

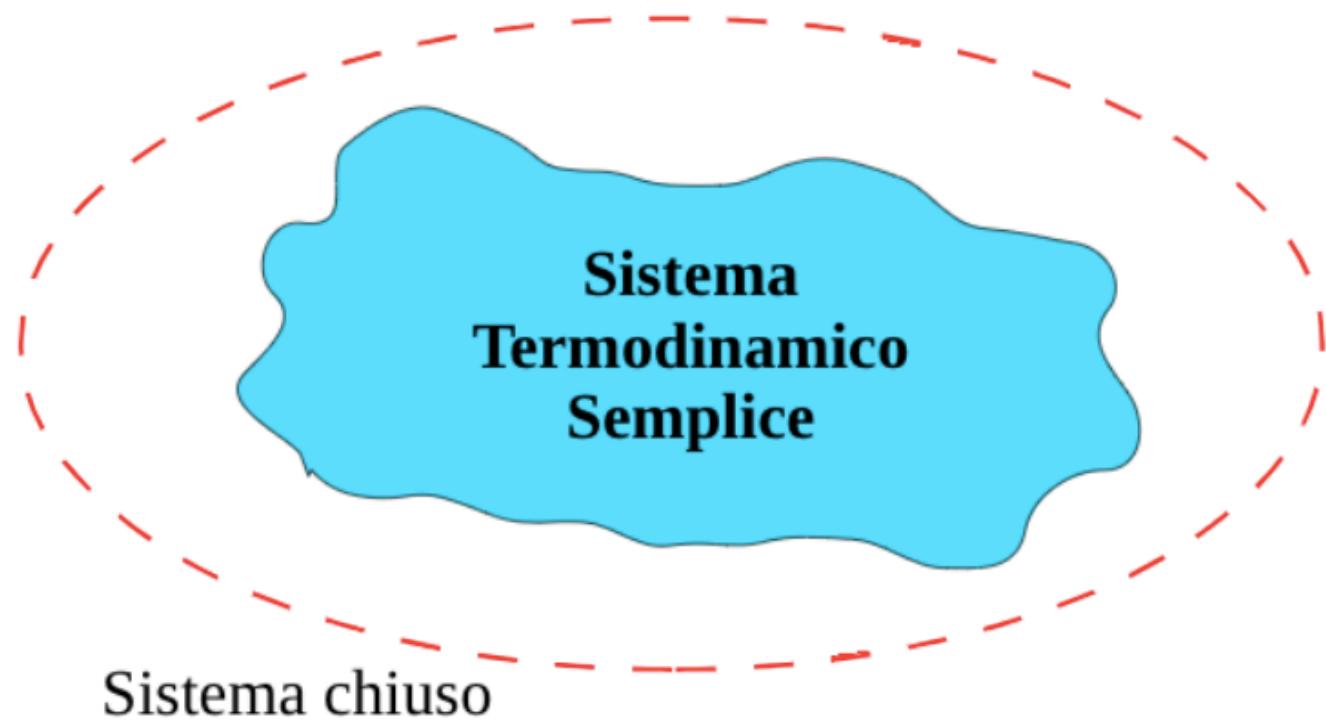


POLITECNICO
MILANO 1863

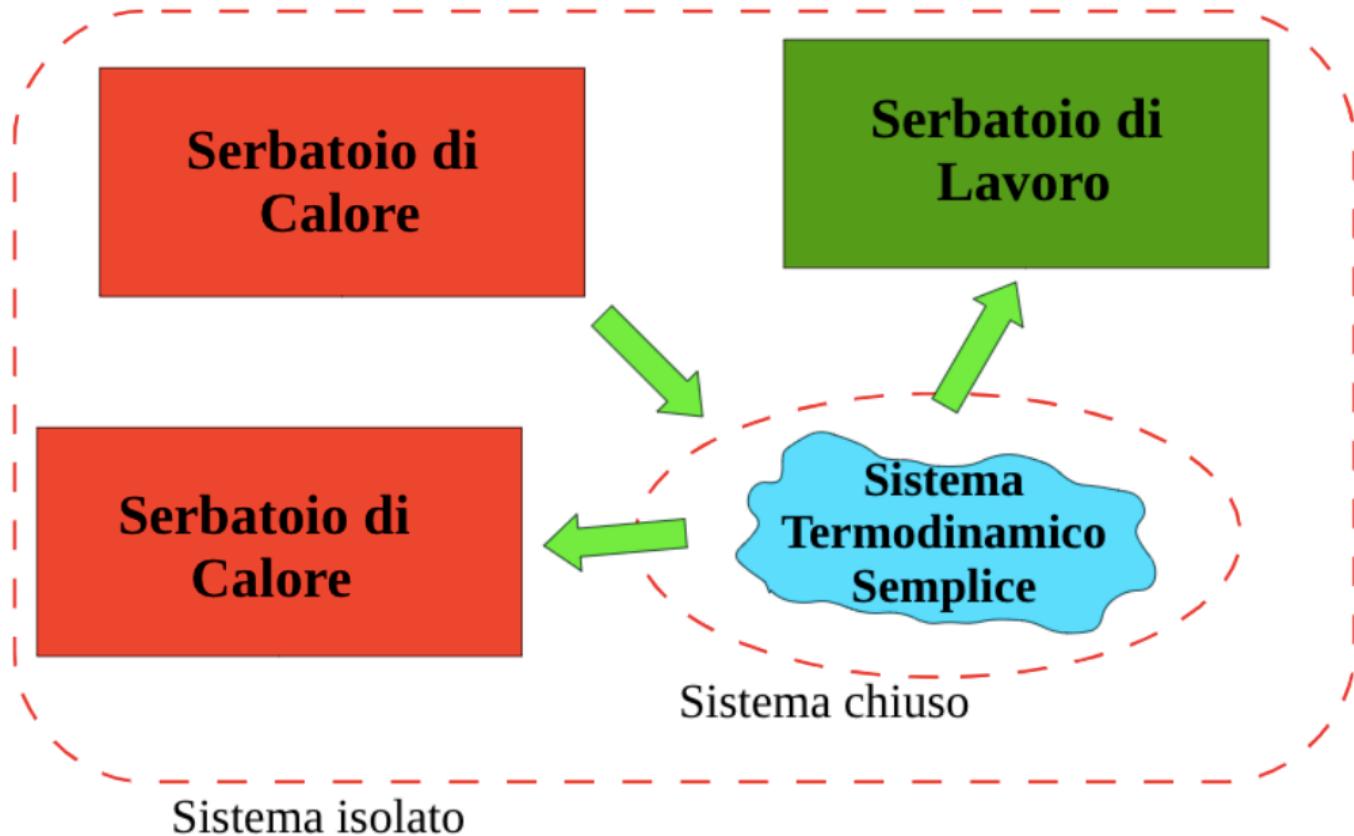
Macchine Termiche

Prof. Ing. Alberto Salioni

Macchina Termodinamica



Macchina Termodinamica



