

## Macchine termiche e cicli termodinamici

### Il ciclo di Carnot

È il ciclo con il massimo rendimento possibile operante tra due temperature estreme  $T_A$  e  $T_B$ .

$$1: Q_1 = Q_A; L = L_1$$

$$2: Q_2 = 0; L = L_2$$

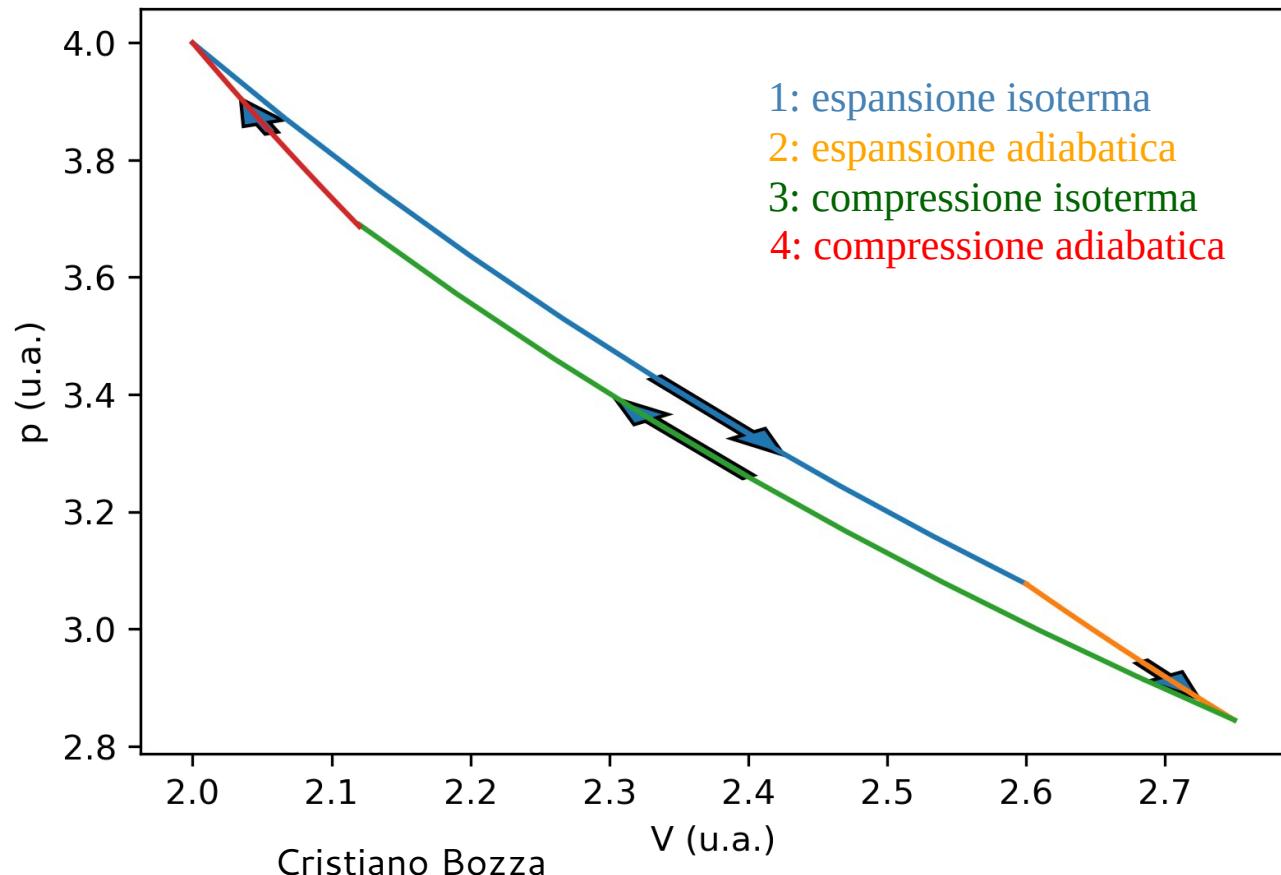
$$3: Q_3 = -Q_B; L = L_3$$

$$4: Q_4 = 0; L = L_4$$

$$Q = Q_A - Q_B$$

$$0 = \Delta U = Q - L \Rightarrow L = Q$$

$$\eta = \frac{L}{Q_A} = \frac{Q_A - Q_B}{Q_A} = 1 - \frac{Q_B}{Q_A}$$



## Macchine termiche e cicli termodinamici

Calcoliamo il rendimento con un ciclo di Carnot a gas

$$1: Q_1 = Q_A; L = L_1; dU = \delta Q - p dV \Rightarrow c_v dT = \delta Q - p dV = 0; \delta Q = p dV; Q_A = \int_{V_1}^{V_2} R T_A \frac{dV}{V} = R T_A \log \frac{V_2}{V_1}$$

