

Macchine termiche

- Il primo principio della termodinamica stabilisce l'equivalenza tra calore e lavoro
- Almeno in linea di principio consente di trasformare l'energia interna di un serbatoio di calore in lavoro
- Senza il primo principio della termodinamica, l'unica possibilità di produrre movimento di un oggetto (e quindi lavoro) è partire da un qualcosa già in moto (vento, caduta dell'acqua, forza muscolare, ecc.)
- L'applicazione del primo principio della termodinamica consente di produrre lavoro assorbendo calore (ad esempio bruciando un combustibile come carbone, petrolio, uranio)
- Non vi è un limite alla quantità di calore trasformabile in lavoro potendosi (in linea teorica) realizzare il moto perpetuo di seconda specie (macchina termica che sfrutta un solo serbatoio di calore)

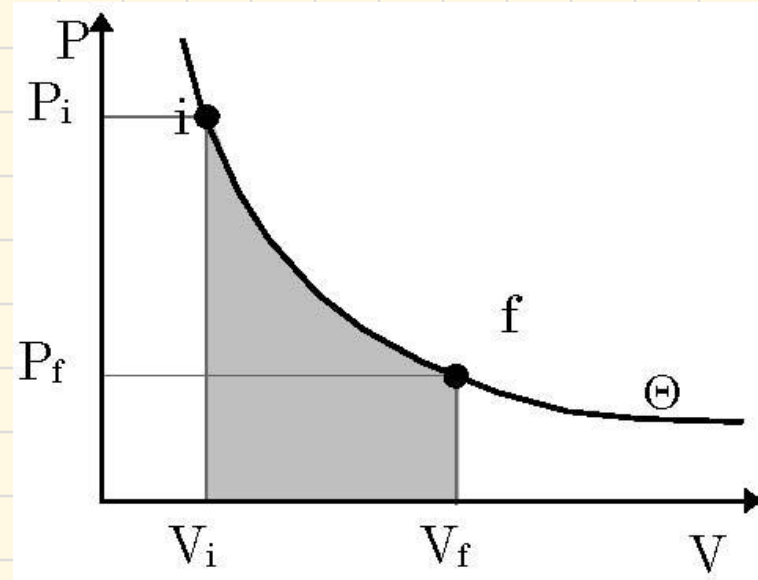
Macchine termiche

- In linea teorica si potrebbe estrarre calore da un serbatoio pressoché inesauribile (oceano) e trasformarlo in lavoro. Si verifica, però, che non è possibile trasformare interamente in lavoro una certa quantità di calore estratta da una sorgente a temperatura costante.
- Per trasformare calore in lavoro è necessario fare ricorso alle macchine termiche.

Macchine termiche

- Ad esempio si potrebbe utilizzare l'espansione isoterma di un gas perfetto per produrre lavoro.
- La variazione di energia interna di una tale trasformazione è nulla per cui il calore assorbito dall'esterno è uguale al lavoro compiuto all'esterno.
- Però durante l'espansione, la pressione del gas si riduce fino a quando raggiunge la pressione atmosferica: la trasformazione cessa e così la produzione di lavoro.
- Quindi solo con questa trasformazione non siamo in grado di produrre lavoro in modo continuo. Per poterlo fare dovremmo riportare il gas alle condizioni iniziali e ripetere la trasformazione.
- Se lo facessimo sulla trasformazione isoterma, dovremmo compiere un lavoro esattamente pari a quello generato durante la prima parte del ciclo per cui il lavoro totale sarebbe nullo

