

Motori e cicli termodinamici

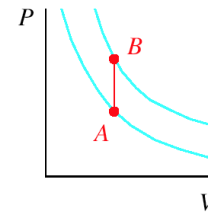
- 1. Motore a scoppio*
- 2. Motore diesel*
- 3. Frigoriferi*
- 4. Centrali elettriche*

Trasformazioni

Trasformazione reversibile isometrica o isocora.

riscaldamento

$Q \rightarrow$	$U_B > U_A$	$W = 0$ $\Delta U = Q = nC_V (T_B - T_A) > 0$
	$T_B > T_A$	
	$\frac{P_A}{T_A} = \frac{P_B}{T_B}$	
	$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B}$	



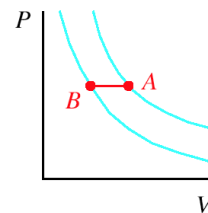
Trasformazioni reversibili (quasi-statiche):

Trasformazione reversibile isobara.

compressione

$W \rightarrow$	$U_B < U_A$	$\Delta U = Q - W = nC_V (T_B - T_A) < 0$ $Q = nC_P (T_B - T_A) < 0$ $W = P (V_B - V_A) = nR (T_B - T_A) < 0$
	$T_B < T_A$	
	$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B}$	
	$\frac{P_A}{T_A} = \frac{P_B}{T_B}$	

$Q \rightarrow$



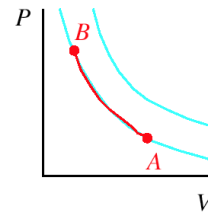
Ciascun passo della trasformazione è eseguito in modo tale che il sistema sia in equilibrio: la legge di stato vale in ciascuno degli stati intermedi e si può ripercorrere lo stesso percorso in senso inverso attraverso gli stessi stati intermedi.

Trasformazione reversibile isoterma.

compressione

$W \rightarrow$	$U_B = U_A$	$\Delta U = 0$ $Q = W = nRT \ln(V_B/V_A) < 0$
	$T_B = T_A$	
	$P_A V_A = P_B V_B$	
	$\frac{P_A}{T_A} = \frac{P_B}{T_B}$	

$Q \rightarrow$

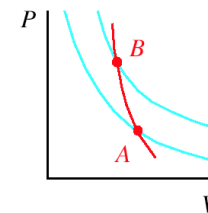


Trasformazioni irreversibili:

Trasformazione reversibile adiabatica.

compressione

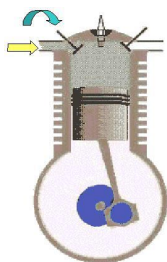
$W \rightarrow$	$U_B > U_A$	$Q = 0$ $\Delta U = -W = nC_V (T_B - T_A) > 0$
	$T_B > T_A$	
	$P_B V_B^\gamma = P_A V_A^\gamma$	
	$\frac{P_B}{T_B^\gamma} = \frac{P_A}{T_A^\gamma}$	



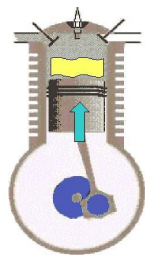
Nel corso della trasformazione il sistema non è in condizioni di equilibrio e quindi non è possibile ripercorrere lo stesso percorso in senso inverso.

Motore a scoppio

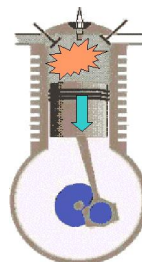
La miscela aria-benzina viene introdotta nel cilindro attraverso la valvola di aspirazione.



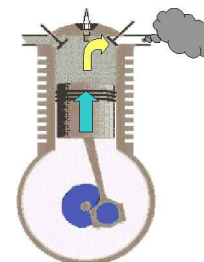
Il pistone si muove verso l'alto comprimendo la miscela mentre le valvole sono chiuse.



