

Cos'è e come funziona il motore a scoppio

Un motore è una macchina il cui funzionamento prevede l'assorbimento di energia da una sorgente e la sua trasformazione in lavoro meccanico.

Il motore a combustione interna (endotermico) è chiamato così perché, a differenza delle macchine che lo hanno preceduto (come la macchina a vapore di Watt), la combustione avviene internamente. Il motore endotermico è la macchina termica più diffusa e versatile mai creata dall'uomo.

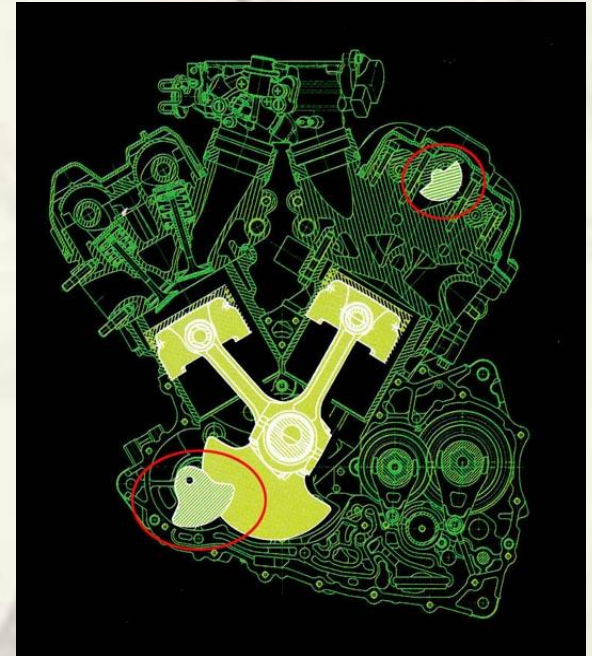
Il motore endotermico è alimentato da una miscela di aria e benzina, che viene trasformata in lavoro meccanico mediante il processo di combustione, che produce calore e pressione. Esistono molteplici tipologie di motori a combustione interna, che si differenziano per alimentazione, funzionamento o architettura.

Una prima classificazione può essere fatta in base al movimento dell'organo principale, il responsabile della trasmissione del moto. Si possono quindi avere:

- Motori di tipo *rotativo* (detti anche motori a fluido);
- Motori di tipo alternativo (motori a scoppio).

Il motore a scoppio è sicuramente il motore più largamente utilizzato, oggi.

È un motore di tipo alternativo quindi può essere definito anche volumetrico, poiché il ciclo termodinamico avviene in un volume definito, chiamato *cilindrata*.



Struttura e funzionamento dei diversi motori

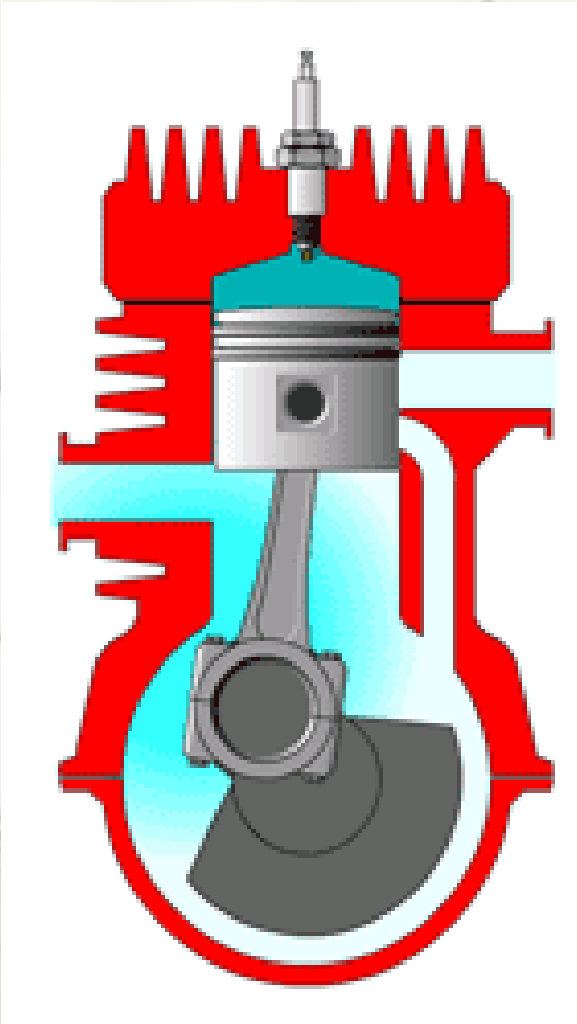
Una ulteriore, importante, classificazione viene fatta in base ai movimenti (chiamati *corse*) del pistone necessari a chiudere un *ciclo di funzionamento*: esistono dunque motori a *due* o a *quattro tempi*:

- *Motore a quattro tempi*: il ciclo completo di lavoro si compie in quattro corse del pistone e in due giri dell'albero motore. La combustione è provocata dalla scintilla che scocca fra le punte della candela; l'entrata del combustibile nel cilindro e l'uscita del gas combusto sono assicurate da due luci (aperture) sulla testata, che si aprono e si chiudono mediante valvole;
- *Motore a due tempi*: il ciclo completo di lavoro si compie in due corse del pistone e in un solo giro dell'albero motore; a differenza del quattro tempi qui mancano gli organi di distribuzione e di lubrificazione e non esistono valvole. La lubrificazione è assicurata dall'olio introdotto nel carburante per formare la miscela, oppure da un miscelatore automatico che provvede ad inserire la quantità d'olio necessaria ad una buona lubrificazione direttamente nella camera di scoppio.

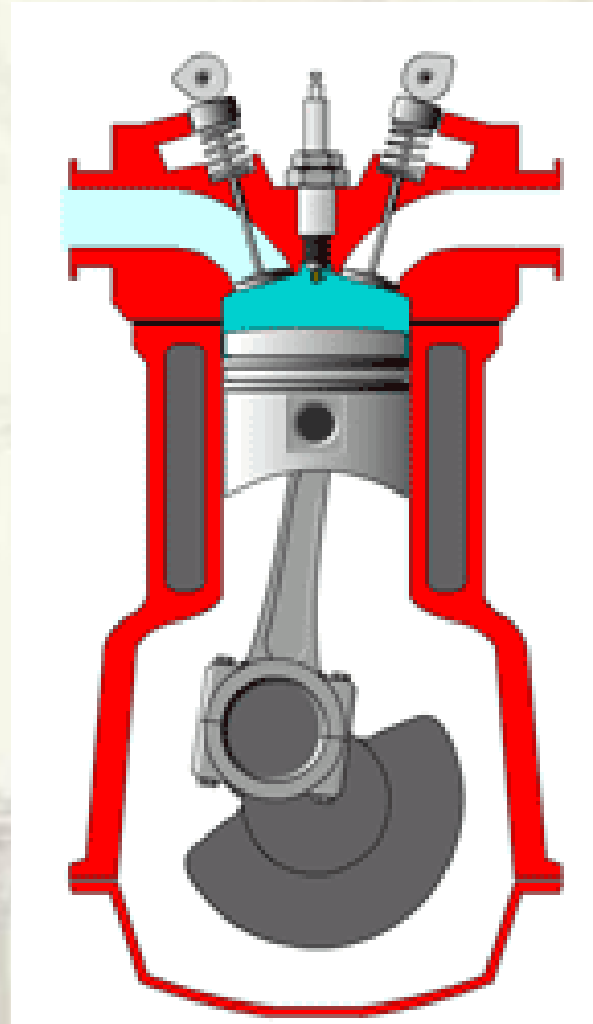
I motori a combustione interna vengono classificati in base alla cilindrata e alla potenza fornita, misurata in cavalli-vapore.



