Lezione 14
Termodinamica (1)

Ezio Maina

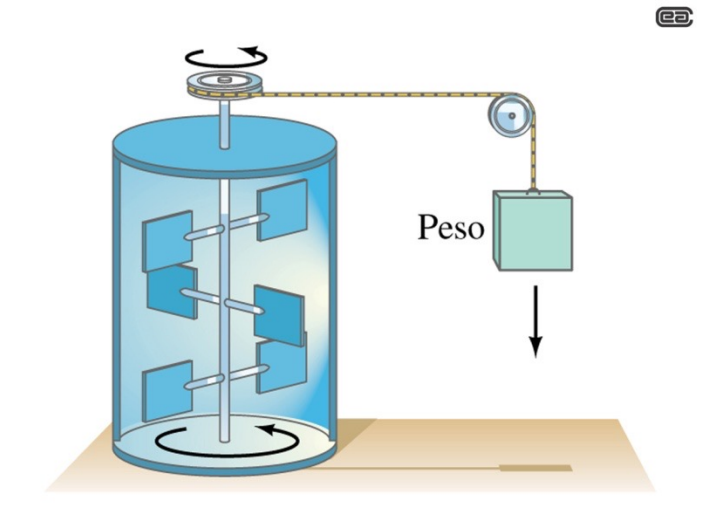
Corso di Laurea in Farmacia

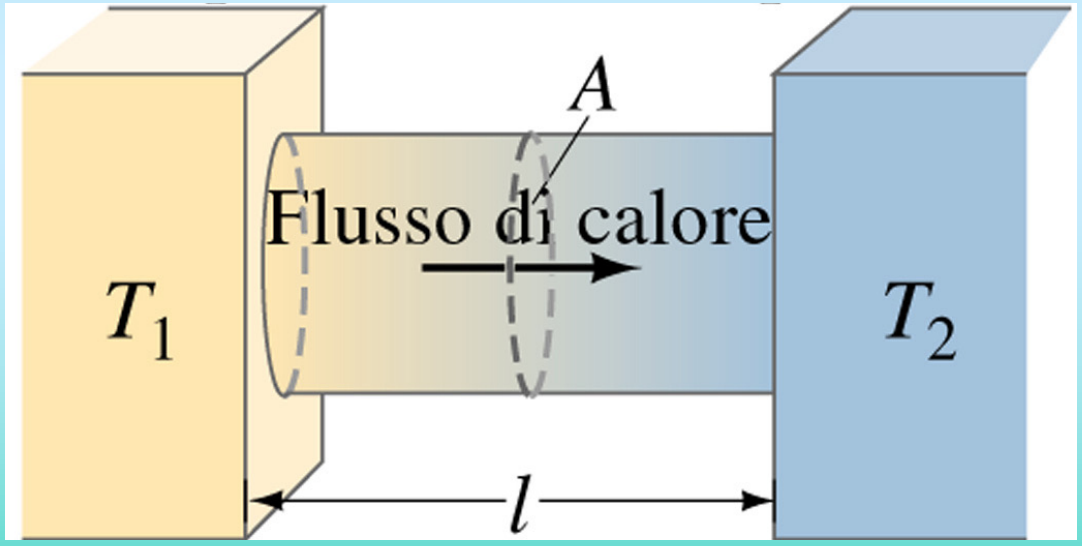
Anno accademico 2022 -2023

Corso di Fisica

La lezione di oggi

Il calore è una forma di energia





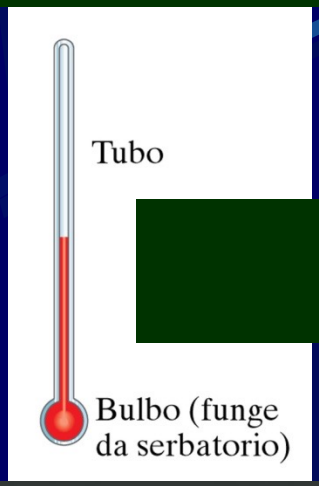
Posso trasferire il calore

da un corpo a un altro

- **Temperatura e calore**
- La dilatazione termica
- Calore e lavoro
- Capacità termica e calore specifico
- Conduzione,convezione, irraggiamento

Temperatura e termometri

- Temperatura: misura quanto un oggetto sia *caldo* o *freddo*



Dilatazione di un elemento

Dilatazione differente per 2 elementi diversi

Variazione della densità

Lunghezza d'onda dell'emissione luminosa

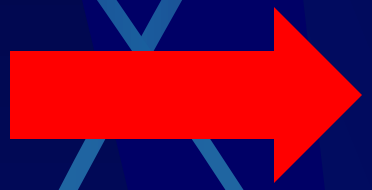
Calore e principio zero della termodinamica

