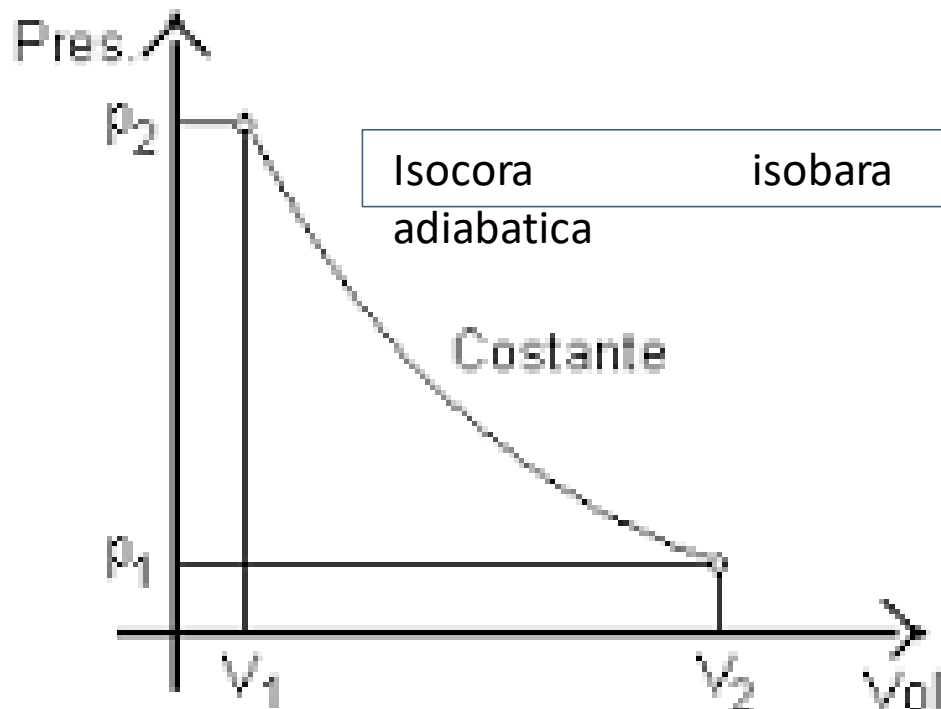


In fisica, si definisce **ciclo termodinamico** una successione finita di trasformazioni termodinamiche (ad esempio isoterme, isocore, isobare o adiabatiche) al termine delle quali il sistema torna al suo stato iniziale.

In termodinamica una **trasformazione isoterma** è una trasformazione termodinamica a temperatura costante, ossia una variazione dello stato di un sistema fisico durante la quale la temperatura del sistema non varia nel tempo; ed è una **trasformazione isocòra** invece, una trasformazione termodinamica nella quale il volume rimane costante, sempre nella variazione dello stato del sistema fisico.



La **legge di Boyle-Mariotte** afferma che, a temperatura costante per una massa fissa, la pressione assoluta e il volume di un gas sono inversamente proporzionali. La legge può anche essere indicata in modo leggermente diverso, ovvero che il prodotto della pressione assoluta e del volume è sempre costante.

Il ciclo termodinamico può essere espresso anche come una successione di processi termodinamici nella quale il sistema torna al suo stato iniziale.

In tale caso la coincidenza fra stato iniziale e stato finale non si ottiene con una singola trasformazione, ma con un insieme di due o più trasformazioni, nelle quali un fluido evolvente scambia energia termica e meccanica con l'esterno

L'energia interna di un sistema termodinamico è una funzione di stato.

Poiché in un qualsiasi ciclo termodinamico lo stato iniziale coincide con quello finale, al termine della trasformazione la variazione di energia interna del sistema risulterà nulla.

Come conseguenza del primo principio della termodinamica si ha quindi:

$$\Delta U = Q - W = 0,$$

dove  $Q$  è il calore assorbito dal sistema, mentre  $W$  è il lavoro compiuto dal sistema durante il ciclo. Dalla suddetta relazione ne deriva l'uguaglianza:

$$Q = W.$$

Per questo motivo, al termine di un qualsiasi ciclo termodinamico, il calore assorbito è uguale al lavoro compiuto dal sistema.

I cicli termodinamici possiedono tutte le proprietà, proprietà termodinamiche che dipendono solo dallo stato termodinamico e quindi non cambiano dopo un ciclo.

