

# Secondo Principio della Termodinamica

- 1) due corpi a temperatura diversa sono posti in contatto termico:  
dopo un certo tempo *spontaneamente* i due corpi raggiungono la stessa temperatura e rimangono indefinitamente in questa condizione
- 2) un pendolo oscilla nell'aria di una stanza: dopo un certo tempo il pendolo *spontaneamente* si ferma e rimane in quiete

questi processi avvengono *in accordo* con il primo principio della termodinamica, ma *non si invertono mai spontaneamente* dunque , *fino a prova contraria*, dobbiamo assumere che i processi inversi siano *impossibili*

ma → i fenomeni meccanici sono tutti invertibili, quindi devono esistere altre leggi che governano gli *scambi energetici* tra sistema ed ambiente oltre al primo principio della termodinamica

in generale lo svolgimento di un processo termodinamico fa evolvere allo stesso tempo il sistema e l'ambiente

supponiamo che una trasformazione termodinamica  $Tr$  porti sistema ed ambiente dagli stati  $S_i, A_i$  agli stati  $S_f, A_f$  se questo processo termodinamico non è invertibile significa che la trasformazione inversa  $Tr'$  che porta sistema ed ambiente dagli stati  $S_f, A_f$  agli stati  $S_i, A_i$  è impossibile

- una trasformazione  $Tr$  è reversibile quando la trasformazione  $Tr'$  che riporta sistema ed ambiente negli stati iniziali è possibile,
- è irreversibile quando tale trasformazione non è possibile

le trasformazioni termodinamiche che avvengono spontaneamente in natura sono tutte irreversibili

# Trasformazioni impossibili

nel caso del pendolo :

l'ambiente ( l'aria ) potrebbe essere riportato nello stato

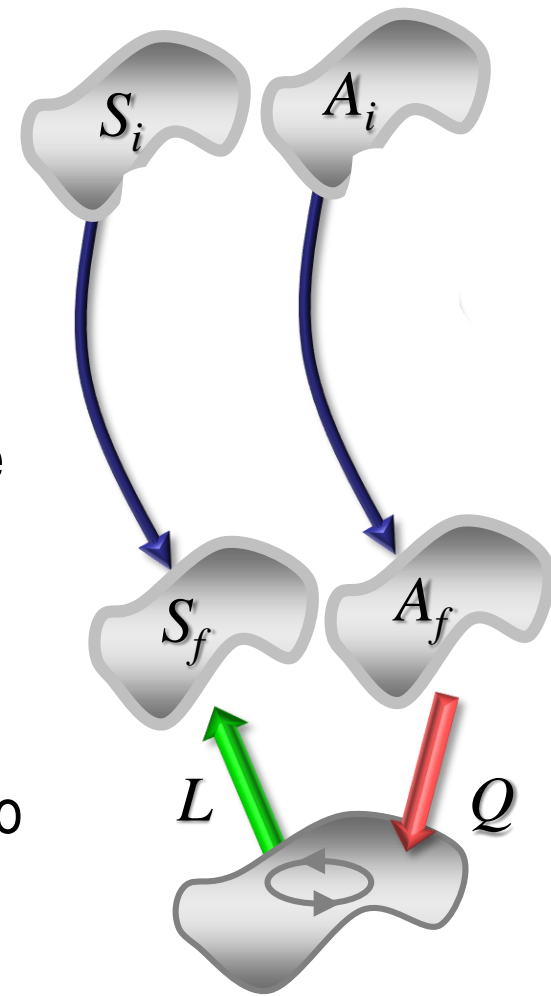
iniziale prelevando calore il sistema ( il pendolo ) potrebbe

essere riportato nello stato iniziale compiendo lavoro

il calore potrebbe essere trasformato in lavoro da un nuovo

sistema termodinamico che faccia parte dell' ambiente,

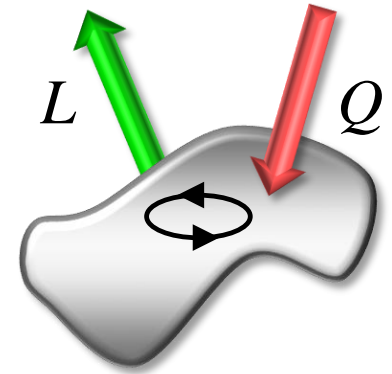
con una *trasformazione ciclica* che avvenga alla temperatura dell'ambiente



il complesso di queste trasformazioni è vietato → trasformazione irreversibile  
ma le prime due sono sicuramente permesse  
dunque la trasformazione vietata è l'*ultima*