- **Calore** ➔ energia trasferita tra due corpi a temperatura diversa
- **Contatto termico** ➔ può avvenire un passaggio di calore
- **Equilibrio termico** ➔ contatto termico senza trasferimento di calore

Partenza: Due oggetti a temperatura diversa ($T_1 > T_2$)

Arrivo: Il calore fluisce dal'oggetto a T_1 verso T_2, finche' $T_1 = T_2$

Principio zero della termodinamica



un altro possibile enunciato del

Principio zero della termodinamica

$$T_A = T_{termometro}$$

$$T_B = T_{termometro}$$

$$\Downarrow$$

$$T_A = T_B$$

ovvero: A e B sono in equilibrio termico

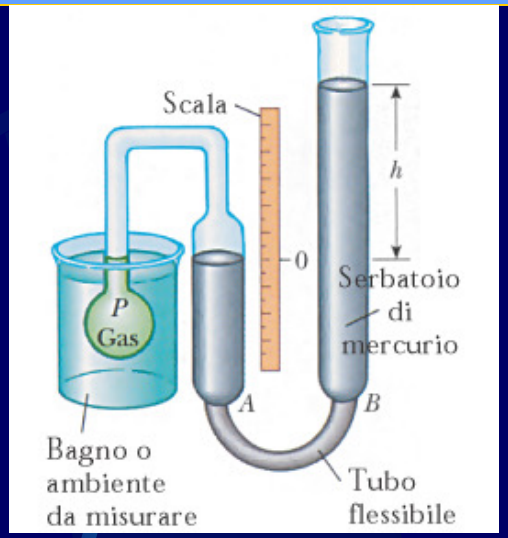
ovvero: la risultante del passaggio di calore da A a B è zero

Scale termometriche

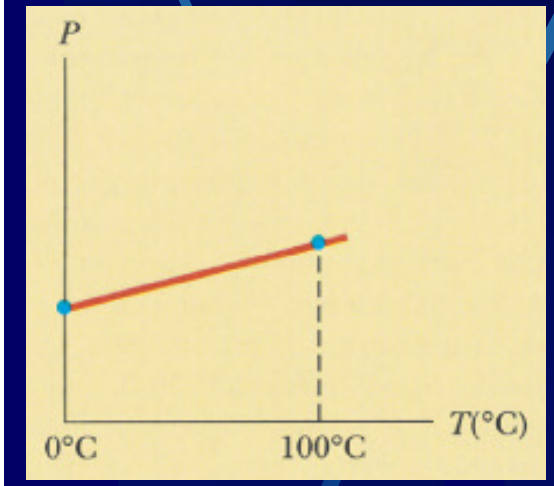
Scala Celsius (= gradi centigradi)

0º l'acqua diventa ghiaccio

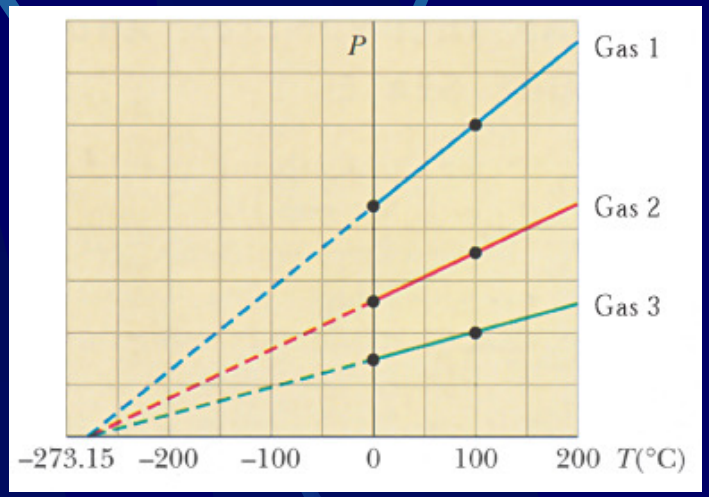
100º l'acqua bolle



Termometro a gas a volume costante



Eseguo una misura con un gas dato



Estrapolo e trovo un valore di temperatura minima

ZERO ASSOLUTO

- **la pressione 0 si ottiene per T = -273.15 ºC**

Scala kelvin

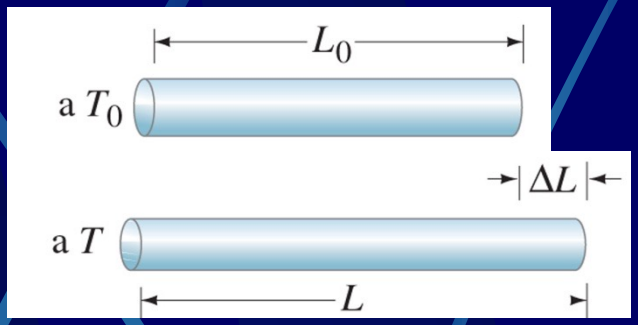
$$T_C = T - 273.15$$

- $\Delta T_{celsius} = \Delta T_{kelvin}$

- Temperatura e calore
- **La dilatazione termica**
- Calore e lavoro
- Capacità termica e calore specifico
- Conduzione,convezione, irraggiamento