Macchine termiche



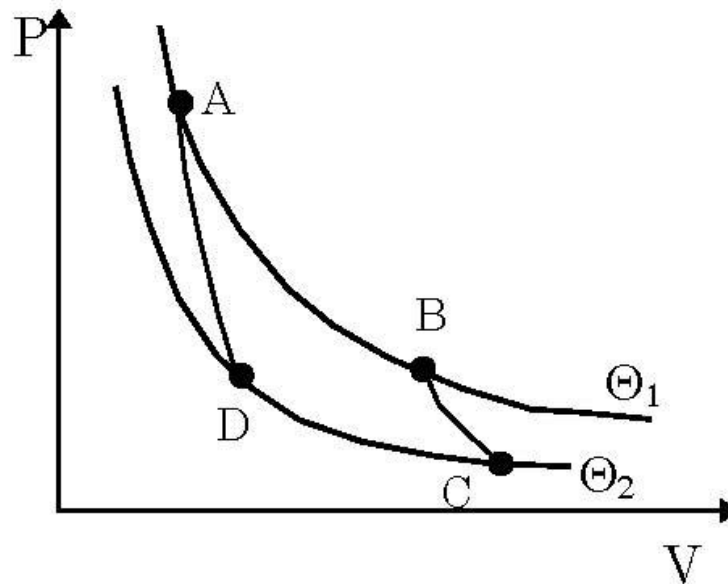
- Per ottenere un lavoro netto positivo, dovremmo far avvenire la compressione del gas ad una temperatura inferiore rispetto alla temperatura di espansione
- In questo modo l'area racchiusa dal ciclo sarebbe diversa da zero (e positiva) e rappresenterebbe il lavoro eseguito

Macchine termiche

- Le macchine termiche hanno in compito di trasformare con continuità il calore in lavoro.
- Per poter produrre lavoro sull'esterno, le macchine termiche devono operare almeno con due serbatoi di calore a due diverse temperature.

Ciclo di Carnot

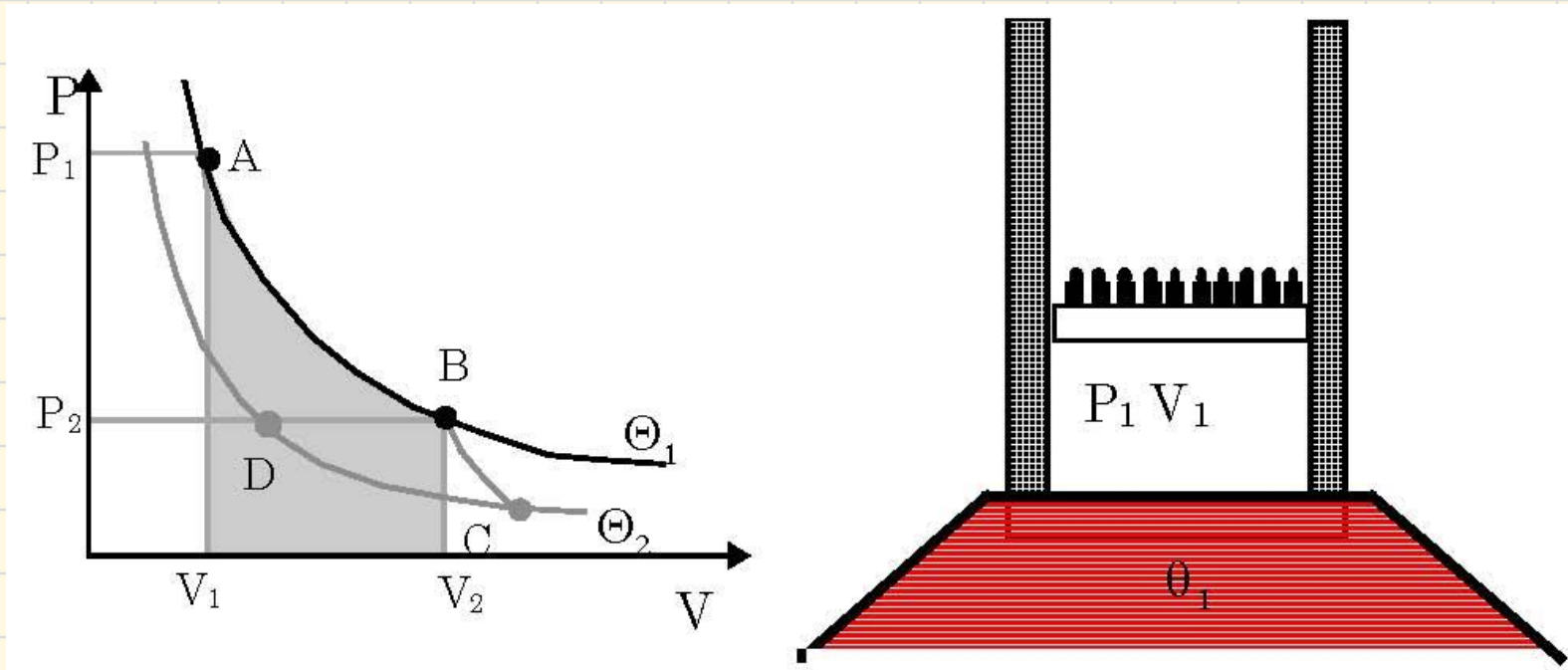
- Il ciclo di Carnot è il più semplice ciclo che operi tra due serbatoi di calore a temperature diverse.
- È realizzato con quattro trasformazioni reversibili: due isoterme e due adiabatiche.
- Vale anche l'inverso: un ciclo che deve operare tra due soli serbatoi di calore a temperature diverse e deve essere reversibile è necessariamente un ciclo di Carnot.



