



# Termodinamica

Energia perduta  
Sistemi isolati



$$L_{pre\bar{v}} = \eta Q_2 \quad L_{pirre\bar{v}} = \eta' Q_2$$
$$Q_4 - Q'_4 = \Delta Q = \Delta L_p = (\eta - \eta') Q_2$$

Generale

$$\Delta S_s = - \left( \frac{Q_2}{T_2} - \frac{Q_4 + \Delta Q'}{T_4} \right) = - \frac{\Delta Q'}{T_4}$$

*dacuilanotevole relazione*

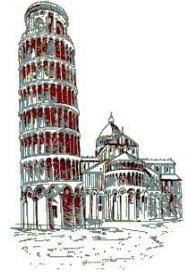
$$L_{perso} = -\Delta Q' = T_4 \Delta S_s$$

Macchina irreversibile



# **Termodinamica**

## **L'entropia dell'universo**



Per la macchina più la sorgente

*In una trasformazione il lavoro perduto o sprecato è proporzionale alla variazione della entropia dell'universo, con coefficiente di proporzionalità corrispondente alla sorgente di più bassa temperatura.*

Quanto cresce  $S$ ...in un sistema isolato

*Cresce fino al punto in cui è massima e non può più crescere poiché nessun ciclo è più possibile e questo avviene quando si è raggiunto l'equilibrio termico del sistema.*



# Termodinamica

## Trasformazioni monoterme



**Sistemi immersi in sorgenti a temperatura costante**

$$\Delta S_{tot} = \Delta S_M + \Delta S_{sorg} = \Delta S_M - \frac{Q_a}{T_a} \geq 0 \quad \text{da cui segue}$$

$$\Delta S_M \geq \frac{Q_a}{T_a} = \frac{\Delta U - L}{T_a}$$

$$L \geq (\Delta U - T_a \Delta S_M) \quad \text{ovvero} \quad L_p \leq (T_a \Delta S_M - \Delta U)$$

*Il lavoro e' limitato dalla differenza tra la quantita'  $T\Delta S$  e la variazione di energia interna.*



# Termodinamica

## Trasformazioni monoterme

**Sistemi immersi in sorgenti a temperatura costante**



$$L_{pmax} = (T_a \Delta S_M - \Delta U)$$

$$L_p = Q - \Delta U$$

$$\Delta S_{sorg} = -\frac{Q_a}{T_a} \quad segue \quad Q_a = -T_a \Delta S_{sorg}$$

$$L_{pmax} - L_p = T_a \Delta S_M - Q_a = T_a \Delta S_M - T_a \Delta S_{sorg} = T_a \Delta S_{tot} \geq 0$$

**Lavoro perso ???**



# **Termodinamica**

## **Trasformazioni monoterme**



Sorgete a temperatura costante

$$F=U-TS$$

funzione di stato: *energia libera di Helmholtz*

$$L_p \leq -\Delta F$$

trasformazione qualsiasi

$$L \geq \Delta F$$

$$L = \Delta F$$

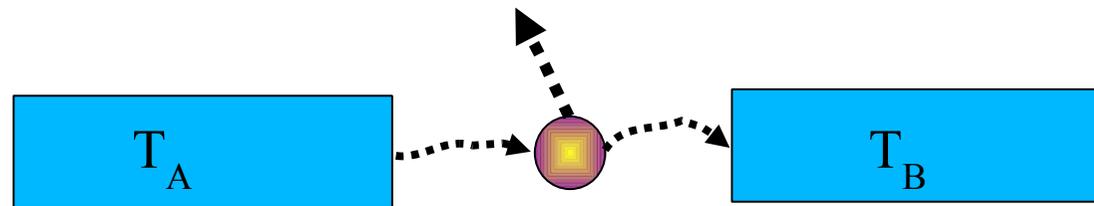
Isoterma

simile ad un potenziale meccanico



# Termodinamica

## Problemino



Quale T finale???

$$\Delta S = C \ln \frac{T_f}{T_a} + C \ln \frac{T_f}{T_b} = C \ln \frac{T_f^2}{T_a T_b} \geq 0$$

$$T_f \geq \sqrt{T_a T_b}$$

$$L_p = -\Delta U = C(T_a + T_b - 2T_f)$$

$$T_f = \sqrt{T_a T_b} < \frac{T_a + T_b}{2}$$



# **Termodinamica**

## **Conclusioni**



*Principio dell'equilibrio termico*  $\Leftrightarrow$  *temperatura*  
*primo principio*  $\Leftrightarrow$  *energia interna*  
*secondo principio*  $\Leftrightarrow$  *entropia*

*La crescita dell'entropia nell'universo e' il segnale dell'irreversibilita'  
dei complessi processi naturali e stabilisce la direzione del tempo.*