La dilatazione termica

Sperimentalmente vedo che:



$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$

α è il coefficiente di dilatazione lineare

Nel Sistema Internazionale le Temperature devono sempre essere espresse in K

ovvero ($T = (273+T(^oC))$

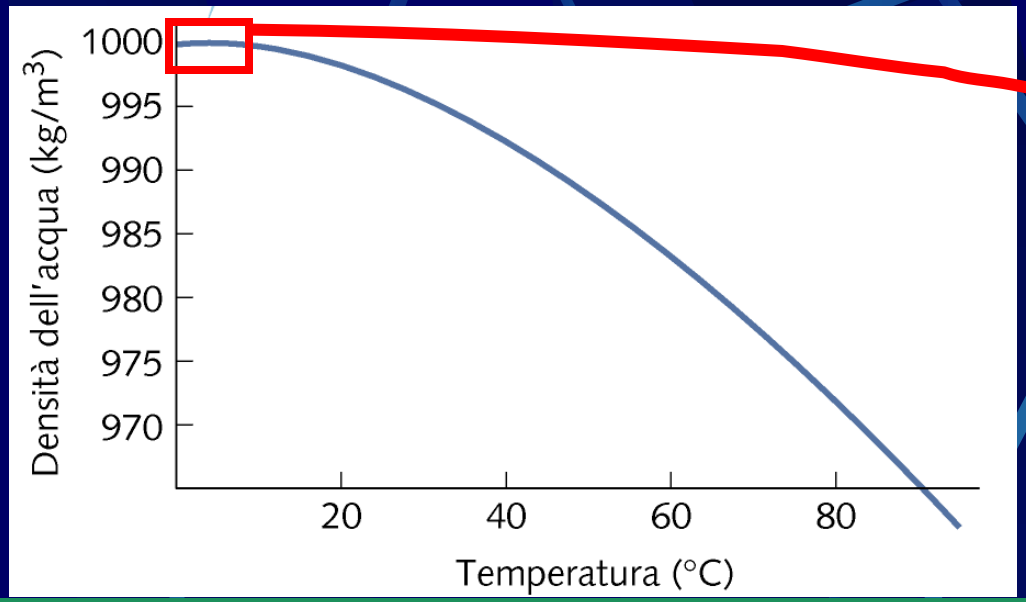
ma

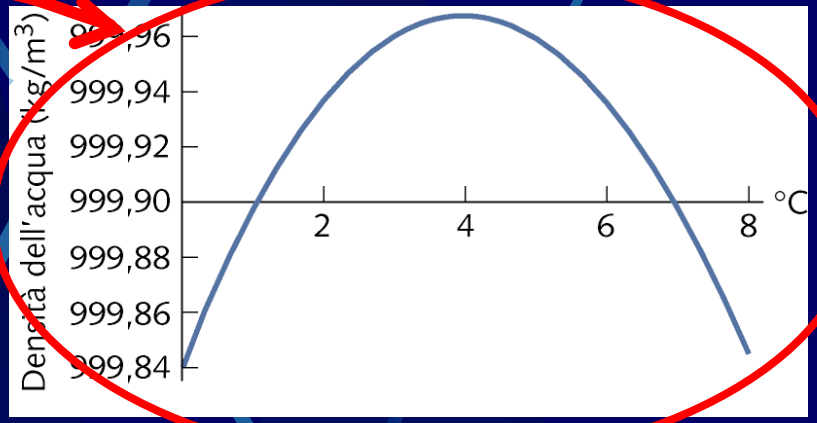
$\Delta T = (T_1(K)-T_2(K)) = ((T_1(^oC)+273)-(T_2(^oC)+273)) = T_1(^oC)-T_2(^oC)$

Coefficienti di dilatazione termica

Materiale	α (°C)$^{-1}$
Rame	$17 \cdot 10^{-6}$
Vetro	$9 \cdot 10^{-6}$
Quarzo	$0.4 \cdot 10^{-6}$

