



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TERAMO

# Fisica

Medicina Veterinaria — Semestre  
Aperto 2026

Prof. Francesco de Pasquale

Lezioni 43 e 44

# Outline

## Lezione 43

- Calore e capacità termica: scambi di energia sotto forma di calore.
- Definizione di capacità termica e calore specifico, con riferimento ai gas ideali

## Lezione 44

- Fenomeni di cambiamento di stato fisico (fusione, evaporazione, condensazione), calore latente.
- Esercizi

# Equazione di Stato dei Gas Ideali (Legge di Clapeyron)

$$PV = nRT$$

**P:** pressione del gas [Pa]

**V:** volume occupato [m<sup>3</sup>]

**n:** numero di moli [mol]

**R:** costante universale dei gas

**T:** temperatura assoluta [K]

# Il Calore come Forma di Energia

## Unità di misura

Il calore si misura in **Joule (J)** nel SI, ma si usa spesso anche la **caloria (cal)**.

## Definizione di caloria

1 cal = quantità di calore necessaria ad innalzare la temperatura di 1 g d'acqua di 1°C nel range 14,5° → 15,5°.

$$1 \text{ cal} = 4,185 \text{ J}$$

# Calore specifico e Capacità Termica

La capacità termica di un corpo dipende dalla sua massa e dal materiale di cui è composto:

$$C = mc$$

dove  $m$  è la massa e  $c$  è il **calore specifico** (proprietà del materiale). La formula completa per il calore scambiato diventa:

$$Q = C\Delta T = mc\Delta T$$

per quanto detto sopra il calore specifico dell'acqua è  $c = 1 \text{ cal}/(g^\circ C) = \text{kcal}/(kg^\circ C)$

# Calore specifico molare nei gas ideali

Nei solidi e liquidi il calore specifico è approssimativamente costante e indipendente dalla trasformazione. Nei gas ideali, invece, il calore necessario per aumentare la temperatura dipende da **come avviene il riscaldamento**

## Volume Costante

Il gas non può espandersi → non compie lavoro  
→ **serve meno calore** per la stessa variazione di temperatura.

## Pressione Costante

Il gas si espande → compie lavoro sull'ambiente  
→ **serve più calore** a parità di  $\Delta T$ .

Per i gas si usa il **calore specifico molare** (riferito a  $n$  moli):

$$Q = nC\Delta T$$

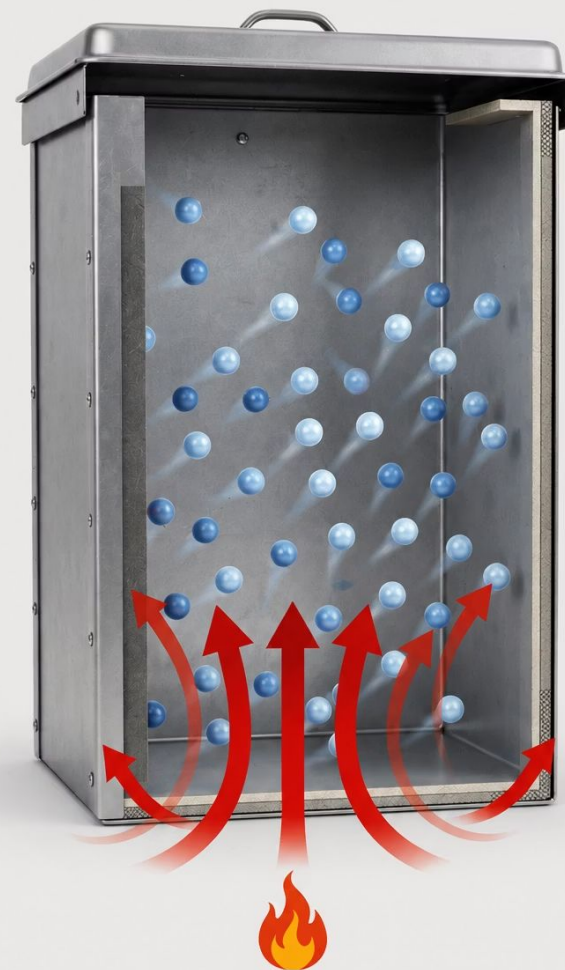
dove  $n$  = numero di moli,  $C$  = calore specifico molare [J/(mol·K)],  $\Delta T = T_f - T_i$ . Nel caso di trasformazioni isocore e isobare:

| Grandezza | Significato                                         |
|-----------|-----------------------------------------------------|
| $C_V$     | Calore specifico molare a <b>volume costante</b>    |
| $C_P$     | Calore specifico molare a <b>pressione costante</b> |

# Calore Specifico a Volume Costante $C_V$

Un gas ideale in un recipiente rigido viene riscaldato. Poiché il volume non cambia, il gas non compie lavoro di espansione e per il **Primo Principio della Termodinamica** si può dimostrare che

$$Q_V = nC_V\Delta T$$



# Calore Specifico a Pressione Costante $C_P$

Un gas in un cilindro con pistone mobile viene riscaldato a pressione costante. Il gas si espande e compie lavoro sul pistone.

Il lavoro compiuto a pressione costante:

$$W = p\Delta V = nR\Delta T$$

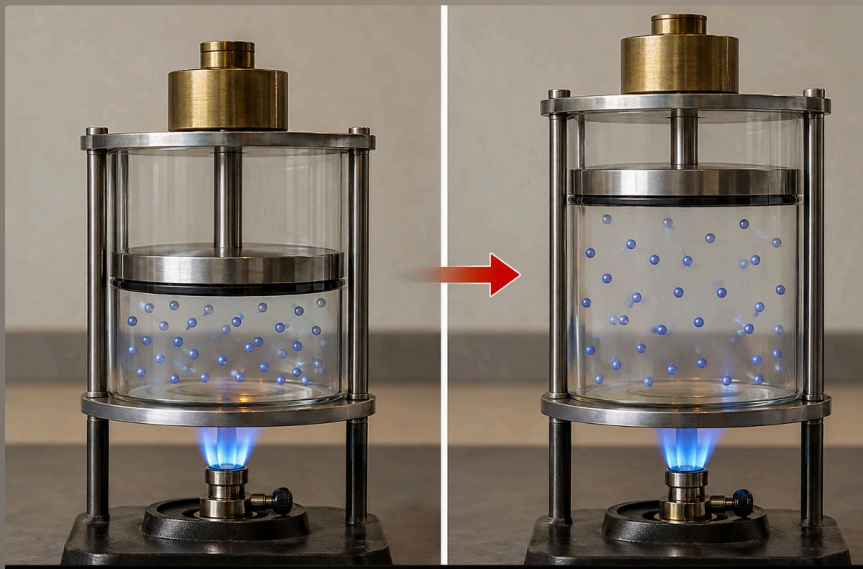
Utilizzando il **Primo Principio della Termodinamica** si può dimostrare che

Pressione costante

$$Q_P = nC_P\Delta T$$

Il gas si espande. Il calore va in energia interna e lavoro di espansione.

□  $C_P > C_V$  sempre: a pressione costante il gas deve ricevere energia extra per compiere lavoro di espansione, quindi occorre più calore per ottenere lo stesso aumento di temperatura.



# Cv, Cp per gas ideali mono/biatomici

| Tipo di gas                                      | $C_V$    | $C_P$    |
|--------------------------------------------------|----------|----------|
| Monoatomico (es. He)                             | $(3/2)R$ | $(5/2)R$ |
| Biatomico (es. N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> ) | $(5/2)R$ | $(7/2)R$ |

Nota:  $\gamma = C_P/C_V$  è l'indice adiabatico, importante nelle trasformazioni adiabatiche e nella propagazione del suono nei gas.

