



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TERAMO

Fisica

Medicina Veterinaria — Semestre
Aperto 2026

Prof. Francesco de Pasquale

Lezioni 45 e 46

Outline

Lezione 45

- Calorimetria.
- Meccanismi di trasmissione del calore: conduzione termica, convezione e irraggiamento.
- Esercizi

Lezione 46

- Primo principio della termodinamica: definizione e significato fisico.
- Energia interna, calore e lavoro.
- Esempi ed esercizi

Esercizi su calore (Tommasi)

Esercizio # 1234

Ghiaccio a -15°C

H_2O a 20°C

580 Kcal

$$c_g = 0,5 \text{ Kcal/Kg } ^{\circ}\text{C}$$

m_{GHIAIO} :

A) 1,66 Kg

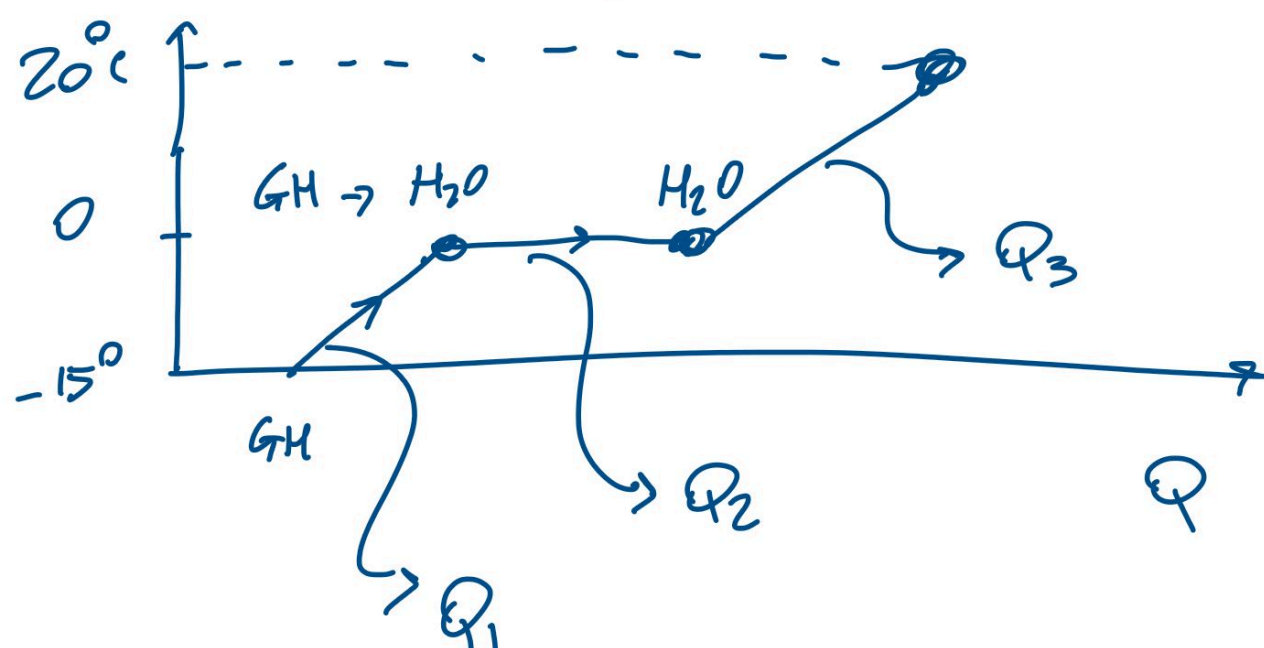
B) 5,4 Kg

C) 166 g

D) 16,6 Kg

E) 54 Kg

$$c_f = 80 \text{ Kcal/Kg}$$



$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = m_{\text{GH}} c_g (0 + 15) + m_{\text{GH}} c_f + m_{\text{GH}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} (20 -$$

$\downarrow$
calore latente

$$Q = m_{\text{GH}} (15 c_g + c_f + 20 c_{\text{H}_2\text{O}})$$

$$m_{\text{GH}} = \frac{\cancel{Q} \ 580 \text{ Kcal}}{(7,5 + 80 + 20)} = \frac{580}{107,5}$$

$$= 5,39 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{GH}} = 5,39 \text{ Kg}$$

B) ✓

Esercizio # 1303

5L H_2O $40^\circ C$

↓
ghiaccio

↓
 $-50^\circ C$

$$\begin{cases} c_f = 0,5 \text{ Kcal/kg}^\circ C \\ c_l = 80 \text{ Kcal/kg} \end{cases}$$

Q_{ASS} :

A) 72,5 Kcal	D) 725 cal
B) 725 "	E) 7,25 cal
C) 7,25 "	

$$Q = m_{H_2O} c_{H_2O} (0 - 40^\circ) + \underbrace{m_{H_2O} c_f (-50 - 0)} + \underbrace{- m_{H_2O} c_l}$$

$$m_{H_2O} = \rho V = \cancel{10^3} 5. \cancel{dm^3} (\cancel{10^{-3}}) \cancel{10^{-3}} = 5 \text{ kg}$$

$$Q = \underbrace{5 \cdot 1 (-40)} + \underbrace{5 \cdot 0,5 (-50)} - \underbrace{5 \cdot 80}$$