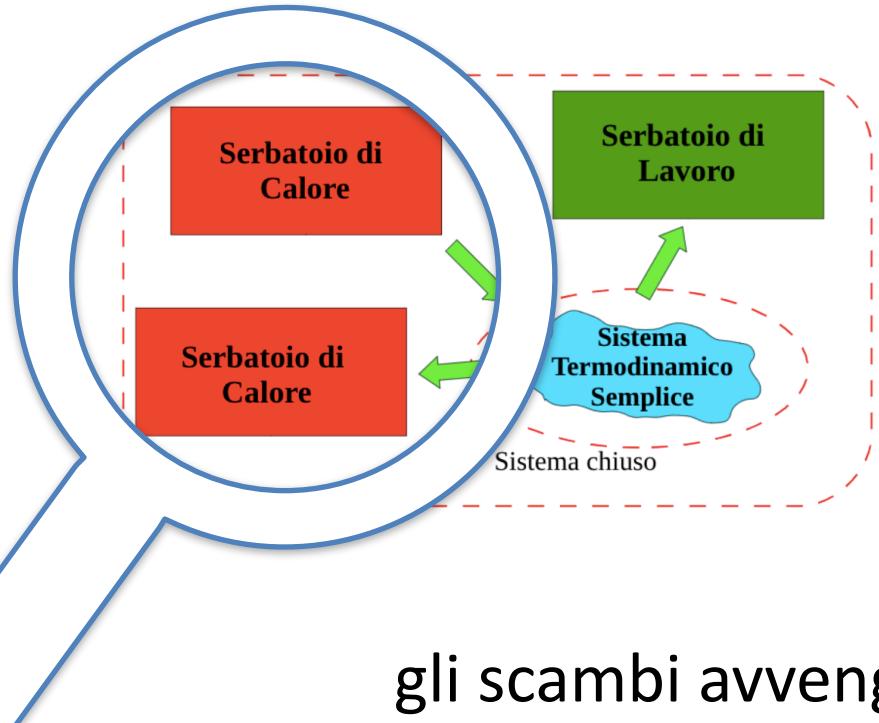
Macchina Termodinamica

La **macchina termodinamica** è un sistema termodinamico composto ed isolato che, nella sua forma più semplice, è realizzato da:

