

## **Lezione N°2**

# *FUNZIONI DI STATO E PRINCIPI DELLA TERMODINAMICA*

# *Funzioni di stato*

$dU = dQ - dL$  (definiamo con  $dU$  la variazione di energia interna del sistema)

$dH = dU + pdV + vdP$  (definiamo con  $dH$  la variazione di entalpia del sistema)

$dS = dQ/T$  (definiamo con  $dS$  la variazione di entropia del sistema)

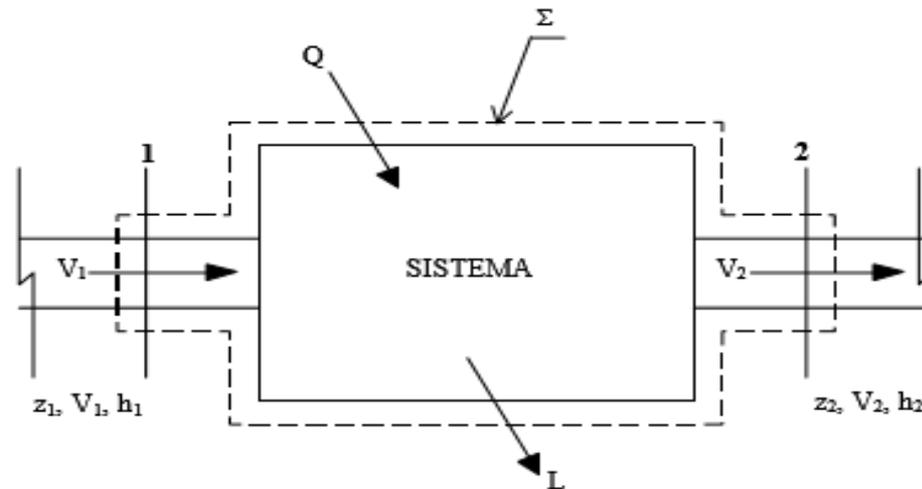
*Si dice funzione di stato quella funzione la cui variazione dipende solo dallo stato iniziale e finale e non dal percorso della trasformazione*

# *PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA*

Calore e lavoro sono entrambi forme di energia: pertanto in un processo l'energia non si crea e non si distrugge ma si conserva ed eventualmente si trasforma

# PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

*Sistema aperto in regime stazionario sulla  
superficie limite*



$\Sigma$  = superficie limite

1 = sezione di ingresso    2 = sezione di uscita

$Q$  = calore ricevuto dall'esterno

$L$  = lavoro ricevuto dall'esterno

$V_1, V_2$  = velocità sulle sezioni 1 e 2

$h_1, h_2$  = entalpia specifica sulle sezioni 1 e 2

$z_1, z_2$  = quote del baricentro sulle sezioni 1 e 2

# PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

## Equazione di Conservazione dell'Energia

$$Q - L + \left( h_1 + \frac{1}{2} v_1^2 + g z_1 \right) - \left( h_2 + \frac{1}{2} v_2^2 + g z_2 \right) = 0$$

**Equazione di Conservazione dell'Energia** in condizioni stazionarie e deflusso monodimensionale sulla superficie limite. Non è stata fatta nessuna considerazione sulla natura dei processi che si svolgono all'interno, i quali possono essere sia reversibili che irreversibili.

*Applicando il primo principio della termodinamica ai sistemi liquidi:*

## **Equazione di Bernoulli**

$$L + R_{12} + \int_1^2 v dP + g(z_2 - z_1) + \frac{1}{2}(v_2^2 - v_1^2) = 0$$

**Equazione di Bernoulli** generalizzata alla situazione di fluido incompressibile, deflusso irreversibile e presenza di una macchina fra le sezioni 1 e 2 in grado di scambiare il lavoro  $L$ . Il termine  $R_{12}$  prende il nome di perdita di carico fra le sezioni 1 e 2.

