

# Fondamenti di fisica generale - X Lezione

Scambi di calore: calorimetria

Energia e corpo umano

Cambiamenti di fase (passaggi di stato)

---

Andrea Bettucci

10 gennaio 2024

Dipartimento di Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria  
Sapienza Università di Roma

# Scambi di calore: calorimetria

---

Dalla precedente lezione sappiamo che:

- **Calore e lavoro sono equivalenti: una data quantità di lavoro compiuto è sempre equivalente a una data quantità di calore scambiato.**
- Quantitativamente si trova che 4,186 J di lavoro sono equivalenti a 1 cal. Questo dato numerico è detto **equivalente meccanico del calore:**

$$4,186 \text{ J} = 1 \text{ cal}$$

$$4186 \text{ J} = 1 \text{ kcal}$$

- Il calore non è da intendersi né come una sostanza né come una forma di energia, ma come un modo di trasferire energia.
- **il calore è una forma di trasferimento di energia da un corpo a un altro dovuta a una differenza di temperatura.**

- La quantità di calore  $Q$  necessaria a far variare di  $\Delta T$  la temperatura di un corpo di massa  $m$  è proporzionale sia a  $m$  che a  $\Delta T$ :

$$Q = cm\Delta T$$

dove  $c > 0$  è una grandezza caratteristica della sostanza di cui è fatto il corpo ed è detta **calore specifico**. Il prodotto  $cm$  si chiama **capacità termica**:

- Se  $\Delta T > 0 \Rightarrow Q > 0$ : il calore assorbito è positivo.
- Se  $\Delta T < 0 \Rightarrow Q < 0$ : il calore ceduto è negativo.

$$Q = cm\Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{Q}{cm}$$

**A parità di quantità di calore scambiata da un corpo, maggiore è la sua capacità termica, minore è la variazione di temperatura del corpo.**

## Esempio

200 cm<sup>3</sup> di tè alla temperatura di 95 °C vengono versati in una tazza di vetro di 150 g inizialmente a 25 °C. Quale sarà la temperatura finale  $T_f$  del tè e della tazza quando sarà raggiunto l'equilibrio termico, assumendo che non fluisca calore verso l'esterno (**sistema termicamente isolato**)? (Considerare il tè come acqua; calore specifico del vetro  $c_v = 840 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ .)

Poiché il sistema tè+tazza è termicamente isolato (non vi è flusso di calore da o verso l'esterno), il raggiungimento dell'equilibrio termico viene raggiunto con il calore ceduto dal tè che (si raffredda) che è in **valore assoluto** uguale al calore assorbito dalla tazza di vetro (che si riscalda). Di conseguenza, poiché i calori scambiati hanno segno si ha:

$$Q_{\text{acqua}} + Q_{\text{tazza}} = 0 \quad (1)$$

dove  $Q_{\text{acqua}} < 0$  mentre  $Q_{\text{tazza}} > 0$ .

Se  $T_{\text{acqua}} = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $T_{\text{tazza}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  allora

$$Q_{\text{acqua}} = c_{\text{acqua}}m_{\text{acqua}}(T_f - T_{\text{acqua}})$$

$$Q_{\text{tazza}} = c_{\text{tazza}}m_{\text{tazza}}(T_f - T_{\text{tazza}})$$

dove:

$$c_{\text{acqua}} = 4186\text{ J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$$

$$m_{\text{acqua}} = \rho_{\text{acqua}}V_{\text{acqua}} = (1 \times 10^3\text{ kg}/\text{m}^3)(200 \times 10^{-6}\text{ m}^3) = 0,20\text{ kg}.$$

Sostituendo i valori nell'Eq. (1) si ha la seguente equazione nell'incognita  $T_f$ :

$$(4186\text{ J}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})(0,20\text{ kg})(T_f - 95\text{ }^{\circ}\text{C}) + (840\text{ J}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})(0,15\text{ kg})(T_f - 25\text{ }^{\circ}\text{C}) = 0.$$