$$Q = -200 - 125 - 400 = -725 \text{ Kcal}$$

$$Q = -725 \text{ Kcal}$$

B) ✓

Esercizio # 1340

$$T = 27^{\circ}\text{C}$$

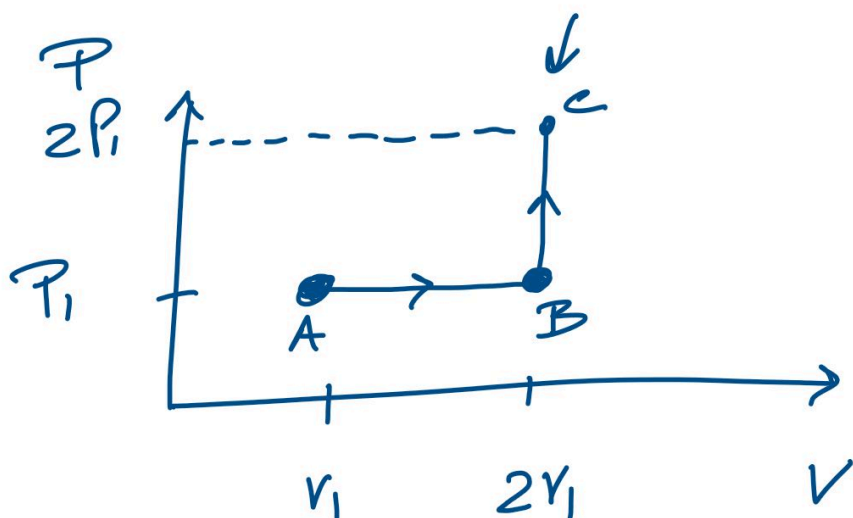
$$P = \text{cost.}$$

$$V_2 = 2V_1$$

$$V \rightarrow \text{cost.}$$

$$P_2 = 2P_1 \quad T_p = ?$$

- A) 927°C
- B) 327°C
- C) 108°C ←
- D) 54°C
- E) 27°C



$$PV = nRT \quad T = \frac{PV}{nR}$$

$$T_1; T_2$$

$$P_1 V_1 = nRT_1$$

$$P_2 V_2 = nRT_2$$

⇓

$$P_1 2V_1 = nRT_2$$

$$T_2 = \frac{2P_1 V_1}{nR}$$

$$c) \quad (2P_1)(2V_1) = nRT_p \quad T_p = \frac{4P_1 V_1}{nR}$$

$$T_1 \rightarrow P_1 V_1 = nRT_1$$

↓

$$n = \frac{P_1 V_1}{RT_1} \quad \rightarrow \quad T_p = \frac{4P_1 V_1}{\cancel{P_1 V_1}} \cdot \frac{\cancel{RT_1}}{R}$$

$$T_p = 4T_1$$

$$T_1 = 27 + 273,15$$

$$T_1 \approx 300\text{K}$$

$$T_p = 1200\text{K} = 927^{\circ}\text{C}$$

A) ✓

Meccanismi di trasmissione del calore

- Convezione
- Conduzione
- Irraggiamento



Convezione

La **convezione** è il meccanismo di trasmissione del calore che avviene attraverso il **movimento fisico di materia** — tipicamente un fluido (liquido o gas). È il meccanismo dominante nei fluidi e svolge un ruolo cruciale nella fisiologia degli animali.

Il principio fisico della Convezione

Dalla temperatura alla densità

Il meccanismo della convezione è guidato da una relazione fondamentale:

$$\Delta T \Rightarrow \Delta \rho$$

All'aumentare della temperatura, la densità del fluido **diminuisce**. Il fluido caldo, meno denso, sale verso l'alto; il fluido freddo, più denso, scende. Si genera così una **corrente di convezione**

Correnti convettive

Immagina una stufa (STUFA) che scalda l'aria circostante: l'aria calda si espande, diventa meno densa e sale. Arrivata in alto si raffredda, aumenta di densità e ridiscende. Questo moto ciclico crea le **correnti di convezione**, visibili ad esempio nelle colonne di fumo o nelle correnti oceaniche.



La legge della Convezione

Il calore scambiato per convezione in un intervallo di tempo è descritto dalla seguente relazione approssimata:

$$\frac{Q}{t} = K_{\text{conv}} \cdot S \cdot \Delta T$$

$$Q/t$$

Potenza termica ceduta (calore per unità di tempo)

$$K_{\text{conv}}$$

Costante convettiva: dipende dalla natura del fluido e dalle condizioni di flusso

$$S$$

Superficie di scambio termico tra il corpo e il fluido

$$\Delta T$$

Differenza di temperatura tra il corpo e il fluido circostante

Convezione e sangue

Gli animali **omeotermici** (a temperatura corporea costante) — come cani, gatti, cavalli e bovini — mantengono la propria temperatura interna grazie a un sistema convettivo naturale: il **sangue**. Il sangue è il fluido che trasporta il calore dai tessuti metabolicamente attivi (muscoli, fegato) verso la periferia, dove viene disperso tramite la cute. Questo meccanismo permette di ridistribuire il calore in modo efficiente in tutto il corpo, ed è fondamentale per la termoregolazione anche in condizioni ambientali avverse.

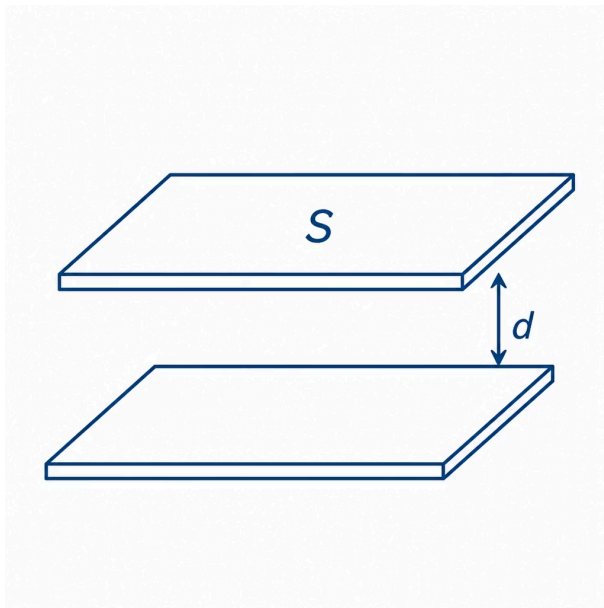


Conduzione

La **conduzione termica** è il meccanismo di trasmissione del calore che avviene **senza trasporto di materia**, ma solo di energia. Avviene principalmente nei **solidi**, attraverso le interazioni tra le molecole adiacenti che si trasmettono energia cinetica vibrazionale. È il tipico meccanismo con cui si scalda il manico metallico di una padella.

La legge della conduzione

Il flusso di calore attraverso una lastra di materiale omogeneo è descritto dalla **Legge di Fourier**:



$$\frac{Q}{t} = K_{\text{cond}} \cdot \frac{S}{d} \cdot \Delta T$$

K_{cond}

Costante di conducibilità termica: proprietà intrinseca del materiale. Valori elevati indicano buoni conduttori (metalli), valori bassi indicano isolanti.

S

Area della sezione trasversale: superficie attraverso cui scorre il calore. Maggiore è l'area, maggiore è il flusso.

d

Spessore del materiale nella direzione del flusso. Maggiore è lo spessore, minore è il flusso di calore.

ΔT

Differenza di temperatura tra le due facce della lastra. È la forza motrice del flusso termico.

Conducibilità termica: valori a confronto

La costante K_{cond} varia enormemente da materiale a materiale, determinando se una sostanza è un buon conduttore o un isolante termico.