Utilizzando questa espressione vedremo nella parte finale del corso come si dimensioneranno:

- a) Gli impianti ACS
- b) Gli impianti di riscaldamento

# ***SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA***

## **Secondo Principio della TERMODINAMICA**

### **Enunciato di Clausius del Secondo Principio:**

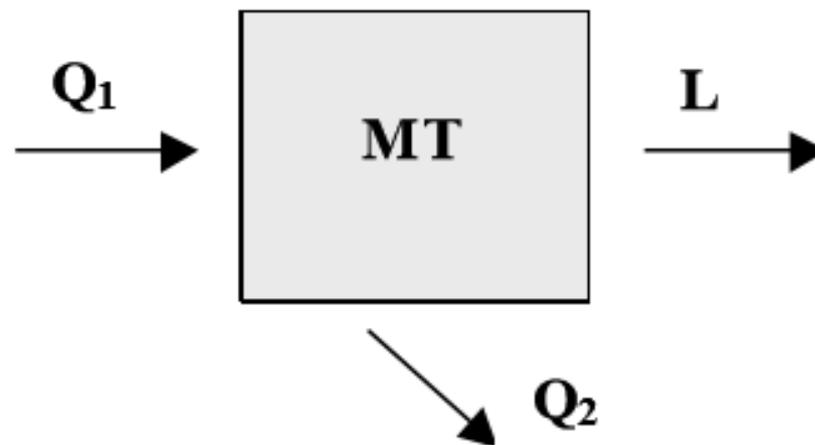
Il calore passa spontaneamente da corpi a temperatura maggiore a corpi a temperatura minore.

### **Enunciato di Carnot del Secondo Principio:**

In una macchina termica a funzionamento continuo non è possibile la trasformazione completa di calore in lavoro; la macchina restituisce necessariamente all'esterno una parte del calore ricevuto e la restituzione avviene ad una temperatura inferiore rispetto alla temperatura alla quale la macchina aveva ricevuto il calore dall'esterno.

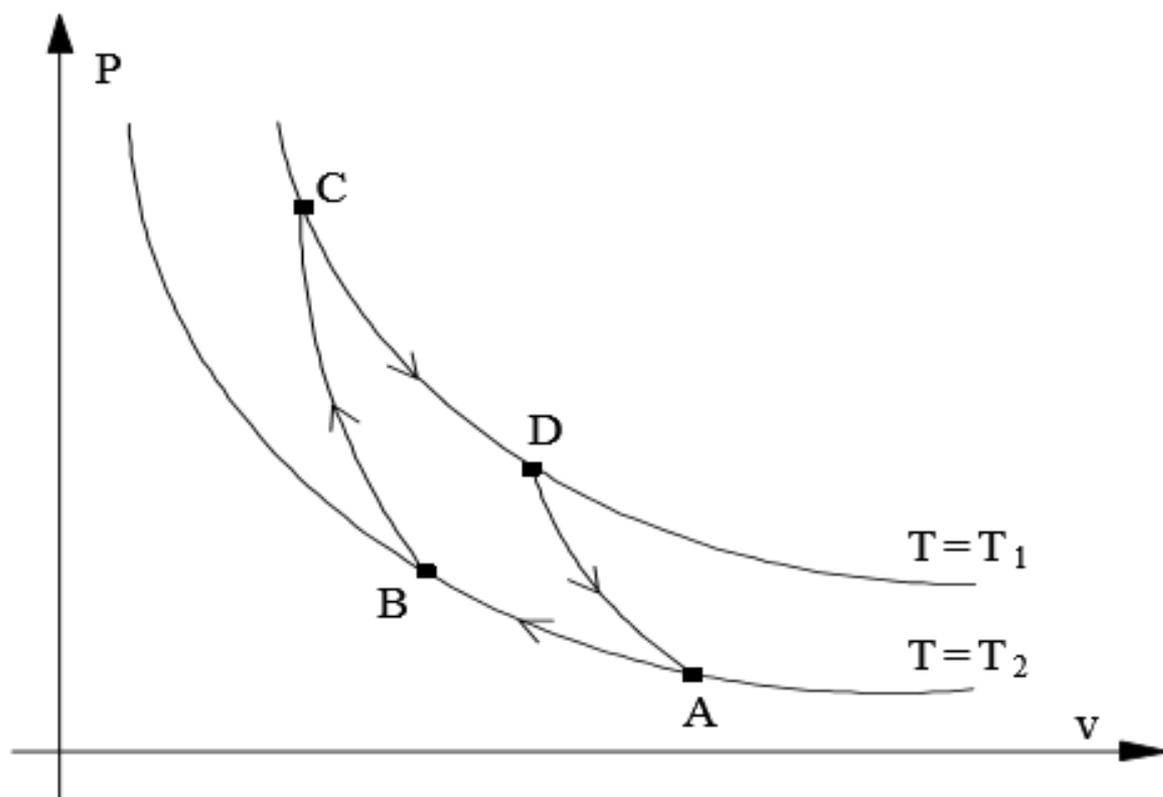
$$\eta = \frac{L}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

