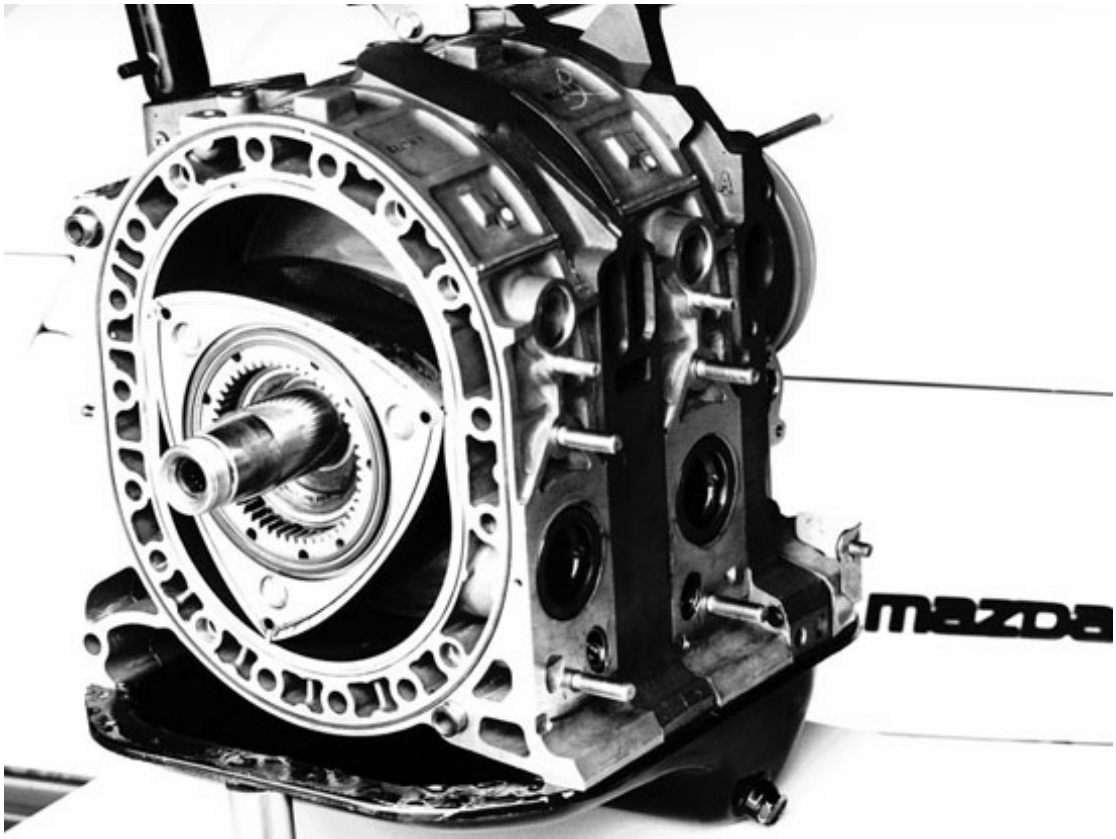


# LA TERMODINAMICA E IL MOTORE A SCOPPIO



In figura il motore rotativo della Mazda rx-8

Di  
Alaimo Andrea  
IIIB Liceo Classico Giovanni Pascoli  
Anno scolastico 2005/2006

## Contesto storico

Il motore a scoppio venne inventato da Barsanti e Matteucci nel 1854, quindi nel pieno della rivoluzione industriale. Durante la seconda Rivoluzione industriale gli assetti politici europei e le condizioni di vita dei cittadini mutarono profondamente soprattutto per l'introduzione del modello capitalistico in economia. È importante sottolineare che in questo periodo lo sviluppo economico dei paesi europei, aveva rilanciato una politica di espansione coloniale che coinvolse i paesi europei in una competizione serrata generando il fenomeno dell'imperialismo che prevedeva la fondazione di colonie e di sfruttamento del territorio. Stati come Inghilterra e Francia negli ultimi anni del XIX secolo avevano creato vasti imperi in Africa e in territorio asiatico.

Un ulteriore fenomeno generato dal sistema capitalista consiste nell'adozione del modello produttivo di taylorista, il modello in cui si ricercava la «one best way» aveva accelerato la produzione in modo esponenziale generando una produzione di massa, ma aveva generato anche problemi in campo sociale. Il modello taylorista era basato sulla ricerca scientifica, infatti attraverso l'analisi scientifica venivano esaminate le attrezzature, i metodi di lavorazione e soprattutto i tempi di esecuzione.

La nuova organizzazione di taylor si basava su 4 principi:

1. primo principio: consisteva nella separazione tra esecuzione e progettazione, infatti l'obiettivo era quello di scomporre il lavoro dell'operaio di mestiere in pochi gesti elementari per eliminare ogni margine di creatività e di progettualità. Quindi le operazioni dell'operaio diventano facilmente misurabili.
2. secondo principio: prevede un'attenta selezione e un addestramento sistematico dell'operaio, l'addestramento era molto semplice poiché le operazioni da compiere erano molto semplici.
3. terzo principio: nell'attività lavorativa i dirigenti e gli operai devono cooperare grazie all'uso di incentivi economici, finalizzati soprattutto a migliorare la produttività.
4. quarto principio: l'attività lavorativa deve essere fortemente gerarchizzata, così anche il lavoro dei dirigenti può essere parcellizzato.

Il modello di taylor benché presentasse molti vantaggi dal punto di vista del profitto, poiché sfruttava il pluslavoro del operaio, provocava gravi disturbi negli operai che si sentiva alienati dal proprio lavoro ripetitivo e privo di creatività. Il fenomeno dell'anomia, cioè la perdita di un punto di riferimento nella società, tipico della società di massa può essere attribuito anche a questo modo di produzione.

Un altro fenomeno legato al capitalismo e alla nascita del motore a scoppio è il fordismo. Henry Ford con l'introduzione della catena di montaggio, cambiò letteralmente il modo di produzione, ma in questo modo anche la società, infatti diede la possibilità a tutta la popolazione di usufruire dei beni di consumo di massa. Henry Ford nel 1908 lanciò sul mercato il modello T che venne venduta in 15 milioni di esemplari in tutto il mondo, seconda solo al maggiolino della volkswagen, era una macchina spartana, il motore era un quattro cilindri di 2898 cm<sup>3</sup> che erogava 24 cv a 1500 giri/min., la scocca era in acciaio vanadio, il solo colore disponibile era il nero.