In un diagramma (P-V) un ciclo termodinamico è rappresentato da un percorso chiuso. Un diagramma (P-V) ha sulle ascisse il volume (V) e sulle ordinate la pressione (P). Si dimostra che l'area racchiusa dal ciclo nel diagramma è il lavoro (W), svolto dal sistema sull'ambiente.

$$W = \oint p dV$$

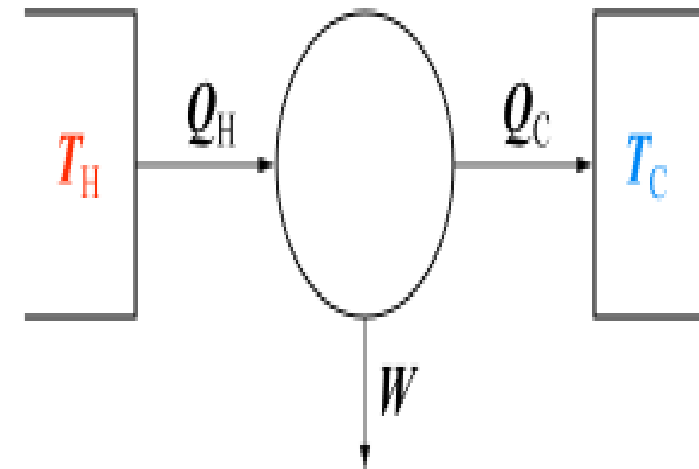
Per il primo principio della termodinamica, questo lavoro deve essere uguale al calore (Q) trasferito dall'ambiente al sistema

$$W = Q = Q_{in} - Q_{out}$$

Se nel piano p-V il percorso che rappresenta la trasformazione è orientato in senso orario il sistema è una macchina termica motrice (un motore), ed il lavoro W sarà positivo, cioè il sistema compie lavoro sull'ambiente.

Se invece il percorso è orientato in senso antiorario il sistema è una macchina termica operatrice, W sarà negativo (cioè viene assorbito del lavoro dall'esterno, che consente di trasferire calore da una sorgente fredda ad una calda).

Questo è il diagramma di una macchina termica: la sorgente calda a temperatura  $T_H$  cede il calore  $Q_H$ , la macchina termica cede il calore  $Q_C$  alla sorgente fredda a temperatura  $T_C$ . La macchina termica compie lavoro  $W$  sull'ambiente esterno.



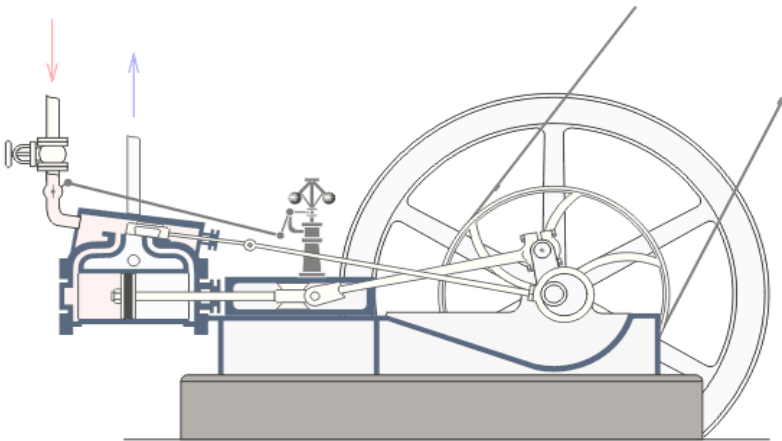
In termomeccanica una **macchina termica** è un dispositivo fisico o teorico in grado di scambiare calore e lavoro con l'ambiente circostante o con altri sistemi fisici.

Le macchine termiche sono tipicamente cicliche e sono quindi descritte fisicamente da un ciclo termodinamico.

Il lavoro è prodotto sfruttando il gradiente termico tra una sorgente calda e una sorgente fredda.

Il calore è trasferito dalla sorgente calda a quella fredda di solito tramite un fluido.

Un esempio di macchine termiche sono le macchine frigorifere.



Il **ciclo Stirling** è un ciclo termodinamico che descrive il funzionamento di una classe di apparati.

Una specifica categorizzazione del motore lo definisce "a combustione esterna" distinguendolo quindi da quelli "a combustione interna" (ciclo Otto o Diesel).

Il ciclo è *reversibile*, intendendo con ciò che può essere realizzato da generatori, dove dall'applicazione del calore ed una sorgente fredda si può ottenere energia meccanica, ovvero può funzionare come pompa di calore, oppure applicando viceversa energia meccanica è possibile ottenere caldo o freddo in postazioni distinte, con effetti sia di riscaldamento che di generazione criogenica.