- due serbatoi di calore
- un serbatoio di lavoro
- una macchina ciclica

che è in grado di produrre od assorbire con continuità lavoro interagendo con il serbatoio di lavoro ed i serbatoi di calore

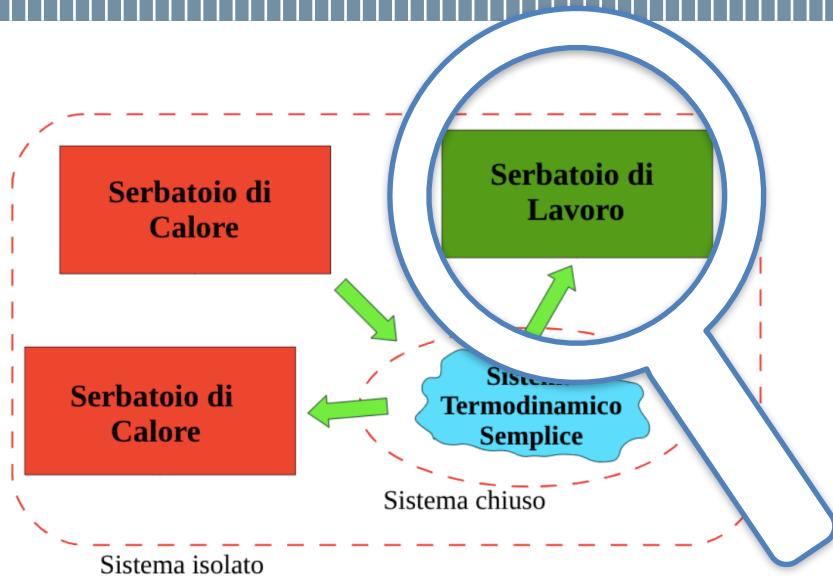
Serbatoio di Calore



**Sistema termodinamico
che scambia con l'esterno
solo calore** senza alterare
il suo stato termodinamico

gli scambi avvengono con trasformazioni
quasi-statiche (internamente reversibili)