Kame (osso)

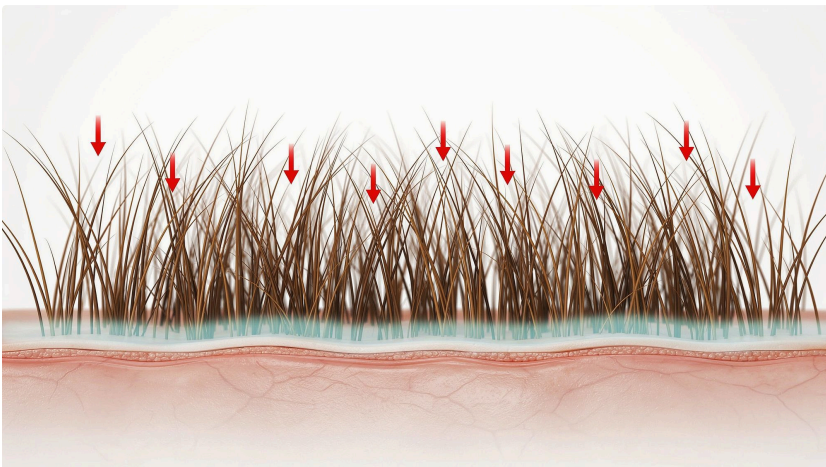
$$K_{\text{cond}} = 385 \text{ W}/(\text{mK})$$

Valore relativamente basso: l'osso è un discreto isolante, protegge i tessuti interni dalla dispersione termica.

Aria

$$K_{\text{cond}} = 2,3 \times 10^{-2} \text{ W}/(\text{mK})$$

Valore molto basso: l'aria è un **eccellente isolante termico**. Questo è il principio del pelo degli animali e delle piume degli uccelli.



Esempio biomedico:

Il pelo degli animali intrappola uno strato d'aria ferma vicino alla pelle, sfruttandone la bassissima conducibilità, per un coniglio ad esempio, $K_{\text{cond}} = 0.03 \text{ W}/(\text{mK})$

Questo consente di ridurre le perdite di calore verso l'esterno.

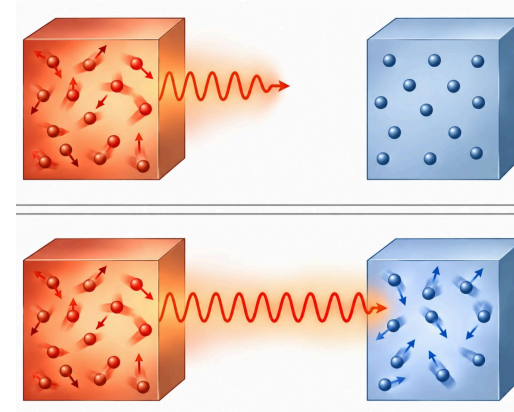


Irradiazione

L'**irradiazione** è il meccanismo di scambio termico che avviene **a distanza**, senza bisogno di contatto fisico e senza trasporto di materia. Il calore viene trasmesso mediante **onde elettromagnetiche**. È il meccanismo con cui il Sole riscalda la Terra attraverso il vuoto dello spazio, e con cui un animale disperde calore corporeo nell'ambiente.

Lo spettro elettromagnetico dell'irradiazione

La radiazione elettromagnetica si propaga come un'onda con campi elettrico e magnetico oscillanti perpendicolarmente alla direzione di propagazione. Le principali tipologie rilevanti in fisica medica e veterinaria sono:



→ Onde radio

Usate in diagnostica per immagini (es. MRI/risonanza magnetica)

→ Infrarosso

Emesso dai corpi caldi; fondamentale per la termoregolazione animale e la termografia veterinaria

→ Ultravioletto

Sintesi della vitamina D nella pelle; effetti biologici su cute e occhi

→ Radiazioni ionizzanti (α , β , γ)

Raggi X e gamma usati in diagnostica radiologica e radioterapia veterinaria

Intensità della radiazione elettromagnetica

Definizione

L'**intensità** di una radiazione elettromagnetica è definita come la potenza trasportata per unità di area:

$$I = \frac{\text{Energia}}{\text{Tempo} \cdot A} = \frac{\text{Potenza}}{A}$$

Le unità di misura nel Sistema Internazionale sono:

$$[I] = \frac{W}{m^2}$$

Significato fisico

L'intensità descrive quanta energia radiante attraversa ogni metro quadrato di superficie in ogni secondo. Più è alta, più la radiazione è energetica e potenzialmente penetrante o riscaldante. Nell'irradiazione corporea degli animali, l'intensità emessa dipende dalla temperatura della superficie cutanea e dall'emissività del manto.

La Legge di Wien

La **Legge di Wien** descrive il legame tra la temperatura di un corpo e la lunghezza d'onda a cui emette con intensità massima:

$$\lambda_{I_{\max}} = \frac{b}{T}$$

Enunciato

La lunghezza d'onda associata all'intensità massima è **inversamente proporzionale** alla temperatura assoluta T del corpo radiante.

$$\lambda_{\max} \propto \frac{1}{T}$$

Conseguenza

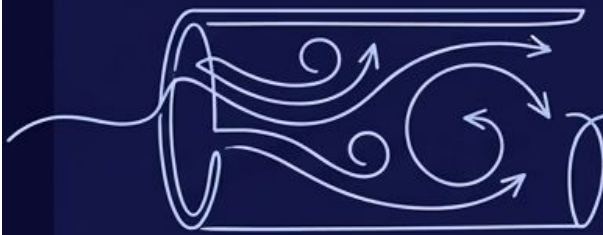
All'aumentare della temperatura ($T \nearrow$), la lunghezza d'onda del picco diminuisce ($\lambda \searrow$) e la frequenza aumenta ($\nu \nearrow$): il corpo emette verso il blu, poi verso l'UV.

Esempio veterinario

Il corpo di un mammifero a 37 °C (310 K) emette principalmente nel **vicino infrarosso** (~9,3 μm). La termografia veterinaria sfrutta proprio questa emissione per rilevare infiammazioni o alterazioni vascolari.

