

Fisica Generale 1

Termodinamica

Argomenti

Cap. 16-19

Introduzione

Perché la Termodinamica? Qualche definizione...

Principio «Zero» della Termodinamica:

Temperatura ($\rightarrow$ Dilatazione termica)

Gas perfetto

Equilibrio Termodinamico (stato) VS Trasformazione

Trasferimenti di Energia

Calore (trasmissione, calore specifico, calore latente...)

Lavoro

Primo principio della Termodinamica

Energia interna

Applicazioni

Teoria cinetica dei gas:

Interpretazione microscopica di pressione, temperatura

Equipartizione dell'energia $\rightarrow$ gas poliatomici, solidi

Distribuzione delle velocità



Argomenti

Cap. 16-19

Macchine termiche, frigorifere, pompe di calore...

Secondo principio della Termodinamica

Enunciato di Kelvin-Planck

Enunciato di Clausius

Trasformazioni reversibili

Ciclo di Carnot

Esempi

Entropia

Variabile di Stato

Secondo principio

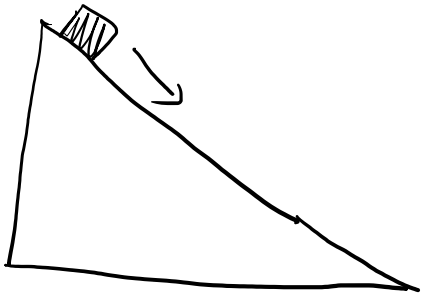
«Ordine»



Introduzione

«limiti» del Primo Principio

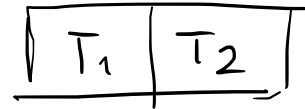
1)



✓

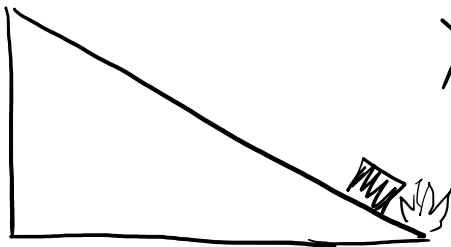
$$W \rightarrow \Delta U \rightarrow Q$$

1)



$$T_2 > T_1$$

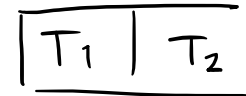
2)



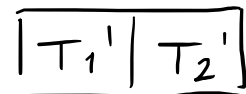
X

$$Q \rightarrow W$$

2)



$$T_1' < T_1$$

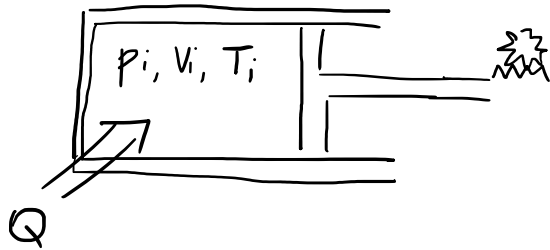


$$T_2' > T_2$$

Macchine Termiche

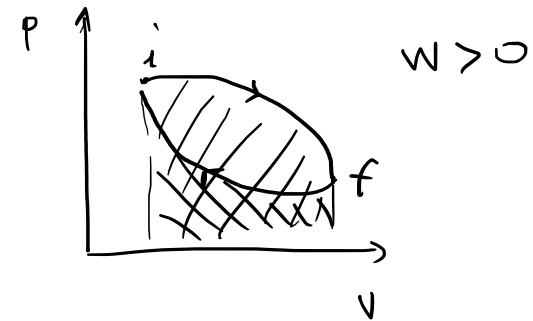
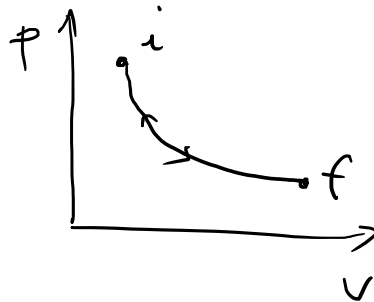
$W \rightarrow Q$ spontanea

$Q \rightarrow W$ (?)