Il Ciclo Stirling è un ciclo chiuso, cioè il fluido che realizza il ciclo è contenuto permanentemente nell'apparato che realizza il ciclo, e non è scambiato con l'esterno.

Una specifica caratteristica del ciclo originale è che questo è *rigenerativo*, intendendo che usa un particolare dispositivo interno detto "rigeneratore" che è uno scambiatore-accumulatore di calore che incrementa il rendimento.

In termodinamica per **rigenerazione** si intende l'utilizzo del calore ancora contenuto nei fluidi di scarico di un processo.

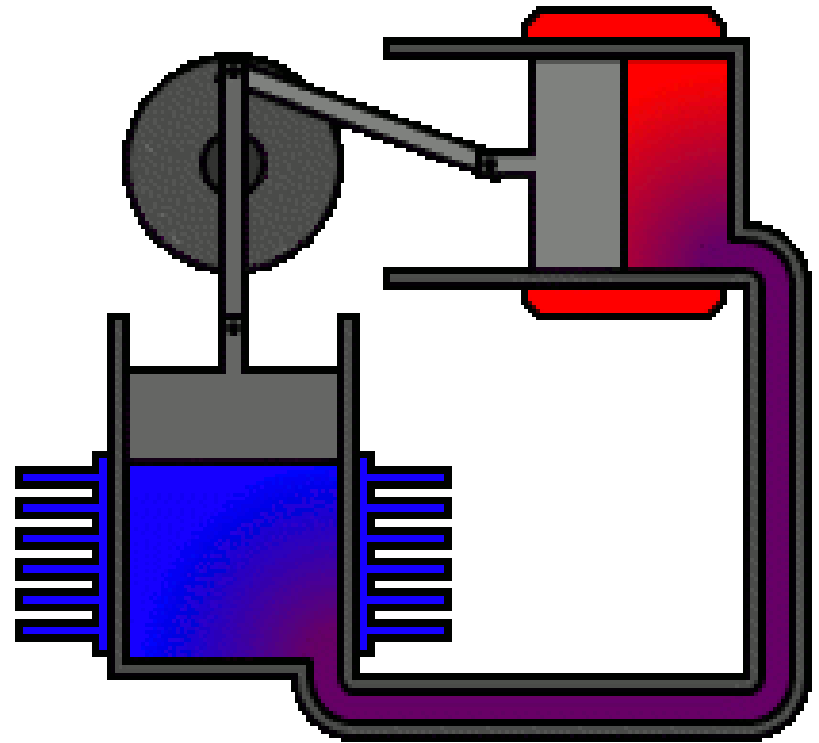
Ad esempio in alcuni motori a scoppio la rigenerazione si usa per riscaldare il combustibile che deve ancora essere bruciato, per favorirne la reazione ed aumentare quindi il rendimento della macchina. Le camere dove avviene questo scambio termico vengono chiamate preriscaldatori.

Per **rigenerazione** si intende anche l'accumulo momentaneo del calore sulle pareti (o corpi di riempimento) di un recipiente, entro il quale passano alternativamente prima il fluido che cede il calore al recipiente e successivamente il fluido da scaldare.

Per **rigenerazione** si intende anche l'accumulo momentaneo del calore sulle pareti (o corpi di riempimento) di un recipiente, entro il quale passano alternativamente prima il fluido che cede il calore al recipiente e successivamente il fluido da scaldare.

Il rigeneratore consiste normalmente in un condotto parzialmente riempito di materiale con una elevata superficie (per es. un sottile filo metallico) ove catturare una parte significativa del calore contenuto nel gas caldo nella fase del ciclo in cui si sposta dal punto caldo verso il refrigeratore. Quando il gas refrigerato di ritorno attraversa il rigeneratore assorbe il calore precedentemente ceduto, ritornando al punto caldo preriscaldato. Il risparmio corrispondente di calore assorbito aumenta necessariamente l'efficienza del motore.

I più comuni materiali per lo scambio termico sono: lamine o lane metalliche sottili e "garze" metalliche impilate; i materiali usati sono di norma metalli chimicamente stabili e resistenti al calore, quali acciaio inossidabile, nickel o sue leghe.



Il ciclo Stirling ideale consiste in quattro fasi termodinamiche che agiscono sul fluido di ciclo.