Ciclo di Carnot

- Supponiamo che la sostanza che descrive il ciclo di Carnot sia un gas perfetto.
- Indichiamo con A il punto rappresentativo (nel piano PV) dello stato iniziale (arbitrario) del gas (V_1 e P_1)
- Poniamo il cilindro a contatto termico con un serbatoio di calore a temperatura T_1 e facciamo espandere isotermicamente il gas fino a che non raggiunga il valore di pressione P_2 e volume V_2 rappresentati dal punto B nel piano PV. La scelta di tale punto è arbitraria ma determina la successiva evoluzione del ciclo e la quantità di lavoro prodotto.
- Durante questa fase il sistema assorbe dal serbatoio di calore alla temperatura T_1 una quantità di calore Q_1 (>0) e compie sull'esterno un lavoro W_1 pari all'area racchiusa al di sotto dell'isoterma tra le ascisse V_1 e V_2

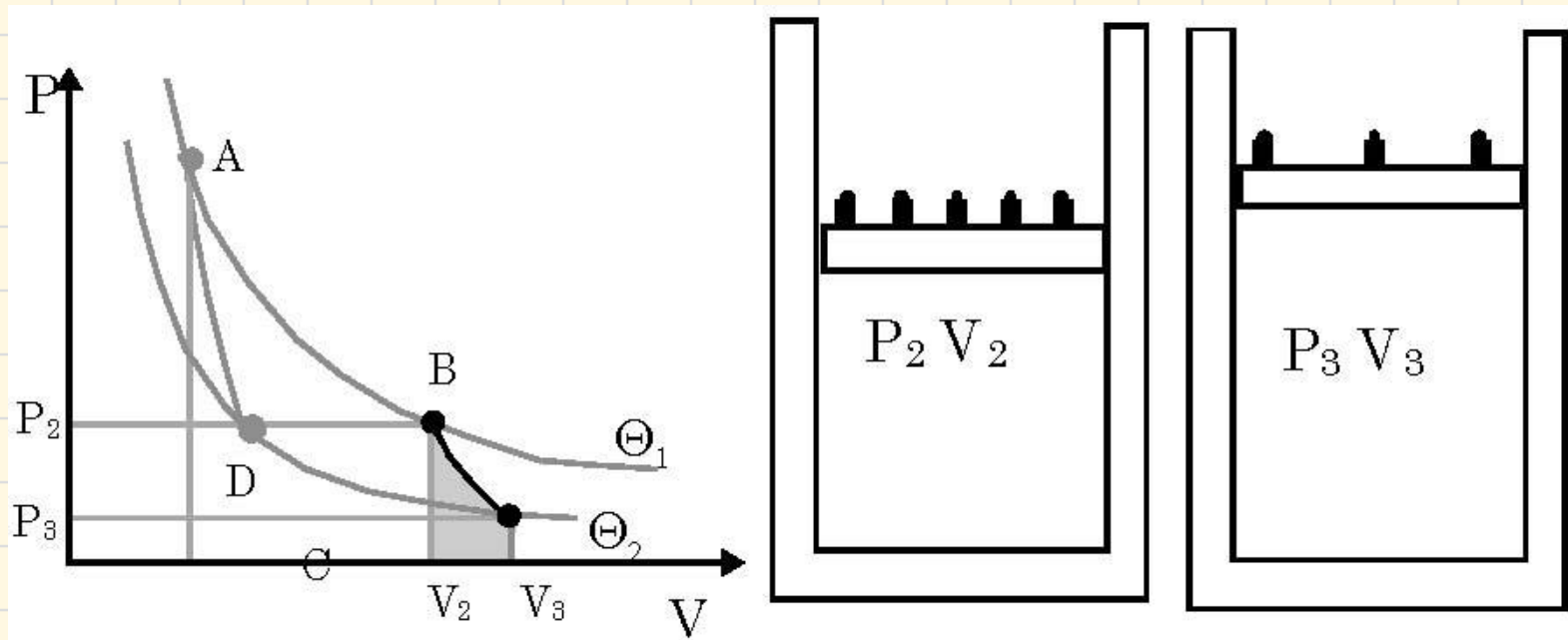
Ciclo di Carnot - 2



Ciclo di Carnot

- A questo punto isoliamo termicamente il cilindro e facciamo espandere adiabaticamente il gas fino a fargli raggiungere la temperatura $T_2 < T_1$. A queste condizioni corrisponderà un valore P_3 della pressione e V_3 del volume (rappresentati dal punto C)
- Durante questa espansione adiabatica, il sistema compie lavoro sull'esterno pari all'area al di sotto dell'adiabatica e compresa tra le ascisse V_2 e V_3

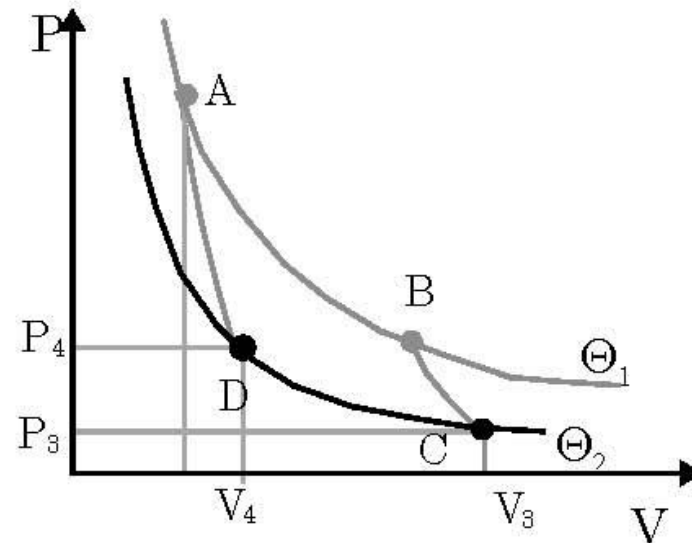
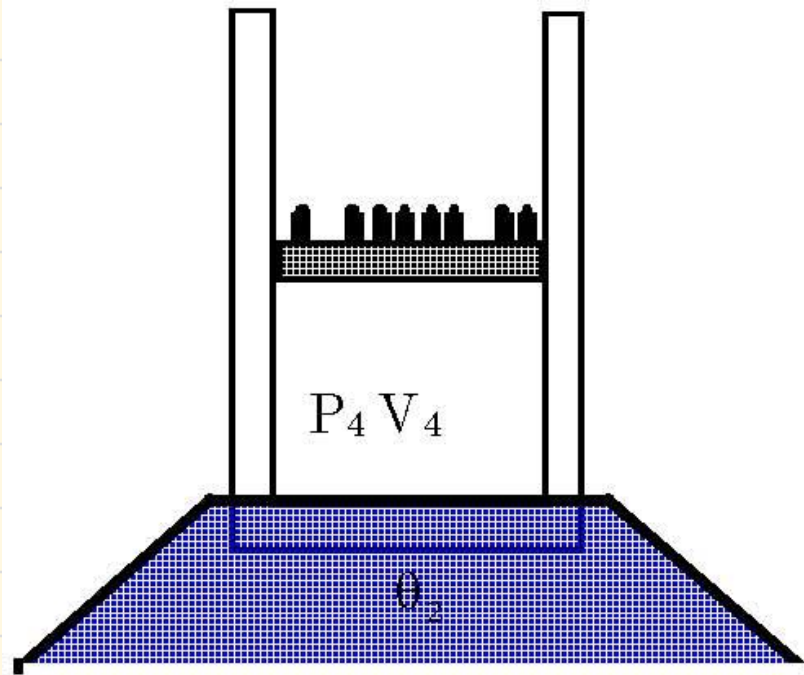
Ciclo di Carnot