## Esempio guidato

Una mole di gas ideale monoatomico viene riscaldata di  $\Delta T = 100$  K. Calcolare il calore assorbito a volume costante e a pressione costante.

Dati:  $n = 1$  mol,  $\Delta T = 100$  K,  $R \approx 8,31$  J/(mol · K)

Caso A — Volume costante:

$$Q_V = nC_V\Delta T = 1 \cdot \frac{3}{2}(8,31) \cdot 100 \approx 1247 \text{ J}$$

Caso B — Pressione costante:

$$Q_P = nC_P\Delta T = 1 \cdot \frac{5}{2}(8,31) \cdot 100 \approx 2078 \text{ J}$$

Differenza (= lavoro di espansione):

$$Q_P - Q_V = nR\Delta T = 1 \cdot 8,31 \cdot 100 \approx 831 \text{ J} = W$$

La differenza conferma la relazione di Mayer: l'energia extra assorbita a pressione costante corrisponde esattamente al lavoro compiuto dal gas durante l'espansione isobara.

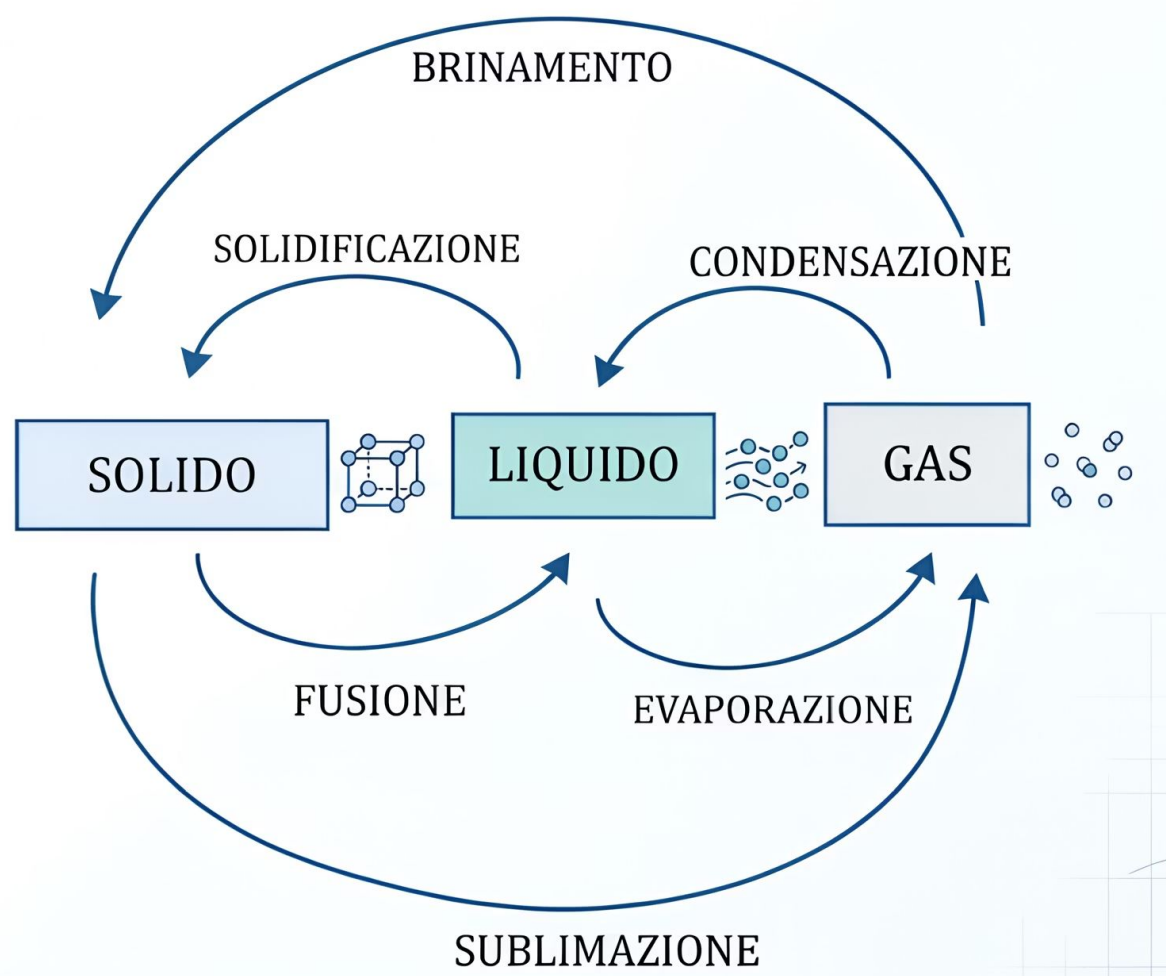
# Fenomeni di cambiamento di stato fisico