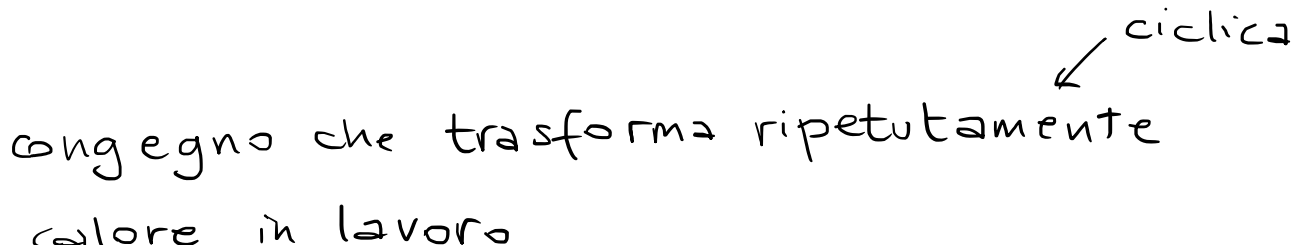


→ espansione isoterma $\Delta U = 0$

$$\Delta U = Q - W \rightarrow Q = W$$



Macchine Termiche

Def. MACCHINA TERMICA: ciclica
congegno che trasforma ripetutamente
calore in lavoro

$$Q \rightarrow W$$

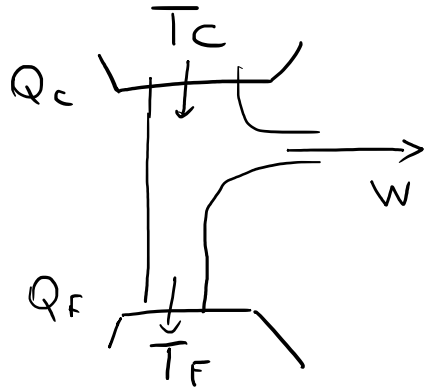
Def. RENDIMENTO $\eta = \frac{W}{Q_c}$ $0 \leq \eta \leq 1$
0%. 100%.

Macchine Termiche

"Altre caratteristiche"

1) FLUIDO DI LAVORO

2) scambi di calore tra (almeno) due sorgenti a T diverse



$$\Delta U = 0$$

$$\Delta U = Q - W \rightarrow Q = W$$

↑

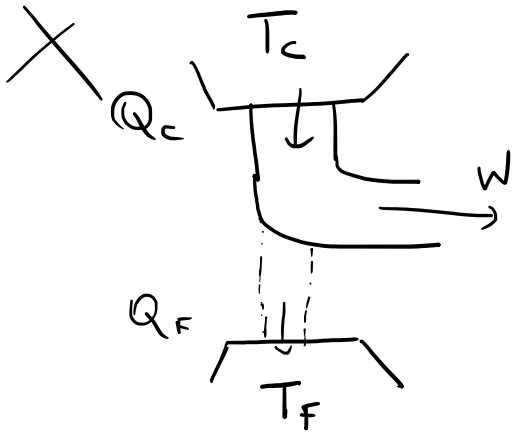
$$Q_C - |Q_F|$$

$$\eta = \frac{W}{Q_C} = \frac{Q_C - |Q_F|}{Q_C} = 1 - \frac{|Q_F|}{Q_C}$$

Secondo principio della Termodinamica

Enunciato di Kelvin-Planck

Non è possibile realizzare un ciclo che sottragga calore a una sorgente a temperatura uniforme e lo converta completamente in lavoro