L'acqua è diversa dagli altri





Tra 0 °C e 4 °C

La densità aumenta all'aumentare della temperatura

Il volume diminuisce all'aumentare della temperatura

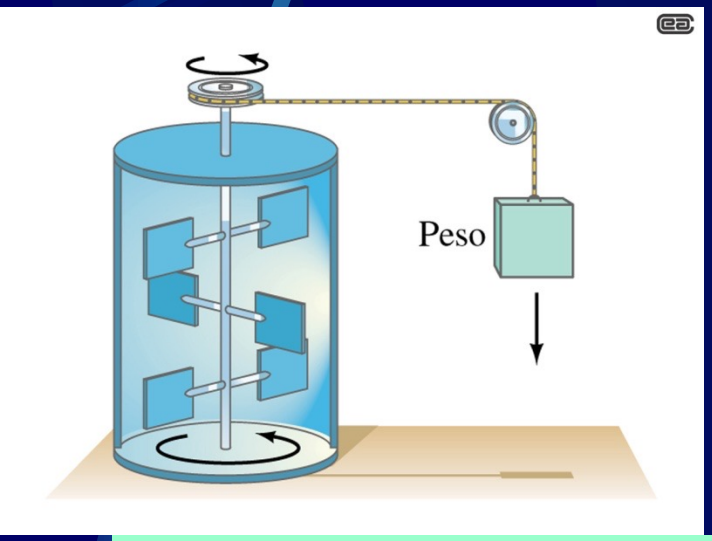
Perchè un lago gela in superficie?

- T diminuisce fino a 4 °C ➔L'acqua in superficie scende (è più densa)
- Tutta l'acqua raggiunge i 4 °C
- Sotto i 4 °C, l'acqua in superficie è meno densa ➔ rimane in superficie
- Si gela prima la superficie
- I pesci e le piante non vengono congelati

- Temperatura e calore
- La dilatazione termica
- **Calore e lavoro**
- Capacità termica e calore specifico
- Conduzione,convezione, irraggiamento

Calore e lavoro meccanico

- Fino al 1800 circa: fluido calorico
- Conte di Rumford: calore e lavoro sono legati
- Joule: equivalenza tra calore e lavoro meccanico



CALORIA (cal)

(definita ai tempi del fluido calorico)

Quantità di calore necessaria a innalzare di 1 °C (tra 14.5 e 15.5 °C) la massa di 1 g di acqua

kiloCALORIA (kcal o Cal)

Quantità di calore necessaria ad innalzare di 1 °C (tra 14.5 e 15.5 °C) la massa di 1 kg di acqua

Equivalente meccanico del calore **1 cal = 4.186 J**

Problema. Mangio un gelato e una fetta di torta, per un totale di 500 Cal. Che dislivello devo fare per bruciarle?

$$500\ \text{Cal} = 500\ \text{kcal} = (500\ \text{kcal}) \cdot (4.186 \cdot 10^3\ \text{J/kcal}) = 2.10 \cdot 10^6\ \text{J}$$

$$h = \frac{L}{mg} = \frac{2.1 \cdot 10^6\ \text{J}}{(60\ \text{kg}) \cdot (9.81\ \text{ms}^{-2})} = 3600\ \text{m}$$

... ma l'efficienza di trasformazione del cibo è solo del 20%...

- Temperatura e calore
- La dilatazione termica
- Calore e lavoro
- **Capacità termica e calore specifico**
- Conduzione,convezione, irraggiamento

La capacità termica

- Se cedo la stessa quantità di calore a due sostante diverse, l'aumento di temperatura sarà in generale diverso
- Definisco la Capacità termica $C = \frac{Q}{\Delta T}$
- Si misura in J/ K (ma avendo ΔT, è uguale a J/ ^{o}C)

Nota. Non è corretto pensare che un corpo immagazzini calore (**fluido calorico**)

+ corretto

Un corpo, messo in contatto con un altro, può cedere/acquistare calore

Meglio pensare in termini di $Q = C \cdot \Delta T$

- $Q > 0$ se $\Delta T > 0$
- $Q < 0$ se $\Delta T < 0$

Il calore specifico

- A parità di capacità termica, Q e ΔT dipendono dalla massa
- Elimino questa dipendenza definendo il calore specifico

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

che si misura in $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

dimensionalmente $[ML^2T^{-2}][M^{-1}] = [L^2T^{-2}]$

Sostanza	Calore specifico (kcal/(kg·K)	Calore specifico J/(kg·K)
Acqua (15 °C)	1.00	4186
Ghiaccio (-5 °C)	0.5	2100
Vapore (15 °C)	0.48	2010
Corpo umano (in media)	0.83	3470
Proteina	0.4	1700
Legno	0.4	1700
Piombo	0.031	130

Quali conseguenze ?