Il modello T del 1908



Il 4 cilindri della Ford T

Gli aspetti fondamentali del fordismo che permisero la diffusione dei prodotti di massa sono sostanzialmente tre:

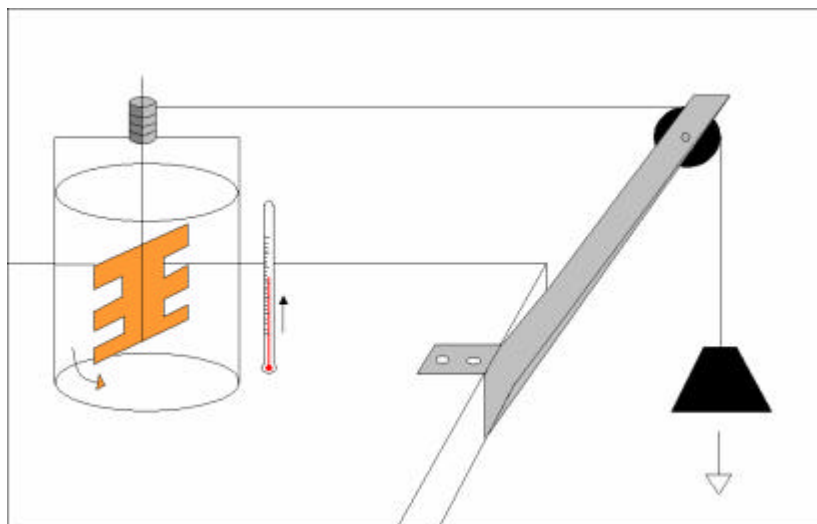
1. il principio di razionalizzazione del lavoro, principio molto simile a quello di Taylor, ma applicato in maniera diversa, infatti questo sistema lavorativo si basava sulla macchina e quindi il tempo era scandito dalla macchina stessa
2. la gestione gerarchica del lavoro e la catena di montaggio sperimentata per la prima volta a Detroit nel 1913. Questo modello lavorativo però veniva rappresentato come alienante e ripetitivo.
3. pagamenti dilazionati per l'acquisto delle automobili.

## Il primo principio della termodinamica

Il primo principio della termodinamica equivale al principio di conservazione dell'energia, esso afferma che poiché l'energia non può essere né creata né distrutta, la somma della quantità di calore ceduta a un sistema e del lavoro compiuto sul medesimo deve essere uguale all'aumento dell'energia interna del sistema stesso. Calore e lavoro sono i mezzi attraverso i quali i sistemi si scambiano energia.

$$\Delta U = Q - L$$

Il primo principio della termodinamica venne dimostrato nell'esperimento di Joule nel quale, sfruttando la forza peso, forniva energia meccanica ad un'elica immersa in un liquido ( è importante considerare che il sistema in cui era immersa l'elica era adiabatico, cioè isolato da scambi di calore con l'esterno) . Al termine dell'esperimento Joule osservò che la temperatura del liquido aumentava.



In ogni macchina termodinamica, e in particolare durante le trasformazioni cicliche, una certa quantità di calore viene trasformata in lavoro; le macchine termodinamiche hanno il compito di convertire il calore in lavoro meccanico, il rendimento di tali macchine è dato dalla formula:

$$\eta = W / Q_1$$

Il rendimento (cioè il rapporto tra il lavoro prodotto e il calore assorbito dalla sorgente calda) non può essere maggiore del 100%, o avrei il moto perpetuo di prima specie violando il primo principio della termodinamica; se invece il rendimento fosse pari al 100%, avrei il moto perpetuo di seconda specie.

## IL SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

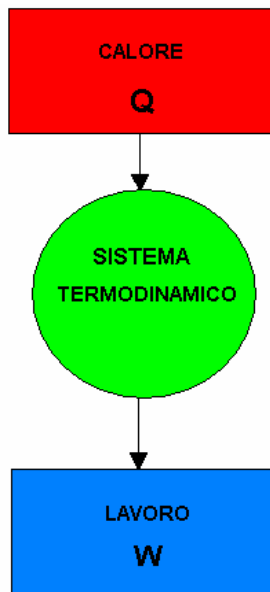
Il secondo principio della termodinamica è un'ulteriore evoluzione del primo principio, infatti tale principio può essere applicato a tutti i sistemi termodinamici. Il secondo principio della termodinamica a differenza del primo principio, che non pone alcun limite alla conversione del lavoro in calore e viceversa, introduce una nuova funzione di stato: l'**entropia** (quando un sistema isolato raggiunge una configurazione di massima entropia non può subire trasformazioni: ha raggiunto l'equilibrio). Esistono due formulazioni del secondo principio della termodinamica, che sembrano incompatibili fra di loro, ma in realtà sono aspetti diversi di uno stesso principio.

### Enunciato di Kelvin

L'enunciato di Kelvin afferma che non è possibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di trasformare interamente il calore di una sorgente in lavoro meccanico.

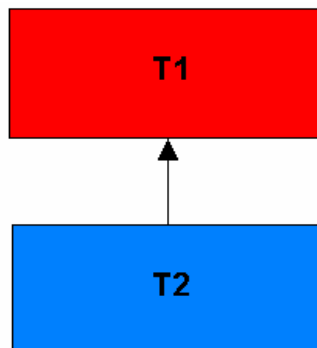
Questo principio dice che è impossibile realizzare il moto perpetuo di seconda specie, un moto che prosegue all'infinito estraendo lavoro da una sola sorgente di calore, e poi restituendoglielo per attrito, quindi è impossibile realizzare una macchina termodinamica con rendimento maggiore del 100%.

Il moto perpetuo di seconda specie violerebbe il Secondo Principio della Termodinamica che sancisce un rendimento di conversione molto più piccolo di 1, infatti durante i processi termodinamici parte dell'energia viene dissipata sotto forma di calore.