$$\eta = 1 - \frac{|Q_F|}{Q_c} < 1$$

$$Q_F \neq 0$$
$$Q_c \neq W$$

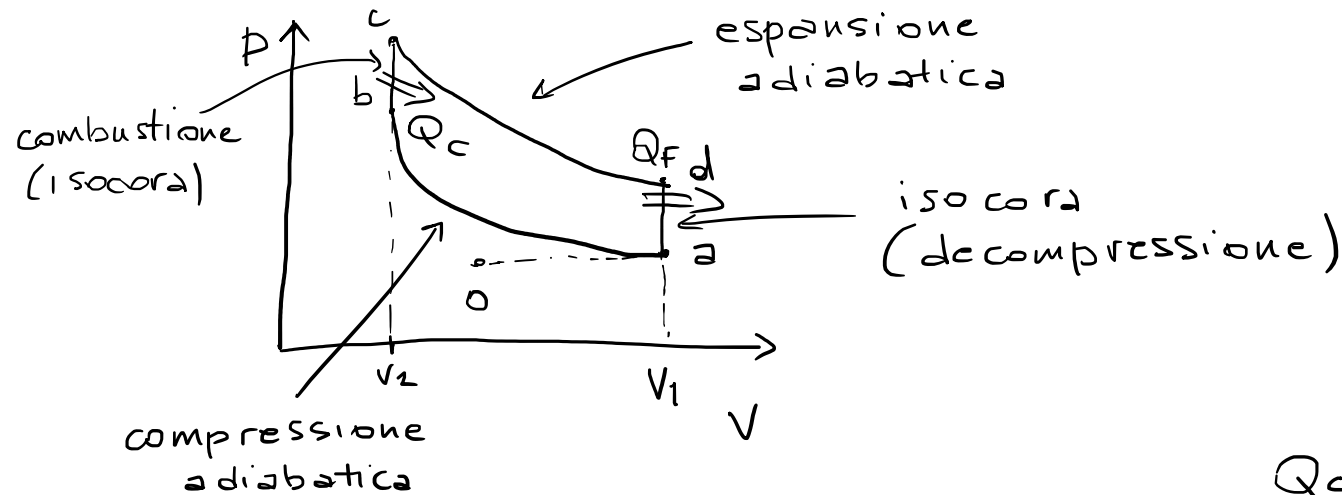
Esempi



Ciclo Otto (motore a scoppio)

- gas perfetto

- trasformazioni: quasi statiche



$$\eta = ?$$

$$V_1, V_2$$

$$r = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

$$Q_c = Q_{bc} = n C_v (T_c - T_b)$$

$$|Q_f| = |Q_{da}| = n C_v (T_d - T_a)$$

$$\eta = \frac{W}{Q_c} = 1 - \frac{|Q_f|}{Q_c}$$

$$= 1 - \frac{\cancel{n C_v} (T_d - T_a)}{\cancel{n C_v} (T_c - T_b)} = 1 - \frac{T_d - T_a}{T_c - T_b}$$

Esempi



Ciclo Otto (motore a scoppio)

$$\eta = 1 - \frac{T_d - T_a}{T_c - T_b}$$

$$a \rightarrow b \quad T_b = \frac{K}{nR V_2^{\gamma-1}}$$

$$T_a = \frac{K}{nR V_1^{\gamma-1}}$$

$$\frac{T_b}{T_a} = \frac{\cancel{K}}{\cancel{nR} V_2^{\gamma-1}} \cdot \frac{\cancel{nR} V_1^{\gamma-1}}{\cancel{K}} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = r^{\gamma-1} \rightarrow T_b = r^{\gamma-1} T_a$$

$$c \rightarrow d \quad \frac{T_d}{T_c} = \left(\frac{V_c}{V_d} \right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = \left(\frac{1}{r} \right)^{\gamma-1} = r^{1-\gamma} \rightarrow T_d = r^{1-\gamma} T_c$$

$$\begin{cases} pV = nRT \\ pV^{\gamma} = K \quad (\text{costante}) \end{cases}$$

$$\frac{\cancel{p} V^{\gamma}}{\cancel{p} V} = \frac{K}{nRT}$$

$$V^{\gamma-1} = \frac{K}{nRT} \rightarrow T = \frac{K}{nR V^{\gamma-1}}$$

Esempi



Ciclo Otto (motore a scoppio)