Ciclo di Carnot

- A partire dalle condizioni raggiunte a seguito dell'espansione adiabatica, il sistema viene messo a contatto con un serbatoio a temperatura T_2 ($<T_1$) e compresso isotermicamente fino a raggiungere il punto D avente coordinate P_4 e V_4 e giacente sull'adiabatica passante per il punto iniziale A.
- Durante questa fase il sistema cede al serbatoio un quantità di calore Q_2 (<0) e, contemporaneamente, dall'esterno viene fornito al sistema un lavoro pari a Q_2

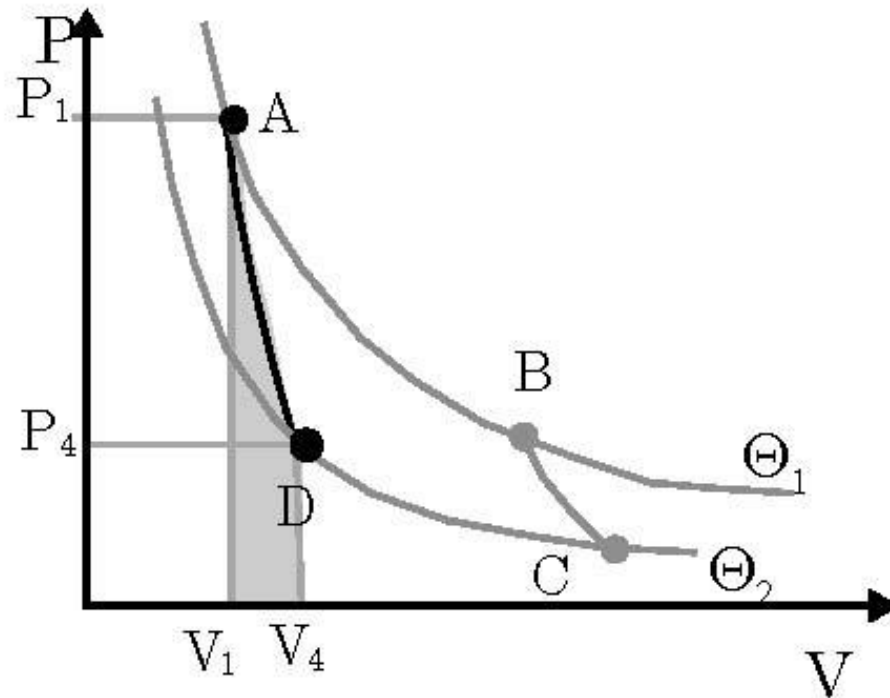
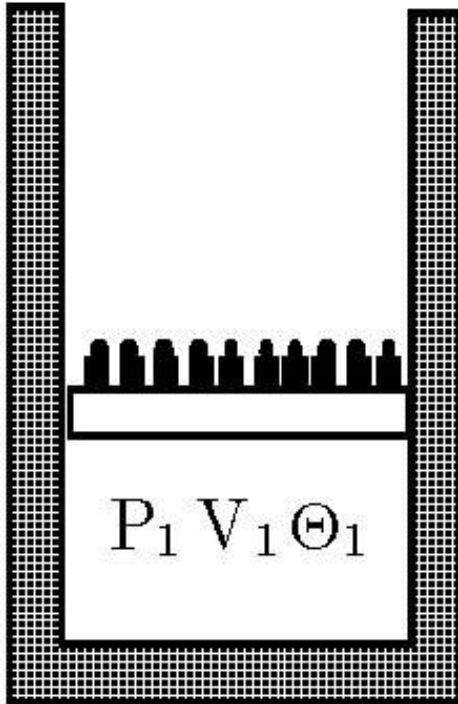
Ciclo di Carnot



