)

Il trasporto del 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

Il trasporto del calore: l'irraggiamento



Perché ai feriti mettono le coperte di alluminio?
E' sottilissima, e non può certo proteggere dal freddo!
Proviamo a capirlo con un esperimento

Facciamo il seguente set di esperimenti



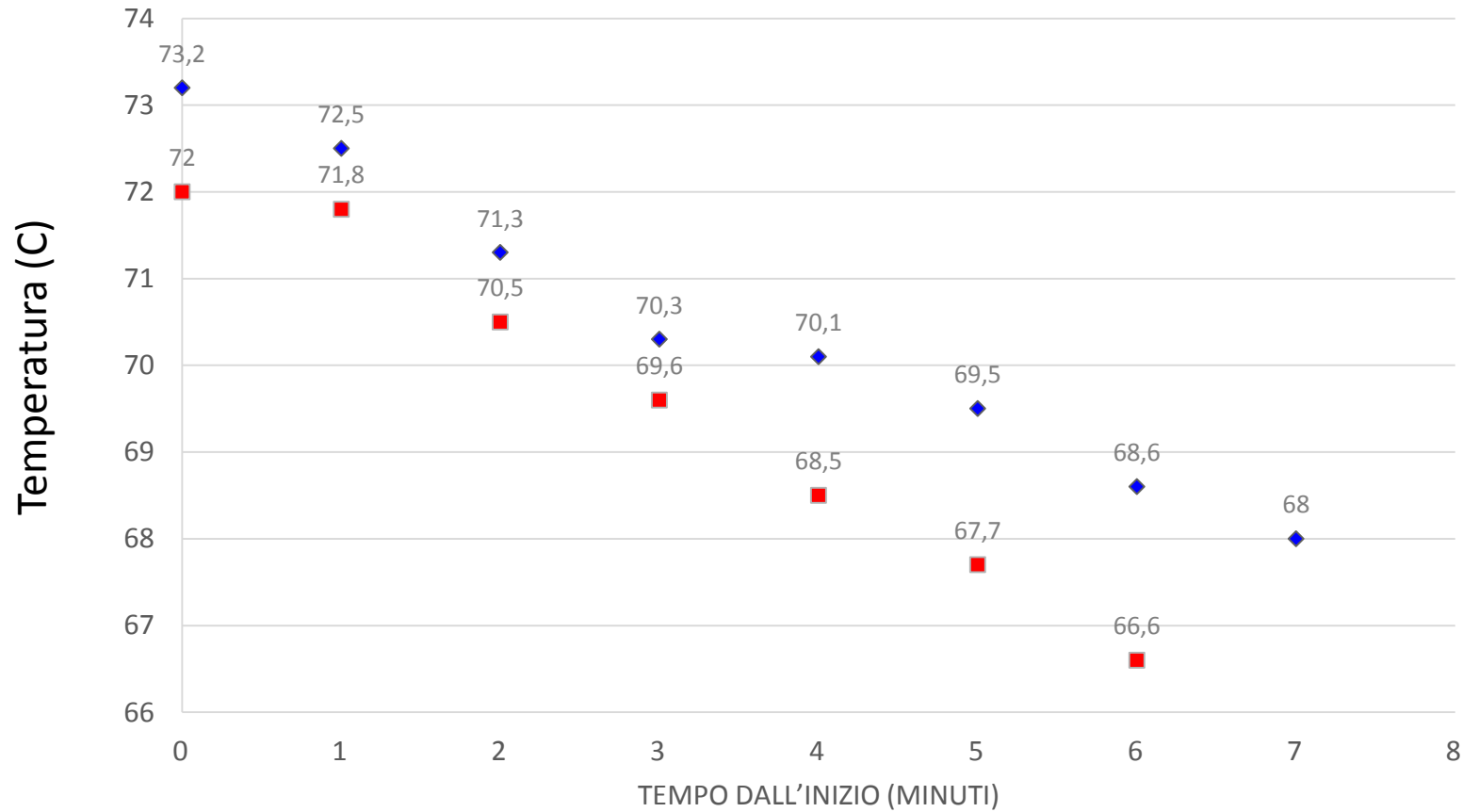
Versa dell'acqua molto calda (70, 80 °C) in una bottiglia, e misura l'andamento della temperatura nel tempo, nei seguenti casi:

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

Prova a interpretare i risultati



TEMPERATURE



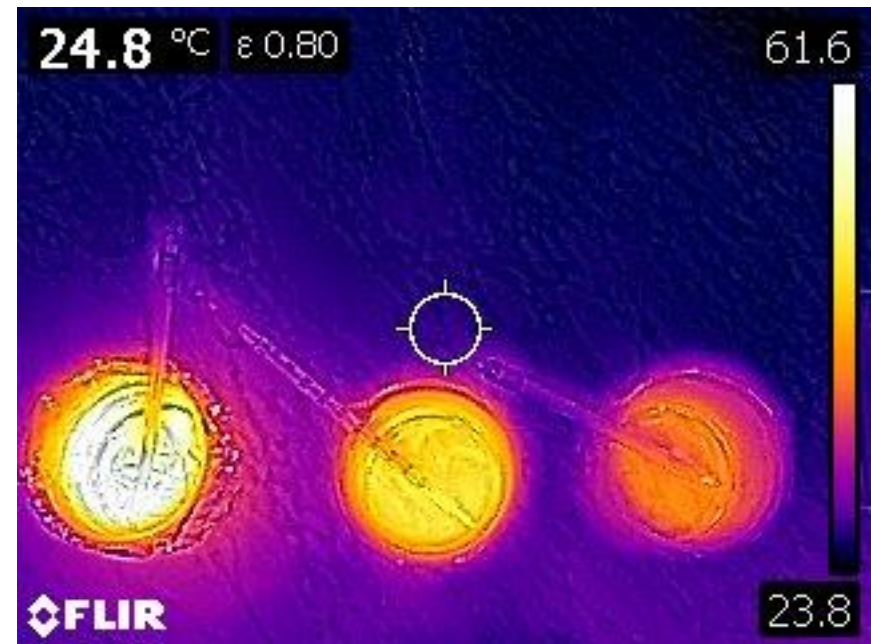
Cosa osserviamo (e impariamo) da questo esperimento?

- I due insiemi di punti hanno **pendenze diverse**: vuol dire che **l'acqua si raffredda con velocità diverse** nei due casi.
- **La pendenza è la variazione di temperatura nel tempo** (la derivata della temperatura rispetto al tempo) e rappresenta la **velocità di raffreddamento**.
- Nel caso in cui **il contenitore ricoperto di alluminio**, la **velocità di raffreddamento è 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 curve tenderanno ad appiattirsi: all'inizio l'acqua si raffredda velocemente perché la sua temperatura è molto maggiore dell'ambiente. Poi, col tempo, diminuendo la differenza di temperatura con l'esterno, la velocità di raffreddamento cala

l'irraggiamento

Osserva i contenitori con e senza la carta di alluminio, tramite una macchina termografica: noti delle differenze?

- Il contenitore a sinistra, ricoperto di alluminio, appare più freddo, perché l'alluminio schermo i raggi infrarossi, riflettendoli verso l'interno del bicchiere (foto a sinistra).
- In realtà, visto dall'alto, dove non c'è schermo (foto a destra), l'acqua nel bicchiere appare addirittura più calda, essendosi raffreddata di meno a causa dell'alluminio.



Cosa osserviamo (e impariamo) da questo esperimento?

- Incidentalmente, il fatto che i punti non stiano esattamente su una curva perfetta, fa parte dell'incertezza delle misure. Incertezza in questo caso di tipo **sistematico**, dovuta alla non chiara determinazione della temperatura tra un grado e l'altro, al fatto che spostando il termometro possono esserci variazioni di temperatura nel liquido, e a una serie di altri fattori non facilmente controllabili.
- **Gli errori sistematici sono la bestia nera di qualunque misura scientifica, perché non sempre sono facilmente controllabili e stimabili!**

Riassunto: Come perde calore l'acqua nella bottiglia?