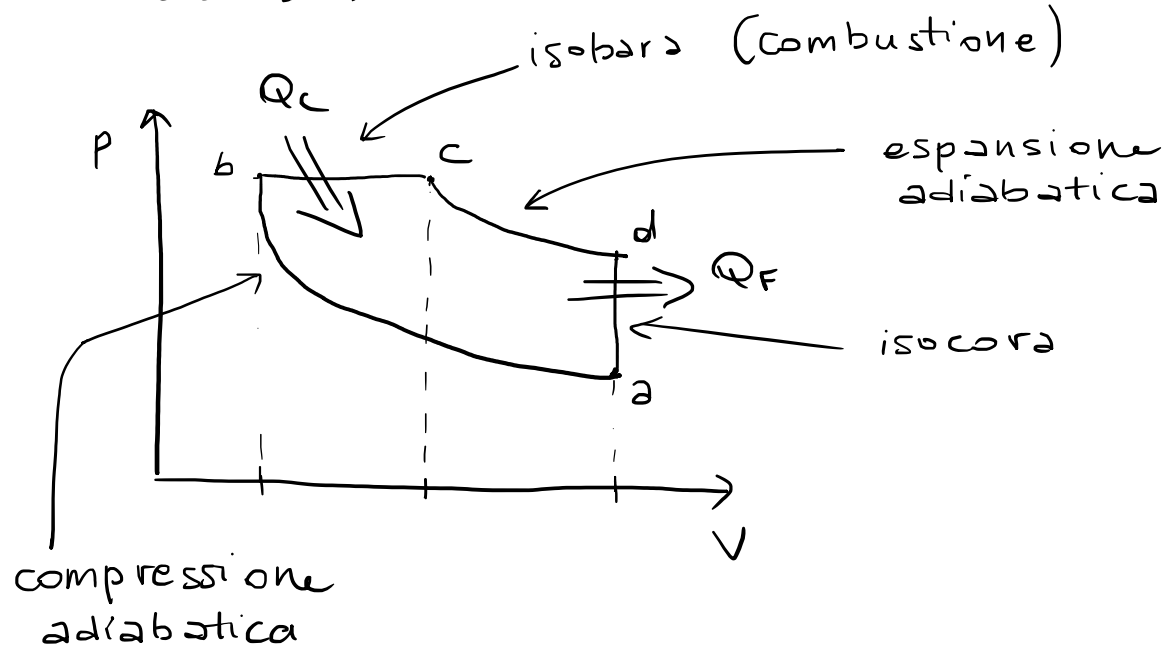
$$\eta = 1 - \frac{r^{1-\gamma} T_c - T_a}{T_c - r^{\gamma-1} T_a} = 1 - r^{1-\gamma} \frac{\cancel{T_c - r^{\gamma-1} T_a}}{\cancel{T_c - r^{\gamma-1} T_a}} = 1 - r^{1-\gamma}$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

Esempi



Ciclo Diesel



$$r_c = \frac{V_a}{V_b}$$

$$\eta = 1 - \frac{\cancel{n} C_v (T_d - T_a)}{\cancel{n} C_p (T_c - T_b)} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{T_d - T_a}{T_c - T_b}$$

$$r_E = \frac{V_d}{V_c}$$

$$\eta = ? \quad r_E, r_c, \gamma$$

$$\eta = \frac{W}{Q_c} = 1 - \frac{|Q_F|}{Q_c} = 1 - \frac{|Q_{da}|}{Q_{bc}}$$

$$|Q_{da}| = n C_v (T_d - T_a)$$

$$Q_{bc} = n C_p (T_c - T_b)$$

Esempi



Ciclo Diesel

$$\frac{T_b}{T_a} = \left(\frac{V_a}{V_b} \right)^{\gamma-1} = r_c^{\gamma-1}$$

$$\frac{T_c}{T_d} = \left(\frac{V_d}{V_c} \right)^{\gamma-1} = r_E^{\gamma-1}$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{r_E^{-\gamma} - r_c^{-\gamma}}{r_E^{-1} - r_c^{-1}}$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{T_d - T_a}{T_c - T_b}$$

$$= 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{r_E^{1-\gamma} T_c - r_c^{1-\gamma} T_b}{T_c - T_b}$$

$$= 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{r_E^{1-\gamma} \frac{p_c V_c}{nR} - r_c^{1-\gamma} \frac{p_c V_b}{nR}}{\frac{p_c V_c}{nR} - \frac{p_c V_b}{nR}}$$

$$= 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{r_E^{1-\gamma} V_c - r_c^{1-\gamma} V_b}{V_c - V_b} \cdot \frac{1/V_d}{1/V_d}$$

$$= 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{r_E^{1-\gamma} \left(\frac{V_c}{V_d} \right)^{1/r_E} - r_c^{1-\gamma} \left(\frac{V_b}{V_d} \right)}{\frac{1}{r_E} \left(\frac{V_c}{V_d} \right) - \left(\frac{V_b}{V_d} \right) \frac{1}{r_c}}$$