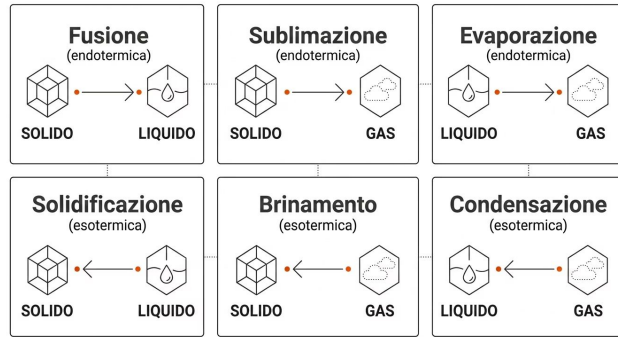
La materia può presentarsi principalmente in tre stati fisici: solido, liquido e aeriforme. Lo stato fisico dipende dalle condizioni di temperatura e pressione e, a livello microscopico, dal modo in cui sono organizzate e si muovono le particelle.

Un cambiamento di stato è una trasformazione fisica nella quale una sostanza passa da uno stato di aggregazione a un altro senza modificare la propria composizione chimica.

Tale passaggio richiede scambio di energia con l'ambiente, anche in assenza di variazione di temperatura.

## Transizioni di Fase





# Le Sei Transizioni di Fase

Il diagramma mostra le sei transizioni di fase tra i tre stati della materia. Ogni freccia indica una trasformazione con assorbimento (*endotermica*) o cessione (*esotermica*) di energia. Le transizioni che avvengono saltando lo stato liquido (sublimazione e brinamento) sono particolarmente importanti in criobiologia veterinaria.

## La Temperatura non cambia durante una transizione

Intuitivamente, sommare calore a un sistema dovrebbe sempre aumentarne la temperatura. Eppure, durante una transizione di fase, si ha  $Q > 0$  (o  $Q < 0$ ) senza alcuna variazione di temperatura:  $\Delta T = 0$ . Come è possibile?

- ❏ L'energia assorbita o ceduta durante una transizione di fase non viene usata per aumentare l'energia cinetica delle molecole (temperatura), ma per rompere o formare i **legami intermolecolari** che tengono insieme lo stato di aggregazione.

In pratica: sciogliere il ghiaccio richiede energia per rompere i legami idrogeno del reticolo cristallino, non per riscaldare l'acqua. Solo una volta completata la transizione, l'energia aggiunta torna a far aumentare la temperatura. Questa energia è definita calore latente.

# Il Calore Latente

Il calore latente è l'energia scambiata durante una transizione di fase a temperatura costante: non produce riscaldamento, ma cambia lo stato di aggregazione.