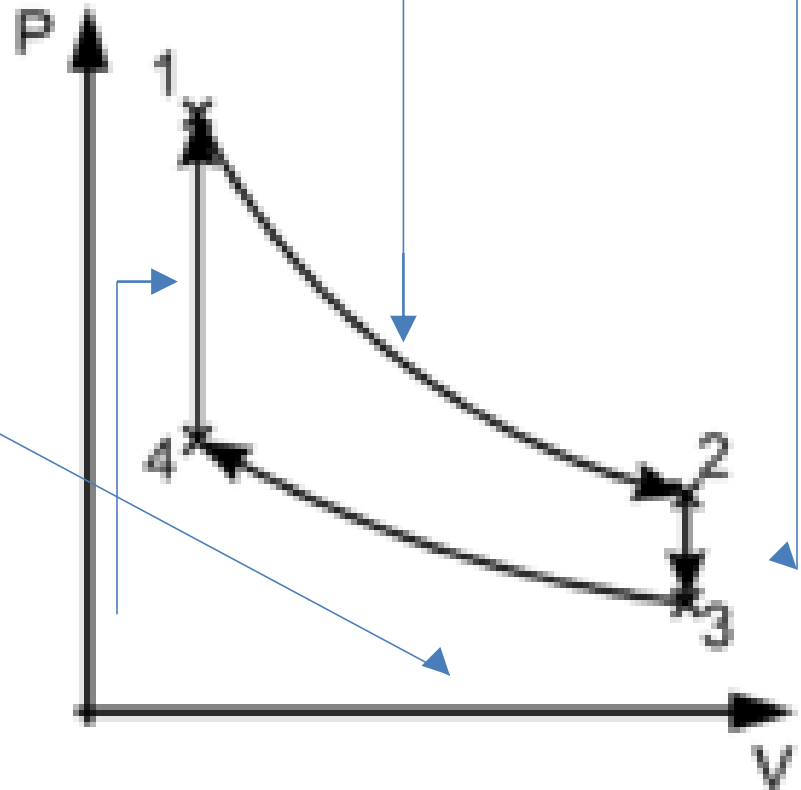
Per un video dove il ciclo Stirling viene spiegato approfonditamente, dai un'occhiata QU

Dal punto 1 al punto 2: espansione isoterma. Il vano di espansione è riscaldato dall'esterno ed il gas contenuto ha un'espansione isoterma.

Dal punto 2 a punto 3: trasferimento del gas caldo a volume costante, o trasformazione isocora; il gas passa attraverso il rigeneratore cedendo a questo una parte del calore, che resterà disponibile per una successiva fase.

Dal punto 3 a punto 4: compressione isoterma, il fluido nello spazio di compressione è raffreddato, la compressione si immagina isoterma.

Dal punto 4 a punto 1: trasferimento del calore a volume costante (trasformazione isocora); il fluido scorre indietro attraverso il rigeneratore, recuperando il calore dal rigeneratore stesso.



Nel ciclo di Stirling ,come abbiamo visto sono presenti 2 trasformazioni **isoterme** e 2 **isocore**,  
che In funzione del primo principio della termodinamica  
si possono analizzare così:



In una trasformazione **isoterma** è necessario,  
oltre allo scambio energetico di tipo lavoro,  
anche quello di tipo calore.

La temperatura del gas rimane costante solo se lo  
scambio di calore compensa esattamente il lavoro.  
Durante una **dilatazione isoterma** il gas acquista una  
quantità di calore pari al lavoro speso. La variazione  
 $\Delta U$  di energia interna è nulla. In una **compressione**  
**isoterma** il gas cede all'ambiente una quantità di  
calore pari al lavoro subito (cioè fatto dall'ambiente)



In una *trasformazione a volume  
costante* la variazione di energia  
interna è pari al calore scambiato  
nella trasformazione.

$$\Delta U = Q$$

Nella trasformazione isoterma  
l'energia necessaria a compiere la  
trasformazione viene ricavata  
dall'ambiente mentre in quella  
adiabatica l'energia viene presa dal  
sistema stesso.



L'**energia interna** è l'energia posseduta da un sistema a livello microscopico, cioè l'energia posseduta dalle entità molecolari di cui è composto il sistema, escludendo i contributi "macroscopici", in particolare l'energia cinetica e potenziale del sistema visto nella sua interezza.[1]

Essa tiene conto dei seguenti contributi:

energia traslazionale, rotazionale, e vibrazionale delle entità molecolari che lo compongono;

energia posseduta dagli elettroni;

energia al *punto zero* (energia fondamentale posseduta a 0 K).

Tale forma di energia è una funzione di stato, cioè le sue variazioni dipendono solo dallo stato iniziale e finale della trasformazione termodinamica e non dal particolare percorso seguito per arrivare dallo stato iniziale allo stato finale.