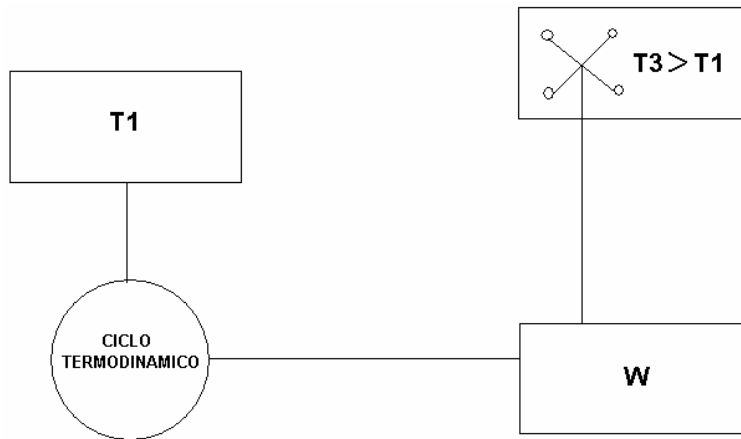


### Enunciato di Clausius

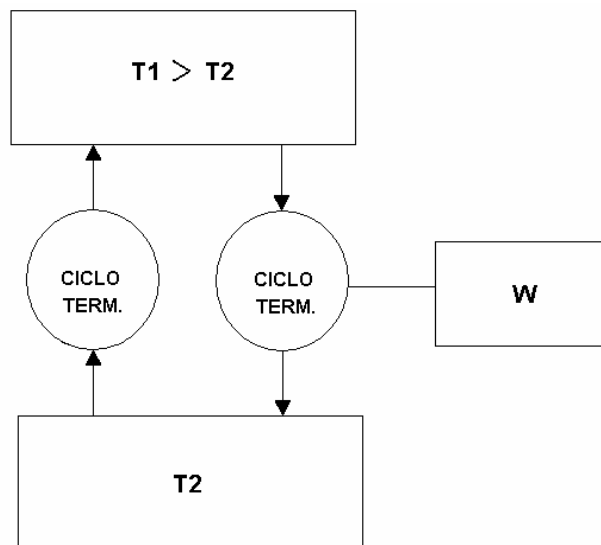
L'enunciato di Clausius afferma che è impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di trasportare calore da una sorgente più fredda ad una più calda senza avere energia (Lavoro  $W$ ) dall'esterno. Questo principio stabilisce l'unidirezionalità dei fenomeni termodinamici, ovvero la loro irreversibilità introducendo il concetto di una freccia del tempo (time arrow).



I due enunciati, come ho affermato in precedenza, sono aspetti diversi di uno stesso principio, infatti negando un enunciato di conseguenza viene negato anche l'altro. Se neghiamo l'enunciato di Kelvin, ossia costruiamo un ciclo termodinamico in grado di trasformare interamente il calore di una sorgente calda in lavoro meccanico, il quale mette in moto un mulinello di joule che converte nuovamente  $w$  in calore. Otteniamo come risultato di far passare il calore da una sorgente più fredda ad una più calda, ma in questo modo nego l'enunciato di Clausius.



Se neghiamo l'enunciato di Clausius, cioè consideriamo un ciclo che possa trasportare calore da una sorgente fredda T2 ad una più calda T1. Il calore della sorgente più calda viene convertito in lavoro meccanico, ma lo stesso calore passerebbe di nuovo alla sorgente più calda, con il quale si potrebbe creare nuovo lavoro e quindi la sorgente più calda risulterebbe inutile (è importante considerare che un sistema chiuso tende all'equilibrio, cioè all'entropia)



## Entropia

Il concetto di entropia ( calore inutilizzabile) venne introdotto per la prima volta da Rudolf Clausius nel "Trattato sulla teoria meccanica del calore" pubblicato nel 1864, con questo termine Clausius voleva indicare la dispersione di energia interna di un sistema. La funzione di stato di entropia indicata con delta S è definita dalla formula:

$$\Delta S = (Q1/T1) - (Q2/T2) = 0$$

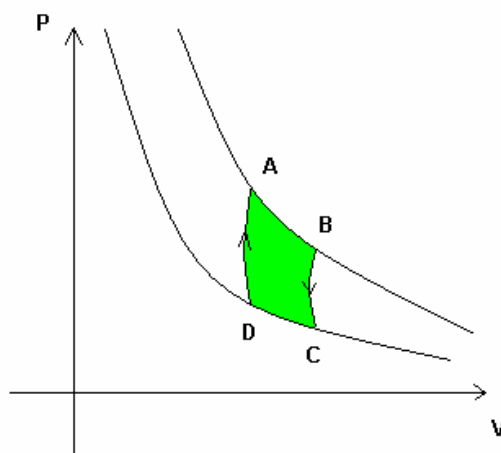
cioè l'entropia è il rapporto tra il calore scambiato e la temperatura a cui viene scambiato, infatti il calore  $Q_2$  poiché viene scaricato dal sistema risulta negativo. Il concetto di entropia può essere sintetizzato nei due principi della termodinamica, infatti l'energia totale dell'universo risulta costante, mentre l'entropia totale tende ad aumentare. **L'entropia di un sistema con trasformazioni irreversibili può solo aumentare**, questa affermazione viene dimostrata dai due enunciati del secondo principio della termodinamica: Kelvin afferma che non è possibile realizzare un sistema termodinamico il cui unico risultato sia la trasformazione del calore in lavoro e quindi ammette una forma di energia degradata non più utilizzabile; anche l'enunciato di Clausius il quale afferma che non è possibile realizzare un sistema termodinamico il cui unico risultato sia lo scambio di calore da una sorgente più fredda ad una più calda infatti nella relazione

$$\Delta S = (Q_1/T_1) - (Q_2/T_2) = 0$$

il primo addendo dovrebbe essere negativo e il secondo positivo. In conclusione dall'enunciato di Clausius si evince che l'entropia complessiva dell'universo, essendo un sistema isolato, può solo aumentare. L'entropia rimane costante solo se le trasformazioni sono reversibili, ovvero se l'energia è riutilizzabile. In conclusione se consideriamo l'universo un sistema isolato, la continua trasformazione di calore in lavoro, tenendo conto del primo principio della termodinamica e che la quantità di materia totale è finita, porterà ad uno stato di morte termica dell'universo, cioè lo stato in cui non avvengono più reazioni e quindi la temperatura è uniforme in tutto l'universo.

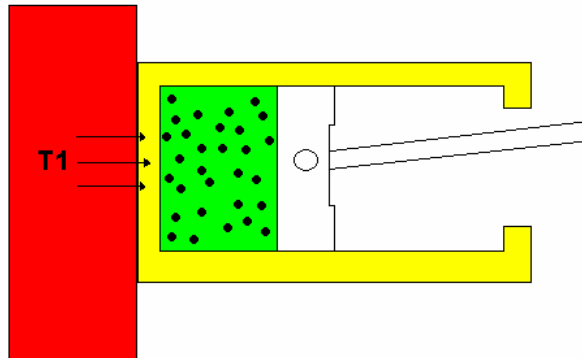
## Trasformazioni cicliche Il ciclo di Carnot

Le macchine termiche sono cicliche, cioè dopo un ciclo di trasformazioni ritornano al punto di partenza. Il ciclo di Carnot è un ciclo termodinamico che operando tra due temperature  $T_1$  e  $T_2$  raggiunge il massimo rendimento. Il ciclo scoperto da Sadi Carnot, è formato da due isoterme e due adiabatiche reversibili. Tale ciclo è costituito: da un cilindro contenente un gas perfetto e un pistone azionato dal gas.