# Trasformazioni cicliche con scambi di calore ad una singola temperatura

➤ la causa della irreversibilità delle trasformazioni termodinamiche è riconducibile all'impossibilità della conversione, di calore in lavoro nel corso di una trasformazione ciclica, elevando questa constatazione a principio si ha il secondo principio della termodinamica



## Secondo principio della termodinamica (nella forma di Kelvin-Planck)

in un sistema termodinamico che scambi calore con una sorgente ad una singola temperatura è impossibile realizzare una trasformazione ciclica nel corso della quale, come unico risultato, una frazione di calore venga convertita in lavoro

per es. cio' implica che non sia possibile realizzare un motore  
(sistema termodinamico ciclico) che prelevi calore da una sola fonte di calore,  
es. il mare, e lo trasformi integralmente in lavoro

**attenzione**: in una trasformazione **non ciclica** e' possibile che il calore venga  
trasformato integralmente in lavoro, ma in questo caso il sistema ***non torna***  
esattamente alla situazione iniziale quindi la trasformazione di calore  
integralmente in lavoro non e' stato l' **unico** risultato

affinchè gli scambi di calore tra sistema ed ambiente avvengano a temperatura definita si introduce il concetto di “ **serbatoio di calore** ” o “ **sorgente di calore** ” o “ **termostato** “

*si definisce termostato un sistema che possa acquisire o cedere una quantità **illimitata** di calore senza cambiare la propria **temperatura***

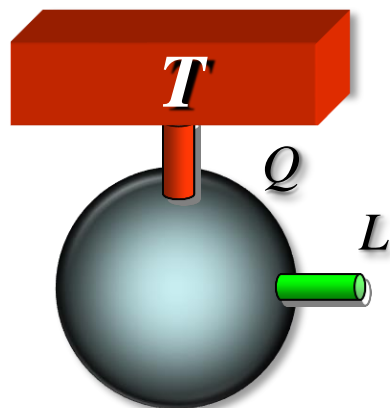
### **Nota Bene:**

nel seguito supporremo sempre che l'ambiente operi come un **termostato** e scambi calore a temperatura fissa

# trasformazioni cicliche con scambi di calore con una *singola* sorgente di calore

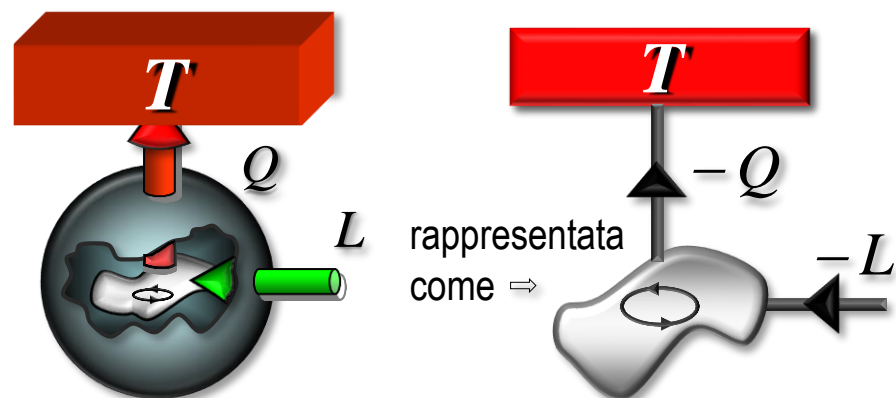
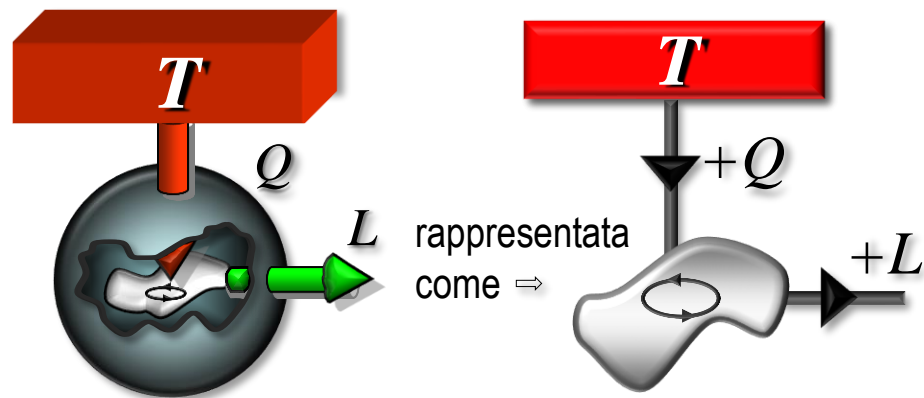
"ideale" di  
macchina  
ciclica

