

### VERIFICA DI FISICA

Docente: Pappalardo Vincenzo

Data: 29/10/2025 Classe: 4B

#### 1. ESERCIZIO

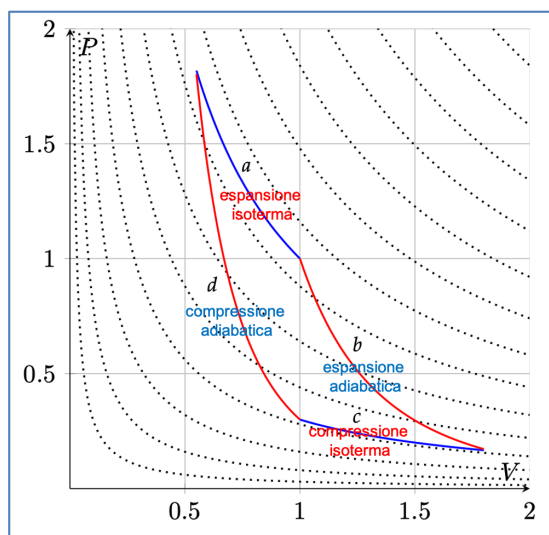
Disegnare un ciclo termodinamico da percorrere in senso orario, formato, nell'ordine, da una espansione isoterma, una espansione adiabatica, una compressione isoterma, una compressione adiabatica. Indicare per ogni trasformazione il segno degli scambi di calore, del lavoro e della variazione di energia interna.

#### Soluzione

Per rispondere alle domande poste dall'esercizio, dobbiamo applicare il primo principio della termodinamica alle varie trasformazioni:

$$Q = L + \Delta U$$

e ricordare la seguente convenzione: Il lavoro è positivo ( $L > 0$ ) quando è compiuto dal sistema termodinamico; Il lavoro è negativo ( $L < 0$ ) quando è compiuto sul sistema termodinamico; Il calore è positivo ( $Q > 0$ ) quando è assorbito dal sistema termodinamico; Il calore è negativo ( $Q < 0$ ) quando è ceduto dal sistema termodinamico.



Supponiamo che il ciclo termodinamico venga percorso in senso orario.

- Compressione isoterma

Il volume diminuisce, quindi sul gas è compiuto lavoro dall'ambiente esterno:  $L < 0$   
La temperatura del gas è costante, quindi l'energia interna non varia:  $\Delta U = 0$   
Primo principio della termodinamica:

$$Q = L < 0$$

il calore, provenendo dal lavoro compiuto dall'ambiente esterno sul sistema, è ceduto dal gas all'ambiente stesso.

- Compressione adiabatica

Il volume diminuisce, quindi sul gas è compiuto lavoro dall'ambiente esterno:  $L < 0$

Il calore scambiato è nullo:  $Q = 0$

Primo principio della termodinamica:

$$L + \Delta U = 0 \rightarrow \Delta U = -L > 0$$

l'energia interna e la temperatura del gas aumentano.

- Espansione isoterma

Il volume aumenta, quindi il gas compie lavoro sull'ambiente esterno:  $L > 0$

La temperatura del gas è costante, quindi l'energia interna non varia:  $\Delta U = 0$

Primo principio della termodinamica:

$$Q = L > 0$$

il calore è assorbito dal gas e viene trasformato in lavoro verso l'esterno.

- Espansione adiabatica

Il volume aumenta, quindi il gas compie lavoro sull'ambiente esterno:  $L > 0$

Il calore scambiato è nullo:  $Q = 0$

Primo principio della termodinamica:

$$L + \Delta U = 0 \rightarrow \Delta U = -L < 0$$

l'energia interna e la temperatura del gas diminuiscono.

- Raffreddamento isocoro

Il volume non cambia, quindi il lavoro scambiato è nullo:  $L = 0$

La temperatura diminuisce, il gas si raffredda, quindi l'energia interna diminuisce:

$\Delta U < 0$

Primo principio della termodinamica:

$$Q = \Delta U < 0$$

il calore è ceduto dal gas verso l'esterno facendo diminuire l'energia interna.

## 2. ESERCIZIO

Un gas è chiuso dentro un contenitore dalle pareti fisse e termicamente isolanti. All'interno del recipiente insieme al gas si trova anche una resistenza elettrica di potenza pari a 150 W. Se la resistenza viene alimentata in modo da riscaldare il gas per 3 minuti, di quanto varia l'energia interna del gas?