I disegni evidenziano le differenze strutturali tra un motore a due tempi ed un motore a quattro tempi:



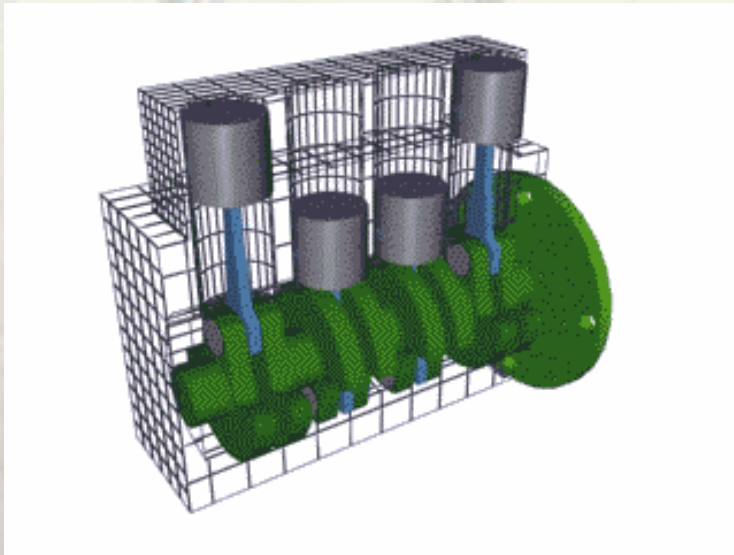
Disegno di un motore a due tempi



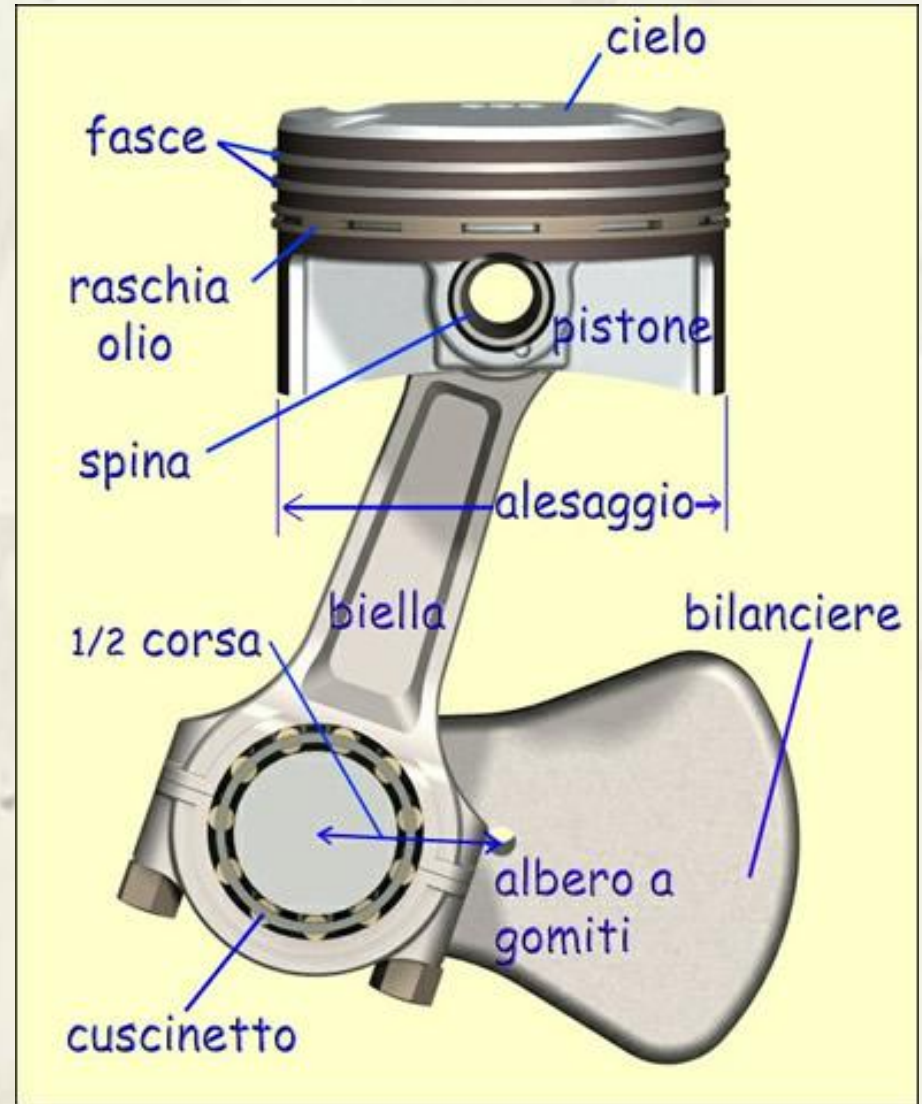
Disegno di un motore a quattro tempi



Il motore, nel suo insieme, è essenzialmente costituito da un cilindro entro cui scorre uno stantuffo (pistone) al quale sono collegati biella ed albero motore, incaricati di trasformare il moto alternato in moto circolare da trasmettere alle ruote motrici.



Qui sopra è riportato il cinematismo del funzionamento di un motore a scoppio, composto da quattro cilindri in linea (quadricilindrico). Sono evidenziate in azzurro le bielle e in verde l'albero motore, i bilancieri e il volano.