"black box" ⇒



al suo interno vi e' un qualche "marchingegno"  
termodinamico ciclico che si occupa di effettuare  
la conversione di calore in lavoro o viceversa  
ma del quale ignoriamo il funzionamento

vi sono solo due possibilita':



trasformazione ciclica →  $\Delta U = 0 \rightarrow Q = L$

in questo caso →  $+ Q = + L$



trasformazione **vietata** dal secondo  
principio della termodinamica

trasformazione ciclica →  $\Delta U = 0 \rightarrow Q = L$

ma in questo caso →  $- Q = - L$



trasformazione **permessa** dal secondo  
principio della termodinamica

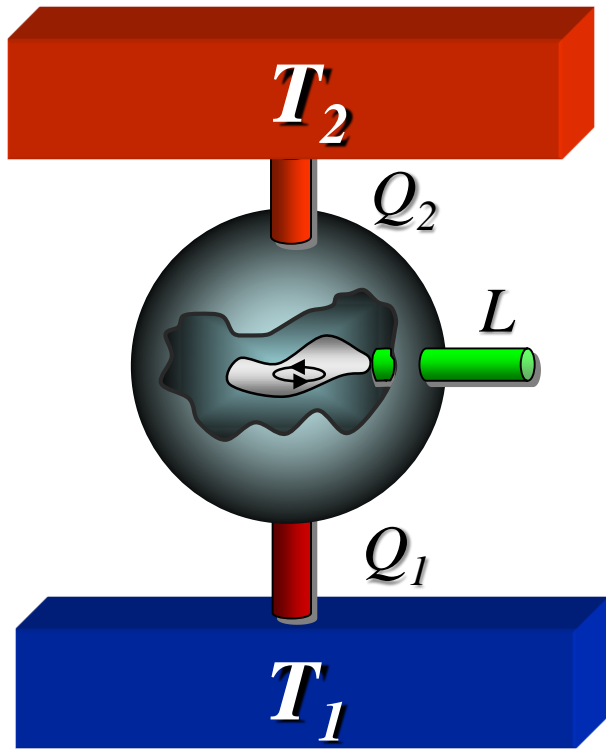


non vi sono altre trasformazioni cicliche con scambi di calore ad una  
singola temperatura

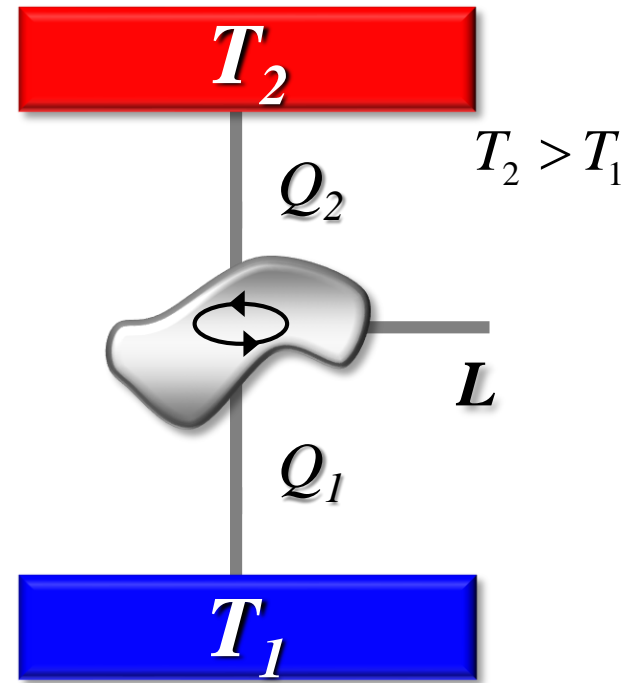
per crescere in complessità consideriamo le trasformazioni