### Soluzione

La forza che il gas esercita sul pistone va calcolata come formula inversa della definizione di pressione:

$$p = \frac{F}{S} \Rightarrow F = p \cdot S$$

per cui, dobbiamo calcolare la pressione  $p$  esercitata dal gas e la superficie  $S$  del cilindro. La superficie del cilindro viene calcolata immediatamente utilizzando la formula:

$$S = \pi R^2 = 3,14 \cdot 2,5^2 = 19,6 \text{ cm}^2$$

Poiché il gas subisce l'espansione a pressione costante (trasformazione isobara), il lavoro compiuto dal gas è dato da:

$$L = p \cdot \Delta V$$

da cui è possibile ricavare la pressione esercitata dal gas:

$$p = \frac{L}{\Delta V}$$

L'aumento di volume del gas è facilmente calcolabile utilizzando la formula del volume del cilindro:

$$\Delta V = S \cdot h = 19,6 \cdot 8,4 = 165 \text{ cm}^3$$

mentre il lavoro  $L$  viene determinato dal 1° principio della termodinamica:

$$L = Q - \Delta U = 320 - 240 = 80 \text{ J}$$

Pertanto, la pressione alla quale il gas si espande assume il seguente valore:

$$p = \frac{80}{165 \cdot 10^{-6}} = 0,485 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

In definitiva, la forza che il gas esercita sul pistone è:

$$F = 0,485 \cdot 10^6 \cdot 19,6 \cdot 10^{-4} = 951 \text{ N}$$

### 3. ESERCIZIO

Disegnare e descrivere il ciclo di Carnot. In un ciclo di Carnot l'espansione isoterma del gas avviene a  $T_1=273^\circ\text{C}$  e la compressione isoterma a  $T_2=127^\circ\text{C}$ . Sapendo che durante l'espansione il gas assorbe 2093 J, quanto vale il lavoro e il calore ceduto?

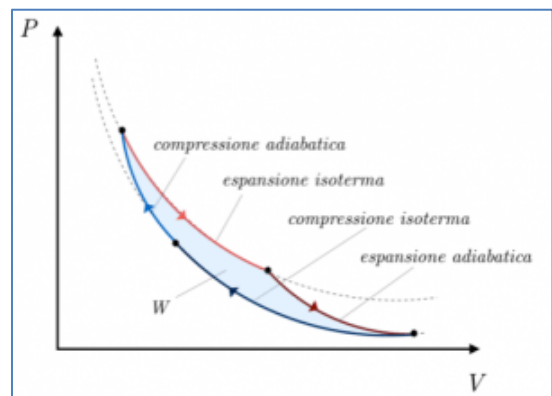
#### Soluzione

Per il primo principio della termodinamica:

$$\Delta U = Q - W$$

Però, nelle trasformazioni isoterme, poiché la temperatura è costante, la variazione di energia è nulla. Inoltre, durante l'espansione isoterma il gas assorbe calore, quindi:

$$W = Q_{\text{ass}} = 2093 \text{ J}$$



Adesso mettiamo a confronto la definizione di rendimento di una macchina termica con quella di Carnot:

$$\eta = 1 - \frac{Q_{\text{ced}}}{Q_{\text{ass}}} \quad \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{Q_{\text{ced}}}{Q_{\text{ass}}} = \frac{T_2}{T_1}$$

Abbiamo così ottenuto un'equazione nell'incognita  $Q_{\text{ced}}$  (calore ceduto):

$$\frac{Q_{\text{ced}}}{Q_{\text{ass}}} = \frac{T_2}{T_1} \cdot Q_{\text{ass}} = \frac{400}{546} \cdot 2093 = 1533 \text{ J}$$

### 4. ESERCIZIO

Una macchina di Carnot opera tra le temperature  $T_2=600 \text{ K}$  e  $T_1=350 \text{ K}$ . a) Calcolare la temperatura della sorgente fredda se si vuole aumentare il rendimento iniziale del 10%. b) Si ottiene lo stesso miglioramento del rendimento iniziale se si aumenta la temperatura della sorgente calda di una quantità pari alla variazione della

temperatura della sorgente fredda?