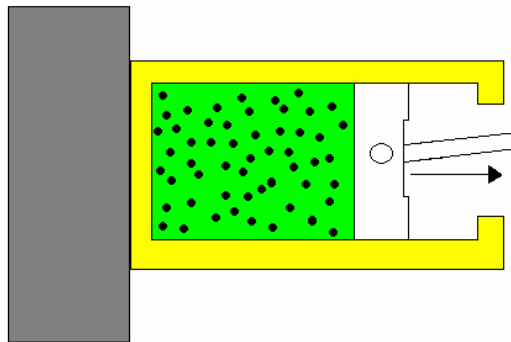


Il ciclo si compone di 4 fasi principali:

1. Il gas contenuto nel cilindro viene messo a contatto con una sorgente calda a temperatura  $T_1$ , creando una reazione isoterma, cioè lo scambio di calore avviene a temperatura costante e molto lentamente. In questa fase il gas si espande e muove il cilindro.(AB)

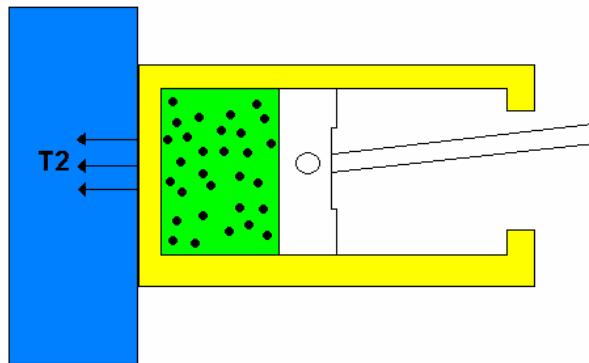


2. Il cilindro viene chiuso con un tappo adiabatico e il gas contenuto al suo interno continua ad espandersi a spese dell'energia interna, e quindi la temperatura diminuisce.(BC)

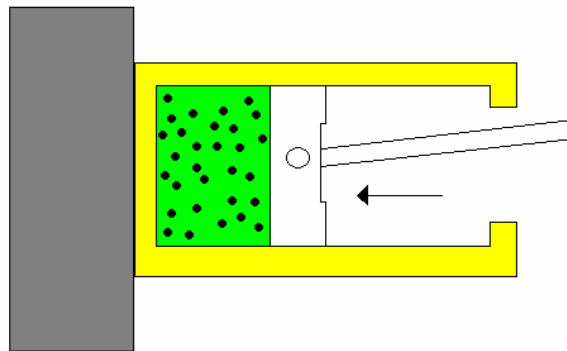


3. Il gas messo a contatto con una sorgente fredda scambia calore a temperatura costante come nella prima fase. La diminuzione di temperatura del gas causa una conseguente diminuzione di volume.(CD)





4. Nell'ultima fase il cilindro viene chiuso di nuovo con il tappo adiabatico, il gas si comprime ulteriormente generando energia interna. (DA)



Dall'esperienza si ricava il Teorema di Carnot: il rendimento di un ciclo di Carnot dipende solo dalle temperature  $T_1$  e  $T_2$  delle due sorgenti, ed è il massimo ottenibile tra quelle temperature. Esso è dato da:  $\eta = 1 - T_2/T_1$

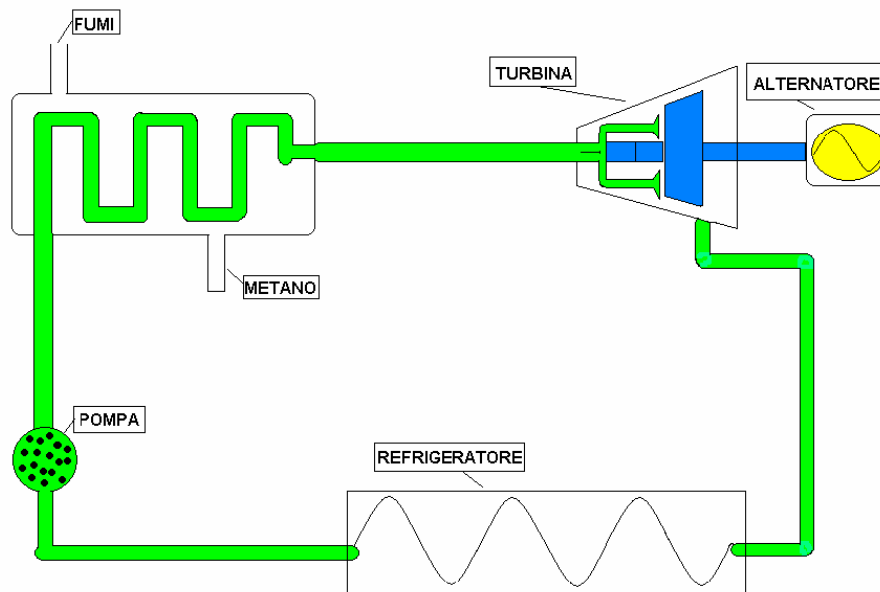
La maggior parte dei cicli ha temperatura massima inferiore a  $T_1$  e superiore a  $T_2$ , quindi il loro rendimento è sicuramente inferiore al ciclo di Carnot il quale però non raggiunge mai  $\eta = 1$ . Il ciclo di Carnot potrebbe avere rendimento  $\eta = 1$  solo a patto che la temperatura  $T_2$  sia uguale allo zero assoluto. Quindi, essendo lo zero assoluto un limite teorico, neppure una macchina termica ideale può avere un rendimento  $\eta = 1$ , cioè trasformare interamente calore in lavoro.

## Ciclo Rankine

Il ciclo Rankine a differenza del ciclo di Carnot è tecnicamente realizzabile, infatti a differenza del ciclo ideale di Carnot che utilizza la differenza di temperatura in un gas perfetto (incondensabile, a causa di ciò è difficile creare isoterme), il ciclo Rankine utilizza un fluido in transizione di fase con il quale è possibile creare trasformazioni isoterme.

Il ciclo opera al di sotto della campana di Andrews, infatti le isobare sono anche isoterme (il ciclo rimane al di sotto della campana per sfruttare le soste termiche). Nella prima fase (AB) avviene un riscaldamento isobaro e isoterma del liquido, ciò è possibile perché il liquido si trova tra lo stato liquido e gassoso, stato che permette una sosta termica fino alla completa trasformazione del liquido (vapore saturo). In questa fase il ciclo esce dalla campana, ciò avviene poiché se venisse

immesso vapore nella turbina, le gocce distruggerebbero la turbina stessa e quindi il vapore viene scaldato fino a raggiungere lo stato di gas. Nella seconda fase (BC) si realizza in adiabatica durante la quale la temperatura si abbassa e quindi il gas ritorna allo stato di vapore. Nella terza fase (CD) la temperatura della miscela viene abbassata ulteriormente con l'ausilio di un refrigerante fino a D?, questa fase è fondamentale infatti la miscela può essere compressa **solo** se si trova allo stato liquido, infatti se venisse compressa allo stato di vapore la pompa esploderebbe. Nella quarta fase il liquido viene compresso (DE) per ricominciare il ciclo. Il ciclo Rankine è il ciclo alla base della centrale termoelettrica: il liquido, in questo caso acqua, viene scaldato e trasformato in vapore attraverso una caldaia (AB), poi il vapore (BC) aziona una turbina collegata ad un alternatore creando elettricità. Nella fase (CD?) il vapore disperde il suo calore a contatto con l'esterno, e allo stato liquido (D?E) viene compresso e immesso nella caldaia.