cicliche con scambi di calore tra *due sorgenti* di temperatura

# Trasformazioni cicliche con scambi di calore a due temperature $T_2 > T_1$

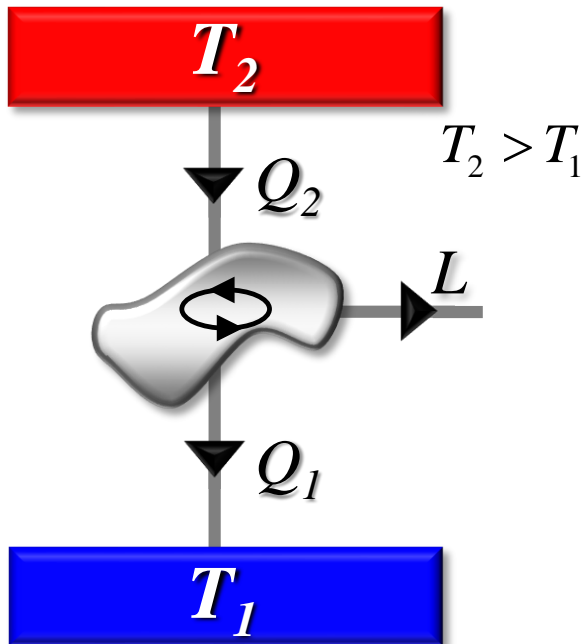


rappresentata  
come  $\Rightarrow$



trasformazioni permesse dal secondo principio

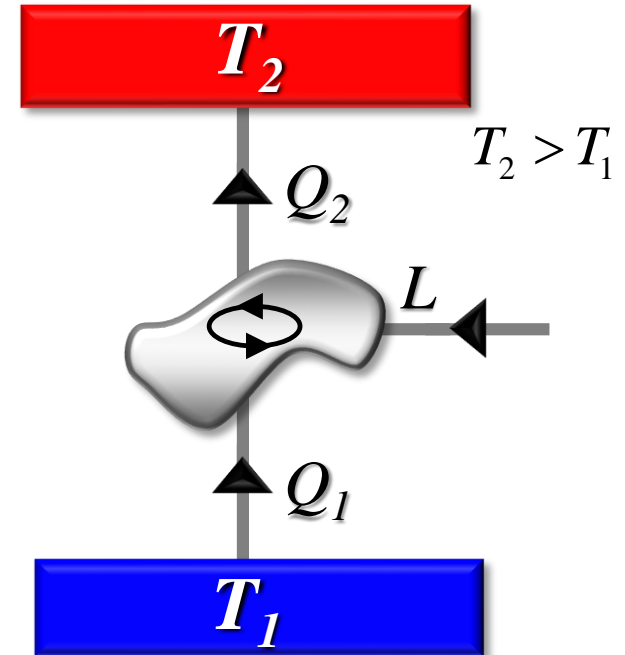
### macchina termica



rendimento :

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

### macchina frigorifera



coefficiente di prestazione :

$$\omega = \frac{Q_1}{|L|}$$

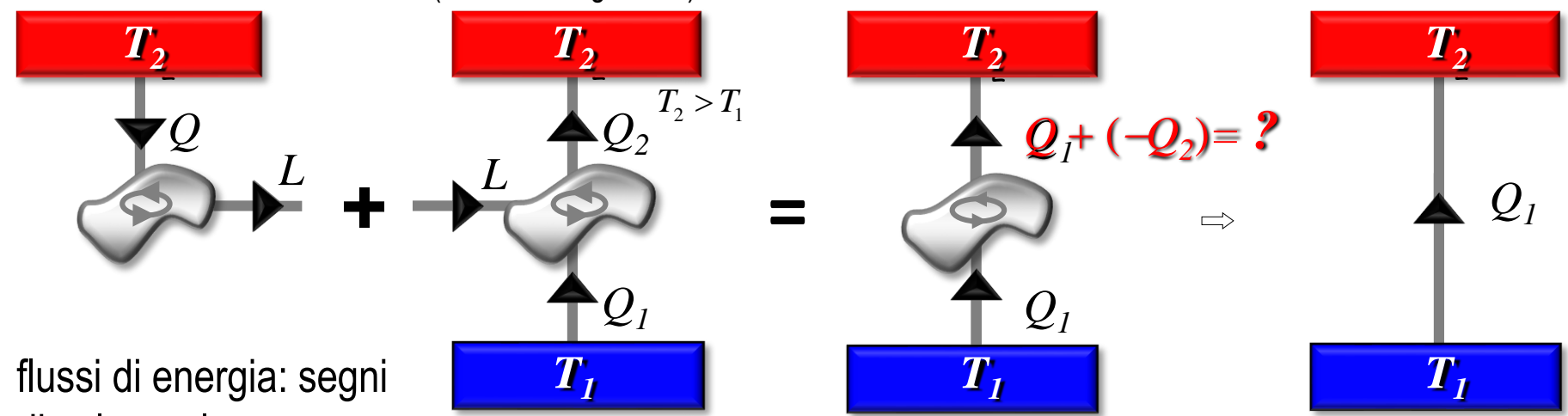
combinando trasformazioni permesse e vietate si ottengono altre