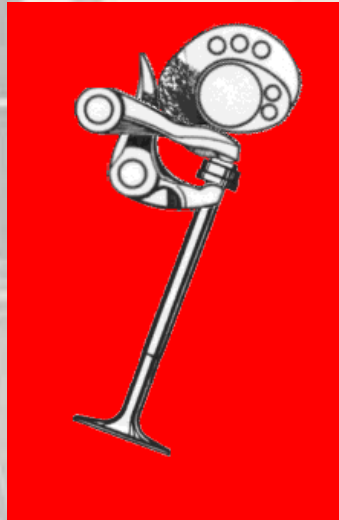
L'animazione a lato mostra dettagliatamente come si compie un ciclo in un motore a quattro tempi, che avviene mediante quattro corse del pistone (due ascendenti e due discendenti) necessarie a svolgere le sei fasi che compongono il ciclo stesso.

Il filmato evidenzia il movimento degli *alberi a camme* posti alle estremità superiori, il cui compito è di "spingere" verso il basso le valvole per aprire le luci di aspirazione e scarico, e permettere così alla miscela fresca di entrare in camera di scoppio e ai gas combusti di uscire attraverso l'impianto di scarico.

Il movimento di ritorno delle valvole è dato da meccanismi pneumatici o meccanici (come il sistema *Desmodromico* impiegato da Ducati).



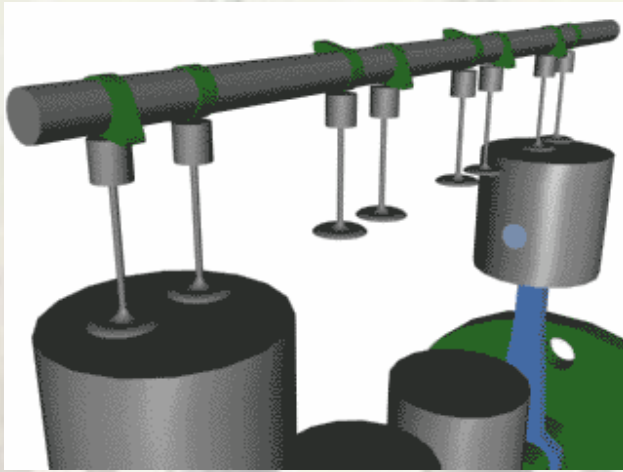
Albero a camme



Richiamo valvole Desmodromico

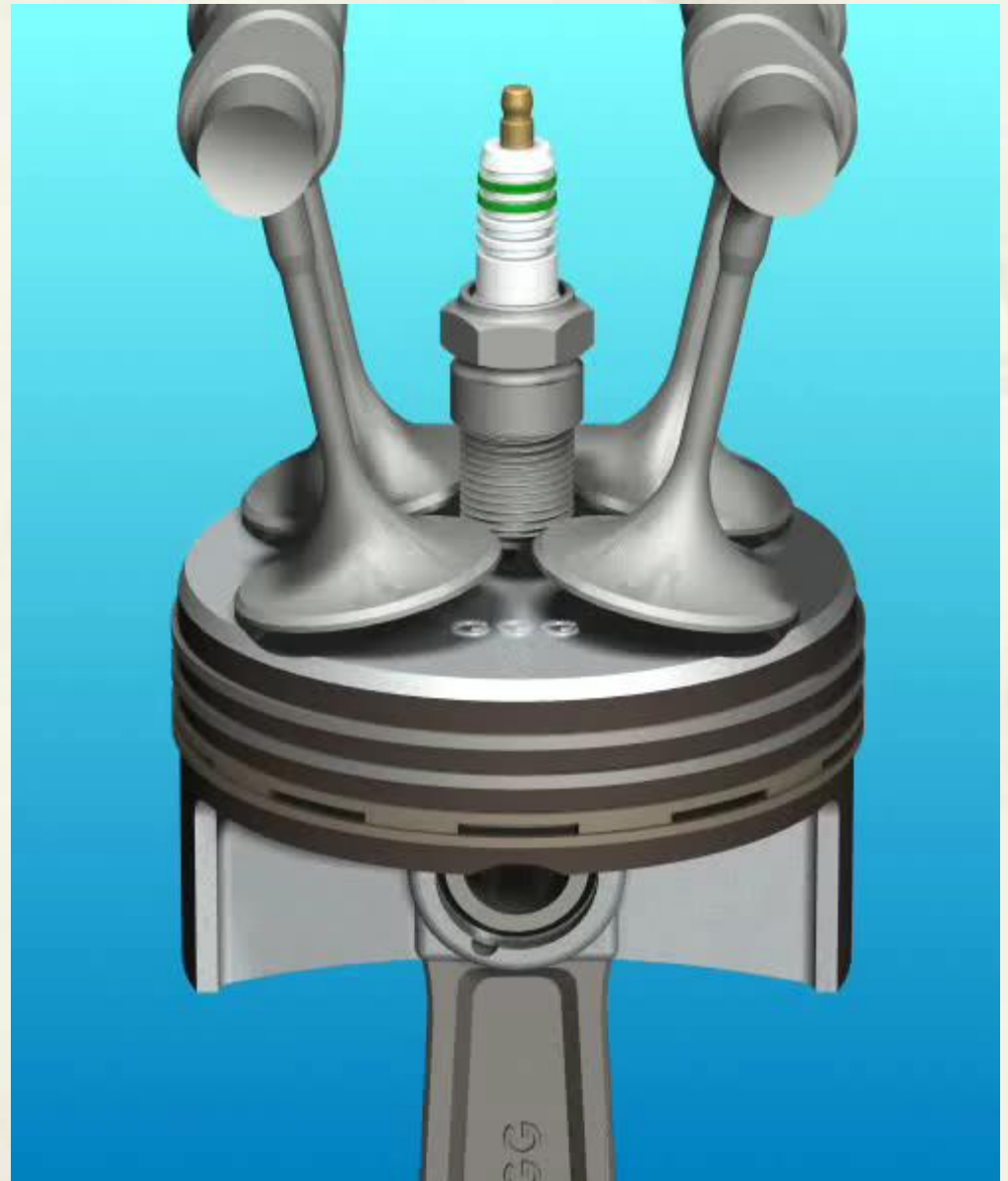


Il filmato a lato mostra in modo dettagliato ciò che avviene a livello di camera di combustione durante un ciclo completo di funzionamento.



Qui sopra è stato riportato il cinematismo della distribuzione (albero a camme e valvole) in un motore a quattro cilindri.

In verde sono evidenziate le camme, il cui profilo incide sensibilmente sul carattere e sulle prestazioni di un motore.