$$2: T_A V_2^{\gamma-1} = T_B V_3^{\gamma-1}$$

$$3: Q_3 = -Q_B; L = L_3; dU = \delta Q - p dV \Rightarrow c_v dT = \delta Q - p dV = 0; \delta Q = p dV; Q_B = \int_{V_3}^{V_4} R T_B \frac{dV}{V} = R T_B \log \frac{V_4}{V_3}$$

$$4: T_A V_1^{\gamma-1} = T_B V_4^{\gamma-1}$$

$$Q_3 = R T_B \log \frac{(T_A/T_B)^{\frac{1}{\gamma-1}} V_1}{(T_A/T_B)^{\frac{1}{\gamma-1}} V_2} = R T_B \log \frac{V_1}{V_2} = Q_A \frac{T_B}{T_A}$$

$$L = Q = R T_A \log \frac{V_2}{V_1} \left( 1 - \frac{T_B}{T_A} \right)$$

$$\eta = \left( 1 - \frac{T_B}{T_A} \right) \quad \text{dipende solo dalle temperature estreme!}$$

## L'entropia

Riscriviamo il Primo Principio per un sistema idrostatico, in una trasformazione reversibile

$$dU = \delta Q - \delta L = T dS - p dV$$
$$dS = \frac{1}{T} dU - \frac{p}{T} dV$$

Giungiamo alla definizione della **temperatura termodinamica assoluta**

$$\frac{1}{T} = \left( \frac{\partial S}{\partial U} \right)_V$$

Questa definizione è indipendente dalla scelta di un particolare proprietà termometrica, e vale per sistemi qualsiasi (naturalmente per quelli non idrostatici si lasceranno costanti le coordinate termodinamiche legate al lavoro).

## Il piano TS

Gli scambi di calore in un ciclo si valutano molto convenientemente sul piano TS

$$\text{In una trasformazione reversibile } dS = \frac{\delta Q_{rev}}{T}$$

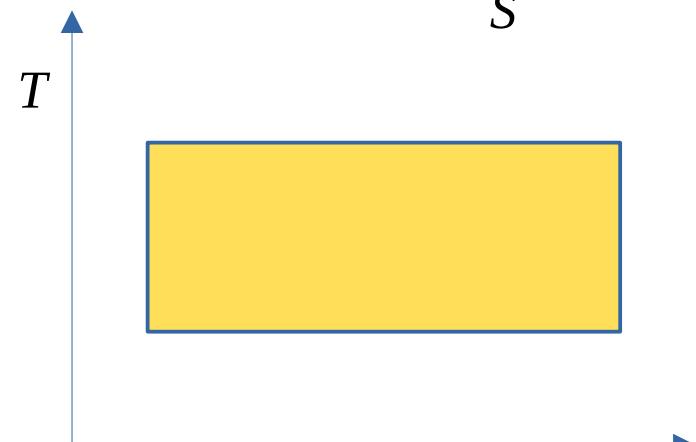
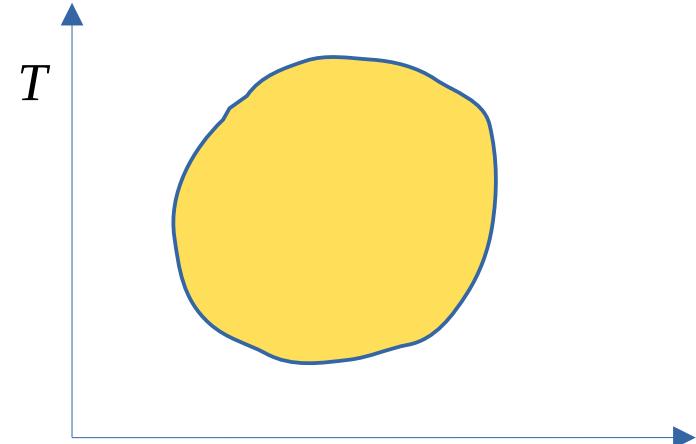
$$\delta Q_{rev} = T dS$$

Nei **cicli reversibili**, il calore scambiato (e quindi il lavoro) è l'area del ciclo nel piano TS

Il Ciclo di Carnot ha una rappresentazione particolarmente semplice nel piano TS:

le due isoterme sono segmenti orizzontali;

le due adiabatiche reversibili sono *isoentropiche* (segmenti verticali).