$$p_c V_c = n R T_c$$

$$T_c = \frac{(p_c) V_c}{n R}$$

$$T_b = \frac{(p_b) V_b}{n R}$$

$$p_c = p_b$$

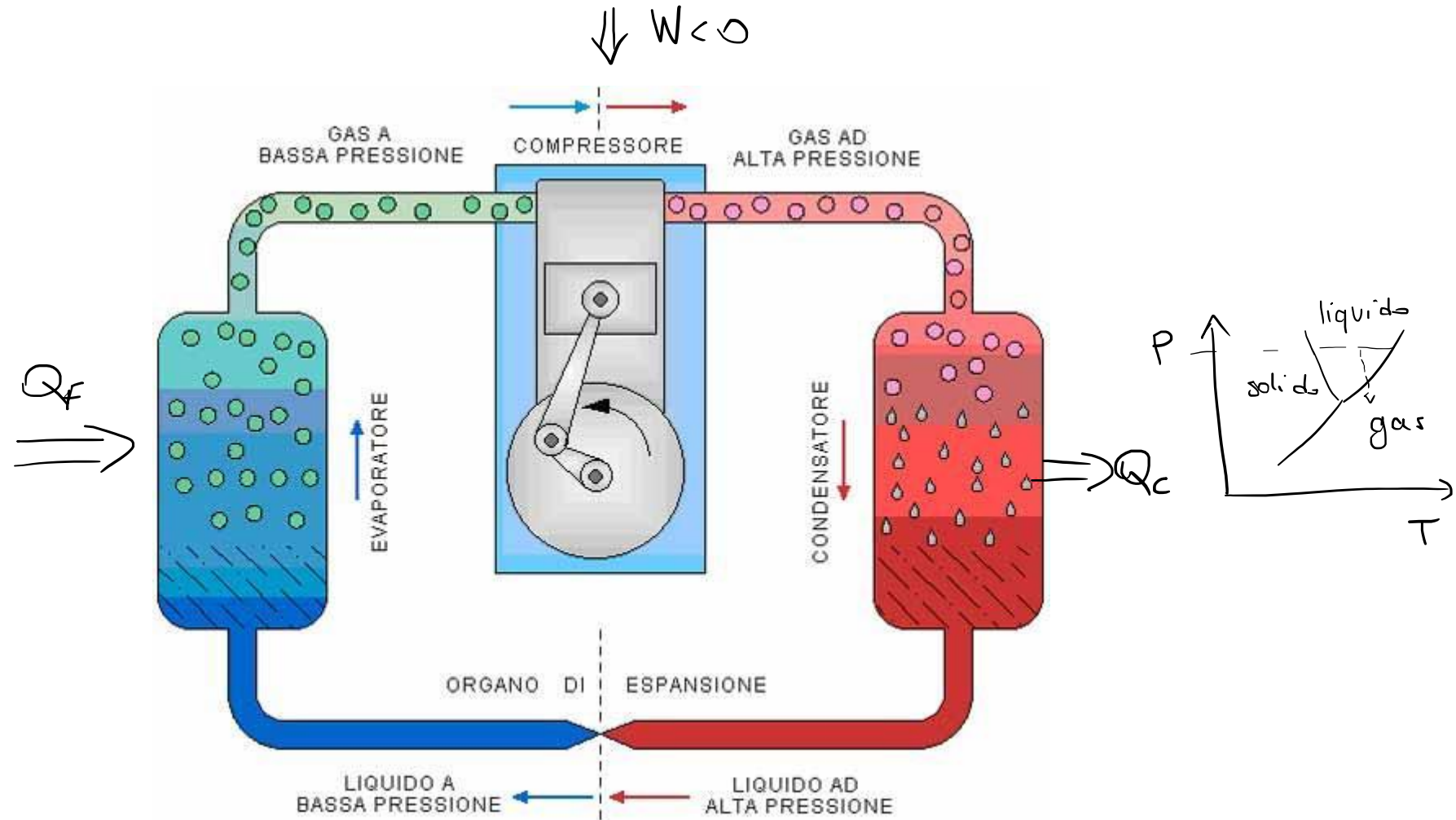
$$\frac{V_b}{V_a} = \frac{1}{r_c}$$

Macchine Frigorifere

Dispositivo che sottrae calore al suo interno



Macchine Frigorifere



Macchine Frigorifere

Coefficiente di prestazione

$$\left(\eta = \frac{W}{Q_c} \text{ macch. termiche} \right)$$

$$K = \frac{Q_F}{W}$$