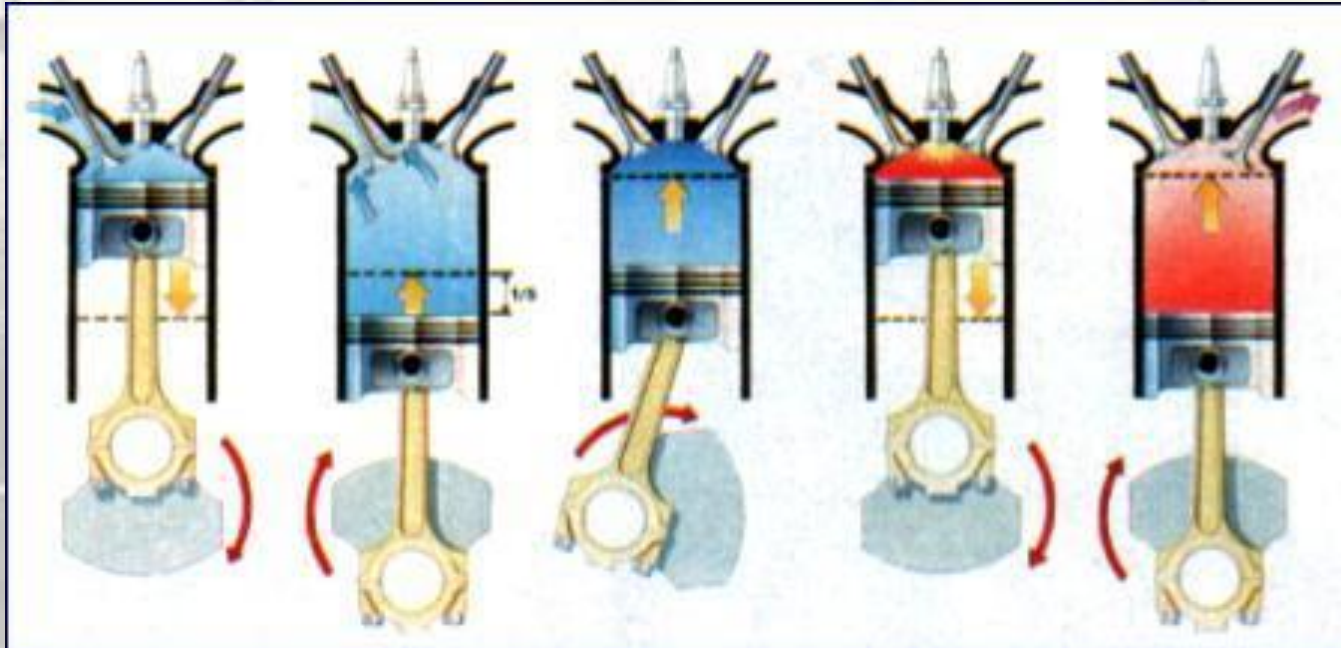


Le fasi del motore

- *Aspirazione*: il pistone, dal *punto morto superiore (PMS)*, procede verso il basso aspirando la miscela attraverso le *valvole di aspirazione*;
- *Compressione*: le valvole si chiudono; una volta raggiunto il *punto morto inferiore (PMI)*, il pistone risale verso la testa comprimendo il fluido;
- *Esplosione*: la candela provoca l'accensione della miscela compressa, nell'istante appena successivo al raggiungimento, da parte del pistone, del *punto morto superiore (PMS)*; in camera di scoppio si raggiungono elevatissime temperature e pressioni;
- *Espansione*: in seguito all'esplosione della miscela, il pistone viene spinto verso il basso fino al PMI e la sua temperatura decresce notevolmente; questa è la fase *attiva* del ciclo, l'unica durante la quale viene prodotto *lavoro*;
- *Uscita dei gas*: il pistone si trova al PMI e l'apertura delle *valvole di scarico* ha come risultato la fuoriuscita di gran parte dei gas per depressione e il loro conseguente raffreddamento;
- *Espulsione*: il pistone opera l'ultima corsa ascendente, grazie alla quale vengono espulsi i rimanenti gas combusti, e termina il ciclo;



Il disegno rappresenta un ciclo di funzionamento di un motore a scoppio a quattro tempi; spesso, come in questa rappresentazione, la quinta e la sesta fase (*Uscita dei gas ed Espulsione*) che in realtà si compiono quasi simultaneamente, vengono rappresentate come una fase sola.

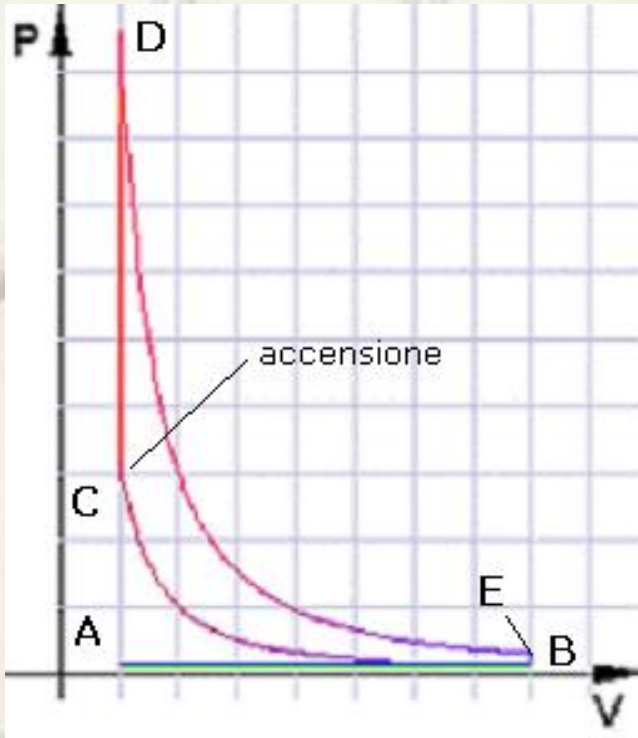


Il funzionamento del motore a quattro tempi è basato su un *ciclo termodinamico* chiamato "*ciclo Otto*", che prende il nome dal famoso ingegnere tedesco. Il ciclo, ideale, è composto da sei fasi, delle quali solo quattro comportano movimenti del pistone.