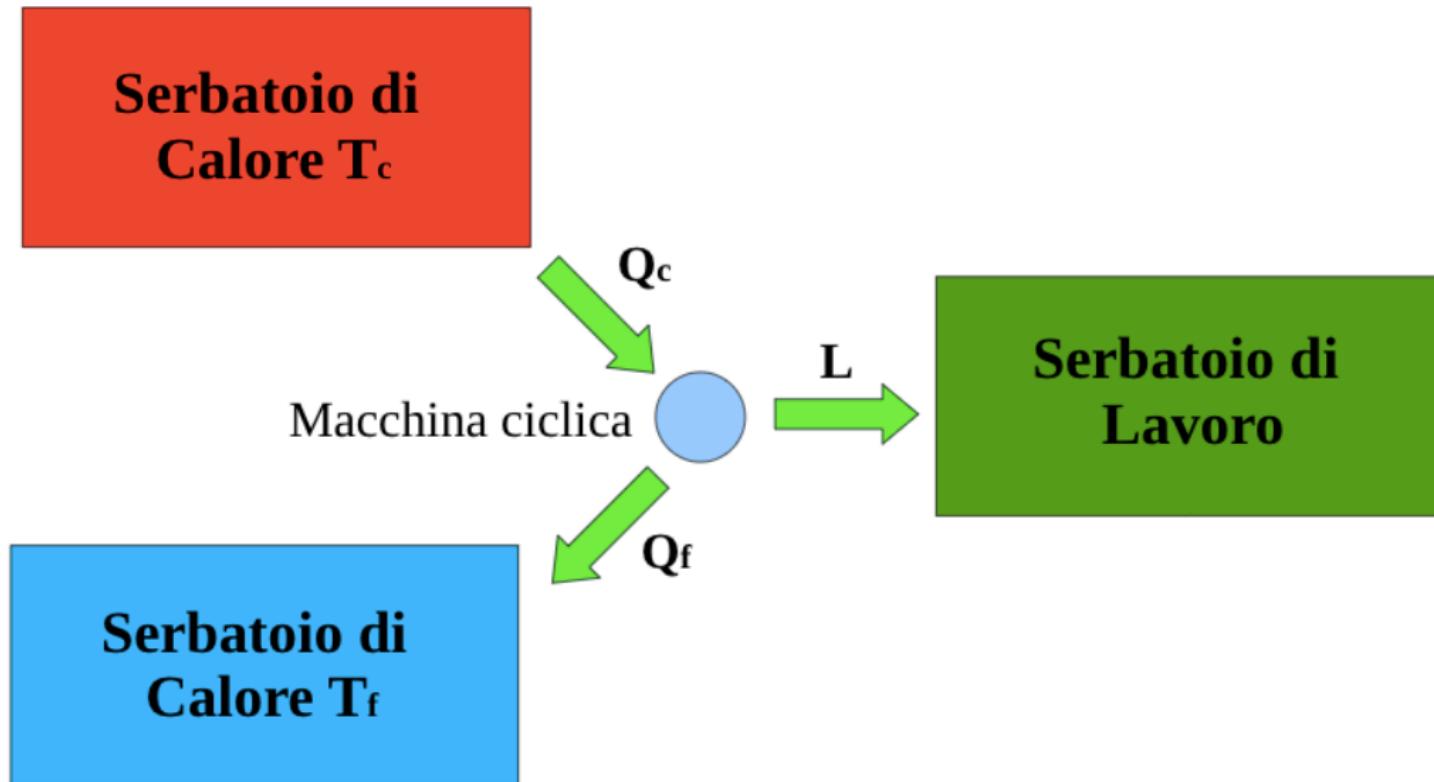
Serbatoio di Lavoro



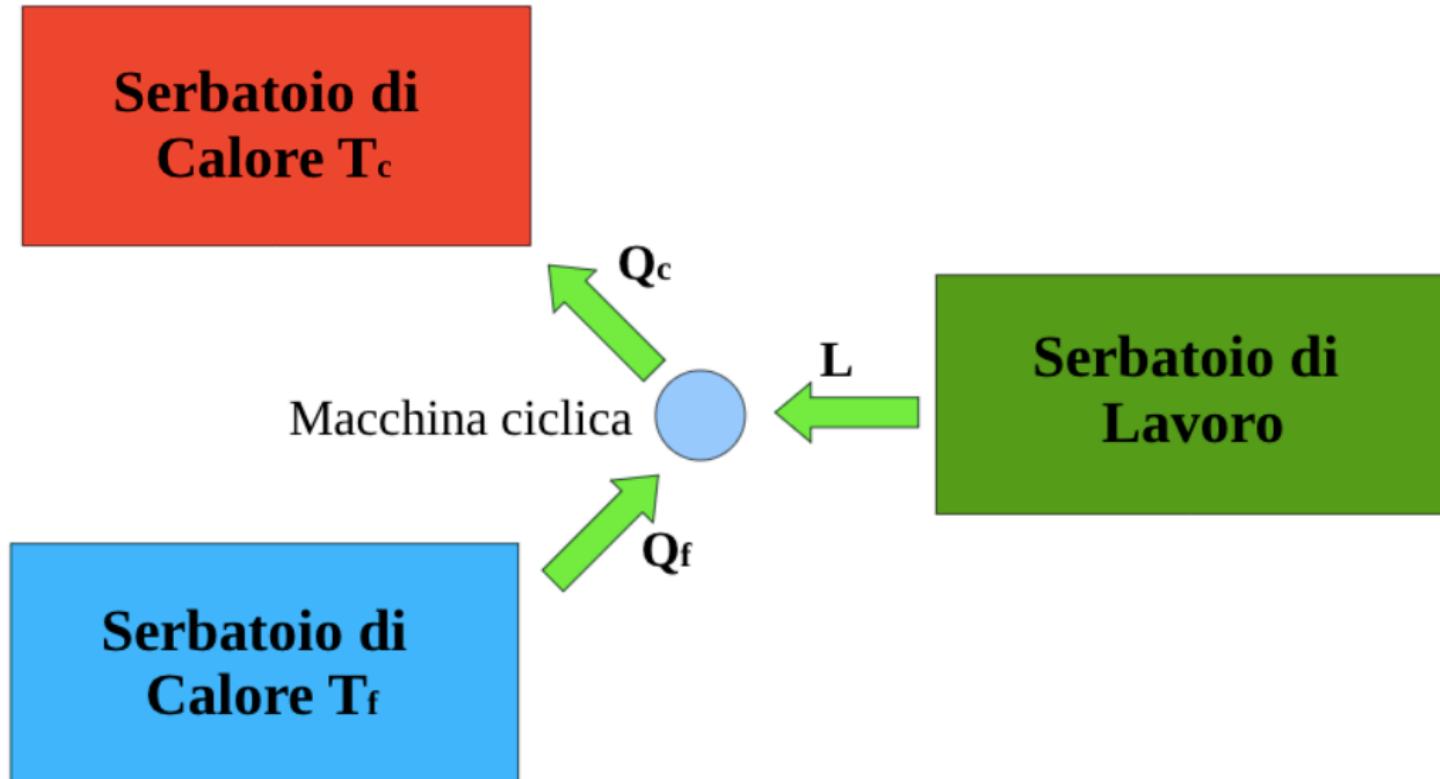
**Sistema termodinamico
che scambia con l'esterno
solo lavoro** senza alterare
il suo stato termodinamico