**trasformazioni cicliche vietate** trasformazione ciclica  $\rightarrow \Delta U = 0 \rightarrow Q = L$

trasformazione **vietata**  
dal secondo principio

trasformazione **permessa**  
dal secondo principio  
(macchina frigorifera)

trasformazione **vietata**



flussi di energia: segni di calore e lavoro

$$+Q$$

$$+L$$

$$+Q_1 \quad -Q_2$$

$$-L$$

$$Q_{tot} = Q + Q_1 - Q_2$$

$$L_{tot} = +L - L = 0$$

la trasformazione **vietata**  
e' il passaggio spontaneo  
di calore da una sorgente  
fredda ad una sorgente  
piu' calda

$$\Delta U = 0 \rightarrow Q_{tot} = L_{tot} \rightarrow Q + Q_1 - Q_2 = 0$$

quindi  $Q + (-Q_2) = -Q_1$

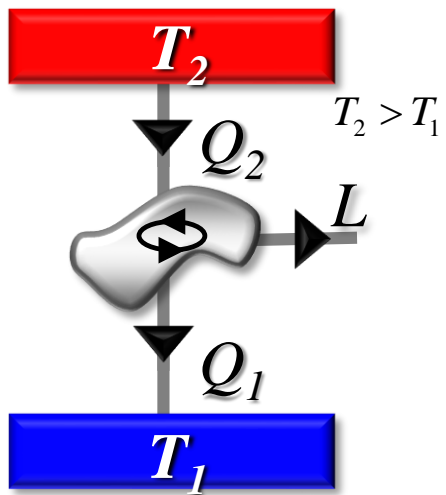
questa trasformazione vietata che avviene tra due temperature ha lo stesso contenuto fisico di quella ad una temperatura dell'enunciato di Kelvin-Planck.  
e costituisce il secondo principio della termodinamica nella forma di **Clausius**:

***in un sistema termodinamico e' impossibile  
realizzare una trasformazione il cui unico risultato  
sia quello di trasferire spontaneamente calore  
da un corpo freddo ad uno piu' caldo***

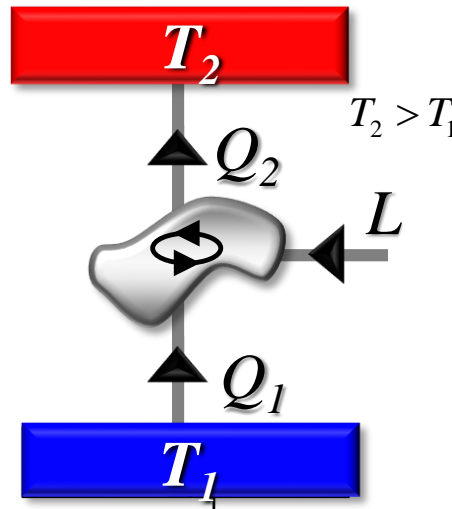
combinando trasformazioni cicliche permesse e vietate si ottengono altre **trasformazioni cicliche vietate**

combinando trasformazioni cicliche permesse si ottengono altre **trasformazioni cicliche permesse**

macchina termica

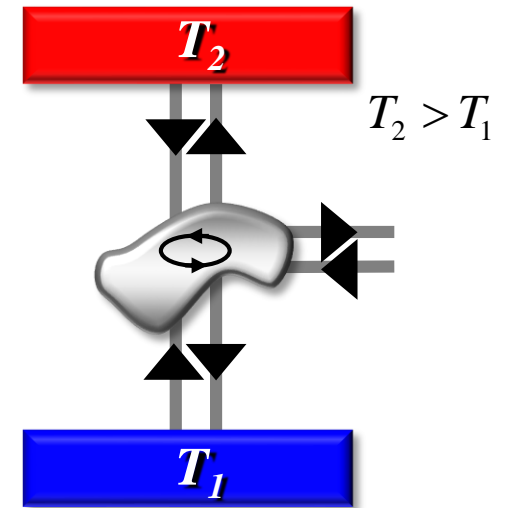


macchina frigorifera



+

=



# Rendimento di un ciclo termico

durante un ciclo di funzionamento siano:

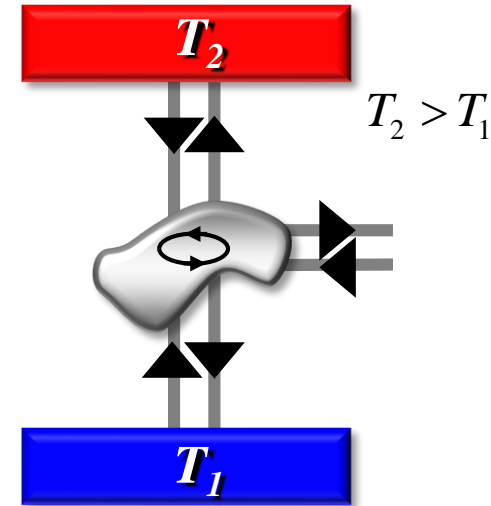
$Q_a$  la somma dei calori *assorbiti* dal sistema ( $Q_a > 0$ )

$Q_c$  la somma dei calori *ceduti* dal sistema ( $Q_c < 0$ )

$L_f$  la somma dei lavori *fatti* dal sistema ( $L_f > 0$ )

$L_s$  la somma dei lavori *subiti* dal sistema ( $L_s < 0$ )

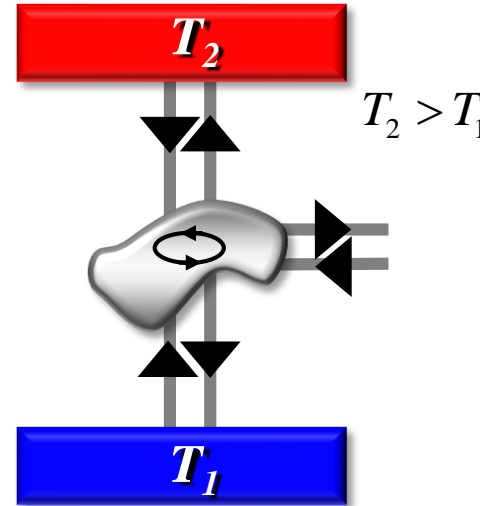
denominiamo  $L_{tot} = L_f + L_s$  e  $Q_{tot} = Q_a + Q_c$



in un **ciclo termico** si definisce

**rendimento** la quantita'  $\eta = \frac{L_{tot}}{Q_a}$

da  $\eta = \frac{L_f + L_s}{Q_a} = \frac{\Delta L}{Q_a}$  si ha che  $\Delta L = \eta Q_a$



**il rendimento e' la percentuale di calore  
assorbito che viene trasformato in lavoro**

il sistema sta effettuando una trasformazione ciclica  $\rightarrow \Delta U = 0$  se ne deduce che  $Q_{tot} = L_{tot}$

quindi  $\eta = \frac{L_f + L_s}{Q_a} = \frac{Q_a + Q_c}{Q_a} = 1 + \frac{Q_c}{Q_a} = 1 - \frac{|Q_c|}{Q_a}$  dato che  $Q_c < 0$



sperimentalmente si osserva che il rendimento e' *sempre* inferiore all'unita'

$$0 \leq \eta < 1$$

il calore assorbito non viene mai integralmente trasformato in lavoro

il primo principio della termodinamica si riferisce alla variazione di energia per mezzo di **scambi** di calore e lavoro e asserisce che si puo' **indifferentemente** scambiare lavoro o calore con l'ambiente circostante per modificare l'*energia interna* di un sistema termodinamico

il secondo principio si riferisce alla *trasformazione* di lavoro in calore ed alla *trasformazione* di calore in lavoro

il secondo principio non nega il primo, ma precisa che calore e lavoro non sono trasformabili indifferentemente *l'uno nell'altro*

# Backup Slides