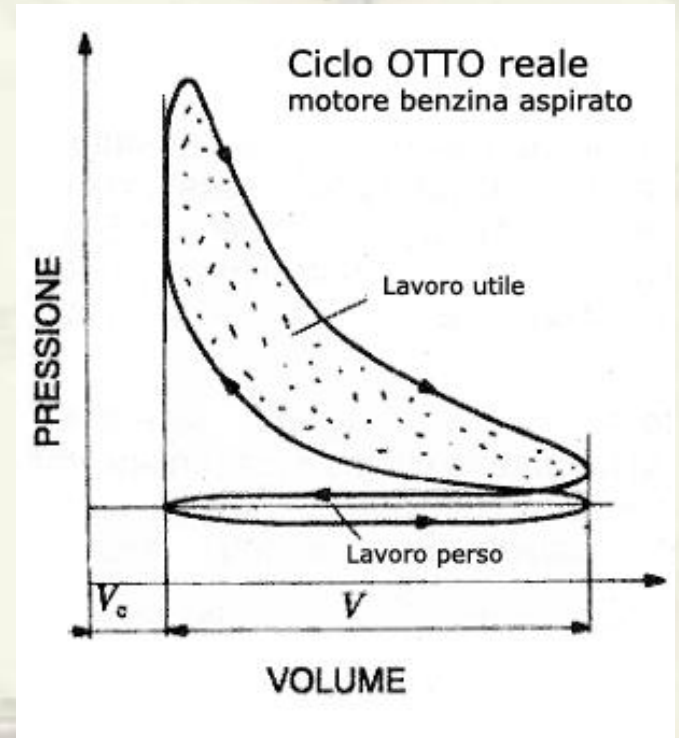


Il ciclo Otto

Il ciclo del motore a quattro tempi (*ciclo Otto*) può essere schematizzato in un diagramma pressione-volume come segue:



Ciclo Otto ideale

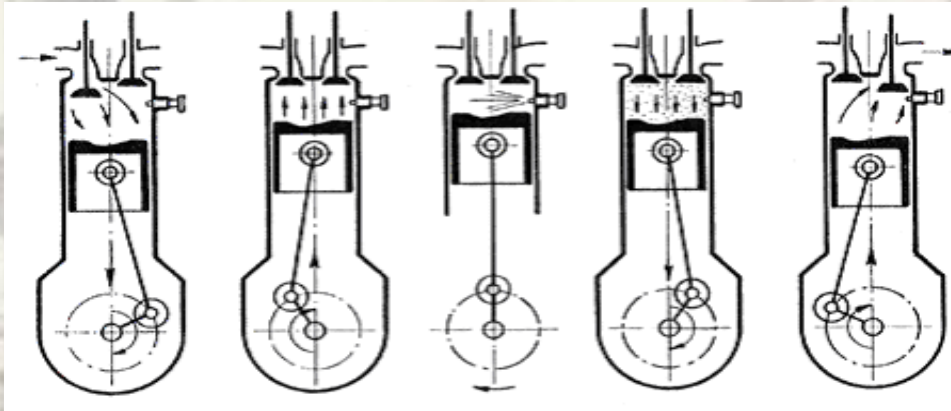


Ciclo Otto reale

E' riferito al funzionamento di un motore ideale, che funziona molto lentamente, nettamente diverso dal funzionamento di un motore a scoppio reale, dove le trasformazioni avvengono così velocemente da non trovarsi mai in uno stato di equilibrio. Ovviamente un motore a quattro tempi è tanto migliore quanto più riesce ad avvicinarsi alla teoria, cioè al ciclo Otto.



- Il *primo tempo* (aspirazione) è rappresentato dalla isobara $A \rightarrow B$, che ha luogo alla pressione atmosferica e alla temperatura dei cilindri del motore;
- Il *secondo tempo* (compressione) è rappresentato dalla adiabatica $B \rightarrow C$, durante il quale la compressione provoca l'aumento della pressione e della temperatura della miscela, che avviene senza scambi di temperatura con l'esterno;
- Il *terzo tempo* (esplosione) è rappresentato dalla isocora $C \rightarrow D$. La temperatura e la pressione del gas aumentano rapidamente a causa della combustione della miscela, il volume resta inizialmente inalterato poiché il pistone non fa in tempo a muoversi;
- Il *quarto tempo* (espansione) è rappresentato dall'adiabatica $D \rightarrow E$, durante il quale la temperatura dei prodotti della combustione si abbassa;
- Il *quinto tempo* (uscita dei gas) è rappresentato dall'isocora $E \rightarrow B$, lungo la quale la pressione del gas si abbassa fino alla pressione atmosferica a causa dell'apertura delle valvole di scarico;
- Il *sesto tempo* (espulsione) è rappresentato dall'isobara $B \rightarrow A$, durante il quale la corsa ascendente del pistone espelle i gas combusti dalla camera di scoppio e completa così il ciclo.



Il motore diesel

Il motore diesel, inventato nel 1893 dall'ingegnere tedesco [Rudolf Diesel](#), differisce dal tradizionale motore a *benzina* per diversi aspetti: il combustibile utilizzato per il funzionamento è il *gasolio*, che presenta proprietà antidetonanti decisamente maggiori rispetto alle benzine, e viene iniettato direttamente all'interno della camera di combustione, attraverso iniettori elettronici che polverizzano il combustibile in minutissime gocce.

L'altra grande differenza con i motori a benzina risiede nel metodo utilizzato per provocare l'accensione della miscela, che non prevede l'utilizzo della candela: la combustione viene provocata attraverso l'incremento della compressione durante la seconda fase, che porta ad un aumento di temperatura tale da innescare la reazione senza l'ausilio della scintilla.



Il primo motore Diesel, 1893



Qui a lato è riportato il ciclo Diesel teorico, nel quale, a differenza del ciclo Otto, la combustione avviene più gradualmente e, teoricamente, a pressione costante.

Il motore Diesel presenta molti vantaggi rispetto al motore benzina, soprattutto in termini di consumi, erogazione della potenza e durata del motore. Queste caratteristiche, unite alla crescente tendenza a dotare questo tipo di motori di turbine (*Turbodiesel*), al fine di incrementarne le prestazioni, sono i cardini del crescente successo dei motori alimentati a gasolio.

Nascita del motore a scoppio

Il motore a scoppio, o motore a combustione interna, fu il risultato di una lunga serie di studi, ricerche ed esperimenti che videro impegnati numerosi scienziati europei dalla metà dell' 800 fino ai primi anni del '900.

L'origine del Motore a scoppio risale alla metà del XIX secolo, quando in diverse regioni europee iniziarono i primi esperimenti nel tentativo di produrre energia meccanica dal calore.

All'inizio del 1800 Lebon d'Humbersin compie i primi esperimenti con gas illuminante, nel 1824 Carnot pubblica le sue "Riflessioni sul potere del calore di indurre movimento" e negli anni seguenti Brown, Wright e Barrnet realizzano in Inghilterra alcuni motori a gas.