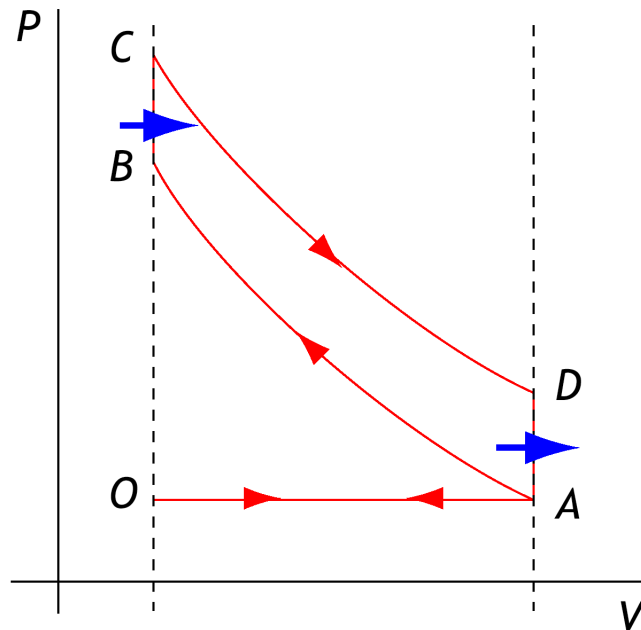
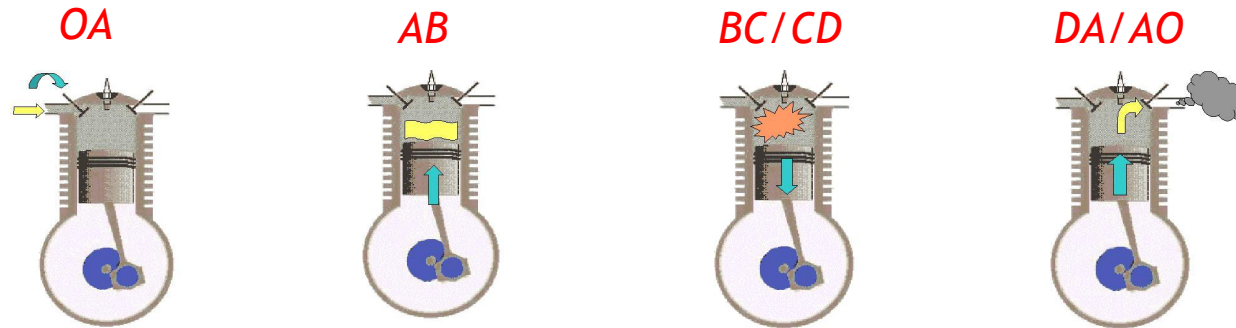
Una scintilla prodotta dalla candela incendia la miscela : questa, bruciando, genera gas e aumenta di volume spingendo il pistone verso il basso.



Il pistone si muove verso l'alto ed espelle i gas combusti attraverso la valvola di scarico.



Ciclo termodinamico



- OA:** Aspirazione a pressione costante
 $W_{OA} = P_A(V_A - V_O)$
- AB:** Compressione adiabatica (perchè rapida)
 $W_{AB} = nc_V(T_A - T_B)$ $Q_{AB} = 0$
- BC:** Accensione miscela e combustione
 $W_{BC} = 0$ $Q_{BC} = nc_V(T_C - T_B)$
- CD:** Espansione adiabatica (perchè rapida)
 $W_{CD} = nc_V(T_C - T_D)$ $Q_{CD} = 0$
- DA:** Decompressione (apertura valvola)
 $W_{DA} = 0$ $Q_{DA} = nc_V(T_A - T_D)$
- AO:** Scarico
 $W_{AO} = P_A(V_O - V_A)$

Rendimento

$$\eta = 1 + \frac{Q_c}{Q_A} = 1 + \frac{nc_V(T_A - T_D)}{nc_V(T_C - T_B)} = 1 - \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B}$$

$$\begin{aligned} T_D V_D^{\gamma-1} &= T_C V_C^{\gamma-1} \\ T_A V_A^{\gamma-1} &= T_B V_B^{\gamma-1} \\ V_A &= V_D \\ V_B &= V_C \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_D V_D^{\gamma-1} &= T_C V_C^{\gamma-1} \\ T_A V_D^{\gamma-1} &= T_B V_C^{\gamma-1} \end{aligned}$$

$$(T_D - T_A)V_D^{\gamma-1} = (T_C - T_B)V_C^{\gamma-1}$$

$$\frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} = \left(\frac{V_C}{V_D}\right)^{\gamma-1} = \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

con $r = \frac{V_D}{V_C} = \text{rapporto di compressione}$

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

η massimo per gas a molecola semplice ($\gamma=2/f+1$, con f =gradi di libertà)