Dati 6000 J a 1 kg, ottengo:

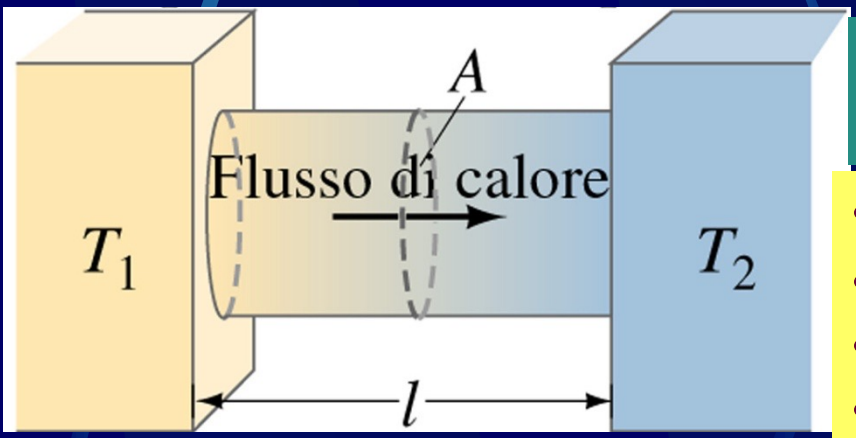
$$\Delta T_{acqua} = \frac{6000\ J}{(1.00\ kg) \cdot (4186\ J/\ kg \cdot K)} = 1.43\ K$$

$$\Delta T_{piombo} = \frac{6000\ J}{(1.00\ kg) \cdot (130\ J/\ kg \cdot K)} = 45.2\ K$$

- Temperatura e calore
- La dilatazione termica
- Calore e lavoro
- Capacità termica e calore specifico
- **Conduzione,convezione, irraggiamento**

Conduzione

- Il calore può passare da un corpo ad un altro corpo in vari modi:
  - Conduzione
  - Convezione
  - Irraggiamento
- Conduzione: flusso diretto di calore in un materiale



Sperimentalmente trovo:

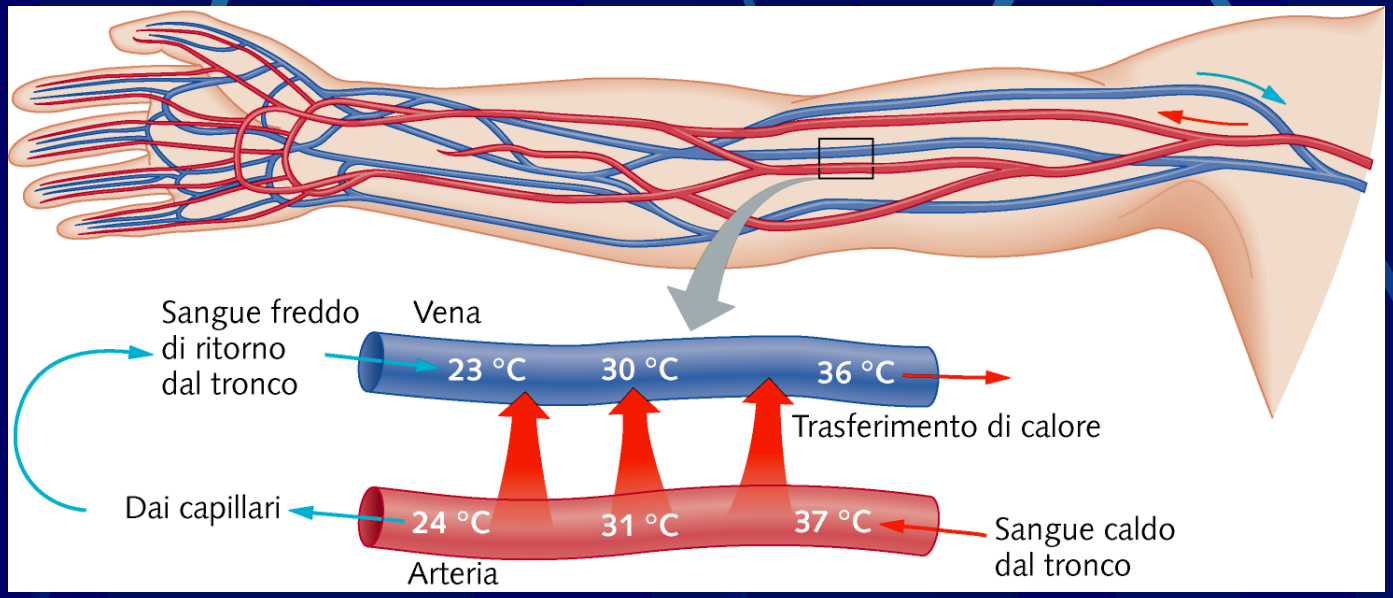
$$Q = kA\left(\frac{\Delta T}{L}\right)t$$

- Direttamente proporzionale all'area
- Direttamente proporzionale a ΔT
- Inversamente proporzionale alla lunghezza
- Direttamente proporzionale al tempo

Sostanza	rame	ghiaccio	acqua	amianto	lana	aria
k = Conducibilità termica (W/(m·K)	395	1.6	0.60	0.25	0.04	0.0234

Scambio controcorrente + mani/piedi freddi

- Gli organismi cercano di mantenere a temperatura costante le sedi di organi vitali
- Tendono a 'sacrificare' zone non essenziali per la sopravvivenza