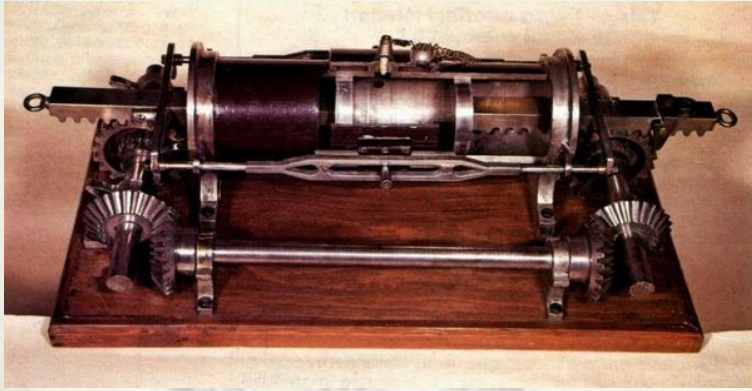
Ma il primo motore funzionante con regolarità fu quello di Barsanti e Matteucci, del quale furono depositati i disegni ed una precisa descrizione nel 1853 e al quale fanno riferimento diversi brevetti in Inghilterra, Francia, Belgio e Italia.

A tutti gli effetti questo deve essere riconosciuto come il primo motore a combustione interna.



Eugenio Barsanti e Felice Matteucci





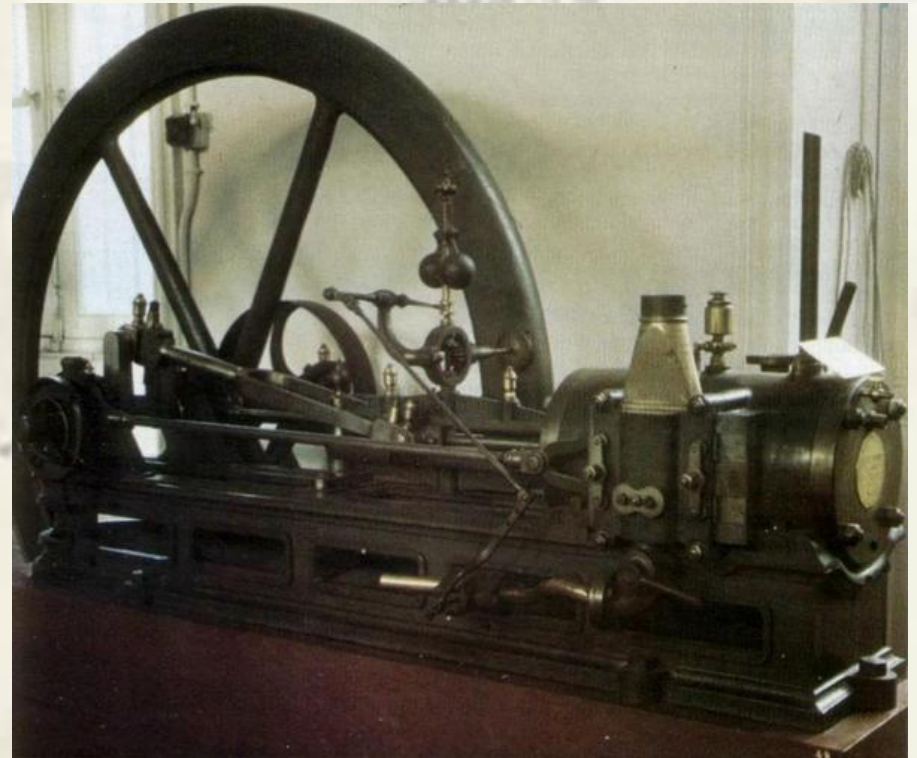
Un motore Barsanti-Matteucci

Successivamente, nel 1860, Lenoir realizzò un motore molto simile, che però funzionava ad azione diretta, con un rendimento del 4%.

Tuttavia, grazie anche al supporto del governo francese, questo motore ebbe un notevole successo: fu il primo motore a combustione interna ad essere impiegato nel settore industriale.

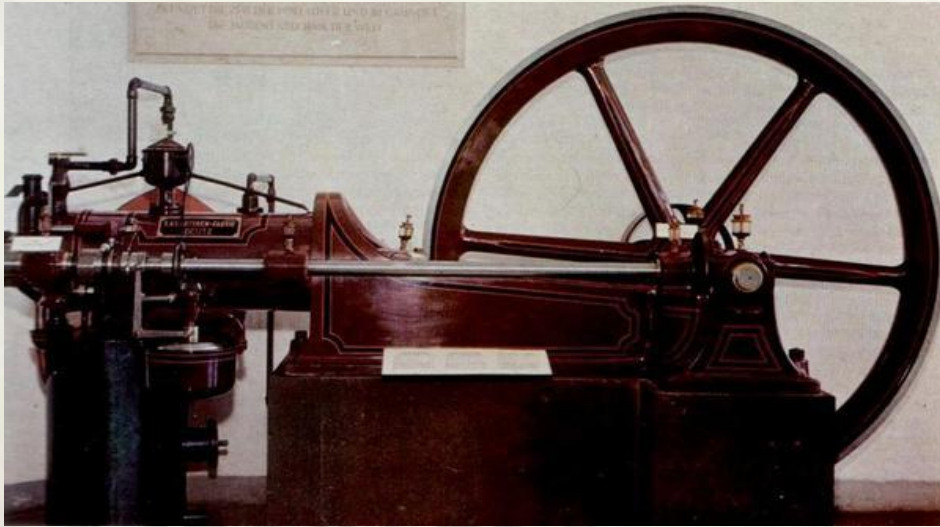
Nello stesso anno Beau de Rochas inventa e studia teoricamente il ciclo a quattro tempi così come lo intendiamo oggi, ma non costruisce alcuna macchina pratica che lo realizzi.

Il motore di Barsanti e Matteucci, frutto di una collaborazione professionale nata nel 1851, era costituito da un cilindro in ghisa verticale munito di stantuffo e valvole, ed il rendimento globale si attestava intorno al 14%.



Il motore Lenoir del 1860



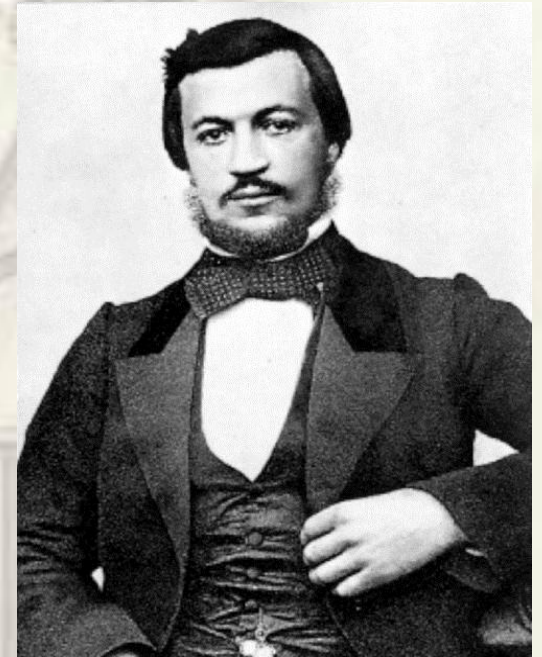


Il motore Otto-Langen del 1867

Nel 1876 gli stessi inventori realizzarono un motore a quattro tempi basato sul ciclo di Beau de Rochas, che ebbe un tale successo che oggi indichiamo col nome di "[ciclo Otto](#)" quello ideato da Beau de Rochas.