## IL MOTORE A SCOPPIO

Il principio alla base del motore a combustione interna è quello di un'esplosione in una condotta forzata, infatti l'espansione del gas in uno spazio limitato, nel nostro caso un cilindro, spinge un oggetto in una direzione. La macchina a combustione interna più antica era il cannone e fino a metà Ottocento le macchine a combustione interna avevano scarsa utilità produttiva. Successivamente il principio della combustione interna venne applicato alle macchine motrici cioè macchine in grado di convertire l'energia chimica in potenza dei combustibili in energia meccanica.

La possibilità di costruire congegni di questo genere, azionati da scoppi regolarmente ripetuti, era stata concepita nel 1678 da [Hautefeuille](#) e poi costruita da [Huygens](#), tale macchina era azionata da **polvere da sparo**.

L'invenzione del primo motore a combustione interna funzionante, però è da attribuire a due italiani [Eugenio Barsanti](#) e il fisico [Felice Matteucci](#), dai quali venne brevettato nel 1854. Durante le prime fasi della progettazione utilizzarono un cilindro in ghisa munito di stantuffo e valvole, per capire gli effetti della miscela detonante ossigeno-idrogeno, aria-idrogeno o aria-gas illuminante. L'accensione della miscela precompressa avveniva o per mezzo di una scintilla creata da una pistola di Volta oppure con una fiammella, quest'ultima alternativa venne eliminata soprattutto per limiti tecnici, infatti era più semplice creare una scintilla con l'elettricità. Durante gli esperimenti notarono che quando lo stantuffo arrivava a fine corsa ritornava poi spontaneamente e velocemente

indietro, quindi capirono che era la depressione atmosferica che si creava nel cilindro a far tornare indietro lo stantuffo.

Nel 1859 [Etienne Lenoir](#) costruì il primo motore a combustione interna per applicazioni industriali, anche questo motore utilizzava una miscela di aria e gas, la quale veniva aspirata dal pistone per metà corsa e successivamente per mezzo di una scintilla, il gas detonava e il pistone completava la corsa. Il rendimento di questo motore era piuttosto basso (4%), infatti consumava troppo gas, però fornì il modello per la creazione del motore a ciclo otto.

Nel 1876 [A. Otto](#) e [Langen](#) inventò un nuovo ciclo che prevedeva la precompressione della carica ottenendo una macchina a gas pratica. Il motore era verticale a stantuffo libero ed aveva alcune particolarità, come lo speciale innesto tra l'albero motore ed il rocchetto il quale controllava il movimento dello stantuffo. Il motore sostituì quello di Lenoir soprattutto per il suo rendimento che era del 12%. In precedenza [Rochas](#) aveva inventato il ciclo a 4 tempi poi utilizzato da Otto nel 1877 per costruire il primo motore a 4 tempi, il ciclo si basava su 4 fasi fondamentali:

- > Prima fase: Aspirazione ( in questo caso gas)
- > Seconda fase: Compressione
- > Terza fase: Detonazione nel punto morto ed espansione del gas nella camera di scoppio
- > Quarta fase: Scarico dei gas combusti

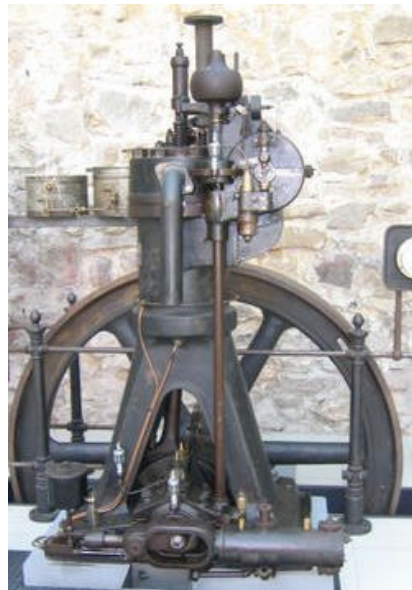
Questa nuova forma di combustione aveva alcuni vantaggi rispetto al vapore:

- > era più efficiente, infatti può lavorare con intermittenza e non a pieno carico
- > era più pulita
- > l'alimentazione poteva essere automatica
- > il gas era il sottoprodotto di altri processi industriali, cokefazione e combustione, poteva essere distillato dal carbone stesso.

Nel 1879 l'inglese [D. Clerk](#) progettò (sulla base del ciclo otto) e costruì il primo motore a due tempi in cui la fase utile avveniva in due corse del pistone. Quando il pistone si trova quasi al termine della corsa inferiore, apre i travasi per l'uscita dei gas combusti, mentre durante la seconda fase quando il pistone inizia la risalita si aprono altri travasi che convogliano la miscela nel cilindro per la successiva compressione.

Successivamente, nel 1882, [il Prof. Enrico Bernardi](#), anticipando di ben due mesi a Karl Benz e Gottfried Daimler inventò il motore a scoppio alimentato da combustibili liquidi, più precisamente dalla benzina un distillato del petrolio. Il prof. Bernardi lo chiamò "motrice Pia", in onore della figlia, tale motore è di tipo atmosferico infatti non è prevista la fase di compressione, in pratica lo scoppio avviene quando il pistone si dirige verso il punto morto inferiore, a differenza del ciclo otto in cui la miscela veniva compressa dal pistone e successivamente detonava. Nel 1885 il prof. Bernardi costruì un altro motore chiamato "Lauro", molto simile a quelli attuali, infatti è fornito di un carburatore che prepara la miscela e lo scoppio è avviato da un accenditore, e il raffreddamento era a liquido per mezzo di un radiatore a tubetti azionato dai gas di scarico.