- Per conduzione: si scalda il vetro, che comunica calore all'aria. Poco efficiente!
- Per convezione: l'aria calda sopra il livello del liquido sposta l'aria fredda: ancora meno efficiente.
- Per irraggiamento: emette raggi infrarossi.

- **Cosa succede se avvolgo la bottiglia con l'alluminio?** Si raffredda più lentamente.
- **Perché? Non può essere certo lo spessore!** E' perchè l'alluminio, come tutti i metalli, **riflette le onde elettromagnetiche.**
- Quindi riflette gli infrarossi di nuovo verso l'interno, rallentando il raffreddamento. Ecco perché le borracce termiche hanno all'interno un involucro di metallo!
- Nota anche che volumi maggiori di acqua si raffreddano più lentamente
- E se la temperatura iniziale è maggiore, all'inizio la variazione di temperatura è maggiore (il gradiente con l'esterno è maggiore).

Il trasporto del calore

Il calore può essere trasportato tramite **tre meccanismi diversi**:

- **Per conduzione:** tramite le collisioni e le vibrazioni reticolari (**contatto** fra corpi)
- **Per convezione:** **trasporto diretto di materia** tra zone più calde a zone più fredde (ad esempio nell'atmosfera)
- **Per 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

E quindi perché un termosifone scalda la stanza meglio di un termoconvettore?

Perché il termosifone scalda tramite i **raggi infrarossi** (irraggiamento, che è molto efficace), mentre il termoconvettore scalda per **convezione** (sposta aria calda, meno efficace)