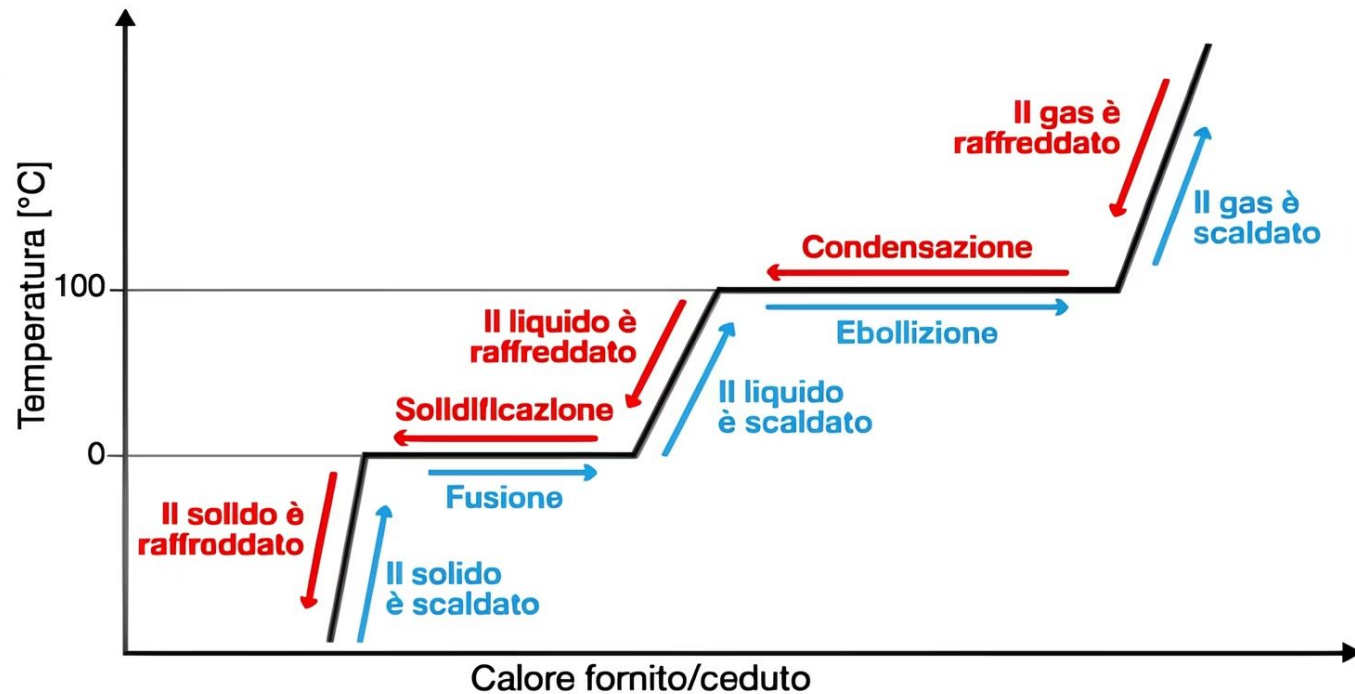
Il termine **latente** (dal latino *latere*, nascosto) indica che questo calore non si manifesta come variazione di temperatura, ma rimane "nascosto" all'interno del sistema, modificando la struttura molecolare della sostanza.

Associato a una **transizione di fase** a temperatura costante. Si calcola con:

$$Q = m \cdot L$$

Dove  $L$  è il calore latente specifico (di fusione, vaporizzazione, ecc.).

# Diagramma T-Q: Calore e Temperatura



Il diagramma mostra l'andamento della temperatura in funzione del calore somministrato. I tratti orizzontali corrispondono alle transizioni di fase: qui Q aumenta ma T rimane costante. I tratti inclinati corrispondono al riscaldamento sensibile della sostanza all'interno di una fase.



# Applicazione biomedica

Il calore latente di vaporizzazione dell'acqua è fondamentale nella termoregolazione animale. I cani, non avendo ghiandole sudoripare distribuite, dissipano calore quasi esclusivamente tramite il **ansimamento (panting)**: l'evaporazione dell'acqua dalla mucosa orale e dalle vie respiratorie rimuove grandi quantità di calore latente, raffreddando l'organismo senza abbassare direttamente la temperatura corporea interna.