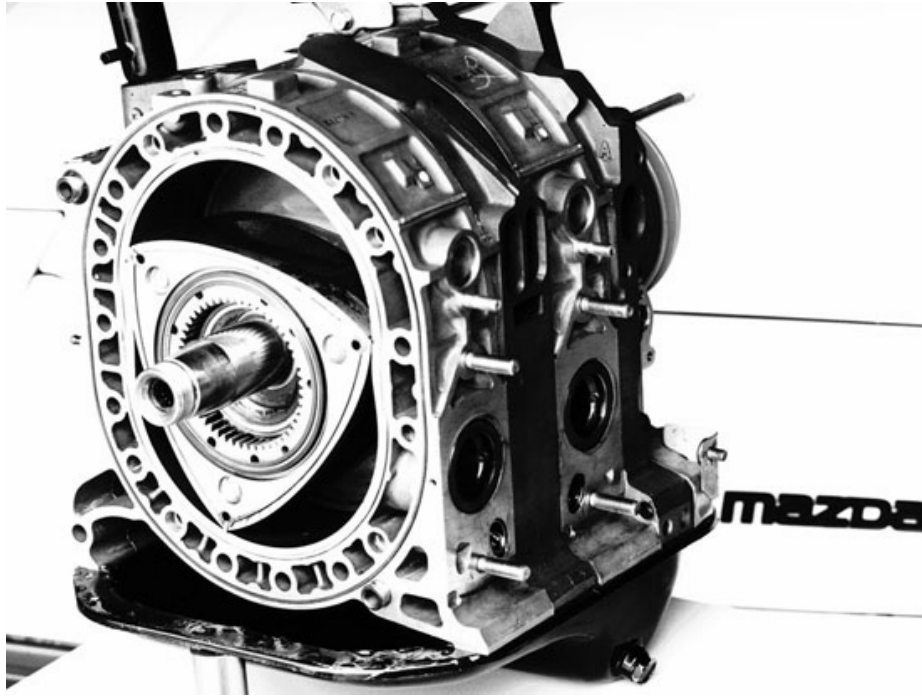
Nel 1893 [Rudolf Diesel](#) brevettò un nuovo motore a combustione interna nel quale lo scoppio avveniva attraverso l'aumento di pressione nel cilindro. Per fare ciò Diesel eliminò l'uso della benzina e si concentrò su combustibili meno volatili come i distillati più pesanti del petrolio, gasolio, olio di arachidi e la polvere di carbone. La polvere di carbone era fondamentale poiché infatti all'epoca non esistevano pompe ad iniezione che polverizzavano il carburante per farlo bruciare uniformemente. Diesel creò una pompa pneumatica che immetteva la polvere di carbone nel cilindro insieme al carburante, però per avviare la combustione spontanea del combustibile il rapporto di compressione dovette salire di molto (150bar), riuscì ad aumentare il rapporto aumentando l'alesaggio nel cilindro e la corsa del pistone, in sostanza il motore diesel deve avere una cilindrata maggiore rispetto ad un motore a benzina poiché deve resistere a sollecitazioni maggiori.



Motore diesel progettato nel 1893 con un rendimento pari al 24%

Nel 1927 Bosch inventò la pompa di iniezione componente fondamentale per il diesel, che immette il carburante in pressione nel cilindro.

Negli anni Cinquanta Felix Wankel progettò un nuovo tipo di motore a combustione interna, in cui il pistone e il cilindro vennero sostituiti da uno statore e da un rotore a tre lobi, che ruota in maniera eccentrica e quindi non ha organi della distribuzione che contribuiscono a peggiorare il rendimento del ciclo Otto. Il vantaggio di questo motore rispetto a quello a pistoni sta nel fatto che riesce ad effettuare 3 fasi attive ad ogni rotazione del rotore.



Motore wankel in cui è ben visibile il rotore e lo statore.

## Motore a scoppio a due tempi

il motore a due tempi presenta una struttura piuttosto semplice rispetto al quattro tempi, soprattutto per la mancanza di alcuni componenti meccanici (albero a camme, coppa dell'olio, valvole...), infatti data la sua struttura compatta viene utilizzato per equipaggiare veicoli o macchinari leggeri.

### Carburante:

Il carburante dei due tempi non è benzina pura ma è una miscela di olio sintetico e benzina, l'olio polverizzato all'interno del carburatore da uno spillo chiamato appunto polverizzatore, permette di limitare gli attriti tra le parti meccaniche all'interno del cilindro e quindi impedisce che le parti meccaniche fondano o si incastrino tra loro, tale fenomeno viene chiamato anche i grippaggio.

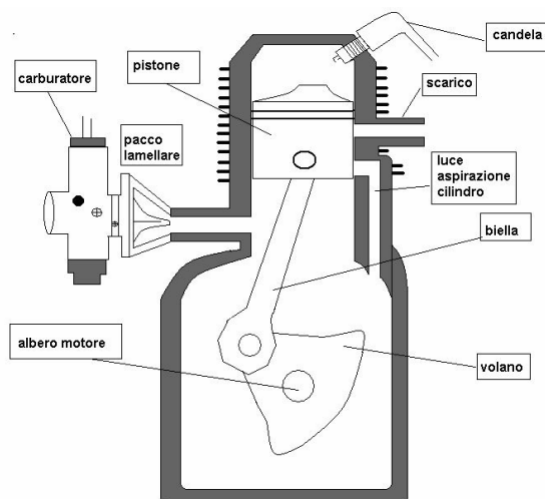
### Struttura:

1. **blocco motore o carter**: è la base del motore, su di esso è montato il cilindro a la testa, così da formare la camera di scoppio.
2. **albero motore, biella e pistone**: sono dei bracci meccanici che convertono il movimento verticale in movimento rotatorio grazie alla spinta del pistone che scorre nel cilindro. L'albero è dotato di un volano che grazie all'inerzia permette al pistone di continuare la corsa nei punti morti.
3. **cilindro e testata**: costituiscono la camera di scoppio del motore, la testata è una piastra che chiude il cilindro.
4. **candela**: innesca l'accensione del carburante creando un arco elettrico. Le candele operano in corrente continua, tale corrente viene creata da un trasformatore chiamata bobina di accensione. La corrente continua creata dal trasformatore viene interrotta più volte ogni secondo, creando una corrente pulsante ad alta tensione nell'avvolgimento secondario del trasformatore. Le pulsazioni vengono regolate dalla centralina oppure da un commutatore rotante, chiamato spinterogeno.

1. **carburatore**: è il dispositivo che fornisce il carburante al cilindro creando una corretta miscela aria benzina e nel caso dei due tempi anche olio sintetico che viene polverizzato. La benzina contenuta nella vaschetta del carburatore viene aspirata quando la valvola del gas che ha l'aspetto di una ghigliottina viene sollevata per mezzo di un tirante collegato all'acceleratore.