gli scambi avvengono con trasformazioni
quasi-statiche (internamente reversibili)

Macchina Motrice



Macchina Operatrice



Macchina Motrice

Dalle equazioni di bilancio:

$$\begin{cases} \Delta U_Z = 0 \\ \Delta S_Z = S_{irr} \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta U_C + \Delta U_M + \Delta U_{sl} + \Delta U_F = 0 \\ \Delta S_C + \Delta S_M + \Delta S_{sl} + \Delta S_F = S_{irr} \end{cases}$$

Ma essendo...

$$\begin{cases} \Delta U_C = Q_C^\leftarrow \\ \Delta S_C = \frac{Q_C^\leftarrow}{T_C} \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta U_M = 0 \\ \Delta S_M = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta U_{sl} = -L_{sl}^\rightarrow \\ \Delta S_{sl} = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta U_F = Q_F^\leftarrow \\ \Delta S_F = \frac{Q_F^\leftarrow}{T_F} \end{cases}$$

Macchina Motrice

...ne deriva...

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_C^\leftarrow + Q_F^\leftarrow - L_{sl}^\rightarrow = 0 \\ \frac{Q_C^\leftarrow}{T_C} + \frac{Q_F^\leftarrow}{T_F} = S_{irr} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} -Q_C + Q_F + L_{sl} = 0 \\ -\frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} = S_{irr} \end{array} \right.$$

Macchina Motrice

$$\begin{cases} Q_F = Q_C - L \\ L = Q_C \left(1 - \frac{T_F}{T_C}\right) - T_F S_{irr} \end{cases}$$

Essendo $T_C > T_F$ e $L > 0$ il lavoro è massimo quando il processo è reversibile

Rendimento $\eta = \frac{L}{Q_C}$ Rapporto tra il risultato energetico che la macchina fornisce e la spesa energetica per raggiungere l'obiettivo.

$$\eta = \frac{L}{Q_C} = 1 - \frac{T_F}{T_C} - \frac{T_F}{Q_C} S_{irr} \quad \eta_{rev} = 1 - \frac{T_F}{T_C}$$

(espressione del rendimento termodinamico di una macchina motrice che opera reversibilmente con serbatoi di calore a temperatura costante)

Macchina Operatrice

Dalle equazioni di bilancio:

$$\begin{cases} \Delta U_Z = 0 \\ \Delta S_Z = S_{irr} \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta U_C + \Delta U_M + \Delta U_{sl} + \Delta U_F = 0 \\ \Delta S_C + \Delta S_M + \Delta S_{sl} + \Delta S_F = S_{irr} \end{cases}$$

Ma essendo...

$$\begin{cases} \Delta U_C = Q_C^\leftarrow \\ \Delta S_C = \frac{Q_C^\leftarrow}{T_C} \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta U_M = 0 \\ \Delta S_M = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta U_{sl} = -L_{sl}^\rightarrow \\ \Delta S_{sl} = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta U_F = Q_F^\leftarrow \\ \Delta S_F = \frac{Q_F^\leftarrow}{T_F} \end{cases}$$

Macchina Operatrice

...ne deriva...