Per passare dallo stato liquido a quello aeriforme, l'acqua deve assorbire energia: il suo calore latente di vaporizzazione.

Questa energia viene prelevata dalle superfici umide e dai tessuti circostanti, che così si raffreddano. Il sangue che circola nella zona contribuisce poi a trasferire calore dal resto del corpo verso le superfici interessate.

# Calorimetria: Misurare il Calore Scambiato

La **calorimetria** è la branca della fisica che studia e misura il calore scambiato tra corpi in contatto termico. È fondamentale per comprendere i processi energetici in vari contesti, dalla fisica all'ingegneria, dalla chimica alla biologia.

## Principio della Calorimetria

Quando due corpi a temperature diverse vengono messi in contatto termico in un sistema idealmente isolato, il calore ceduto dal corpo più caldo è uguale in modulo al calore assorbito dal corpo più freddo, ma di segno opposto. La somma algebrica dei calori scambiati è zero:

$$Q_{\text{ceduto}} + Q_{\text{assorbito}} = 0$$

Espandendo l'equazione utilizzando la formula  $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ , dove  $\Delta T = T_f - T_i$  è la variazione di temperatura, si ottiene:

$$m_1 c_1 (T_f - T_1) + m_2 c_2 (T_f - T_2) = 0$$

Da questa equazione, la temperatura di equilibrio ( $T_f$ ) può essere calcolata come:

$$T_f = \frac{m_1 c_1 T_1 + m_2 c_2 T_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2}$$

Un **calorimetro** è un contenitore isolato progettato per minimizzare lo scambio di calore con l'ambiente esterno, rendendolo un sistema il più possibile isolato termicamente per misurazioni accurate.



Esercizi (Tommasi): 1222; 1272; 1273; 1274  
(importante); 1275; 1294

Esercizio 1222

1L  $O_2$

1L  $H_2$

$N_{O_2}$  ;  $N_{H_2}$

Stesse condizioni

A)  $N_{O_2} = N_{H_2} / 16$

E)  $N_{O_2} = N_{H_2} / 8$

B)  $N_{O_2} > N_{H_2}$

C)  $N_{O_2} = N_{H_2}$

D)  $N_{O_2} = N_{H_2} / 32$

$P, V \Rightarrow$

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{\overset{\downarrow \downarrow}{PV}}{\underset{\uparrow \uparrow}{RT}}$$

$\Rightarrow$  stesso  $n$

$$N_{O_2} = n N_A \quad ; \quad N_{H_2} = n N_A \quad \Rightarrow \quad N_{O_2} = N_{H_2} \quad \text{C) } \checkmark$$

# Esercizio # 1228

$$P_F = 45 \text{ atm}$$

$$T = 87^\circ\text{C}$$

$$P = 30 \text{ atm}$$

$$T_F : \quad \begin{array}{l} \text{A)} \quad 540^\circ\text{C} \\ \text{B)} \quad 267^\circ\text{C} \quad \leftarrow \\ \text{C)} \quad 130^\circ\text{C} \\ \text{D)} \quad 174^\circ\text{C} \\ \text{E)} \quad 58^\circ\text{C} \end{array}$$

$$P_F V_F = n R T_F$$

$$V_F = V$$

$$P V = n R T$$

$$\begin{cases} P_F V = n R T_F \\ P V = n R T \end{cases}$$

$$T_F = \frac{P_F V}{n R} = P_F \left( \frac{V}{n} \right) \frac{1}{R}$$

$\uparrow$   
?