I tre meccanismi a confronto

CONVEZIONE



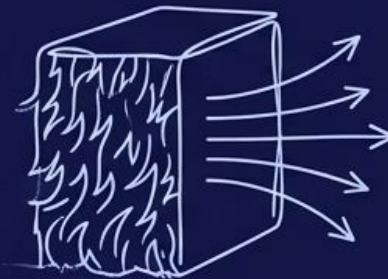
Spostamento di materia
in fluidi

Formula: $Q/t = K_{\text{conv}} \cdot S \cdot \Delta T$



Esempio: sangue negli animali

CONDUZIONE



Trasporto di energia
in solidi

Formula: $Q/t = K_{\text{cond}} \cdot S/d \cdot \Delta T$



Pelo isolante

IRRADIAZIONE



Onde elettromagnetiche
senza contatto

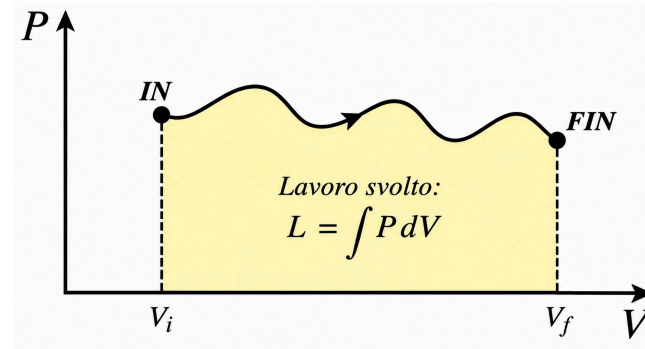
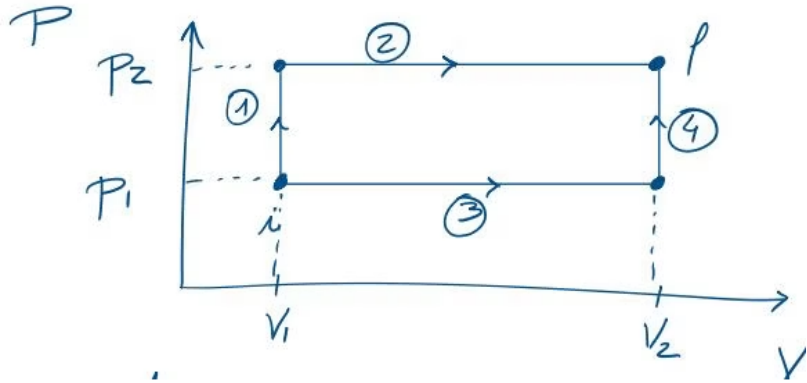
Formula: $I = W/m^2$



Esempio: termografia veterinaria

Il primo principio della Termodinamica

Riprendiamo il concetto di lavoro...
Il lavoro dipende dalla traiettoria?



Consideriamo due trasformazioni nel piano P-V con gli stessi stati iniziale e finale, ma percorsi diversi:

A (① + ②) e **B** (③ + ④). Con $V_2 = 4V_1$, $P_2 = 2P_1$, $V_1 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$, $P_1 = 2 \text{ Pa}$.

Calcolo: Trasformazione A vs B

Trasformazione A (① + ②)

$$L_A = 0 + P_2(4V_1 - V_1) = 2P_1 \cdot 3V_1 = 6P_1V_1$$

Il tratto ① è isocoro ($\Delta V = 0$), quindi $L_1 = 0$.

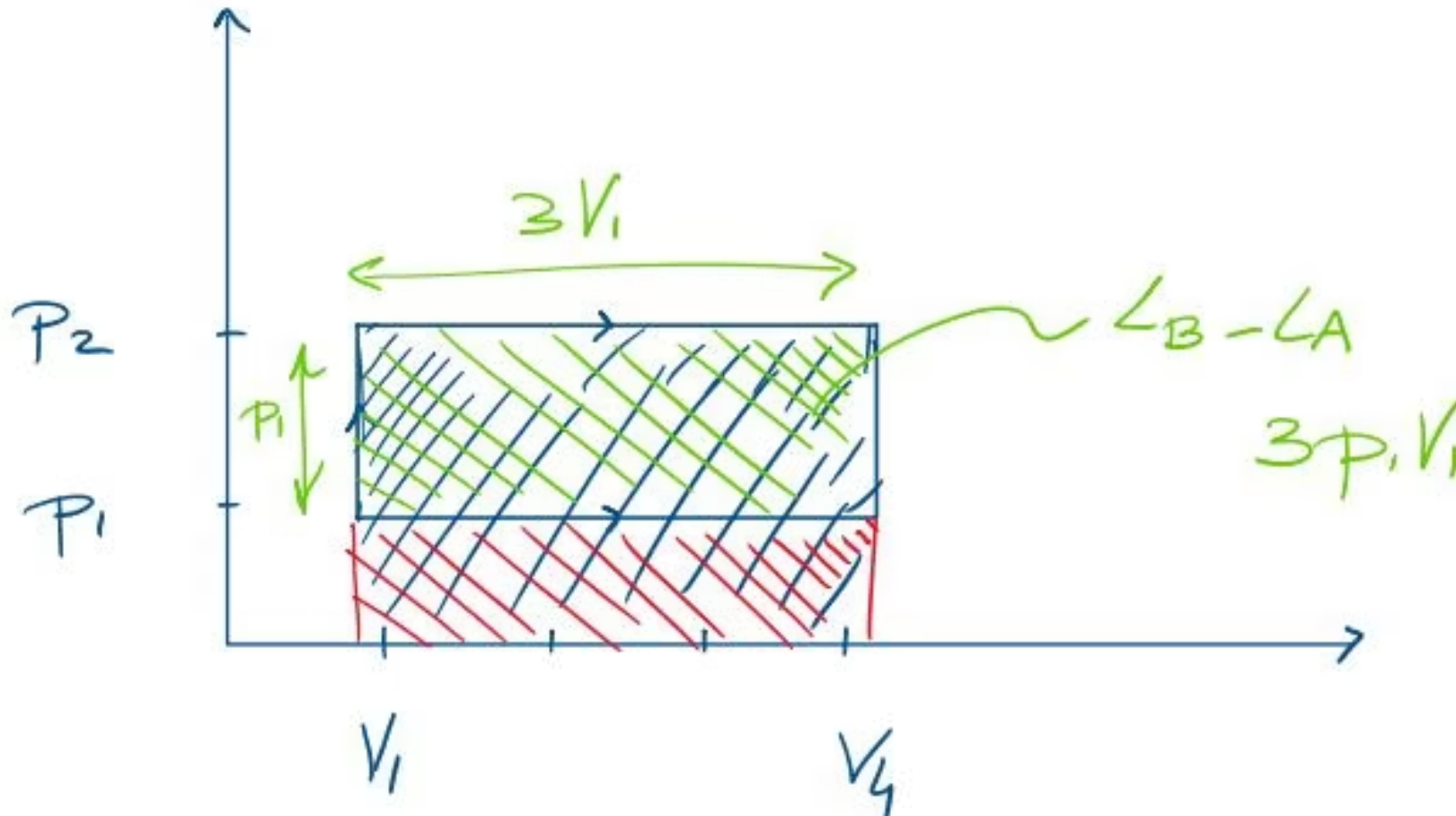
Trasformazione B (③ + ④)

$$L_B = P_1(4V_1 - V_1) + 0 = 3P_1V_1$$

Il tratto ④ è isocoro ($\Delta V = 0$), quindi $L_4 = 0$.