Funzionamento: il motore a due tempi opera secondo due fasi, cioè due corse del pistone, per questo motivo il motore a due tempi presenta una progressione maggiore e un'entrata in coppia più violenta, la coppia motrice è prodotta dalla forza esercitata sul pistone dai gas presenti nel cilindro, applicato alla manovella dell'albero a gomiti. Come ho detto in precedenza la benzina viene miscelata con l'aria e con l'olio polverizzato, quando la valvola del carburatore viene aperta la benzina fluisce nel cilindro, tale flusso è regolato dal pacco lamellare, costituito da valvole a lamelle che consente il passaggio della miscela quando la pressione interna al cilindro è inferiore rispetto alla pressione ambientale (depressione all'interno del cilindro). A questo punto avviene la prima fase detta anche di **scoppio – espansione – scarico**, il pistone che si trova nel punto morto superiore chiude la luce di scarico, lasciando aperta la luce di aspirazione, così che la miscela possa riempire il carter e lubrificare le parti meccaniche con l'olio contenuto nella miscela; la miscela contenuta nella camera di scoppio, viene compressa dal pistone e attraverso la scintilla creata dalla candela brucia. I gas contenuti nel cilindro si espandono e il pistone si dirige verso il punto morto inferiore compiendo la fase attiva. Quando il pistone effettua la seconda corsa apre la luce di scarico permettendo la fuoriuscita dei gas combusti.

A questo punto inizia la seconda fase, detta **aspirazione – compressione**, in questa fase il pistone che si trova nel punto morto inferiore può dirigersi verso il punto morto superiore grazie all'inerzia del volano, mentre grazie alla depressione che si è creata nel cilindro la miscela può riempire la camera di scoppio. Durante la risalita le luci si chiudono comprimendo la miscela, e quindi comincerà un nuovo ciclo.



Motore 4 tempi

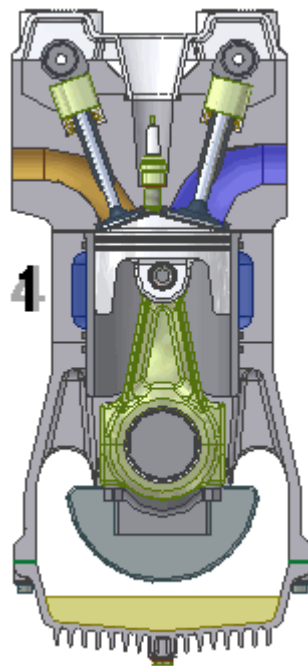
Il funzionamento del 4 tempi è molto simile a quello del due tempi, però nel 4 tempi la fase utile si ottiene con 4 corse del pistone, mentre nel 2 tempi la fase utile si ottiene con 2 sole corse del pistone. Per questo motivo il 4 tempi presenta un andamento più fluido rispetto al 2 tempi e soprattutto maggior affidabilità, poiché è dotato di un sistema di valvole più preciso.

Differenze meccaniche con il 2 tempi:

1. **albero a camme**: albero posizionato sulla testata del motore. L'albero a camme è dotato di eccentrici che muovono le valvole secondo delle fasi precise.
2. **valvole**: sono valvole unidirezionali alloggiare sulla testata del motore, che permettono l'aspirazione della benzina e la fuoriuscita dei gas combusti.
3. **impianto di lubrificazione**: l'impianto di lubrificazione nei 4 tempi è indipendente, infatti l'olio raccolto nella coppa, che si trova nel punto più basso del basamento, viene raccolto da una pompa di mandata e inviato attraverso una serie di canali alle parti meccaniche del motore.

Funzionamento:

1. fase di aspirazione: il pistone discende verso il punto morto inferiore creando una forte depressione nel cilindro, questo fa sì che il carburante emesso da un carburatore o da un iniettore, nel momento in cui si apre la valvola di aspirazione possa entrare nel cilindro attraverso la luce di aspirazione.
2. fase di compressione: in questa fase le luci vengono chiuse dalle valvole e il carburante viene compresso.
3. fase di scoppio - espansione: quando il carburante viene compresso, la scintilla creata dalla candela provoca la detonazione del carburante. L'espansione dei gas spinge il pistone verso il punto morto inferiore generando la fase utile.
4. fase di scarico: nella fase finale del ciclo la luce di scarico viene aperta dalla valvola, nel frattempo il pistone sale verso il punto morto superiore e spinge i gas all'esterno.



Motore turbo o sovralimentato

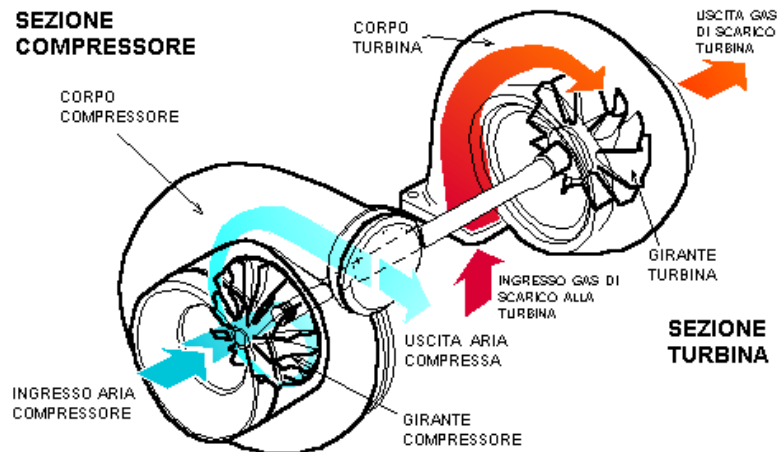
La base per il motore turbo è il ciclo a 4 tempi, il ciclo viene sovralimentato meccanicamente da un compressore, che immette ad alta pressione l'aria all'interno del cilindro facendo salire il rapporto di compressione e di conseguenza la potenza e la coppia. Esistono altri tipi di sovralimentazione, come quella chimica in cui attraverso delle bombole di  $N_2O$ , l'ossigeno viene iniettato nel cilindro attraverso degli ugelli insieme all'azoto che svolge la funzione di comburente, cioè permette una migliore combustione e controlla la reazione, infatti l'immissione del ossigeno puro potrebbe



provocare detonazioni troppo violente, questo sistema poco usato può incrementare la potenza fino al 50%-60% dei cavalli disponibili.

Il motore turbo o sovralimentato meccanicamente è molto più sicuro e affidabile, infatti la pressione di immissione dell'aria viene regolata da una centralina elettronica.

Funzionamento: in questa tipologia di motore la sovralimentazione viene creata dal turbocompressore. Il turbo compressore è costituito da un compressore centrifugo e dal turbo di forma analoga, i due dispositivi sono collegati attraverso un albero meccanico.



I gas di scarico fanno girare la girante della turbina, quindi il numero di giri della turbina sale nel momento in cui la pressione esercitata sulla valvola di alimentazione è maggiore. Il movimento della girante della turbina collegato attraverso un albero alla girante del compressore aziona il compressore, la girante può raggiungere un regime di rotazione di 200000 giri/min, durante la rotazione della girante l'aria viene aspirata attraverso il collettore di aspirazione, e iniettata a forte pressione nel cilindro migliorando la combustione.