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_C^\leftarrow + Q_F^\leftarrow - L_{sl}^\rightarrow = 0 \\ \frac{Q_C^\leftarrow}{T_C} + \frac{Q_F^\leftarrow}{T_F} = S_{irr} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} Q_C - Q_F - L_{sl} = 0 \\ \frac{Q_C}{T_C} - \frac{Q_F}{T_F} = S_{irr} \end{array} \right.$$

Macchina Operatrice

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_F = Q_C - L \\ L = Q_C \left(1 - \frac{T_F}{T_C}\right) + T_F S_{irr} \\ L = Q_F \left(1 - \frac{T_F}{T_C}\right) + T_C S_{irr} \end{array} \right.$$

Essendo $T_C > T_F$ e $L > 0$ il lavoro è minimo quando il processo è reversibile

Efficienza (C.O.P.)

$$\varepsilon_f = \frac{Q_F}{L} \qquad \qquad \varepsilon_p = \frac{Q_C}{L}$$

(espressione dell'efficienza termodinamica di una macchina operatrice che opera reversibilmente con serbatoi di calore a temperatura costante)

Macchina Operatrice

$$\varepsilon_f = \frac{Q_F}{L} = \frac{T_F}{T_C - T_F + \frac{T_C T_F S_{irr}}{Q_F}}$$

$$\varepsilon_{pdc} = \frac{Q_C}{L} = \frac{T_C}{T_C - T_F + \frac{T_C T_F S_{irr}}{Q_C}}$$

$$\varepsilon_{f,rev} = \frac{T_F}{T_C - T_F}$$

$$\varepsilon_{pdc,rev} = \frac{T_C}{T_C - T_F}$$

(espressioni dell'efficienza termodinamica di una macchina frigorifera e di una pompa di calore che operano reversibilmente con serbatoi di calore a temperatura costante)

$$\varepsilon_{pdc} = \frac{Q_C}{L} = \frac{Q_F + L}{L} = \varepsilon_f + 1$$

Macchina Motrice

Macchina Motrice con serbatoio caldo a massa finita
 contenente liquido ideale.

Dalle equazioni di bilancio:

$$\begin{cases} \Delta U_Z = 0 \\ \Delta S_Z = S_{irr} \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta U_C + \Delta U_M + \Delta U_{sl} + \Delta U_F = 0 \\ \Delta S_C + \Delta S_M + \Delta S_{sl} + \Delta S_F = S_{irr} \end{cases}$$

$$T_1 > T_2$$

$$\begin{cases} \Delta U_C = m c (T_2 - T_1) \\ \Delta S_C = m c \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta U_M = 0 \\ \Delta S_M = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta U_{sl} = - L_{sl}^{\rightarrow} \\ \Delta S_{sl} = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta U_F = Q_F^{\leftarrow} \\ \Delta S_F = \frac{Q_F^{\leftarrow}}{T_F} \end{cases}$$

Macchina Motrice

...ne deriva...

$$\begin{cases} m c (T_2 - T_1) + Q_F^\leftarrow - L_{sl}^\rightarrow = 0 \\ m c \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + \frac{Q_F^\leftarrow}{T_F} = S_{irr} \end{cases}$$

$$\begin{cases} m c (T_2 - T_1) + Q_F + L_{sl} = 0 \\ m c \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + \frac{Q_F}{T_F} = S_{irr} \end{cases}$$

Macchina Motrice

$$S_{irr} = 0$$

$$Q_C^\leftarrow = m c (T_2 - T_1) \quad \text{Negativo uscente}$$

$$Q_C = m c (T_1 - T_2) \quad \text{Valore assoluto}$$

$$Q_F^\leftarrow = -m c T_F \ln \frac{T_2}{T_1} = m c T_F \ln \frac{T_1}{T_2} \quad \text{Positivo}$$

$$Q_F = m c T_F \ln \frac{T_1}{T_2} \quad \text{Valore assoluto}$$

$$L^\rightarrow = Q_C^\leftarrow + Q_F^\leftarrow = m c (T_2 - T_1) + m c T_F \ln \frac{T_1}{T_2} \quad \text{Negativo entrante}$$

$$L = Q_C - Q_F = m c (T_1 - T_2) - m c T_F \ln \frac{T_1}{T_2} \quad \text{Valore assoluto}$$

Macchina Motrice

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_C = m c (T_1 - T_2) \\ Q_F = m c T_F \ln \frac{T_1}{T_2} \\ L = m c (T_1 - T_2) - m c T_F \ln \frac{T_1}{T_2} \end{array} \right.$$

Rendimento $\eta = \frac{L}{Q_C}$ Rapporto tra il risultato energetico che la macchina fornisce e la spesa energetica per raggiungere l'obiettivo.

$$\eta_{rev} = \frac{L}{Q_C} = \frac{(T_1 - T_2) - T_F \ln \frac{T_1}{T_2}}{(T_1 - T_2)}$$

(espressione del rendimento termodinamico di una macchina motrice che opera reversibilmente con il serbatoio superiore a massa finita)

Note per lo studente

Note per lo studente

Note per lo studente

Note per lo studente