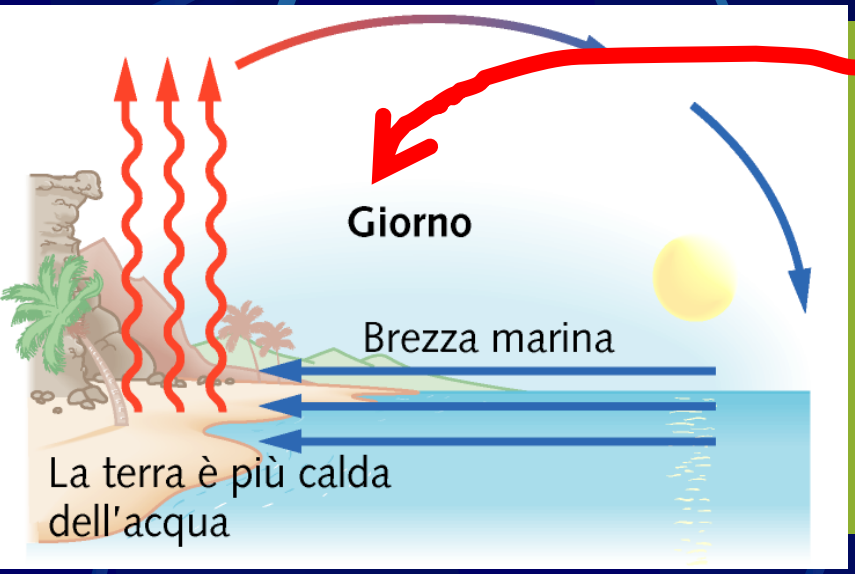
$T_{arteria} > T_{vena}$

Conduzione termica

SANGUE: $T_{estremità} < T_{tronco}$

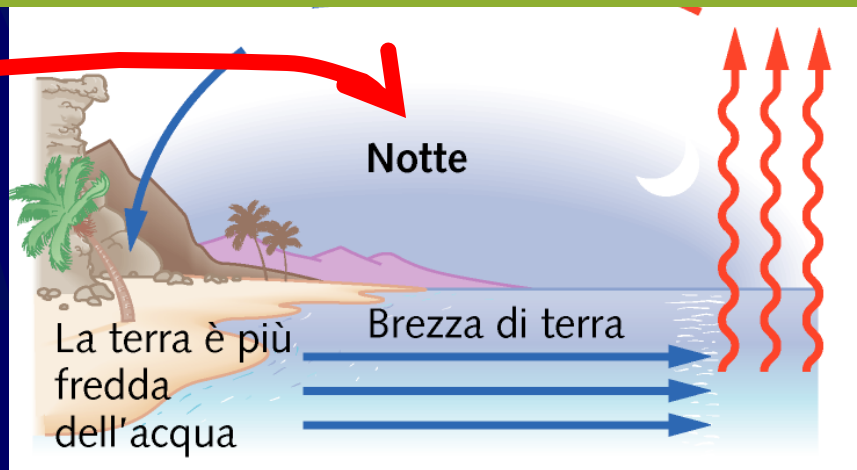
Convezione

- Quando scaldo un fluido (aria, acqua) questo si espande e diventa meno denso
- Posso avere quindi correnti convettive (convezione)



- Il sole scalda terra e acqua
- $c_{terra} < c_{acqua}$
- Per avere la stessa ΔT $Q_{terra} < Q_{acqua}$
- L'aria più calda va verso l'alto
- L'aria più fredda la rimpiazza

- $c_{terra} < c_{acqua}$
- A parità di Q $\Delta T_{terra} > \Delta T_{acqua}$
- L'aria più calda va verso l'alto
- L'aria più fredda la rimpiazza