Risolvendo l'equazione si trova  $T_f = 86\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Se  $T_{\text{acqua}} = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $T_{\text{tazza}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  allora

$$Q_{\text{acqua}} = c_{\text{acqua}}m_{\text{acqua}}(T_f - T_{\text{acqua}})$$

$$Q_{\text{tazza}} = c_{\text{tazza}}m_{\text{tazza}}(T_f - T_{\text{tazza}})$$

dove:

$$c_{\text{acqua}} = 4186\text{ J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$$

$$m_{\text{acqua}} = \rho_{\text{acqua}}V_{\text{acqua}} = (1 \times 10^3\text{ kg}/\text{m}^3)(200 \times 10^{-6}\text{ m}^3) = 0,20\text{ kg}.$$

Sostituendo i valori nell'Eq. (1) si ha la seguente equazione nell'incognita  $T_f$ :

$$(4186\text{ J}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})(0,20\text{ kg})(T_f - 95\text{ }^{\circ}\text{C}) + (840\text{ J}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})(0,15\text{ kg})(T_f - 25\text{ }^{\circ}\text{C}) = 0.$$

Risolvendo l'equazione si trova  $T_f = 86\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Perché l'acqua diminuisce la temperatura di soli  $9\text{ }^{\circ}\text{C}$  mentre il vetro aumenta di temperatura di ben  $61\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?**

# Energia e corpo umano

---



- **La temperatura è uno dei fattori ambientali più importanti nel funzionamento degli organismi viventi.**
- Gli animali a sangue caldo (mammiferi e uccelli) hanno sviluppato metodi per mantenere la temperatura corporea interna a livelli quasi costanti. Di conseguenza, gli animali a sangue caldo sono in grado di funzionare a un livello ottimale in un ampio intervallo di temperature esterne.
- Sebbene questa regolazione della temperatura richieda ulteriori dispendi di energia, l'adattabilità ottenuta vale ampiamente questo dispendio.
- **L'energia chimica necessaria per le varie attività è ottenuta dall'ossidazione delle molecole di cibo.**

- Tutti i sistemi viventi hanno bisogno di energia per funzionare. Negli animali, questa energia viene utilizzata per far circolare il sangue, ottenere ossigeno, riparare le cellule e così via.
- Anche a riposo completo in un ambiente confortevole, il corpo ha bisogno di energia per sostenersi nelle sue funzioni vitali. Ad esempio, un uomo di 70 kg che giace tranquillamente sveglio consuma circa 70 kcal/h  $\simeq$  80 W.

$$(1 \text{ kcal} = 4186 \text{ J}) \Rightarrow 1 \text{ kcal/h} = \frac{4186 \text{ J}}{3600 \text{ s}} = 1,16 \text{ W}.$$



- La quantità di energia consumata da una persona dipende dal peso e dalla corporatura.
- Il dispendio energetico aumenta con l'attività fisica.

È stato riscontrato, tuttavia, che la quantità di energia consumata da una persona durante una determinata attività divisa per la superficie del corpo della persona è circa la stessa per la maggior parte delle persone. Di conseguenza l'energia consumata per le varie attività è solitamente espressa in  $\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  o in  $\text{W}/\text{m}^2$ . Questo è quello che si chiama **tasso metabolico**.

### Tasso metabolico per alcune attività

Attività	Tasso metabolico $\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
dormire	35
giacere svegli	40
stare seduti	50
stare in piedi	60
camminare (5 km/h)	140
correre	600

- Per ottenere il consumo energetico totale per ora è si moltiplica il tasso metabolico per la superficie della persona (dedotta da una semplice formula noto il peso e l'altezza della persona).
- Ad esempio, la superficie di un uomo di 70 kg, alto 1,60 m è di circa  $1,70 \text{ m}^2$ . Il suo consumo energetico quando giace sveglio è quindi:

$$40 \text{ kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \times 1,70 \text{ m}^2 \simeq 70 \text{ kcal/h} = 80 \text{ W}$$

che è il valore trovato in precedenza.

- Questo consumo energetico a riposo è chiamato **metabolismo basale**.

- **L'energia chimica necessaria per le varie attività è ottenuta dall'ossidazione delle molecole di cibo.**
- Ad esempio, per ogni grammo di glucosio ingerito, circa 3,81 kcal di energia vengono rilasciate per uso metabolico.
- Il valore calorico per unità di peso è diverso da cibo a cibo. Ad esempio, in media i carboidrati (zuccheri e amidi) forniscono circa 4 kcal/g; i grassi circa 9 kcal/g; alcol circa 7 kcal/g.