### Soluzione

a) Il rendimento iniziale della macchina di Carnot è:

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{350}{600} = 0,42 = 42\%$$

Il rendimento iniziale aumentato del 10% diventa:

$$\eta_1 = (\eta + 10\% \eta) = (0,42 + 10\% \cdot 0,42) = 0,46 = 46\%$$

Pertanto, per avere questo rendimento maggiore la temperatura della sorgente fredda deve valere:

$$\eta_1 = 1 - \frac{T_1'}{T_2} \Rightarrow T_1' = T_2(1 - \eta_1) = 600 \cdot (1 - 0,46) = 324 \text{ K}$$

Ossia deve subire una diminuzione pari a:

$$\Delta T_1 = T_1' - T_1 = 324 - 350 = -26 \text{ K}$$

b) Variamo la temperatura della sorgente calda di una quantità pari a  $\Delta T_1 = 26 \text{ K}$ :

$$T_2' = T_2 - \Delta T_1 = 600 + 26 = 626 \text{ K}$$

Ebbene, il rendimento iniziale assume il seguente valore:

$$\eta_2 = 1 - \frac{T_1}{T_2'} = 1 - \frac{350}{626} = 0,44 = 44\%$$

Dunque, si ottiene un miglioramento del rendimento iniziale con una variazione  $\Delta T_2$  ma inferiore a quello ottenuto con la stessa variazione  $\Delta T_1$ .

## 5. ESERCIZIO

Discutere il concetto di entropia nelle sue varie interpretazioni, e, dopo aver enunciato il principio dell'aumento dell'entropia, verificarlo per un gas ideale che si espande lentamente e isotermicamente.

### Soluzione

L'entropia del gas aumenta perchè bisogna somministrare calore per ottenere l'espansione isoterma del gas. Per definizione la variazione di entropia è il rapporto tra la quantità di calore scambiata (assorbita o ceduta) e la temperatura alla quale questo scambio avviene:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

Poiché si tratta di calore assorbito  $Q > 0$ , allora si ha un aumento di entropia:

### 6. ESERCIZIO

Un pezzo di ghiaccio di 125 g fonde a 0 °C. a) Supponendo che la fusione del ghiaccio sia un processo reversibile ( $L_F = 33,5 \times 10^4$  J/kg), calcolare la variazione di entropia del ghiaccio; b) Quanto ghiaccio si forma se si sottrae calore all'acqua formata nella fusione del ghiaccio, con una diminuzione di entropia pari a 112 J/K?

### Soluzione

a) Durante il processo di fusione a 0 °C (273 K) il ghiaccio assorbe calore ( $Q > 0$ ) per cui subisce un aumento di entropia. Poiché siamo durante la fase di fusione, tale calore assorbito è dato da:

$$Q_{ass} = mL_F = 0,125 \cdot 33,5 \cdot 10^4 = 42 \cdot 10^3 \text{ J} = 42 \text{ kJ}$$

Pertanto, la variazione di entropia della massa di ghiaccio vale:

$$\Delta S_{ghiaccio} = \frac{Q_{ass}}{T} = \frac{42000}{273} = 154 \text{ J / K} \quad \boxed{\Delta S > 0}$$

b) Poiché siamo in presenza di un processo reversibile, la quantità di acqua che gela in seguito alla diminuzione di entropia vale:

$$\Delta S_{acqua} = \frac{Q_{ceduta}}{T} \Rightarrow Q_{ceduta} = T \Delta S_{acqua} = 273 \cdot (-112) = -30,6 \cdot 10^3 \text{ J} = -30,6 \text{ kJ}$$

Ovviamente abbiamo utilizzato il segno meno in quanto si tratta di una diminuzione di entropia e quindi, di conseguenza, calore ceduto da parte dell'acqua. Pertanto, la quantità di acqua che gela in seguito alla diminuzione di entropia è:

$$Q_{ceduta} = mL_F \Rightarrow m = \frac{Q_{ceduta}}{L_F} = \frac{-30,6 \cdot 10^3}{33,5 \cdot 10^4} = -0,091 \text{ kg} = -91 \text{ g}$$

Il segno meno nel calcolo della massa è stato mantenuto per indicare che i 91 g rappresentano la massa di acqua, che diventa ghiaccio, sottratta alla quantità di acqua fusa.