 **Conclusion:** $L_A = 2L_B$ — il lavoro dipende dalla trasformazione, non solo dagli stati iniziale e finale!

Visualizzazione: Differenza tra A e B



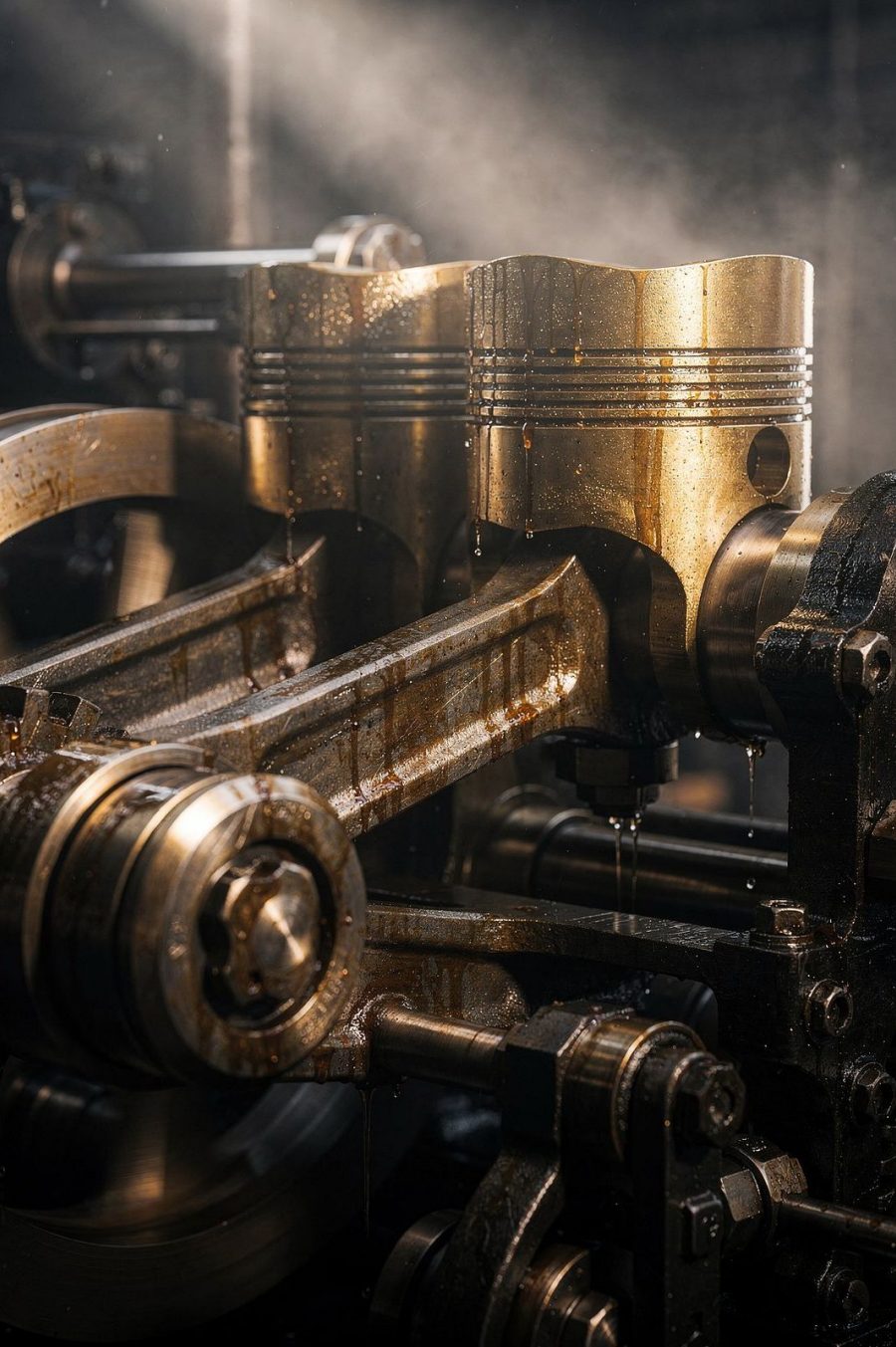
La regione verde nel diagramma P-V rappresenta la differenza $L_A - L_B = 3P_1V_1$. L'area interna al ciclo rettangolare corrisponde esattamente a questa differenza, confermando che il lavoro **dipende dal percorso**.

Il calore scambiato dipende dal percorso?

Sì, lo abbiamo visto la lezione scorsa ad esempio confrontando il calore tra una trasformazione isobara e isocora per un gas ideale

Riepilogando:

sia il Lavoro che il Calore, singolarmente, dipendono dal percorso (trasformazione) considerato!!!



Primo Principio della Termodinamica

$$\Delta E_{int} = Q - L$$

La variazione di energia interna di un sistema è uguale al calore assorbito meno il lavoro compiuto dal sistema. Per la prima volta il calore viene definito formalmente come **forma di energia**.