## Esempio

Una persona di massa  $m = 60$  kg ha consumato un pranzo da 500 kcal. Se volesse consumare queste calorie salendo in montagna, fino a quale altezza dovrebbe salire?

Il lavoro  $L$  che la persona dovrebbe compiere è uguale alla variazione cambiata di segno dell'energia potenziale gravitazionale:

$$L = -\Delta U = mgh$$

essendo  $m$  la massa della persona e  $h$  la quota cui arriverà. L'energia del pasto equivale a:  $(500 \text{ kcal})(4186 \text{ J/kcal}) = 2,1 \times 10^6 \text{ J}$ . Quindi si ha:

$$h = \frac{L}{mg} = \frac{2,1 \times 10^6 \text{ J}}{(60 \text{ kg})(9,8 \text{ m/s}^2)} \simeq 3600 \text{ m.}$$

## Esempio

Una persona di massa  $m = 60$  kg ha consumato un pranzo da 500 kcal. Se volesse consumare queste calorie salendo in montagna, fino a quale altezza dovrebbe salire?

Il lavoro  $L$  che la persona dovrebbe compiere è uguale alla variazione cambiata di segno dell'energia potenziale gravitazionale:

$$L = -\Delta U = mgh$$

essendo  $m$  la massa della persona e  $h$  la quota cui arriverà. L'energia del pasto equivale a:  $(500 \text{ kcal})(4186 \text{ J/kcal}) = 2,1 \times 10^6 \text{ J}$ . Quindi si ha:

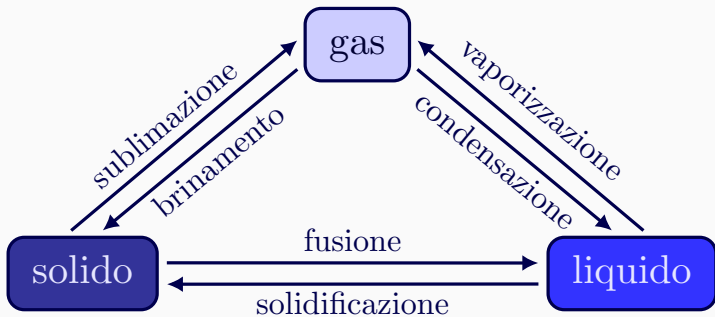
$$h = \frac{L}{mg} = \frac{2,1 \times 10^6 \text{ J}}{(60 \text{ kg})(9,8 \text{ m/s}^2)} \simeq 3600 \text{ m.}$$

Il corpo umano non trasforma l'energia del cibo con un'efficienza del 100%, ma solo del 20%. Di conseguenza, occorrerebbe salire solo  $(0.2)(3600 \text{ m}) \simeq 700 \text{ m}$ .

# Cambiamenti di fase

---





- I cambiamenti di stato richiedono energia (calore) che deve essere fornito o sottratto al sistema.
- **I cambiamenti di stato avvengono a temperatura costante: il calore scambiato non fa variare la temperatura del sistema ma serve a realizzare il cambiamento di stato.**
- Il calore necessario per trasformare 1 g di sostanza dallo stato solido a quello liquido si chiama **calore latente di fusione** e viene indicato con il simbolo  $L_f$ . Ad esempio, per l'acqua  $L_f \simeq 80 \text{ cal/g} \simeq 335 \text{ J/g}$ .
- Il calore necessario per trasformare 1 g di sostanza dalla fase liquida a quella di vapore si chiama **calore latente di vaporizzazione** e viene indicato con il simbolo  $L_v$ . Ad esempio, per l'acqua  $L_v \simeq 540 \text{ cal/g} \simeq 2260 \text{ J/g}$ .
- I calori di fusione e vaporizzazione possono anche essere considerati come la quantità di calore ceduta da una sostanza quando essa si trasforma da gas a liquido o da liquido a solido.

Temperatura in funzione del calore fornito a pressione atmosferica per trasformare una massa di  $m$  grammi di ghiaccio da  $-20^{\circ}\text{C}$  in vapore oltre i  $100^{\circ}\text{C}$