*Modalità di funzionamento di una macchina termica*



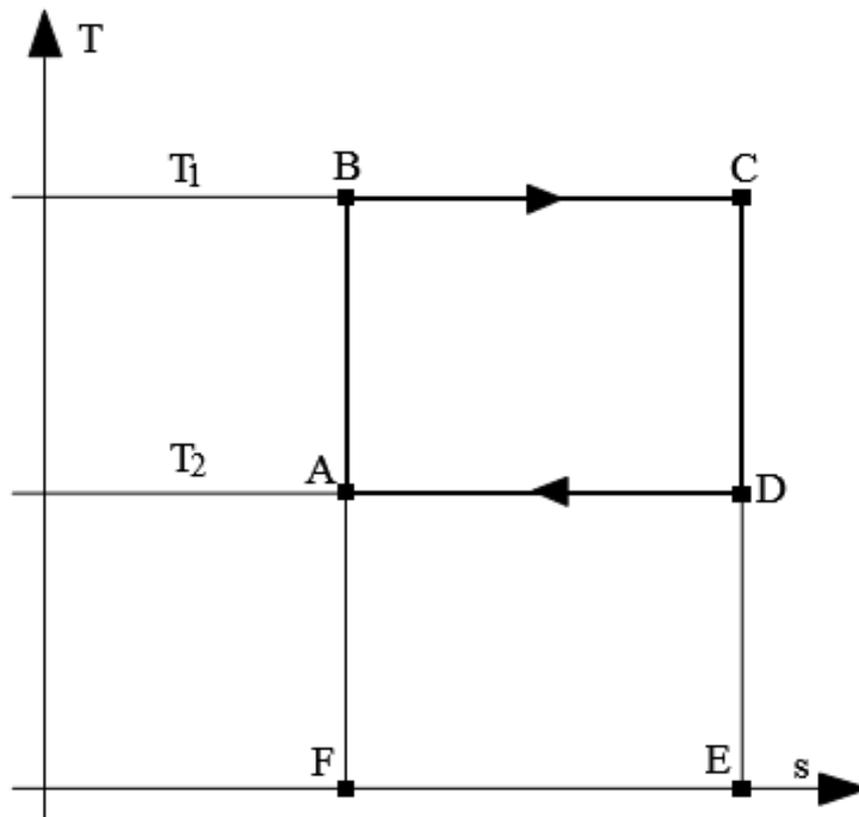
*Q<sub>1</sub> = calore in ingresso  
Q<sub>2</sub> = calore in uscita  
MT = macchina termica*