Convenzioni di Segno



Calore Q

$Q > 0$: assorbito dal sistema

$Q < 0$: ceduto dal sistema



Lavoro L

$L > 0$: svolto dal sistema

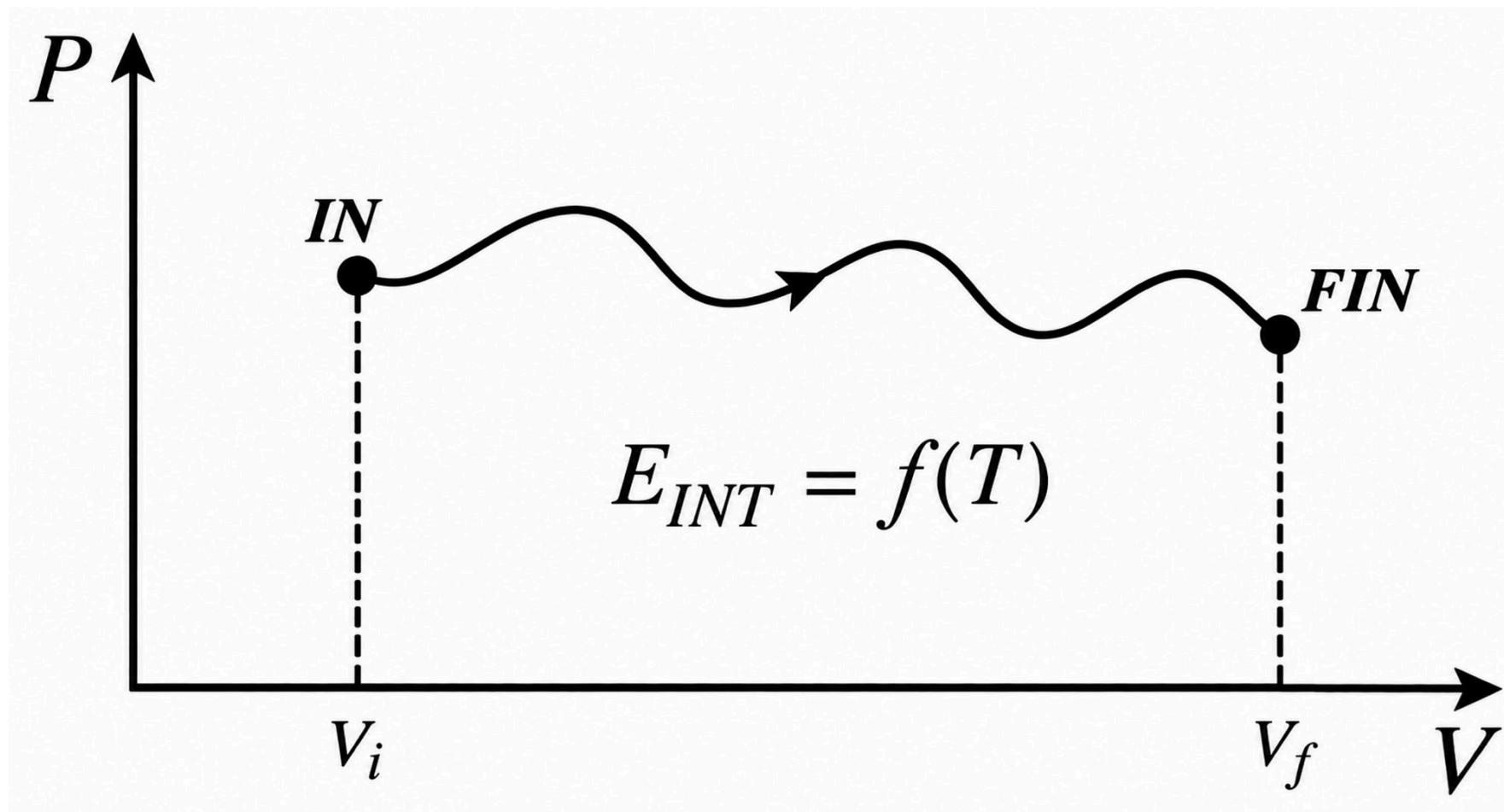
$L < 0$: subito dal sistema



Energia Interna ΔE_{int}

Funzione di stato: dipende solo dagli stati iniziale e finale, non dalla trasformazione.