Ciclo di Carnot

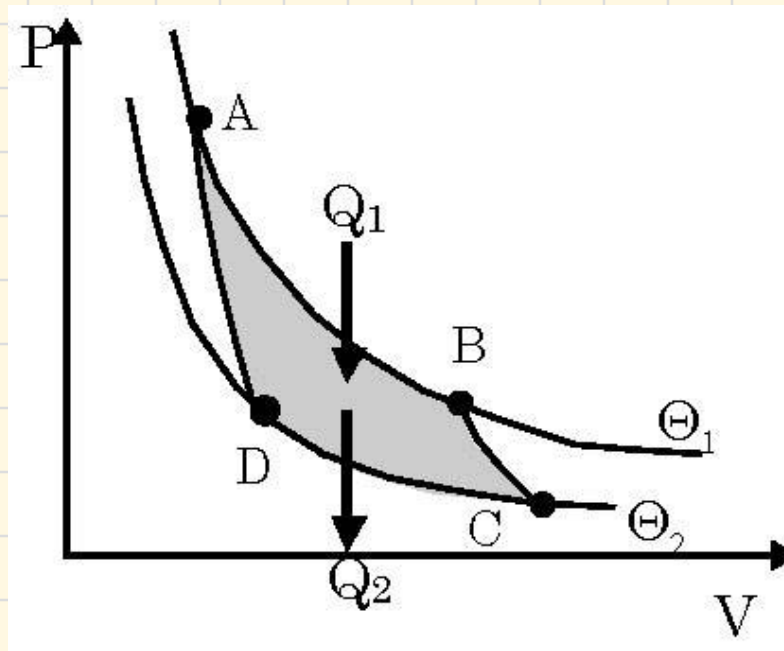
- Dopo la compressione isoterma, il cilindro viene isolato termicamente ed il gas viene compresso (adiabaticamente) fino a riportarlo nelle condizioni iniziali pronto per ricominciare il ciclo.
- Durante questa fase viene eseguito del lavoro sul sistema

Ciclo di Carnot



Ciclo di Carnot

- Il ciclo di Carnot, complessivamente, è:



- Applicando il primo principio della termodinamica a questo ciclo si ha:

$$\Delta U = Q_{\text{tot}} - W = 0 \Rightarrow Q_1 + Q_2 = W \Rightarrow Q_1 - |Q_2| = W$$

Macchina di Carnot

- Una macchina termica che esegua un ciclo di Carnot viene detta macchina di Carnot
- Una macchina termica che lavori su un ciclo reversibile scambiando calore solo con due sorgenti di temperatura diversa è una macchina di Carnot

Macchina di Carnot

- In generale, il rendimento di una macchina termica è definito come il rapporto tra il lavoro eseguito durante il ciclo ed il calore assorbito.
- In particolare per la macchina di Carnot, in base al ciclo di funzionamento risulta:

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

- Il rendimento è sempre minore di uno, perché Q_2 non può essere mai nullo. Q_2 rappresenta la parte di calore assorbito durante il ciclo che non può essere trasformata in lavoro

Macchina di Carnot

- Il ciclo di Carnot può partire da un punto qualsiasi del piano PV e, quindi, il punto iniziale di funzionamento di una macchina di Carnot può iniziare in corrispondenza di qualsiasi stato termodinamico
- Il ciclo di Carnot è reversibile e può quindi essere percorso al contrario quindi una macchina di Carnot può funzionare al contrario e, in questo caso, prende il nome di macchina frigorifera