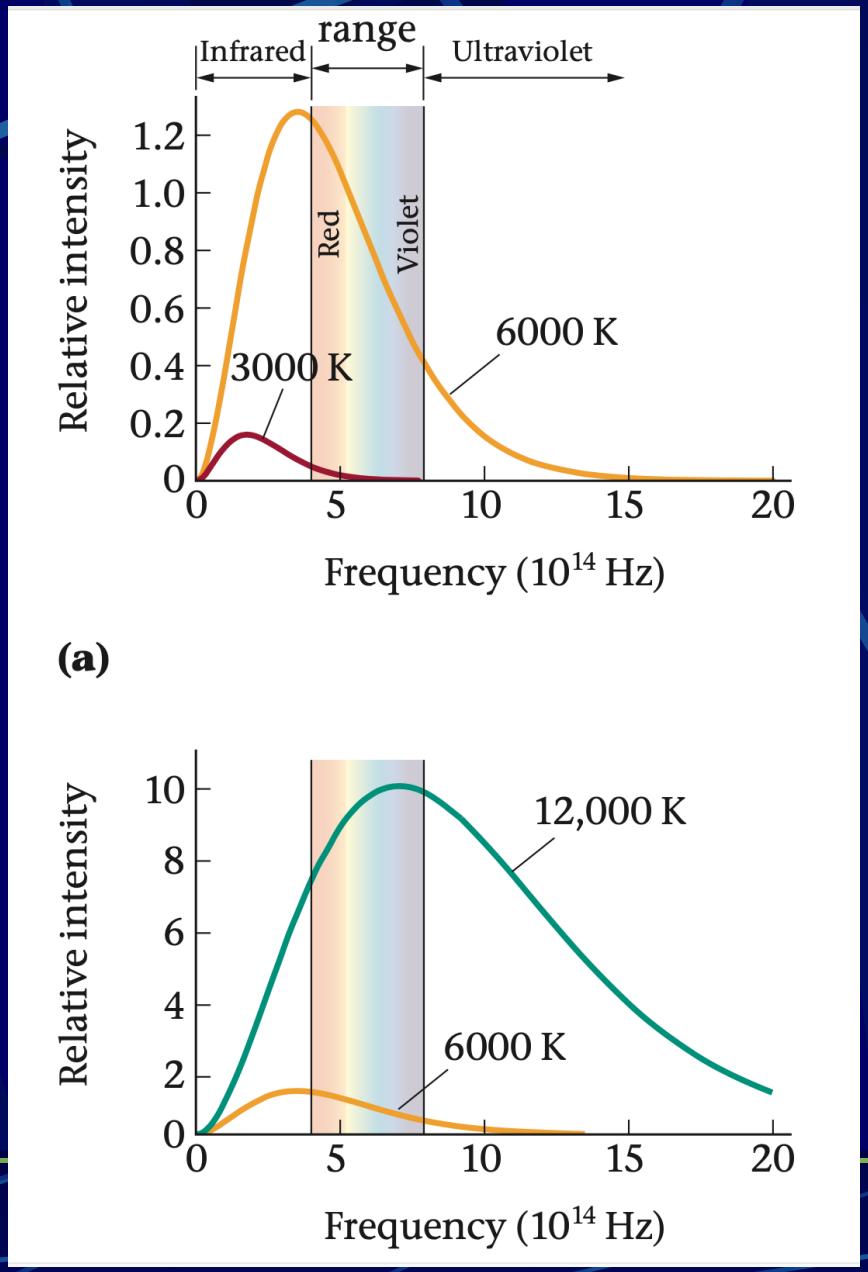
Wind chill factor

http://www.walk2unwind.co.uk/mountains/weather-facts.html

Irraggiamento

- Un corpo può emettere energia sotto forma di onde elettromagnetiche
- Questo effetto avviene anche nel vuoto (a differenza di conduzione e convezione)
- Radiazione = colore ➔ vedo il colore di un corpo
  - 800 C: rosso acceso
  - 3000 C: bianco incandescente
  - 6000 C: superficie del sole
  - 20000-30000 C: stelle blu incandescente