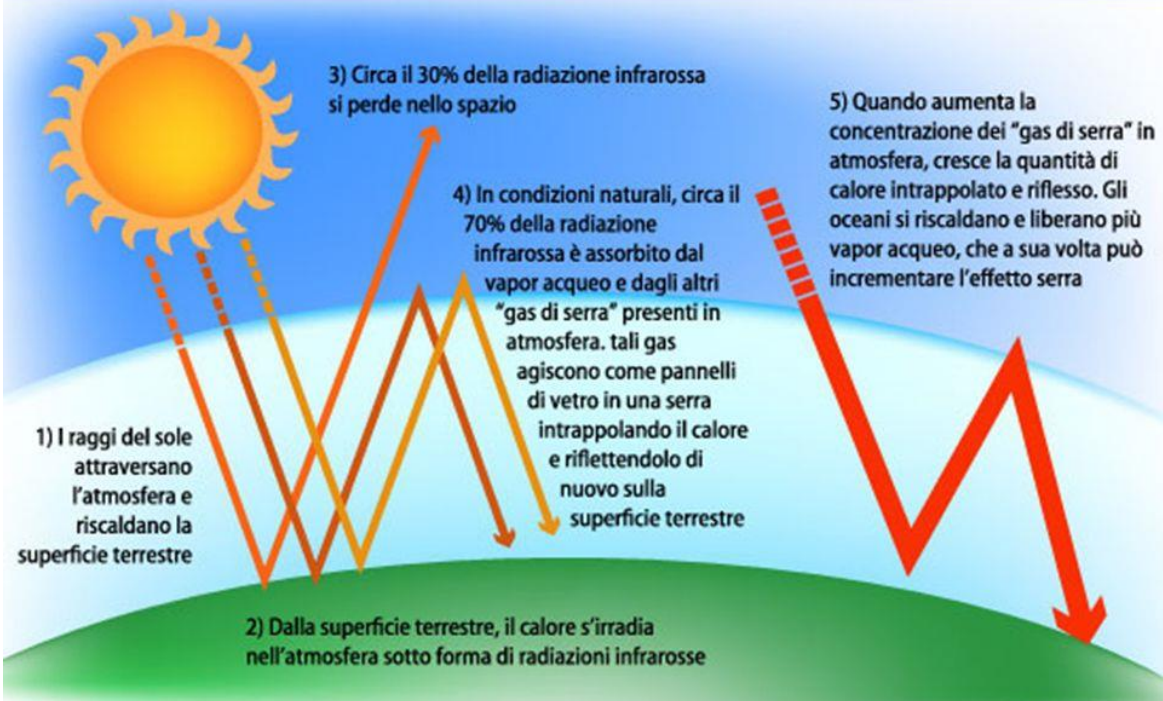
L'effetto Serra

- Prendiamo 2 bottiglie uguali, con un uguale contenuto di acqua.
- In una delle due bottiglie mettiamo alcune pastiglie di alca seltzer (produce CO₂)
- Mettiamo in entrambe le bottiglie dei termometri, senza farli arrivare nel liquido, in modo da poter leggere le temperature.
- Sigilliamo i tappi con dello scotch gommato, in modo che non fuoriesca l'aria.
- Accendiamo una lampada di fronte alle bottiglie, in modo che entrambe siano illuminate allo stesso modo.
- Aspettiamo un po', e poi misuriamo la temperatura dell'aria in entrambe le bottiglie
- Quale è più calda?

L'effetto serra

Il ruolo del foglio di alluminio, che riflettendo la luce infrarossa mantiene l'acqua calda più a lungo, è simile a quello del **CO₂** nell'atmosfera, che assorbe parte della radiazione infrarossa emessa dalla superficie terrestre e la riemette anche verso la terra

