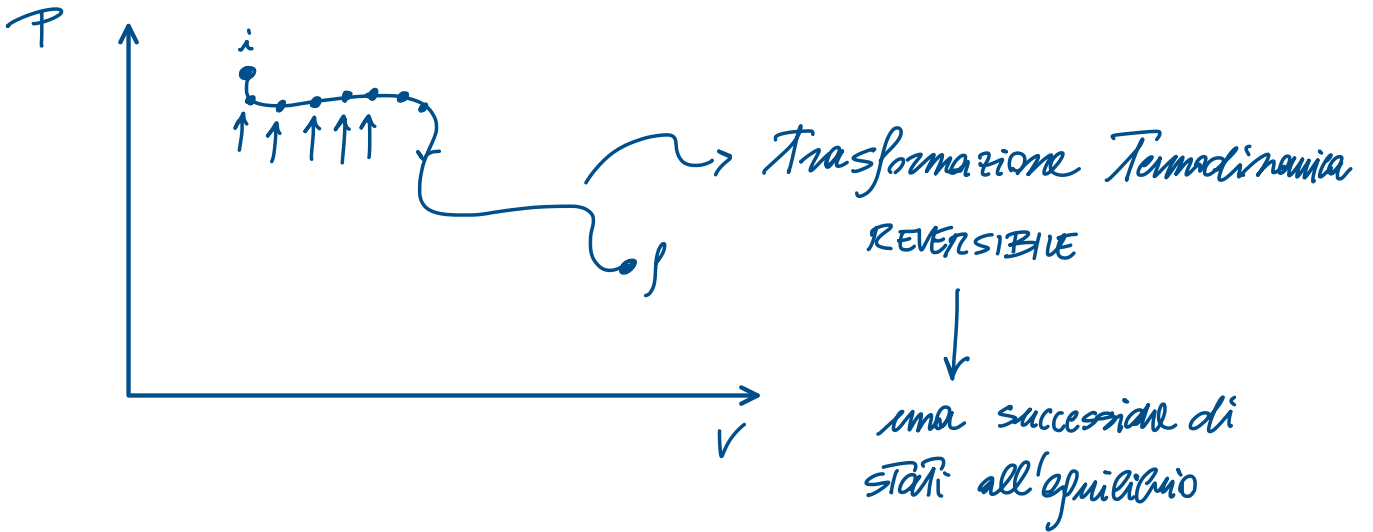


Lezione # 20  
19/05/2026

Q, L

I PRINCIPIO TERMODINAMICA

$$\Delta E_{INT} = Q - L$$



Una Trasformazione irreversibile = non ci sono stati all'equilibrio



# ENTROPIA DI UN SISTEMA

$S =$   $\left\{ \begin{array}{l} Q; T \\ \text{Definizione macrofisica} \\ \hookrightarrow \text{disordine di un sistema} \end{array} \right.$

$S \propto \log W$   
 $\hookrightarrow$  # di possibili configurazioni del sistema

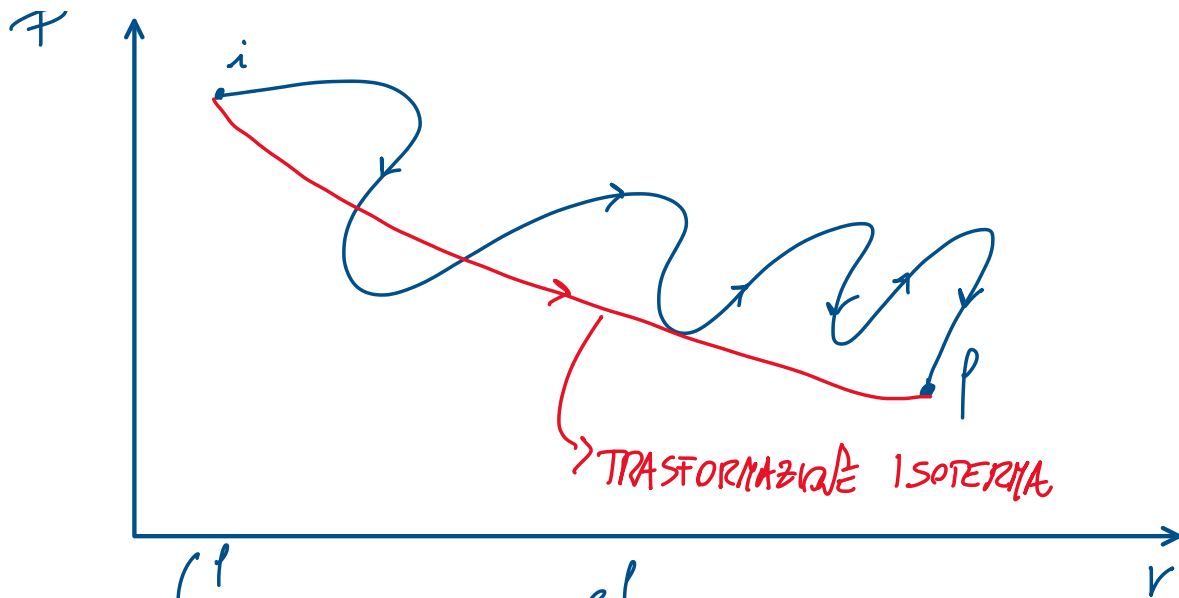
$$S = \int_{IN}^{FIN} \frac{\delta Q}{T}$$