*Ciclo di Carnot per un gas perfetto sul piano di Clapeyron*



*AB, CD: isoterme    BC, DA: adiabatiche*

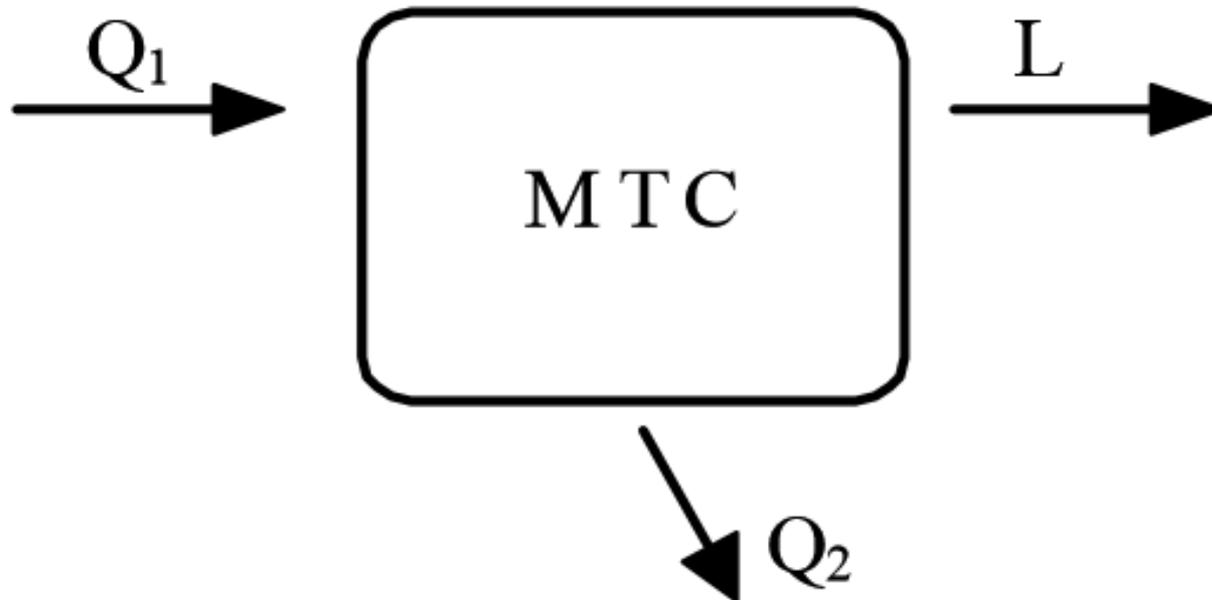
## Ciclo di Carnot sul piano entropico



AB,CD: *adiabatiche*  
 $Q_1 = \text{area BCEF}$   
scambiato con  
l'esterno

$Q_2 = \text{area ADEF}$   
 $L = \text{area ABCD}$

*Diagramma di flusso di una macchina termica di Carnot*