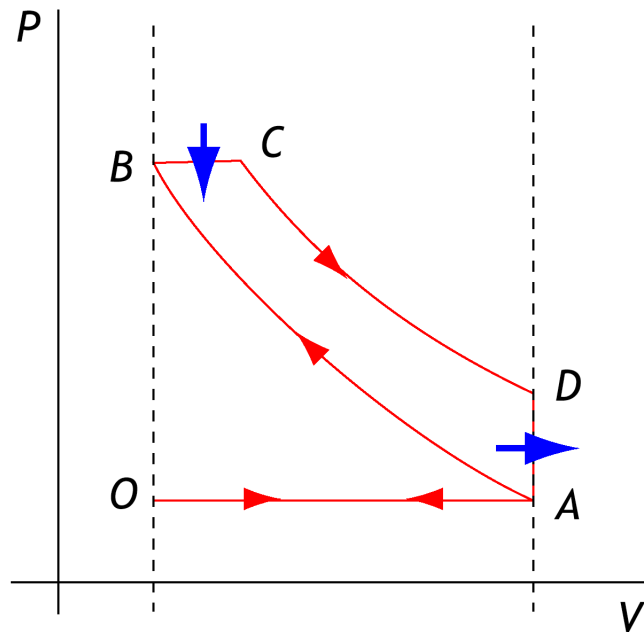
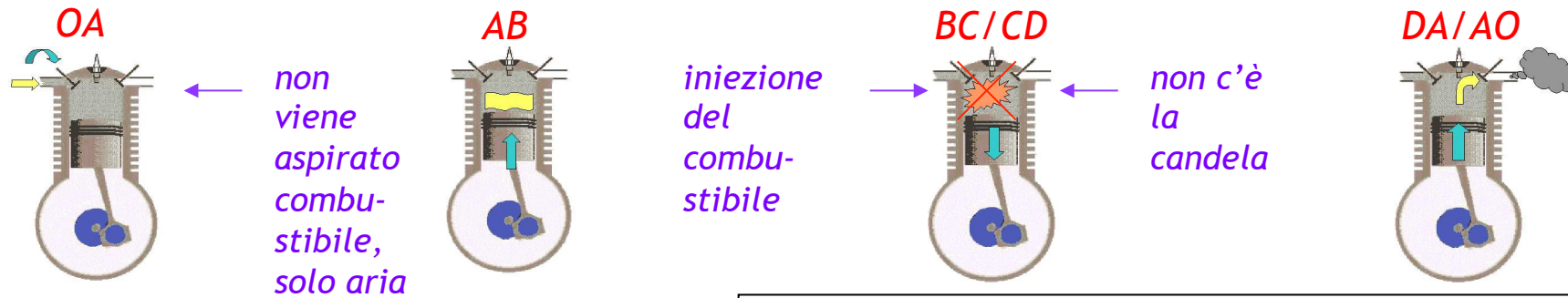
Il rapporto di compressione è limitato dall'autocombustione della miscela benzina-aria:

$r_{\max} \sim 10 \rightarrow \eta_{\max} \sim 0.4$ (TEORICO)

In realtà: $\eta_{\max} \sim 0.2$ a causa degli attriti e di una non completa divisione delle fasi

Motore Diesel

(4 tempi ad autocombustione)



- OA:** Aspirazione a pressione costante
 $W_{OA} = P_A(V_A - V_O)$
- AB:** Compressione adiabatica (perchè rapida)
 $W_{AB} = nc_V(T_A - T_B)$ $Q_{AB} = 0$
- BC:** Autocombustione graduale della miscela
 $W_{BC} = P_B(V_C - V_B)$ $Q_{BC} = nc_P(T_C - T_B)$
- CD:** Espansione adiabatica (perchè rapida)
 $W_{CD} = nc_V(T_C - T_D)$ $Q_{CD} = 0$
- DA:** Decompressione (apertura valvola)
 $W_{DA} = 0$ $Q_{DA} = nc_V(T_A - T_D)$
- AO:** Scarico
 $W_{AO} = P_A(V_O - V_A)$