Negli anni che seguirono, l'impiego dei motori a scoppio ebbe una notevole diffusione ed il loro sviluppo fu portato avanti da molte persone sia in Europa che in [America](#).

Nel 1867 i tedeschi A. Otto ed E. Langen presentano un motore sostanzialmente uguale a quello di Barsanti e Matteucci all'Esposizione Internazionale di Parigi, con un rendimento del 12%. Nonostante le enormi dimensioni e le notevoli vibrazioni, questo motore sostituì ben presto il motore Lenoir.



Il prof. August Otto



L'invenzione del motore a due tempi ad opera di Clerk si ebbe nel 1879.

Qualche anno più tardi, nel 1882, Enrico Bernardi anticipò Daimler e Benz creando un motore a scoppio alimentato a benzina, la "Motrice Pia", sul quale venne utilizzato per la prima volta un carburatore.



Enrico Bernardi

Negli anni compresi tra il 1885 ed il 1890 i tedeschi Daimler e Benz, in maniera indipendente tra di loro, apportano diverse migliorie ai motori esistenti fino a renderli leggeri e potenti a tal punto da poter essere montati su una automobile, la cui invenzione viene accreditata contemporaneamente ai due studiosi nel 1885.

Nel 1893 il tedesco Rudolf Diesel realizza il primo [*motore ad accensione spontanea*](#), nel quale l'accensione della miscela non è determinata da una scintilla bensì da una maggior compressione, che verrà migliorato nel 1927 tramite la pompa meccanica di Bosh.



Rudolf Diesel

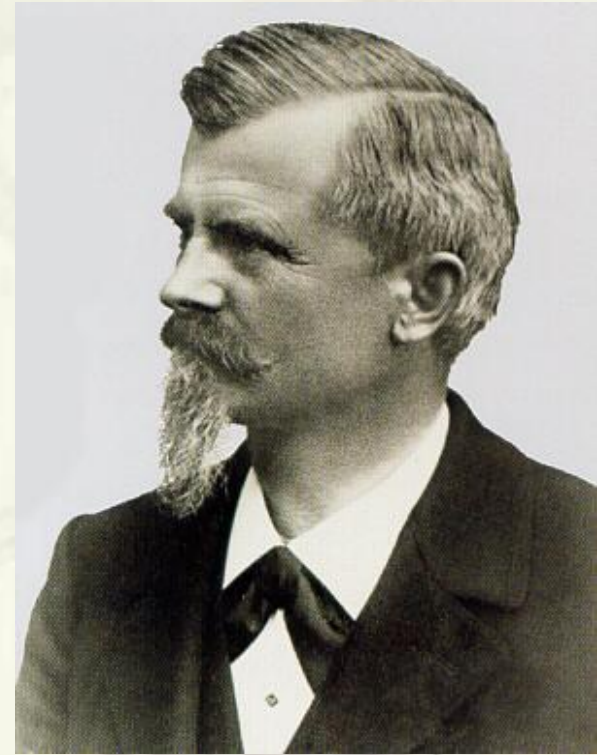


Nel 1900 Maybach realizza il primo motore a quattro cilindri in linea che verrà montato sulla prima Mercedes.

Nel 1957 Felix Wankel ideò il primo motore a combustione interna di tipo rotativo che porta il suo nome.



Felix Wankel col primo motore rotativo

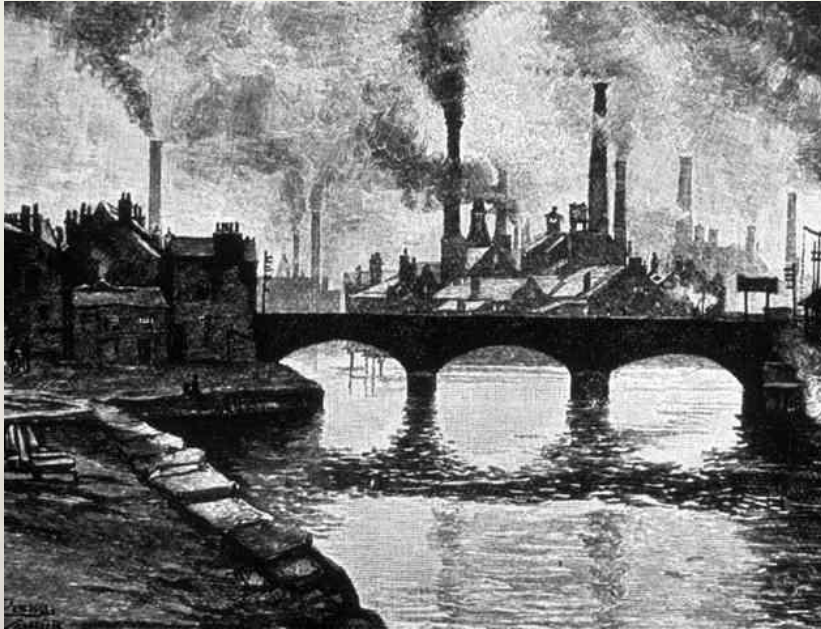


Wilhelm Maybach

Anche se oggi il motore a combustione interna è completamente diverso, in termini di aspetto, materiali e prestazioni, dalle versioni presenti alla fine dell'800, i principi del suo funzionamento sono rimasti immutati e non vi sono state innovazioni paragonabili a quelle introdotte nella seconda metà del XIX secolo.



Il contesto storico: la seconda rivoluzione industriale



Proprio il motore a scoppio, unito alla diffusione dell'energia elettrica, fu una delle principali caratteristiche del periodo di profonda trasformazione economica che venne chiamato "Seconda rivoluzione industriale", che ebbe inizio con un'improvvisa crisi di sovrapproduzione, scoppiata nel 1873, che durò per circa un ventennio.

Questo provocò un notevole rallentamento dello sviluppo ed una prolungata caduta dei prezzi, prodotto delle trasformazioni organizzative e delle innovazioni tecnologiche che permisero di ridurre i costi di produzione.

Molti furono i fattori, tra cui il crollo dei prezzi e la crisi della libera concorrenza, che portarono allo sviluppo di grandi concentrazioni finanziarie e strette compenetrazioni tra banche e imprese.