Entropia come  $\Delta E_{int}$  era  
una f<sup>ne</sup> di stato

$\hookrightarrow \Delta E_{int}$  dipende  
dallo stato  $i \rightarrow f$

$S$  dipende solo dallo stato !!!





$$\Delta S = \int_i^f \frac{\delta Q}{T} = \frac{1}{T} \int_i^f \delta Q = \frac{\Delta Q}{T}$$

$L$ , su una isoterma  
 $T = \text{cost.}$

$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$  Anche se l'ho ottenuto con una  
T. isoterma  $\Rightarrow \Delta S$  è una fun. di stato

$\Rightarrow$  se gli stati  $i$  ed  $f$  sono gli stessi

$$\Rightarrow \Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad \text{SEMPRE}$$

## II PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

$$\Delta S \geq 0$$

In un sistema isolato  
la variazione di entropia  
non può mai diminuire  
In particolare

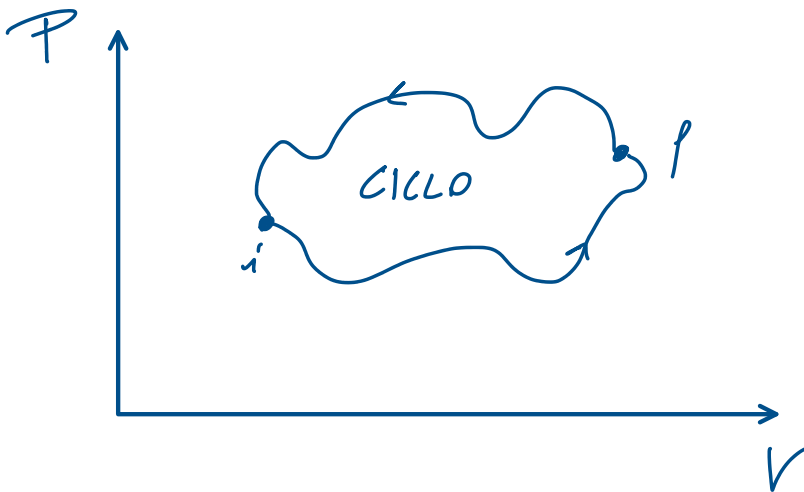
$\Delta S = 0$  vale solo per  
trasformazioni reversibili

$$\Delta S = \frac{Q}{T} \geq 0$$

- Macchina Termica -

Dispositivo in grado di  
assorbire / cedere calore con  
l'ambiente e trasformarlo in  
lavoro

Ciclo di una macchina Termica:



Traiettoria chiusa  
 $i_N = f_N$

Quando ho un ciclo Termodinamico  $i = f$

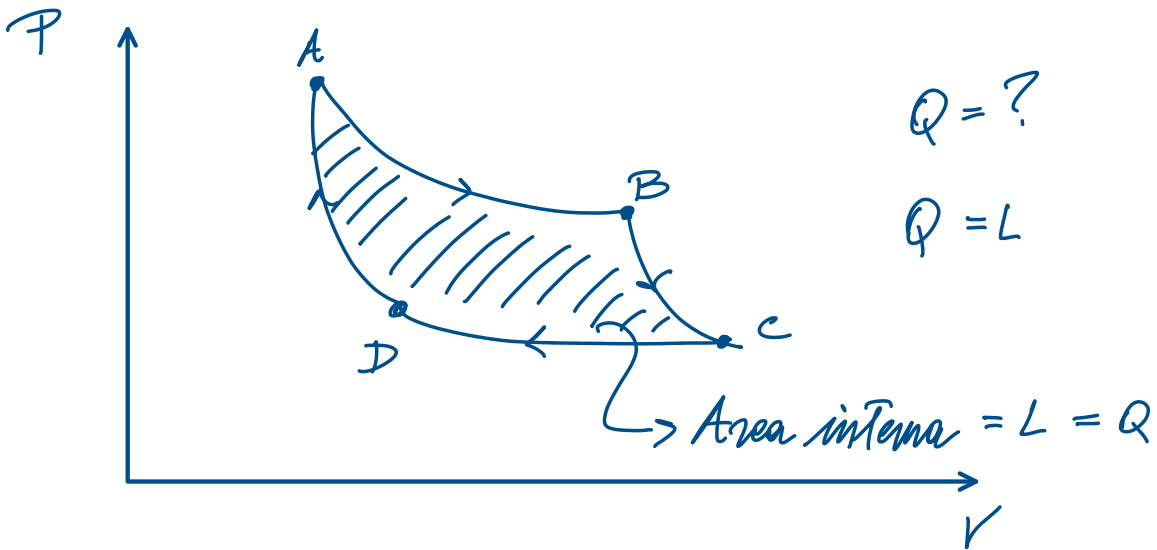
$$\Delta E_{INT} = Q - L$$

$$\parallel$$

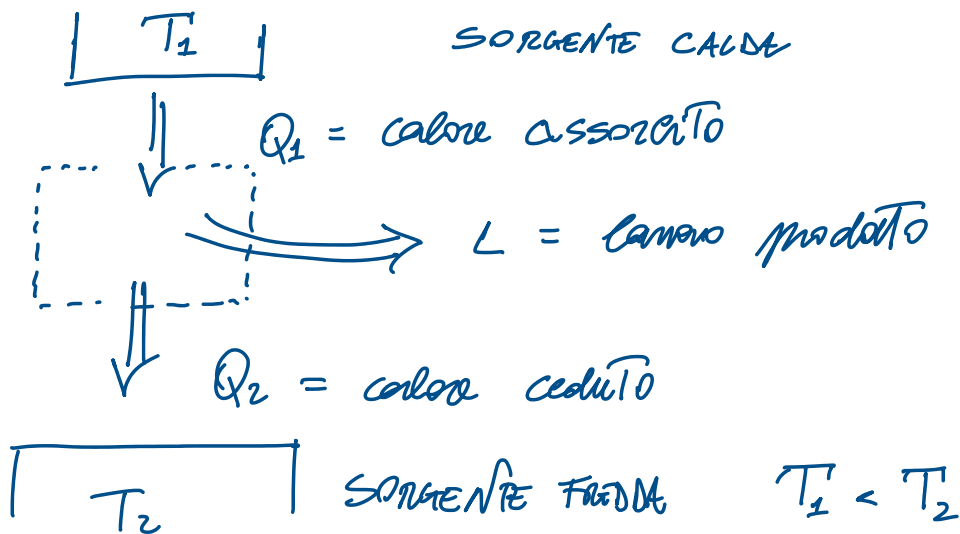
$$0$$

Per qualunque ciclo  $\Rightarrow$

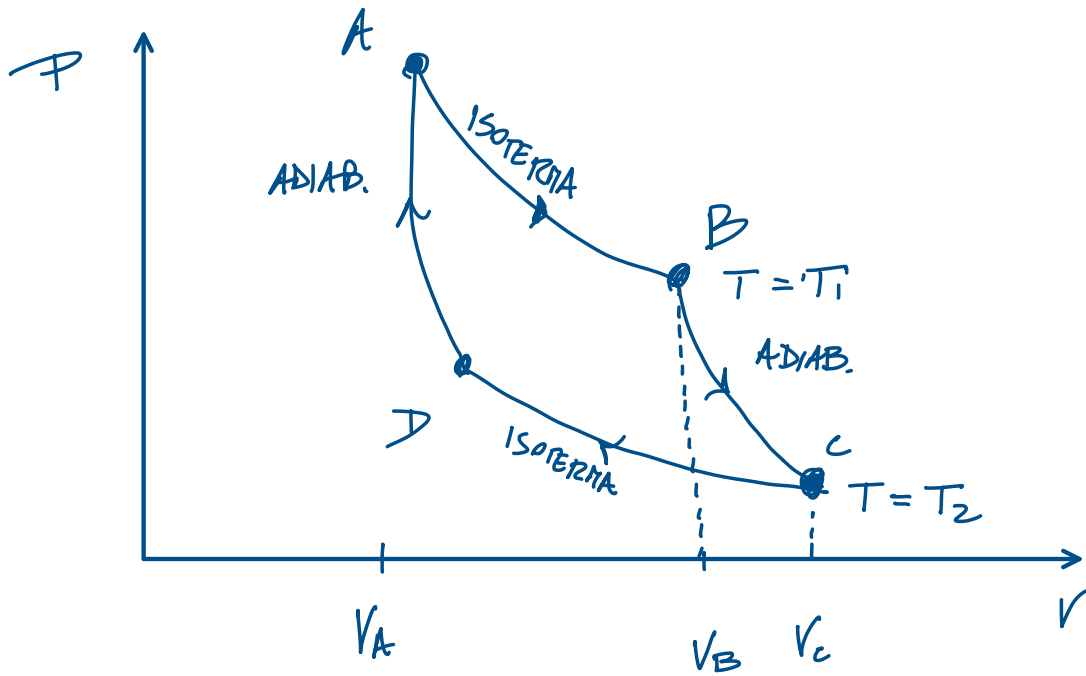
$$Q = L$$



### CICLO DI CARNOT



Compongo due Tipi di Trasformazioni:



- |    |           |           |              |                       |                    |
|----|-----------|-----------|--------------|-----------------------|--------------------|
| 1) | ISOTERMIA | $T = T_1$ | espansione   | $V_A \rightarrow V_B$ | $T = \text{cost.}$ |
| 2) | ADIAB.    | $Q = 0$   | espansione   | $V_B \rightarrow V_C$ | $Q = 0$            |
| 3) | ISOT.     | $T = T_2$ | compressione | $V_C \rightarrow V_D$ | $T = \text{cost.}$ |
| 4) | ADIAB.    | $Q = 0$   | "            | $V_D \rightarrow V_A$ | $Q = 0$            |

$$1) \Delta S_1 = \frac{Q_1}{T_1}$$

$$Q_1 > 0 \text{ ass.}$$

$$\Delta S_1 > \text{entropia aumenta}$$

$$2) \Delta S_2 = \frac{Q}{T_1} \quad \text{se } Q = 0 \Rightarrow \Delta S_2 = 0$$

$$3) \Delta S_3 = \frac{Q_2}{T_2} \quad Q_2 < 0 \Rightarrow \Delta S_3 < 0$$

$$h) \Delta S_3 = \frac{Q}{T} \quad \text{ma} \quad Q = 0 \Rightarrow \Delta S_4 = 0$$

$$\Delta S_{\text{TOT}} = \Delta S_1 + \cancel{\Delta S_2} + \Delta S_3 + \cancel{\Delta S_4} = \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2}$$

$$Q_1 > 0 \quad \text{e} \quad Q_2 < 0 \Rightarrow |Q_1| \quad \text{e} \quad -|Q_2|$$

$$\Delta S_{\text{TOT}} = \frac{|Q_1|}{T_1} - \frac{|Q_2|}{T_2}$$

ma essendo un  
ciclo  $\Rightarrow i = f \Rightarrow$

$$\Rightarrow \Delta S = 0$$

$$0 = \frac{|Q_1|}{T_1} - \frac{|Q_2|}{T_2}$$

$$\frac{|Q_1|}{T_1} = \frac{|Q_2|}{T_2}$$

$$\frac{|Q_1|}{|Q_2|} = \frac{T_1}{T_2}$$

In un ciclo di Carnot  
il rapporto tra calore  
assorbito e ceduto è pari  
al rapporto tra le  
T della sorgente calda  
e " " " fredda

Rendimento di una macchina Termica

$$\eta = \frac{\text{EN. OTTENUTA}}{\text{EN. ASSORBITA}} \quad \text{in Termodinamica:}$$

$$\eta = \frac{\text{EN. OTTENUTA}}{\text{EN. ASSORBITA}} \quad \text{in Termodinamica:}$$

↑  
eta

$$\eta = \frac{L_{\text{SVOLTO}}}{Q_{\text{ASSORBITO}}}$$

Per una qualunque macchina Termica:

dato che siamo in un ciclo

$$\Delta E_{\text{INT}} = Q - L$$

= 0

$$Q = L$$

$$|Q_1| - |Q_2| = L$$

$$\eta = \frac{L}{|Q_{\text{ASSI}}|} = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} = 1 - \frac{|Q_2|}{|Q_1|}$$

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

Per qualunque  
macchina Termica

dal momento che ogni macchina Termica  $|Q_2| \neq 0$

$$\Rightarrow \frac{|Q_2|}{|Q_1|} \neq 0 \Rightarrow \eta = 1 - \frac{|Q_2|}{|Q_1|} < 1$$

$$\eta < 1$$

Non esiste un ciclo di Trasformazioni Termodinamiche anche reversibili che dia come unico risultato l'acquisizione di calore da una unica sorgente Termica e la sua Trasformazione in calore

Nel caso del ciclo di Carnot:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_2|}{|Q_1|} \quad \text{per Carnot} \quad \frac{|Q_1|}{T_1} = \frac{|Q_2|}{T_2}$$
$$\Downarrow$$
$$\frac{|Q_2|}{|Q_1|} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$\eta_{\text{CARNOT}} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Per un ciclo di Carnot  
 $\eta$  dipende solo dalle  
temperature delle s. fredde  
e calde