## Motore Diesel

La sostanziale differenza tra il motore progettato da Rudolph Diesel e il motore a scoppio a quattro tempi, consiste nell'accensione della miscela nella camera di scoppio, infatti nel ciclo diesel l'accensione del carburante non avviene per mezzo di una scintilla ma per compressione. Grazie a questa compressione si ha un innalzamento della sua temperatura e la miscela si accende spontaneamente. Il motore diesel deve essere costruito con materiali molto resistenti e avere una struttura robusta per resistere alle forti sollecitazioni della pressione, e inoltre deve avere una corsa maggiore rispetto al ciclo otto per raggiungere un rapporto di compressione quasi doppio rispetto al benzina, di solito 20:1.

Funzionamento: il motore diesel non è provvisto di candele, poiché appunto il carburante deve auto accendersi, ma è provvisto di un dispositivo chiamato candele che ha la funzione di preriscaldare il cilindro e quindi favorire l'autocombustione del gasolio, nei motori diesel viene usato il gasolio poiché è una sostanza meno volatile della benzina e si accende più facilmente. Il carburante viene immesso nella camera di scoppio attraverso un iniettore, questo dispositivo a forma di getto inietta il carburante nel cilindro anche a pressioni di 200 bar, il quale viene compresso ulteriormente dal pistone fino a creare l'autocombustione. Per favorire la combustione i diesel attuali sono dotati di una turbina a geometria variabile, cioè una turbina controllata dalla centralina elettronica così da fornire un rapporto di compressione alto anche ai bassi regimi.



# Motore Wankel

Il motore wankel oppure motore rotax progettato da Felix Wankel nel 1927, è un motore radicalmente diverso dal ciclo a 4 tempi, innanzitutto nella struttura infatti il movimento non viene fornito all'albero da pistoni secondo un movimento verticale, ma l'albero viene fatto ruotare in maniera diretta per mezzo di un rotore che si muove in maniera eccentrica, il funzionamento è molto simile a quello di un motore elettrico. Il motore rotativo presenta alcuni vantaggi rispetto al motore scoppio tradizionale, ma anche alcuni difetti:

## Vantaggi:

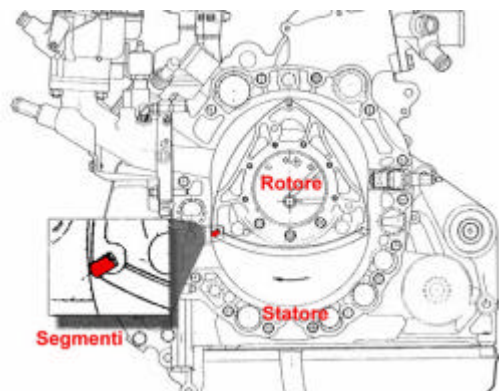
1. il motore Wankel ha un rendimento molto alto, infatti in una rotazione del rotore, all'interno delle intercapedini che si creano tra rotore e statore avvengono le 4 fasi, aspirazione, compressione/scoppio e scarico, in poche parole la fase utile avviene ad ogni rotazione. Per questo motivo il motore rotativo riesce a raggiungere regimi di rotazione molto alti
2. il movimento viene fornito direttamente all'albero grazie al rotore, quindi a differenza del motore a 4 tempi non ha parti in moto alternato ne organi meccanici come biella e albero a gomiti che possono peggiorare il rendimento. Quindi alte potenze specifiche e consumi limitati.

## Difetti:

1. l'escursione termica tra le zone di aspirazione/scarico e quella di combustione in cui le temperature sono alte. La differenza di temperatura che si crea tra le due zone è di circa  $900^{\circ}\text{C}$ , questa escursione termica può provocare gravi danni ai materiali. Il difetto può essere limitato con un impianto di raffreddamento adeguato.
2. a causa degli alti regimi di rotazione i segmenti dello statore si consumano molto velocemente.

## Parti meccaniche:

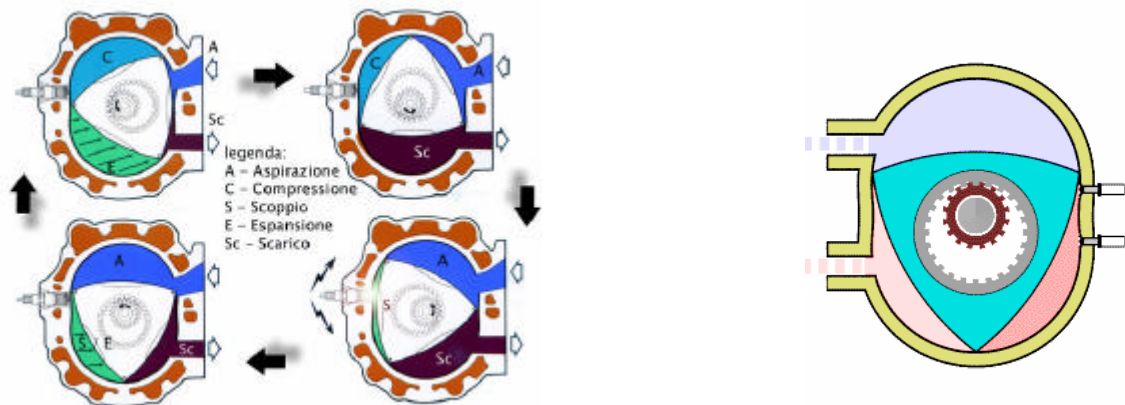
1. statore: la camera di scoppio ha sezione ovale e strozzata nel punto della mezzeria, in modo che la miscela possa essere compressa durante la rotazione, tale forma è detta epitrocoide.
2. rotore: il rotore è un blocco di metallo a sezione triangolare con i lati convessi. Il rotore ruota eccentricamente poiché è calettato all'albero motore per mezzo di un ingranaggio epicicloidale.



## Funzionamento:

> durante una rotazione del rotore avvengono 4 fasi:

1. aspirazione: la miscela viene aspirata nella camera di combustione durante il movimento del rotore.
2. compressione/scoppio: la rotazione del rotore crea la camera di combustione comprimendo la miscela contro le pareti della camera, e nel momento in cui il lato del rotore si avvicina maggiormente alla parete, la scintilla scocca per mezzo di una candela ed avviene lo scoppio.
3. scarico: il rotore durante il movimento apre la luce di scarico e spinge i gas combusti all'esterno.



#### BIBLIOGRAFIA:

David S. Landes, Il Prometeo liberato ( La rivoluzione industriale in Europa dal 1750 a oggi)  
Ed. Einaudi

Riccardo Marchese, Piani e percorsi della storia 2 e 3  
Ed. Minerva italiana

Dizionario tecnico dell'automobilismo: <http://staff.nt2.it/michele/>

<http://www.f1grandprix.it/> (motore: coppia e potenza)

Enciclopedia on-line: <http://it.wikipedia.org>

Nascita e invenzione motore a scoppio: <http://web.tiscali.it/acciarriparide/>

Motore wankel: <http://www.mazda.it/>