Rendimento

$$\eta = 1 + \frac{Q_c}{Q_A} = 1 + \frac{nc_V(T_A - T_D)}{nc_P(T_C - T_B)} = 1 - \frac{\frac{1}{r_E^\gamma} - \frac{1}{r_C^\gamma}}{\gamma \left(\frac{1}{r_E} - \frac{1}{r_C} \right)}$$

$$\text{con } r_E = \frac{V_D}{V_C} \text{ e } r_C = \frac{V_D}{V_B}$$

Il rendimento è maggiore del motore a scoppio in quanto i rapporti di compressione sono molto più alti: $r_{\max} \sim 60 \div 80$ con rendimenti reali del 30%.

Vantaggi del motore Diesel:

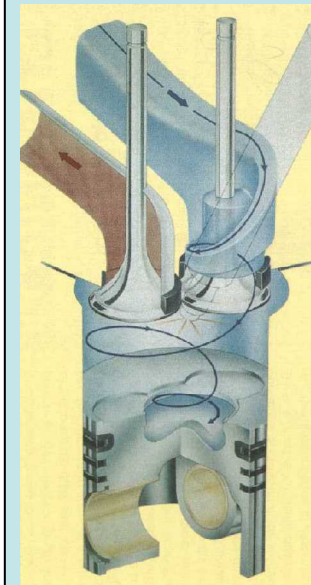
- la miscela aria - carburante è migliore perchè si forma all'interno della camera di combustione e non nel collettore di aspirazione (Nei motori a benzina la combustione è poco redditizia ai bassi regimi, perché l'aria aspirata non si distribuisce nel modo migliore all'interno della camera, come avviene ai regimi più elevati)
- minore inquinamento (dovuto ad una migliore combustione).

Svantaggi del motore diesel:

- limitazione nel numero di giri (ad alto numero di giri la miscela non è uniforme)
- massa elevata e rumorosità

Problema:
uniformità
nell'iniezione

Soluzione:
creazione di
turbolenza
(motori AUDI)



Effetto di Joule-Thomson

Un frigorifero sfrutta il principio fisico denominato “*effetto di Joule-Thomson*”.

L'effetto può essere misurato con l'apparato seguente:

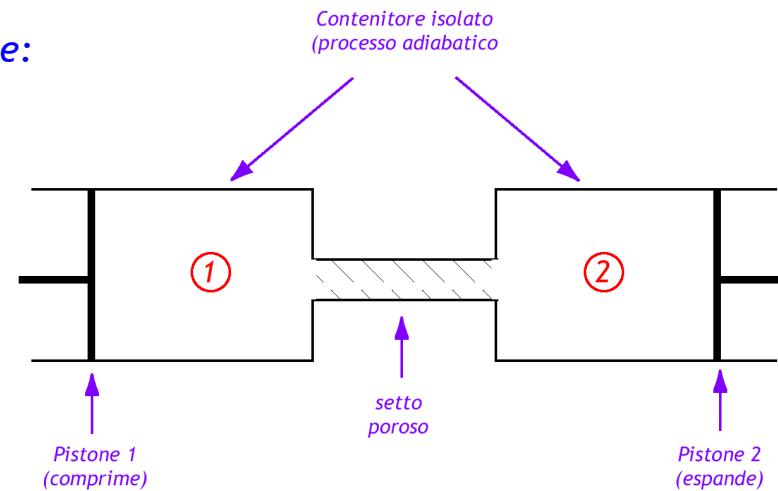
$$W = \text{lavoro sul gas} = -\Delta U \text{ (processo adiabatico)}$$

$$= -(\Delta k + \Delta u_{\text{pot}}) = \Delta(PV) = \Delta(P_2V_2) - \Delta(P_1V_1)$$

mantenendo costante il prodotto PV :