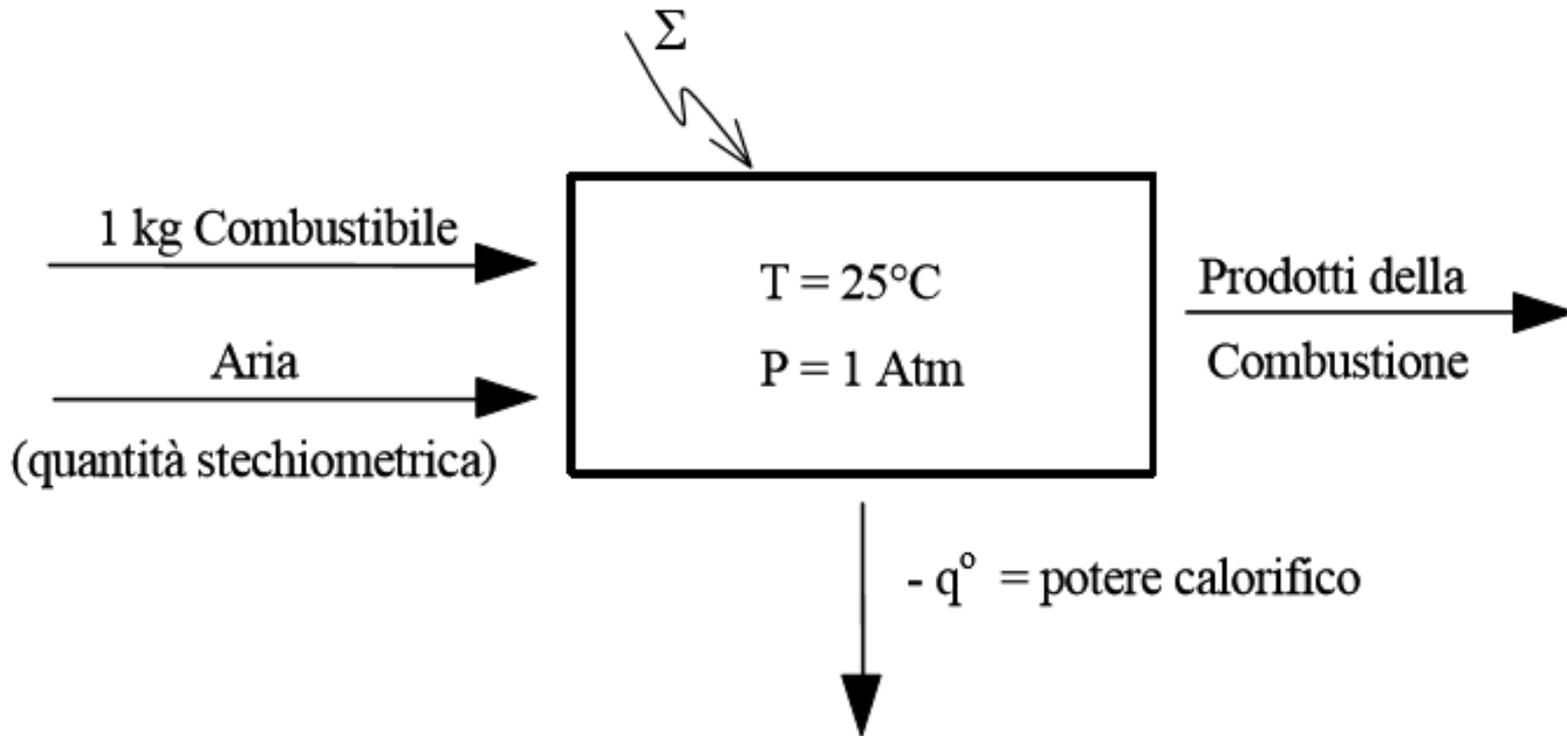
*MTC = macchina termica di Carnot*

*$Q_1$  = calore ricevuto*

*$Q_2$  = calore restituito*

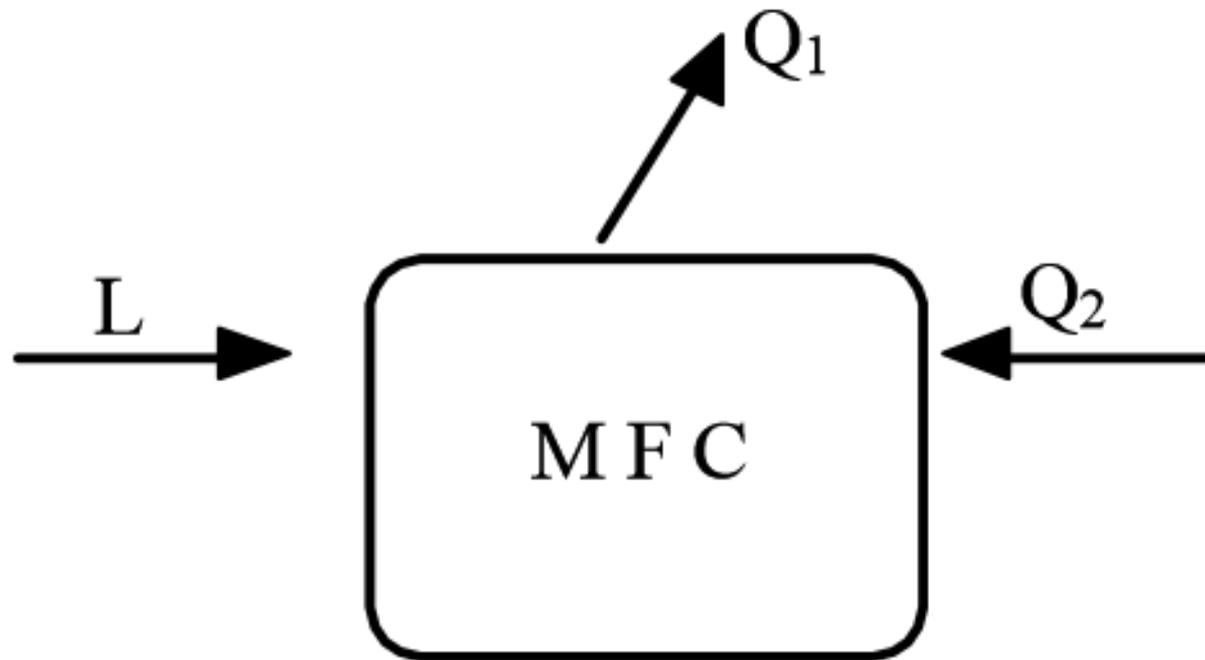
*$L$  = lavoro prodotto*

## *Definizione di potere calorifico*



$\Sigma = \text{superficie limite non adiabatica}$

*Diagramma di flusso di una macchina frigorifera di Carnot*



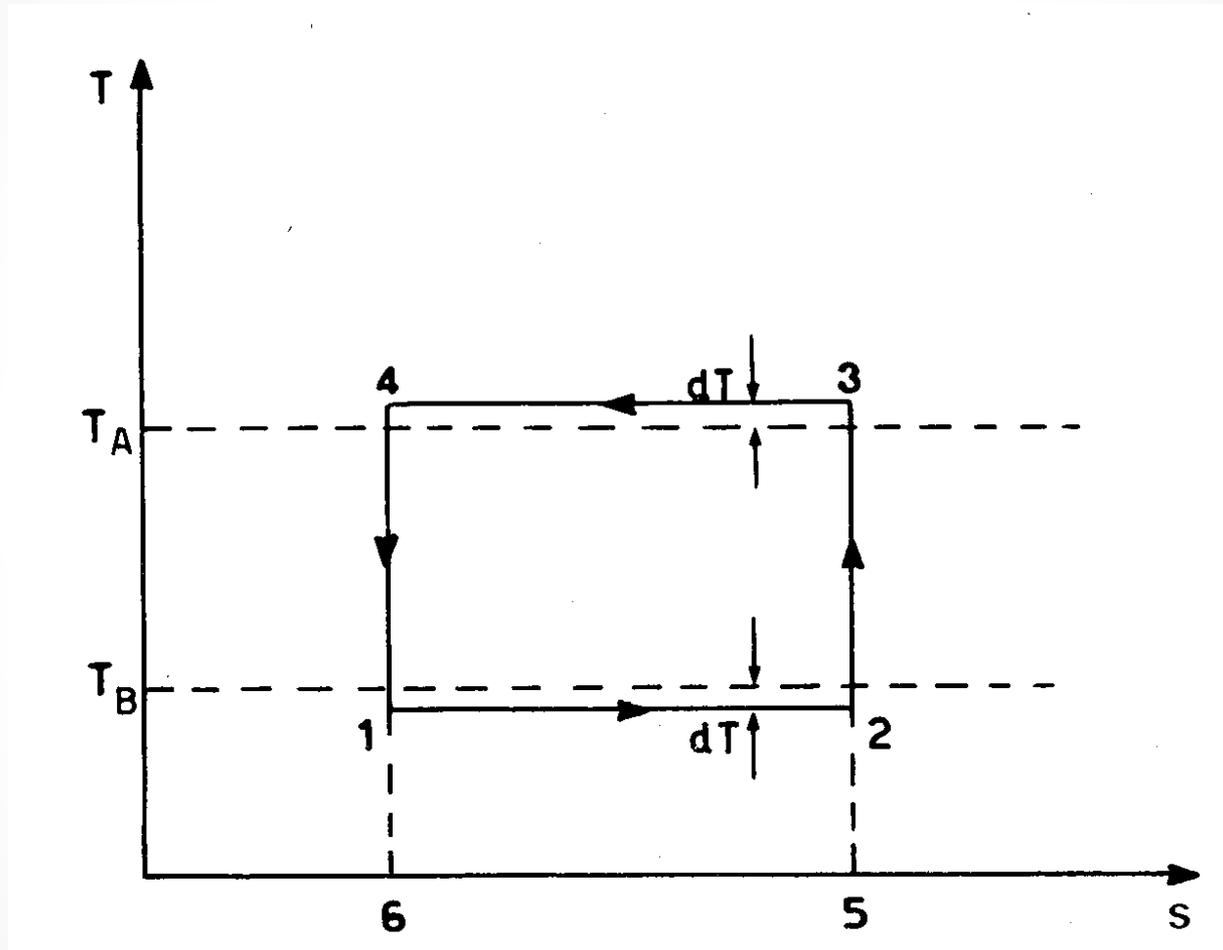