Effetto serra

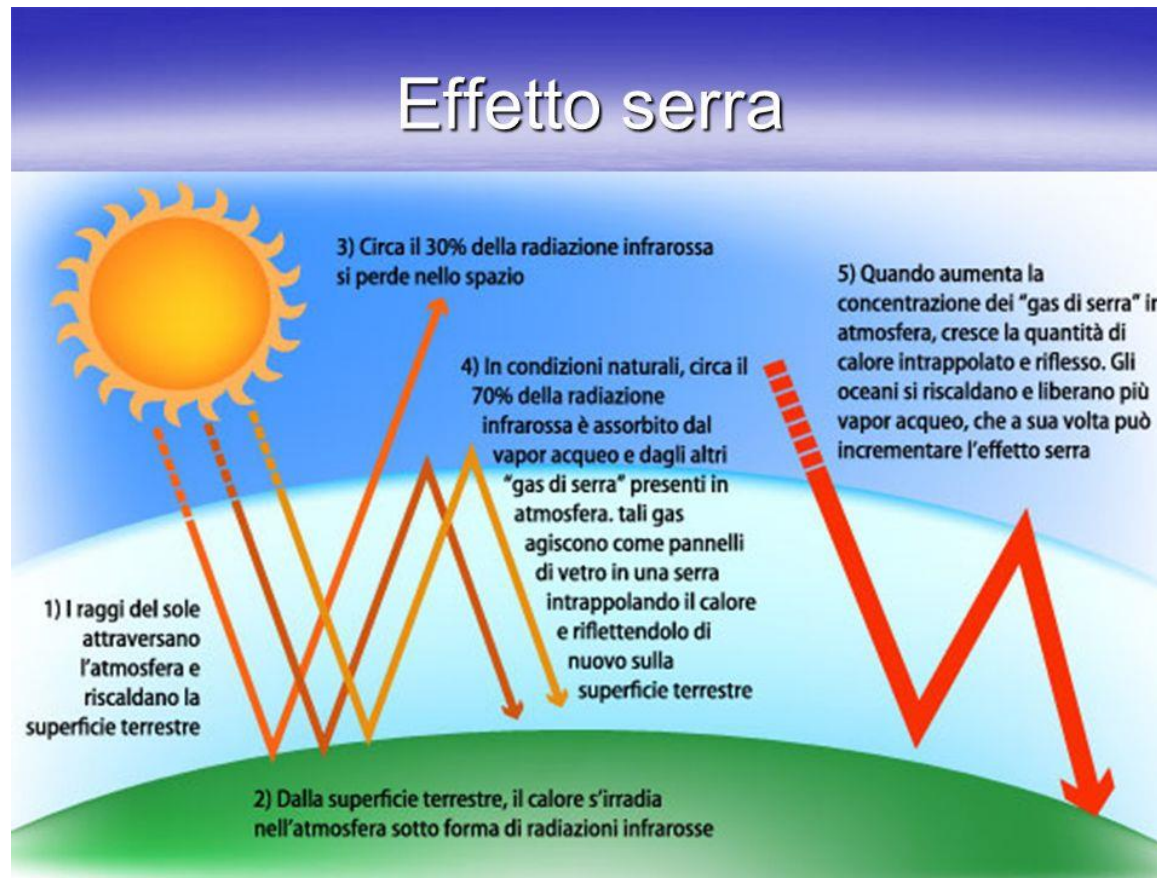


La radiazione termica infrarossa ha la frequenza giusta per far vibrare le molecole di CO₂ presenti nell'atmosfera, che la assorbono **impedendo che si disperda nello spazio.**

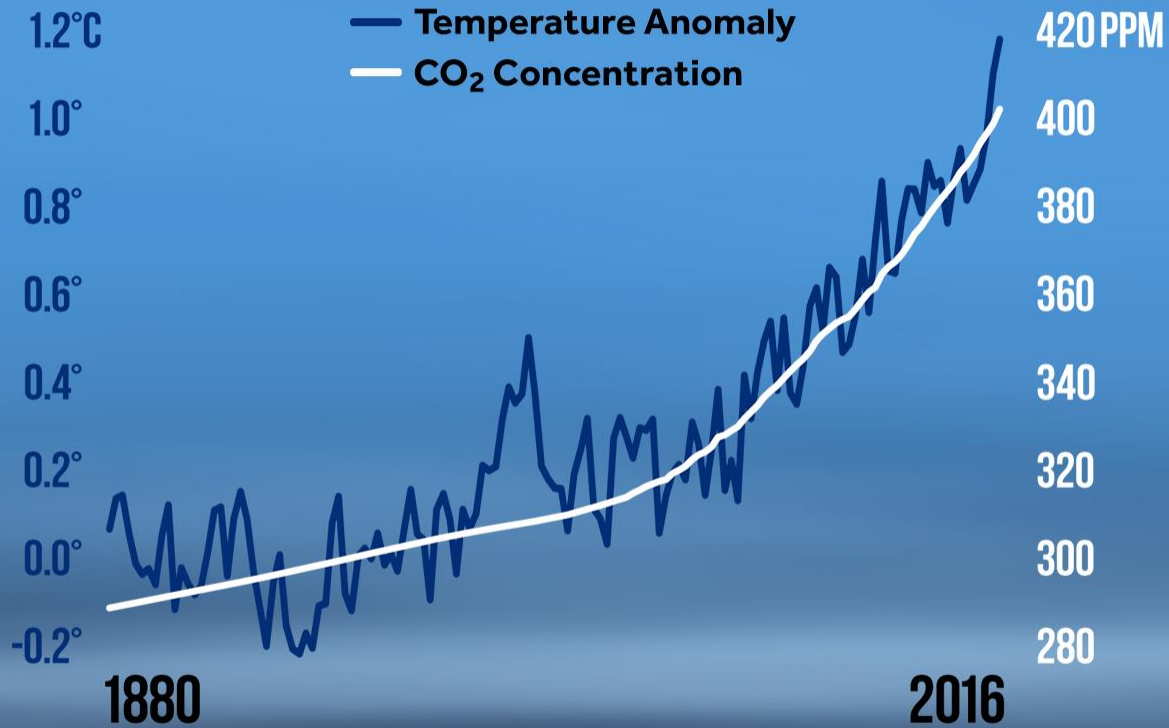
La radiazione assorbita è poi riemessa in tutte le direzioni, **e quindi anche di nuovo verso terra, contribuendo al riscaldamento del pianeta**