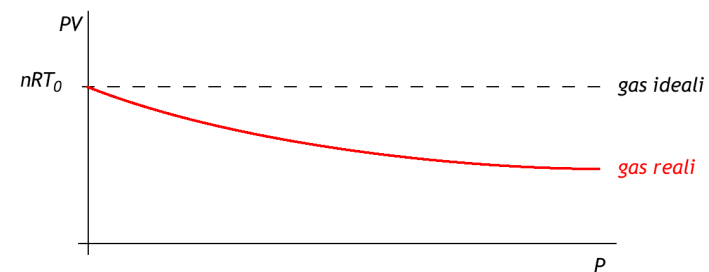
$$\Delta(P_2V_2) = \Delta(P_1V_1) \rightarrow \Delta U = \Delta k + \Delta u_{\text{pot}} = 0$$

se $P_1 > P_2$, le distanze molecolari sono più grandi nel contenitore 2 $\rightarrow \Delta u_{\text{pot}} > 0 \rightarrow \Delta k < 0$ e la temperatura diminuisce.



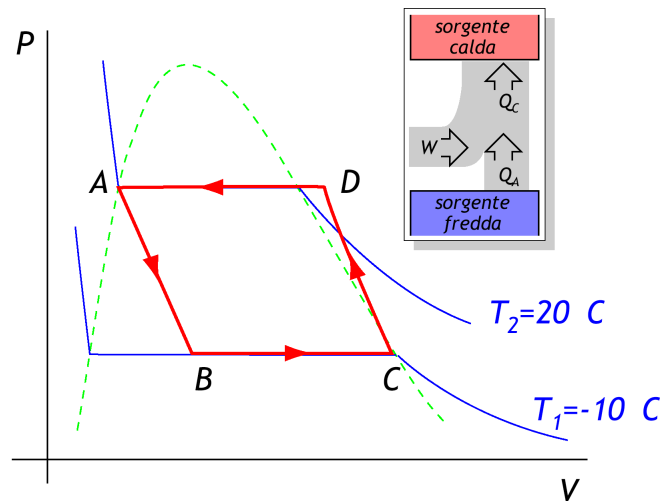
Durante la compressione del gas in ①, il gas passa in ② e il pistone 2 si muove verso l'esterno in modo da mantenere costante il prodotto PV ($P_1V_1 = P_2V_2$)

Risultato:

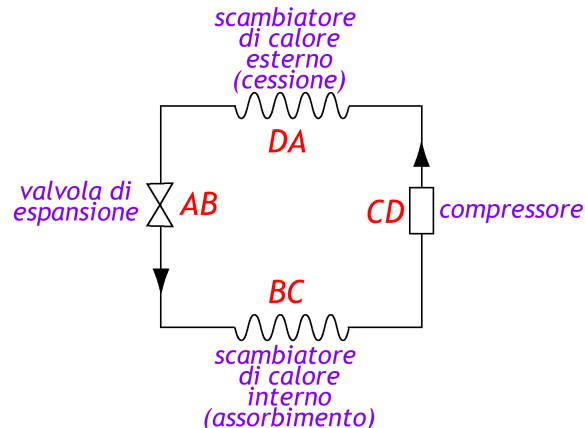


Frigoriferi

Se la trasformazione coinvolge un passaggio di fase, da liquido a vapore, ed è rapida (attraverso l'apertura veloce di una valvola), l'effetto di Joule-Thomson è analogo all'acquisto di **calore latente di vaporizzazione** a spese dell'energia cinetica dei costituenti (cioè della loro temperatura).



- A: Fluido liquido a temperatura $T_2=20^\circ\text{C}$
- AB: Espansione di Joule-Thomson
- BC: Isoterma a $T=T_1$ fluido a contatto con il corpo da raffreddare
- CD: Compressione adiabatica
- DA: Isobara e poi isoterma a $T=T_2$, fluido a contatto con il radiatore esterno



I gas usati (Freon - CF_3Br o simili) passano facilmente dalla fase di vapore alla fase liquida attorno ai 0°C e non sono corrosivi.

$$\text{efficienza frigorifera} = \frac{Q_A}{|W|} = \left| \frac{1}{\eta} \right|$$

Centrale elettrica