*MFC = macchina frigorifera di Carnot*

*L = lavoro assorbito*

*$Q_1$  = calore restituito dalla sorgente fredda*

*$Q_2$  = calore ricevuto dalla sorgente fredda*

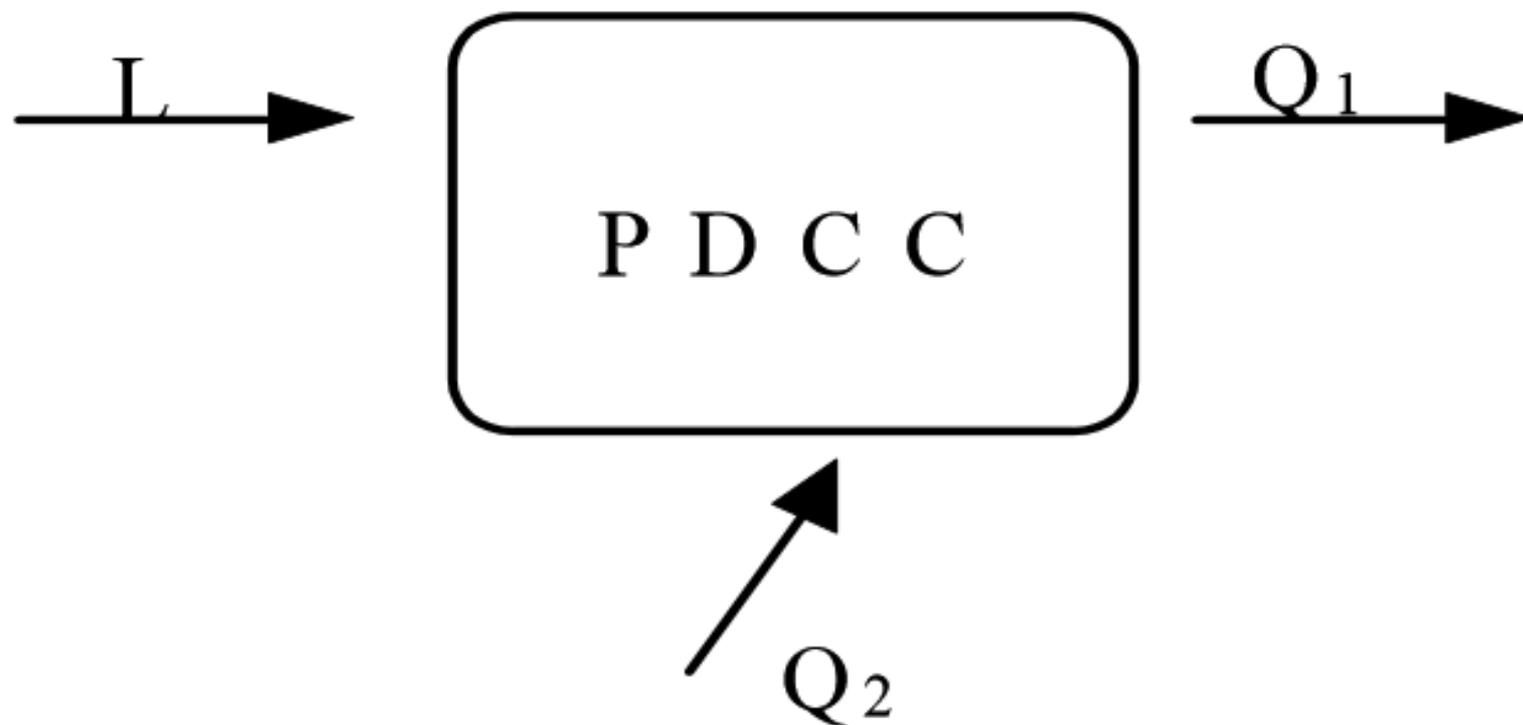
# Ciclo di Carnot inverso (ciclo frigorifero) sul piano entropico



# Effetto utile refrigerante di una macchina frigorifera

$$\xi = Q_2 / L = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} \quad (\text{Normalmente compreso tra 3 e 4})$$

*Diagramma di flusso di una pompa di calore di Carnot*



*PDCC = pompa di calore di Carnot*

*L = lavoro assorbito*

*$Q_2$  = calore ricevuto*

*$Q_1$  = calore restituito*

# Coefficiente di prestazione di una pompa di calore

$$\text{C.O.P.} = Q_2 / L = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2} \quad (\text{Normalmente compreso tra 3,5 e 4,5})$$