L'effetto serra

Il CO2 nell'atmosfera è quindi indispensabile per la vita. Senza di esso la temperatura sulla superficie terrestre sarebbe troppo bassa. Il problema nasce quando il CO2 è **troppo!** In quel caso la superficie del pianeta si riscalda in eccesso



Global Temperature and Carbon Dioxide



Global temperature data averaged and adjusted to early industrial baseline (1881-1910).
Source: NASA GISS, NOAA NCEI, ESRL

CLIMATE  CENTRAL

Divagazioni sul tema



- Scaldiamo una padella su un fornello fino a farla diventare molto calda
- Poi buttiamoci delle gocce d'acqua. Cosa fanno le gocce?

Divagazioni sul tema



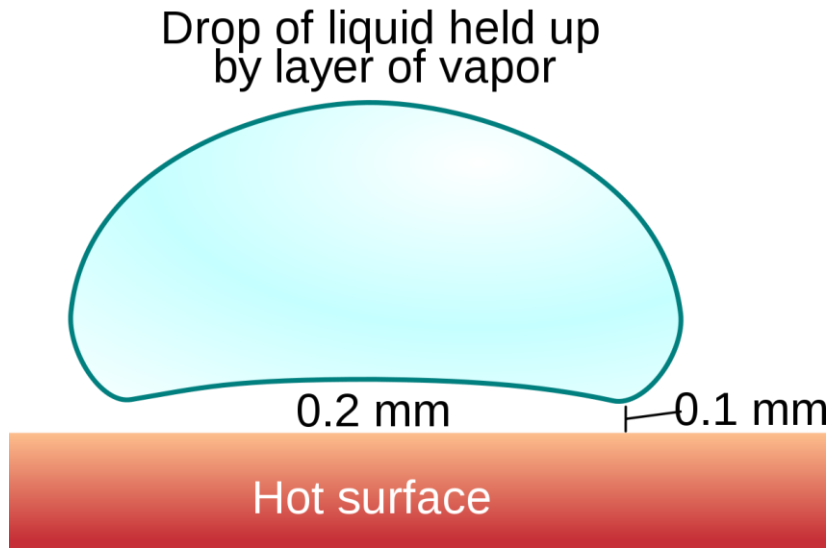
- Scaldiamo una padella su un fornello fino a farla diventare molto calda
- Poi buttiamoci delle gocce d'acqua. Cosa fanno le gocce?
- **Scorrono via, si muovono senza attrito, e non evaporano.** Per lo meno non subito. Perché?
- **Cosa succede se la padella invece è meno calda?**

Divagazioni sul tema



- Scaldiamo una padella su un fornello fino a diventare molto calda
- Poi buttiamoci delle gocce d'acqua. Cosa fanno le gocce?
- Scorrono via, si muovono senza attrito, e non evaporano. Per lo meno non subito. Perché?
- Cosa succede se la padella invece è meno calda?
- Le gocce evaporano appena toccano la padella. Perché?

Divagazioni sul tema



- **Se la padella è molto calda**, quando la goccia è quasi a contatto con la sua superficie, si forma istantaneamente un cuscino di vapore, che isola la goccia dalla superficie. La goccia è come su un cuscino d'aria. Dopo un po' il vapore si disperde e la goccia evapora. Si chiama **Effetto Leidenfrost**

- **Se invece la padella non è abbastanza calda**, il vapore non riesce a formarsi in un tempo sufficientemente breve, e la goccia evapora subito.

<https://www.youtube.com/watch?v=yTOCAAd2QhGg> potete vedere due tipi che mettono per un attimo la mano bagnata dentro una pentola di piombo fuso. Eviterei di farlo provare ai ragazzi, questo...