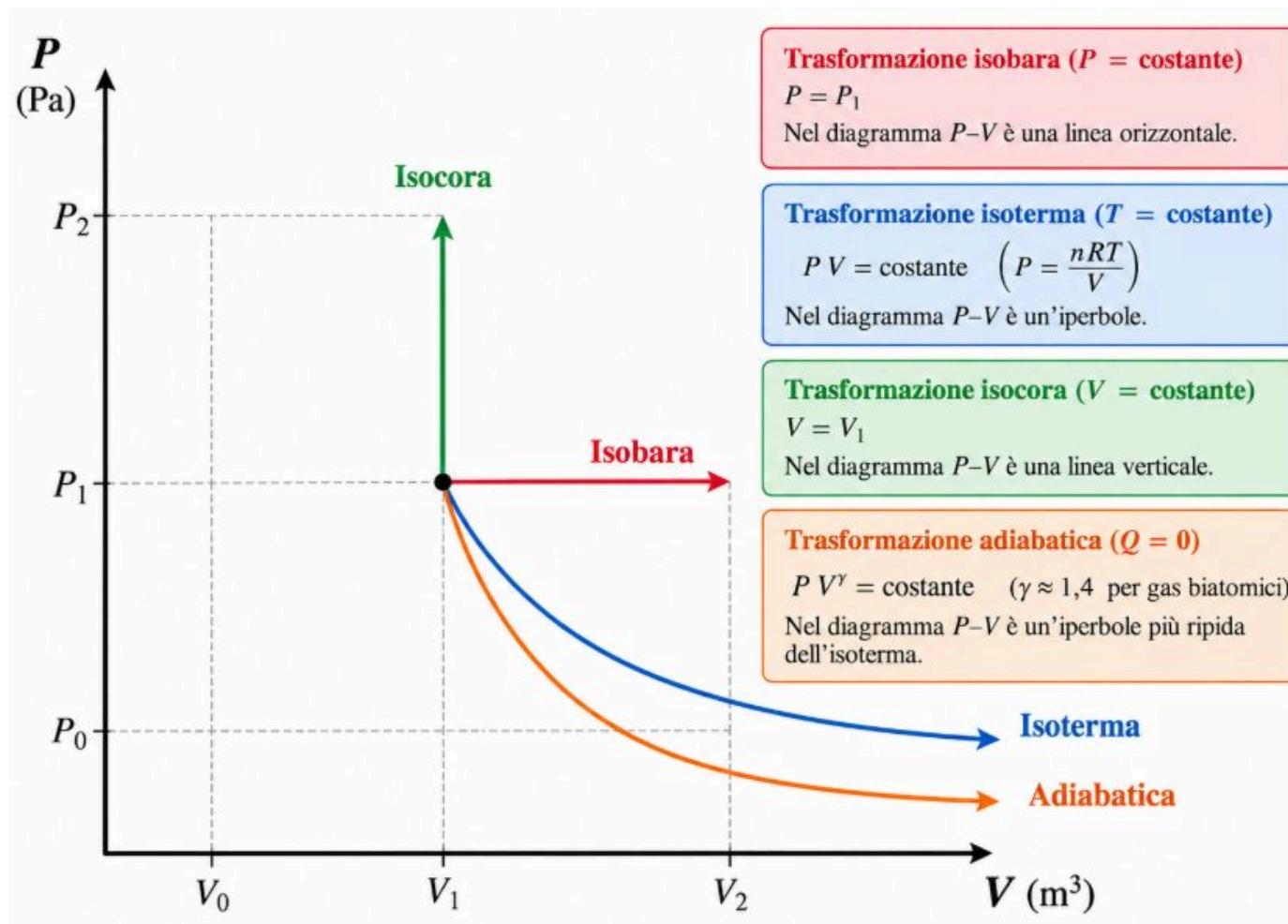
L'Energia Interna



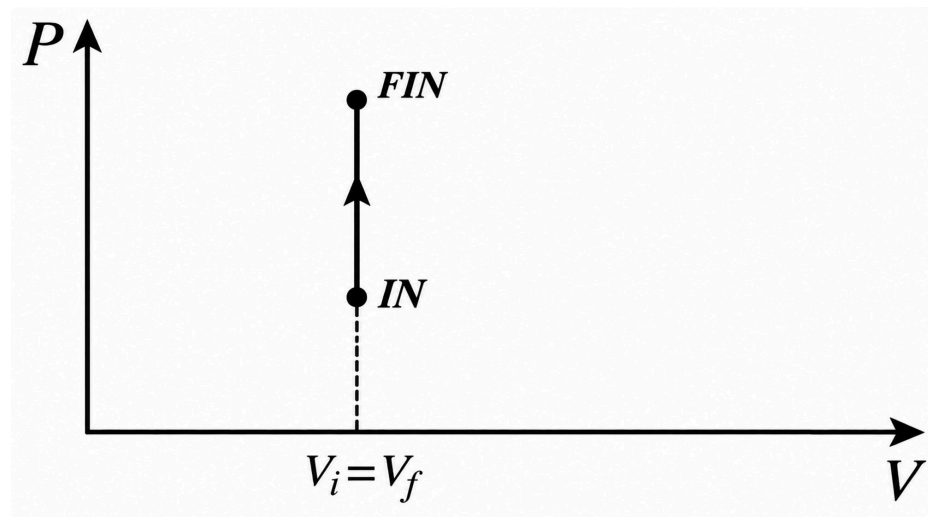
ΔE_{int} è una **funzione di stato**: non dipende dalle trasformazioni, ma solo dallo stato iniziale e finale.
Inoltre, per un gas ideale: $E_{\text{int}} = f(T)$, dipende solo dalla temperatura.

Quindi sebbene Q e L dipendano dalla trasformazione, la loro differenza non dipende dal percorso (trasformazione) seguito!!!!

Trasformazioni Fondamentali



Trasformazione Isocora



Volume costante: $V = \text{cost.}$

Con $\Delta V = 0 \Rightarrow L = 0$, il Primo Principio diventa:

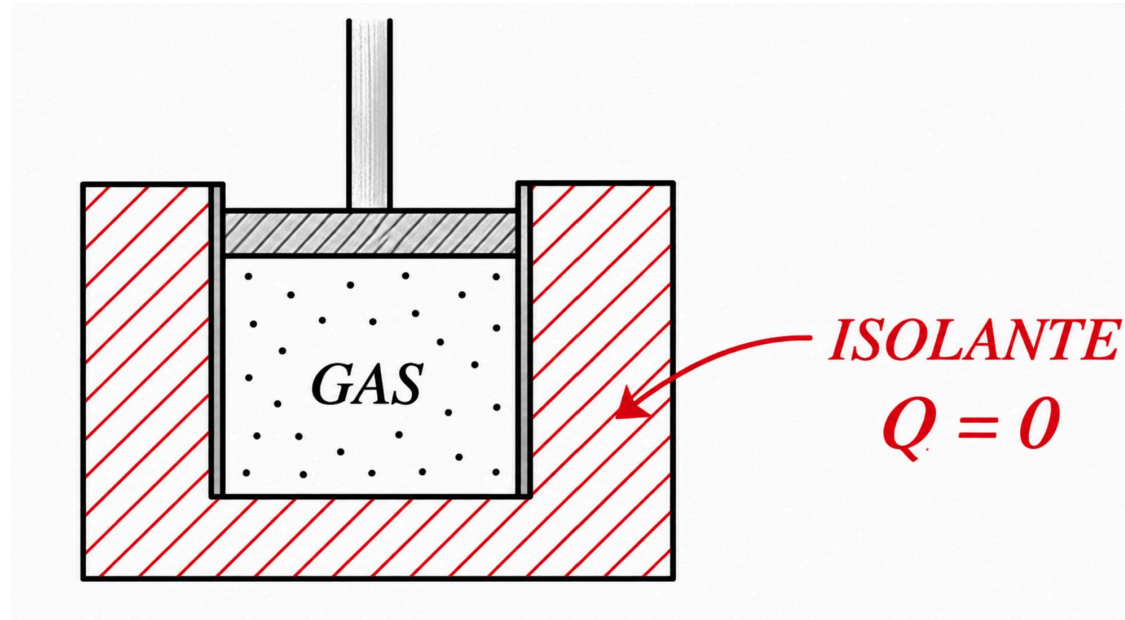
$$\Delta E_{\text{int}} = Q$$

Tutto il calore si converte in variazione di energia interna:

$Q > 0$ (assorbito) $\rightarrow \Delta E_{\text{int}} \nearrow$

$Q < 0$ (ceduto) $\rightarrow \Delta E_{\text{int}} \searrow$

Trasformazione Adiabatica



Il sistema è **isolato termicamente**: $Q = 0$. Il Primo Principio diventa:

$$\Delta E_{\text{int}} = -L$$

Tutto il lavoro svolto/subito si converte in variazione di energia interna.

Espansione e Compressione

a) Gas si espande

$\Delta V > 0 \Rightarrow L > 0 \Rightarrow \Delta E_{\text{int}} = -L < 0$: l'energia interna **diminuisce**.

b) Gas si comprime

$\Delta V < 0 \Rightarrow L < 0 \Rightarrow \Delta E_{\text{int}} = -L > 0$: l'energia interna **aumenta** e la temperatura sale.