$$P V = n R T$$

$\Downarrow$

$$\frac{V}{n} = \frac{R T}{P} \quad \Rightarrow \quad T_F = P_F \frac{R T}{P} \frac{1}{R}$$

$$T_F = T \frac{P_F}{P} =$$

$$T = 87^\circ\text{C} \rightarrow 360 \text{ K}$$

$$T_F = 360 \cdot \frac{45}{30} = 540 \text{ K}$$

$$T_F = 540 \text{ K} \Rightarrow 267^\circ\text{C} \quad \text{B)}$$

## Esercizio # 1242

6 kg  $H_2O$   $10^\circ C$

2 kg  $H_2O$   $90^\circ C$

Temperatura :

- A)  $10^\circ C$
- B)  $30^\circ C$  ←
- C)  $50^\circ C$
- D)  $70^\circ C$
- E)  $90^\circ C$

$$Q = mc \Delta T = mc (T_f - T_i)$$

$$m_1 \underset{\uparrow}{(T_f - T_1)} = - \underset{\uparrow}{m_2} \underset{\uparrow}{(T_f - T_2)}$$

$$m_1 T_f - m_1 T_1 = - m_2 T_f + m_2 T_2$$

$$T_f (m_1 + m_2) = m_2 T_2 + m_1 T_1$$

$$T_f = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{(m_1 + m_2)}$$

$$T_f = \frac{6 \cdot 10 + 2 \cdot 90}{8} = \frac{60 + 180}{8}$$

$$= \frac{240}{8} = 30^\circ C$$

$T_f = 30^\circ C$       B) ✓

Esercizio # 1295

2 L  $H_2O$   $20^\circ C$

1,6 kg metallo  $90^\circ C \rightarrow T_{eq} = 40^\circ C$

$C_{MET} = ?$

A) 0,25 Kcal/kg  $^\circ C$

B) 0,5 "  $\leftarrow$

C) 0,75 "

D) 0,15 "

E) 1,5 "

$$Q_{ASS} = -Q_{CED}$$

$$M_{H_2O} C_{H_2O} (T_{eq} - T_{IN, H_2O}) = - m_{MET.} C_{MET.} (T_f - T_{IN, MET.})$$

$$\rightarrow M_{H_2O} = \rho V_{H_2O} = 1000 \cdot 2 \cdot \left( \frac{10^{-1}}{dm^3} \right)^3 = 1000 \cdot 2 \cdot 10^{-3} kg$$

$$C_{MET} = - \frac{M_{H_2O} C_{H_2O} (T_{eq} - T_{IN, H_2O})}{m_{MET.} (T_f - T_{IN, MET.})}$$

$$= - \frac{2 \cdot 1 \cdot (40 - 20)}{16 (40 - 90)} =$$

$$= + \frac{40 (-50)}{1,6 \cdot 50} = \frac{4}{8} = \frac{1}{2} = 0,5$$

$$C_{MET} = 0,5 \text{ Kcal/kg } ^\circ C \quad \text{B) } \checkmark$$

# Riepilogo degli argomenti trattati

- Il calore come forma di energia: unità di misura (Joule e caloria)
- Calore specifico e capacità termica:  $C = mc$
- Calore specifico molare nei gas ideali:  $C_v$  e  $C_p$  per gas monoatomici e biatomici, relazione di Mayer
- Equazione di stato dei gas ideali (Legge di Clapeyron):  $PV = nRT$
- Fenomeni di cambiamento di stato e le sei transizioni di fase
- La temperatura non cambia durante una transizione e il calore latente
- Diagramma T-Q: calore e temperatura
- Calorimetria: misurare il calore scambiato
- Applicazioni biomediche (es. regolazione termica negli animali)
- Esercizi di riferimento



# Domande di autovalutazione

1. Qual è la differenza tra calore e temperatura?
2. Qual è la capacità termica di un corpo di massa  $m$  e calore specifico  $c$ ?
3. Perché  $C_p$  è maggiore di  $C_v$  per un gas ideale?
4. Cosa succede alla temperatura durante una transizione di fase, e cos'è il calore latente?
5. Cosa rappresenta il diagramma  $T$ - $Q$  e come si legge?
6. Come si misura il calore scambiato in un calorimetro?