Richiami ed argomenti correlati

## Il Primo Principio della Termodinamica

Osservazioni sperimentali e considerazioni teoriche portano ad enunciare il **Primo Principio** della Termodinamica, come:

*Dato un sistema termodinamico, esiste **sempre** una funzione delle **sole** coordinate termodinamiche, detta **energia interna**, la cui variazione in ogni trasformazione è pari alla differenza tra il calore assorbito dall'ambiente e il lavoro effettuato sull'ambiente.*

$$\Delta U = Q - L$$

Il Primo Principio esprime la conservazione dell'energia in forma più generale della sola energia meccanica.

*Attenzione ai segni!*

La funzione energia interna dipende solo dalle coordinate termodinamiche, non dal modo in cui si arriva in una certa configurazione.

*La funzione energia interna è definita a meno di una costante arbitraria.*  
Cristiano Bozza

## Il Primo Principio della Termodinamica

Nei sistemi chiusi, non sono possibili per definizione scambi di massa.

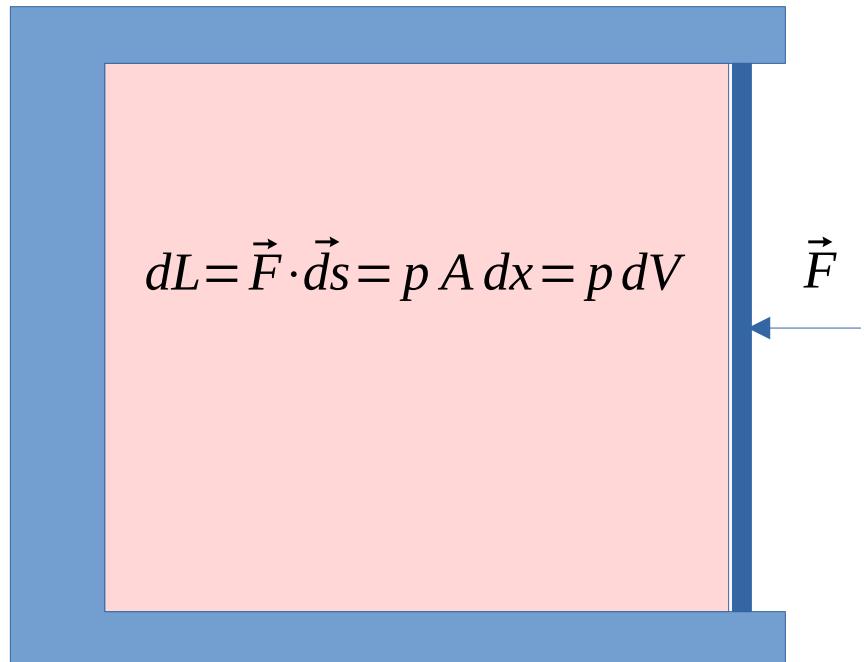
Per un sistema *idrostatico*, ossia capace di scambiare lavoro per variazioni di volume, si ha, in particolare:

$$\Delta U = Q - L$$

$$dU = dQ - dL = dQ - p dV$$

In termodinamica, si usa distinguere i differenziali esatti da quelli che dipendono dalla particolare trasformazione

$$dU = \delta Q - \delta L = \delta Q - p dV$$



## Il Primo Principio della Termodinamica

Per un sistema chiuso idrostatico, in una trasformazione **isocora**, ossia *a volume costante,  $dV = 0$* .

Se le pareti sono diatermiche (ossia consentono gli scambi di calore), possiamo scrivere:

$$dU = \delta Q - \delta L = \delta Q - p dV = \delta Q$$

D'altra parte, l'incremento di temperatura è proporzionale al calore assorbito, secondo una costante detta **calore specifico a volume costante**; inoltre, a parità di calore assorbito, la temperatura varia meno per sistemi di massa maggiore. Scriviamo quindi:

$$\Delta Q = C_v \Delta T \quad \Rightarrow \quad \delta Q = C_v dT$$

## Il Primo Principio della Termodinamica

Classifichiamo le grandezze finora introdotte:

$p \rightarrow$  grandezza **intensiva** (non dipende dalla massa del sistema)

$T \rightarrow$  grandezza **intensiva** (non dipende dalla massa del sistema)

$V \rightarrow$  grandezza **estensiva** (proporzionale alla massa del sistema); volume specifico  $v = V/m$

$U \rightarrow$  grandezza **estensiva** (proporzionale alla massa del sistema); energia interna specifica  $u = U/m$

Se descriviamo lo stato con temperatura e volume abbiamo:

$$dU = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV$$
$$\left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_V = C_v$$

Il pedice nelle parentesi indica la grandezza che rimane costante mentre l'altra varia