Macchina frigorifera

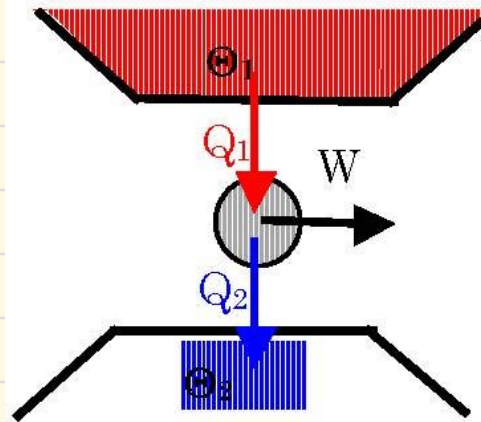
- In un ciclo frigorifero una quantità di calore Q_2 (>0) è assorbita dalla sorgente a temperatura più bassa e una quantità di calore Q_1 (<0) è ceduta al serbatoio a temperatura più alta mentre viene eseguito una certa quantità di lavoro dall'esterno sul sistema.
- Si definisce coefficiente di prestazione di un frigorifero il rapporto:

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{|Q_1 - Q_2|}$$

- Tale coefficiente di prestazione è tanto più grande quanto maggiore è il calore sottratto alla sorgente a temperatura più bassa a parità di lavoro eseguito sul sistema; ε può essere, a seconda dei casi, maggiore, uguale o minore rispetto all'unità

II Principio della termodinamica

- La termodinamica si occupa del funzionamento delle macchine termiche che sono dispositivi che, lavorando su un ciclo, sono in grado di convertire calore in lavoro meccanico con continuità
- Le macchine termiche hanno le seguenti caratteristiche
 - si realizza una trasformazione o una serie di trasformazioni in cui viene assorbito calore da un serbatoio esterno a temperatura elevata (T_1)
 - si realizza una trasformazione o una serie di trasformazioni in cui viene ceduto calore ad un serbatoio a temperatura bassa (T_2)
 - come risultato complessivo si ha una produzione di lavoro verso l'esterno



II Principio della termodinamica

- Enunciato di Kelvin-Planck: "È impossibile realizzare un processo il cui unico risultato sia quello di assorbire calore da un serbatoio e di convertirlo completamente in lavoro."
- Il secondo principio della termodinamica nell'enunciazione di Kelvin-Planck implica che il rendimento di una macchina termica deve essere sempre minore di 1
- Enunciato di Clausius: "Non è possibile realizzare un processo il cui unico risultato sia quello di far passare del calore da un corpo più freddo ad uno più caldo"
- Il secondo principio della termodinamica nell'enunciazione di Clausius implica che per far funzionare una macchina frigorifera dobbiamo necessariamente compiere un lavoro.
- Si dimostra che i due enunciati sono equivalenti

Conseguenze II Princ. termodinamica

- Il secondo principio della termodinamica contempla in se il fatto che molti fenomeni naturali avvengono in un verso definito e che sono intrinsecamente irreversibili: non è possibile realizzare una combinazione di fenomeni naturali che ripristini lo stato iniziale.
- In ogni trasformazione naturale c'è la trasformazione di qualche forma di energia in energia interna, con conseguente aumento di temperatura.
- Queste trasformazioni risultano irreversibili perché bisognerebbe trasformare una quantità di calore pari alla differenza tra l'energia interna finale e iniziale ($U_f - U_i$) in lavoro, in contrasto con il secondo principio della termodinamica che afferma che la trasformazione di calore in lavoro non può essere completa.
- Le limitazioni espresse dal secondo principio della termodinamica fissano il verso delle trasformazioni spontanee di un sistema che non sia in equilibrio

Teorema di Carnot

- Nessuna macchina irreversibile che lavori tra due termostati può avere un rendimento superiore a quello di una macchina di Carnot che lavori tra gli stessi due termostati, mentre tutte le macchine reversibili (ovvero tutte le macchine di Carnot) che lavorano tra gli stessi termostati hanno lo stesso rendimento.
- Il rendimento di una macchina di Carnot dipende esclusivamente dalle temperature dei due termostati tra cui la macchina lavora.
- Questa proprietà viene usata per definire la temperatura termodinamica

Scala termodinamica temperature

- Il rendimento di una macchina di Carnot dipende esclusivamente dalle temperature dei due termostati tra cui la macchina lavora.
- Questa proprietà viene usata per definire la temperatura termodinamica misurabile attraverso una macchina di Carnot
- Nella scala termodinamica delle temperature lo zero assoluto è definito come la temperatura al quale avviene una trasformazione isoterma reversibile senza scambio di calore (e, quindi, anche adiabatica)