Divagazioni sul tema 2

Come raffreddare velocemente una tazza di te (senza metterla in frigo o aggiungere ghiaccio)?

Spunti di discussione:

- Come si raffredderebbe se non facessimo niente?

Divagazioni sul tema 2

Come raffreddare velocemente una tazza di te (senza metterla in frigo o aggiungere ghiaccio)?

Spunti di discussione:

- Come si raffredderebbe se non facessimo niente?

Tramite **convezione** (il te caldo dal fondo sale in superficie e si raffredda (**poco efficiente**)).

Per **conduzione**: **poco efficiente** (l'aria non è un buon conduttore termico)

Per **irraggiamento**: **il modo più efficiente**. E' Meglio una tazza di ceramiche/vetro o di metallo?

- Perché soffiare aiuta?
- Metterci un cucchiaino all'interno aiuterebbe? E di che materiale? Di metallo, per aumentare l'irraggiamento.

Divagazioni sul tema 3

- La temperatura dello spazio vuoto è di circa 3 gradi Kelvin (270 gradi sotto zero)
- Se un astronauta uscisse nello spazio vuoto senza la tuta termostata, cosa gli succederebbe? Congelerebbe all'istante?
- A quali altri problemi andrebbe incontro?

Divagazioni sul tema 3

- La temperatura dello spazio vuoto è di circa 3 gradi Kelvi (270 gradi sotto zero)
- Se un astronauta uscisse nello spazio vuoto senza la tuta termostata, cosa gli succederebbe? Congelerebbe all'istante?
- Come perderebbe calore l'astronauta?