Spettro di emissione di corpo nero



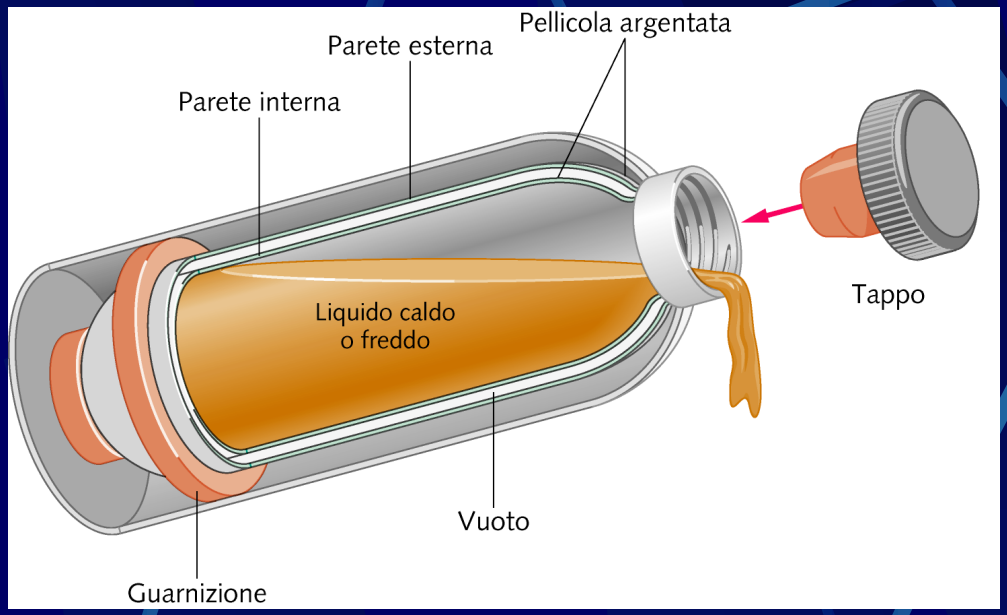
La legge di Stefan-Boltzmann

Energia irraggiata nell'unità di tempo
= Potenza

$$P = e\,\sigma\,A\,T^4$$

- P: potenza (energia/tempo)
- e: emissività (coefficiente di emissione = efficienza di emissione; compresa tra 0 (riflettente ideale) e 1 (assorbente ideale))
- costante σ: (costante di Stefan-Boltzmann) = $5.67 \cdot 10^{-8}$ W/($m^2 \cdot K^4$)
- A: superficie del corpo
- T: temperatura in kelvin (occhio!)

Applicazioni dell'irraggiamento



Il termos

- Vuoto tra parete interna ed esterna (➔solo irraggiamento)
- Pellicola argentata (➔ e=0)
- Potenza irraggiata = 0

La termografia

Misura

l'intensità dell'irraggiamento

punto a punto

Condizioni di riferimento

Dopo aver fumato una sigaretta

Riassumendo

Energia e calore sono

due aspetti della stessa grandezza

Il trasferimento di calore tra due corpi

è regolato da semplici leggi

Prossima lezione:

Teoria cinetica dei gas e principi della termodinamica

Esercizio da fare a casa

Un fabbro lascia cadere un ferro di cavallo che pesa 0.50 kg dentro un secchio contenente 25 kg di acqua. Se la temperatura iniziale del ferro di cavallo è 450 ^{o}C e quella dell'acqua è 23 ^{o}C, qual è la temperatura di equilibrio del sistema ? Assumi che il calore non sia disperso nell'ambiente circostante e che c_{Acqua}=4186 J/(kg·K) e c_{Ferro}=448 J/(kg·K)

Soluzione

$$Q_{Ferro} + Q_{Acqua} = 0$$

$$m_F c_F (T - T_F) + m_A c_A (T - T_A) = 0$$

$$T = \frac{m_F c_F T_F + m_A c_A T_A}{m_F c_F + m_A c_A} =$$

$$= \frac{(0.5)(448)(450) + (25)(4186)(23)}{(0.5)(448) + (25)(4186)} = 24\ ^{o}C = 297\ K = 300\ K$$

Esercizio 1

Calcolare la dilatazione di un ponte, lungo 200 m a 20 °C, quando sia esposto alle temperature estreme di –30°C e +40 °C, sapendo che $\alpha=12\cdot10^{-6}(^{o}C)^{-1}$

T=40 °C

$\Delta L = \alpha\cdot L_0\cdot\Delta T = (12\cdot10^{-6}\ ^{o}C^{-1})(200m)(40-20\ ^{o}C)=$

$= 4.8\cdot10^{-2}$ m = 4.8 cm

T=-30 °C

$\Delta L = \alpha\cdot L_0\cdot\Delta T = (12\cdot10^{-6}\ ^{o}C^{-1})(200m)(-30-20\ ^{o}C)=$

$= -12\cdot10^{-2}$ m = -12 cm

ΔL totale sarà di 16.8 cm

Esercizio 2

La capacità termica di 1.00 kg di acqua è 4186 J/K. Calcola la variazione di temperatura dell'acqua se vengono sottratti 1010 J di calore o forniti 505 J di calore.

$$\Delta T = \frac{Q}{C} = \frac{-1010\,J}{4186\,J \cdot K^{-1}} = -0.241\,K$$

$$\Delta T = \frac{Q}{C} = \frac{505\,J}{4186\,J \cdot K^{-1}} = 0.121\,K$$

Esercizio 3

Problema. Quanto calore è necessario per innalzare la temperatura di una tinozza di ferro vuota di massa 20 kg, da 10 C a 90 C, sapendo che c_{ferro} = 450 J/(kg·K) ?

$$Q_1 = mc\,\Delta t = (20\,\text{kg})(450\,\text{J/(kg}\cdot\text{K)})(90 - 10\,\text{C}) = 7.2\cdot 10^5\ \text{J} = 720\,\text{kJ}$$

Seconda domanda

Cosa succede se la tinozza è riempita con 20 kg di acqua ?

$$Q_2 = mc\,\Delta t = (20\,\text{kg})(4186\,\text{J/(kg}\cdot\text{K)})(90 - 10\,\text{C}) = 6.7\cdot 10^6\ \text{J} = 6700\,\text{kJ}$$

Il calore totale da fornire sarà la somma $Q_1 + Q_2$:

$$Q_{\text{totale}} = Q_1 + Q_2 = (720 + 6700)\,\text{kJ} = 7400\,\text{kJ}$$