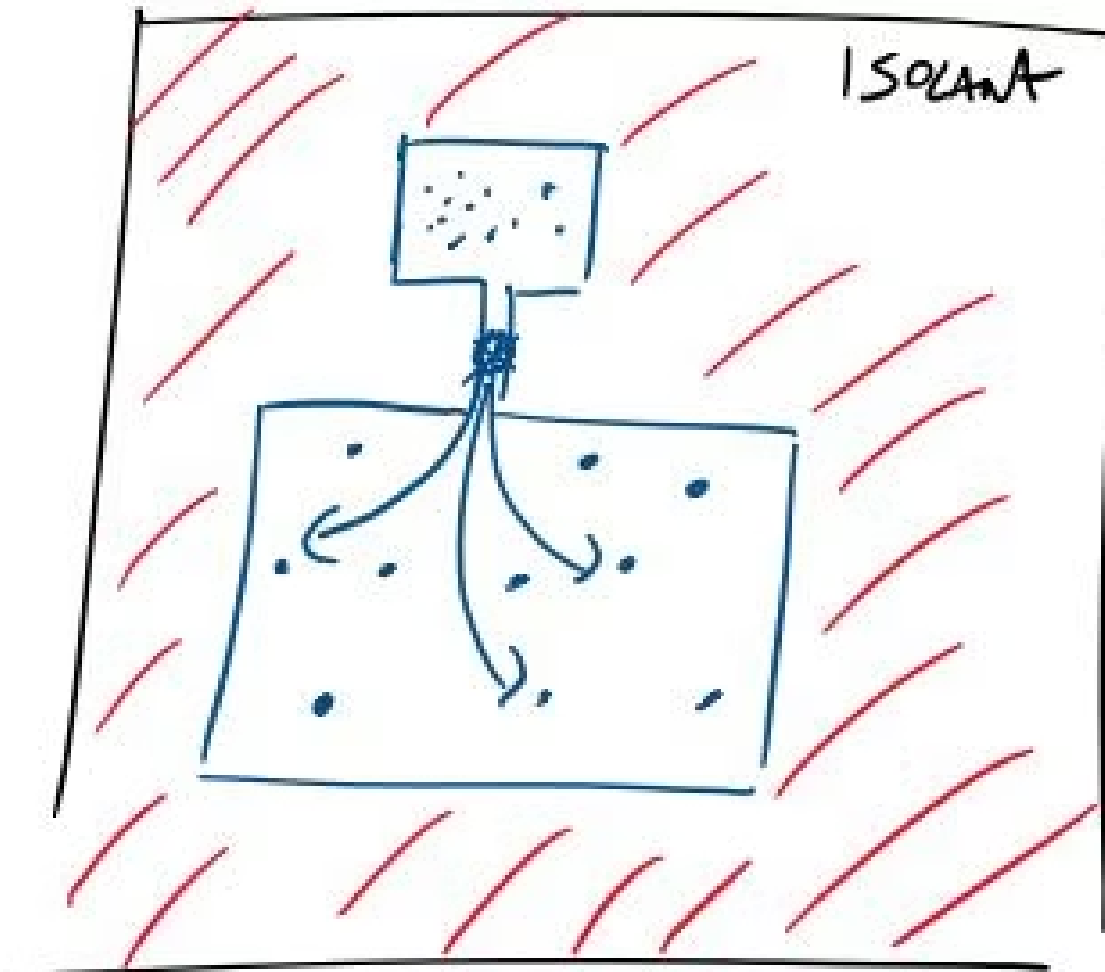
Trasformazione Isoterma

In una trasformazione isoterma la temperatura è costante: $T = \text{cost.}$

$$\Delta E_{\text{int}} = 0 \Rightarrow Q = L$$

- In una trasformazione isoterma, tutto il calore assorbito/ceduto si trasforma in lavoro svolto/subito e viceversa.

Espansione Libera di un Gas



Il sistema è isolato ($Q = 0$) e il gas si espande nel vuoto senza compiere lavoro ($L = 0$):

$$\Delta E_{\text{int}} = Q - L = 0 - 0 = 0$$

L'energia interna rimane invariata.

Riepilogo

1

Isocora

$$\Delta V = 0, L = 0, \Delta E_{\text{int}} = Q$$

2

Adiabatica

$$Q = 0, \Delta E_{\text{int}} = -L$$

3

Isotherma

$$T = \text{cost.}, \Delta E_{\text{int}} = 0, Q = L$$

4

Espansione Libera

$$Q = 0, L = 0, \Delta E_{\text{int}} = 0$$

Riepilogo della Lezione



Meccanismi di Trasmissione del Calore

- **Conduzione:** Legge di Fourier, nei solidi, senza trasporto di materia.
- **Convezione:** $Q/t = K_{conv} \cdot S \cdot \Delta T$, con trasporto di materia nei fluidi.
- **Irraggiamento:** Legge di Wien $\lambda_{max} = b/T$, propagazione tramite onde elettromagnetiche.



Primo Principio della Termodinamica

$$\Delta E_{int} = Q - L$$

- **Energia Interna (ΔE_{int}):** Funzione di stato, dipende solo dagli stati iniziale e finale.
- **Convenzioni di Segno:**
 - **Calore (Q):** $Q > 0$ (assorbito), $Q < 0$ (ceduto).
 - **Lavoro (L):** $L > 0$ (svolto), $L < 0$ (subito).



Le Quattro Trasformazioni Fondamentali

- **Isocora:** $\Delta V = 0$, $L = 0$, $\Delta E_{int} = Q$.
- **Isobara:** $P = \text{costante}$, $L = P\Delta V$.
- **Isoterma:** $T = \text{costante}$, $\Delta E_{int} = 0$, $Q = L$.
- **Adiabatica:** $Q = 0$, $\Delta E_{int} = -L$.



Autovalutazione

Verifica la tua comprensione sui meccanismi di trasmissione del calore e sul Primo Principio della Termodinamica.

1. Quali sono i tre meccanismi di trasmissione del calore e in quali tipi di mezzi avvengono principalmente?
2. Come si enuncia la Legge di Fourier per la conduzione del calore e da quali fattori dipende la velocità di conduzione?
3. Da quali grandezze dipende il calore scambiato per convezione secondo la formula $Q/t = K_{conv} \cdot S \cdot \Delta T$?
4. Cosa afferma la Legge di Wien e come lega la lunghezza d'onda di massima emissione di un corpo nero alla sua temperatura?
5. Qual è l'espressione del primo principio della termodinamica () e qual è il significato delle convenzioni di segno per Q e L ?
6. Perché l'energia interna (ΔE_{int}) è considerata una funzione di stato?
7. Quali sono le caratteristiche principali di una trasformazione isocora e di una trasformazione isoterma secondo il primo principio?
8. Perché in una trasformazione adiabatica la variazione di energia interna è uguale all'opposto del lavoro compiuto ($\Delta E_{int} = -L$)?