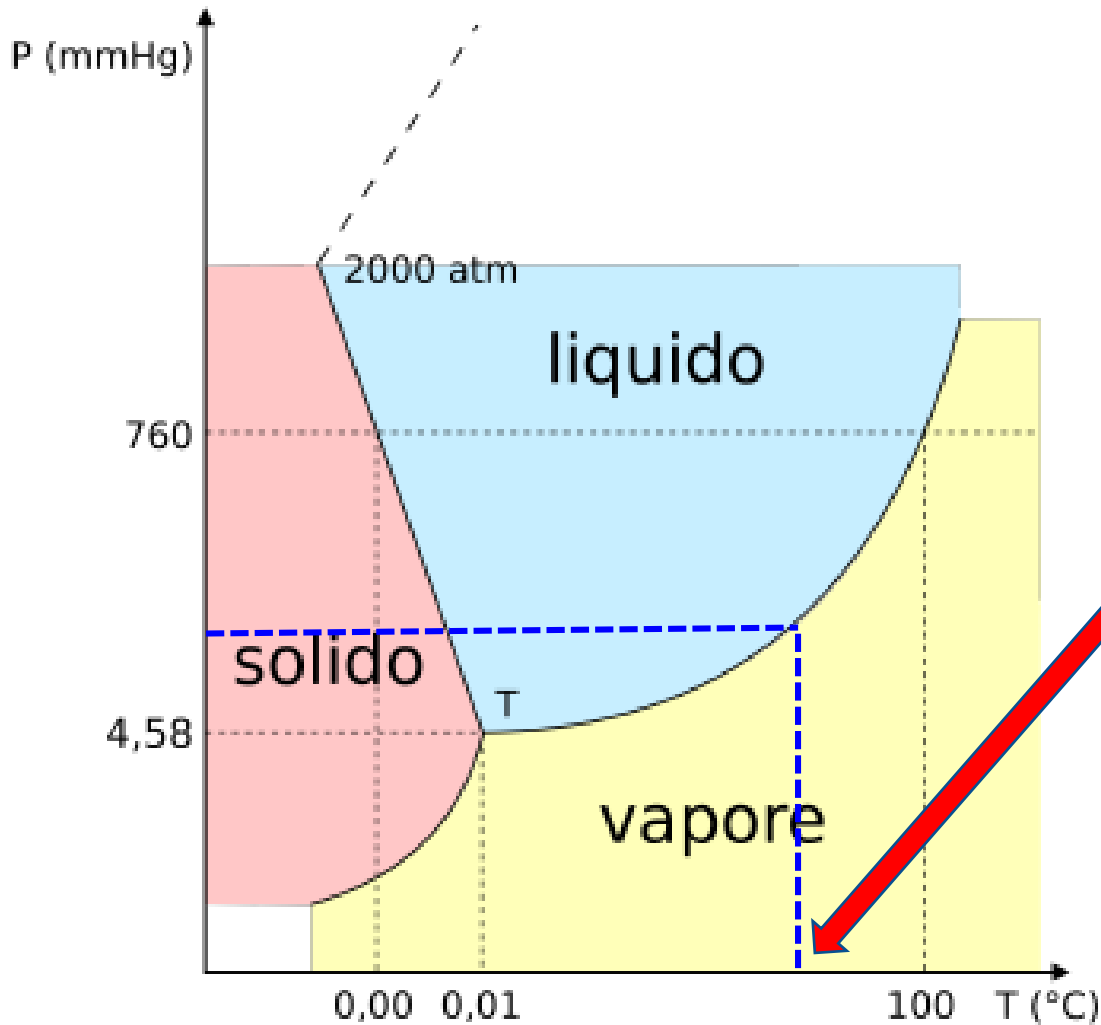
Divagazioni sul tema 3

- La temperatura dello spazio vuoto è di circa 3 gradi Kelvi (270 gradi sotto zero)
- Se un astronauta uscisse nello spazio vuoto senza la tuta termostata, cosa gli succederebbe? Congelerebbe all'istante?
- Come perderebbe calore l'astronauta?
- **Non tramite conduzione** (non c'è atmosfera), e **nemmeno tramite convezione** (sempre perché non c'è atmosfera). Quindi resta l'irraggiamento. Si raffredderebbe emettendo onde elettromagnetiche (infrarossi), e congelerebbe in alcune ore. **Tutt'altro che istantaneamente!**

Divagazioni sul tema 3

- **PERO'...**
- **Manca l'ossigeno**
- Nello spazio esterno non c'è atmosfera, e quindi **la pressione è zero**. Ai polmoni non piacerebbe...
- Un ulteriore problema legato a questo sarebbe **l'ebollizione dell'acqua del corpo**, che rimarrebbe fredda ma comincerebbe a bollire. Ricordate l'esperimento con la siringa? L'acqua bolle a bassa temperatura in montagna perché la pressione è minore. E nello spazio la pressione è zero! Quindi si formerebbero bolle anche a 37 gradi centigradi, la temperatura del nostro corpo.

Il diagramma di fase dell'acqua



Basse pressioni, l'acqua bolle a temperature più basse. **Ricordate l'acqua nella siringa?**

Divagazioni sul tema 5



Camminare sui carboni ardenti

La brace è a 800 gradi ma conduce male il calore. Per pochi metri (3-4 al massimo, no si arriva a bruciarsi)

Consigli:

- Non correre.
- Avere i piedi sudati aiuta. Oppure freddi (di notte)
- Non cadere!
- Occhio ai pezzetti di brace che possono restare attaccati dopo...

Divagazioni sul tema 5

Camminare sui carboni ardenti: non è una questione di controllo della mente, ma di fisica!

https://www.youtube.com/watch?v=hPD4QDkn_AY (gente che si carica spiritualmente, convinta che sia tutto merito del potere della mente gente consapevole del perché non ci si scotta)

https://www.youtube.com/watch?v=Xf2vX1j2z80_ (gente che fa la prova, consapevole del perché non ci si scotta)

<https://gizmodo.com/40-people-got-burned-firewalking-in-texas-for-the-dumbe-1782559421> (Cose che possono succedere quando ci si fida del santone di turno...)