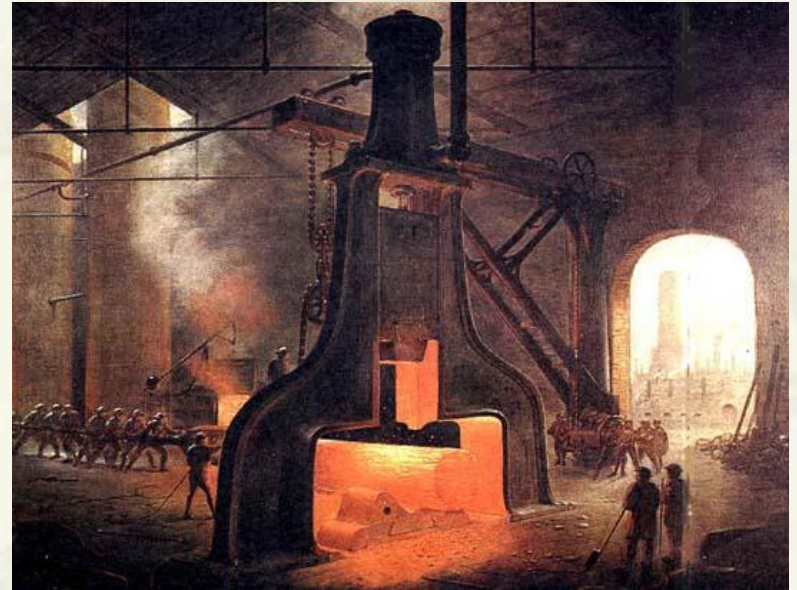
Si sviluppava contemporaneamente nei vari stati, una politica protezionistica di appoggio all'economia nazionale e una maggiore aggressività sul piano dell'economia estera, che fu la base delle politiche di espansione coloniale delle maggiori potenze.



La conseguenza più grave della caduta dei prezzi fu certamente lo svilupparsi di una grave crisi agraria che interessò l'europa negli ultimi decenni dell'ottocento, ma non colpì i paesi più sviluppati, nei quali i progressi portarono ad una vera e propria rivoluzione agricola.

La concorrenza spietata dei prodotti agricoli statunitensi, sempre più a buon mercato, produsse gravi conseguenze come l'inasprimento della conflittualità sociale e la forte emigrazione transoceanica.

Il calo dell'agricoltura in rapporto alle attività economiche fu comune a tutti i paesi industrializzati.



Caratteristica saliente di questo periodo fu la stretta correlazione tra scienza, tecnologia e produzione, e il rinnovamento tecnologico si concentrò principalmente sulle industrie giovani: chimica, elettrica e dell'acciaio, aprendo nuove prospettive un po' in tutti i settori produttivi.

Come abbiamo già detto, la produzione di energia elettrica (soprattutto con l'illuminazione) e l'invenzione del motore a scoppio rivoluzionarono la vita quotidiana, insieme alla trasformazione scientifica e ai progressi della medicina e dell'igiene.

Questi ultimi due aspetti, uniti al notevole sviluppo dell'industria alimentare, determinarono in Europa un calo della mortalità, che fu la causa di un sensibile aumento della popolazione, nonostante la diffusione dei metodi contraccettivi.

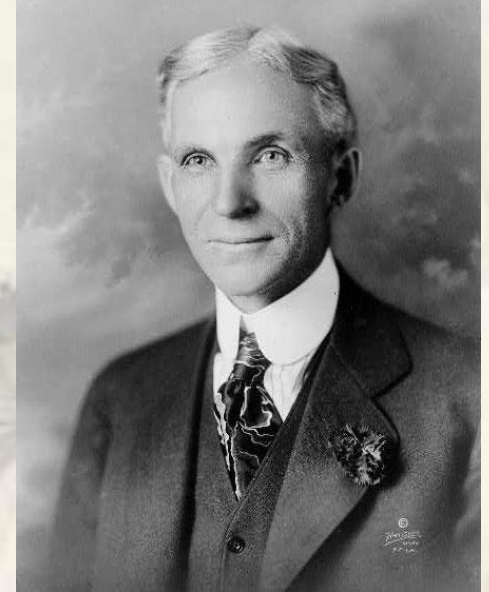


Henry Ford

Henry Ford, born in 1863, grew up on a prosperous family farm in Michigan. Henry enjoyed a childhood typical of the rural nineteenth century, spending days in a one-room school and doing farm chores. At an early age, he showed an interest in mechanical things and a dislike for farm work.

In 1879 Ford moved to the nearby city of Detroit to work as an apprentice machinist, although he did occasionally return to help on the farm. He remained an apprentice for three years and then returned to Dearborn. Henry spent the next few years, operating and repairing steam engines and taking care of his father's farm implements.

In 1891, Ford became an engineer with the Edison Illuminating Company in Detroit. This event signified a conscious decision to dedicate his life to industrial pursuits.



Henry Ford



The Quadricycle

His promotion to Chief Engineer in 1893 gave him enough time and money to devote attention to his personal experiments on internal combustion engines.

These experiments culminated with the creation of his own self-propelled vehicle, the *Quadricycle*. The Quadricycle had four wire wheels and had only two forward speeds with no reverse. Although Ford was not the first to build a self-propelled vehicle with a gasoline engine, but surely he was one of the most important automotive pioneers.



Industrial success

After two unsuccessful attempts to establish a company to manufacture automobiles, the Ford Motor Company was incorporated in 1903 with Henry Ford as vice-president and chief engineer. The company produced only a few cars a day at the Ford factory in Detroit, where groups of two or three men worked on each car.

Ford realized his dream of producing an automobile that was reasonably priced and reliable with the introduction of the Model T in 1908.



The twenty millionth Model T Ford



This vehicle started a new era in personal transportation. It was so easy to handle and maintain that immediately became a huge success.

In 1918, half of all cars in America were Model T. To meet the growing demand for the Model T, the company opened a larger factory in Michigan. Here Henry Ford standardized the famous continuous assembly line. Workers remained in place, adding one component to each automobile as it moved past them on the line.



The introduction of the moving assembly line revolutionized automobile production by significantly reducing assembly time and lowering costs. Ford's production of Model T made his company the largest automobile manufacturer in the world.

The company constructed one the world's largest industrial complex along the banks of the Rouge River in Michigan, between 1910s and 1920s. By September 1927, all steps in the manufacturing process took place at the vast Rouge Plant, characterizing Henry Ford's idea of mass production. Under Fordism, mass consumption combined with mass production to produce sustained economic growth and widespread industrial advancement.



The Rouge Plant, Michigan



Bibliografia

Storia del motore a scoppio e seconda rivoluzione industriale:

- www.torvergata-karting.it
- "Storia dal 1650 al 1900" – Editori Laterza

Henry Ford:

- www.hfmgv.org
- www.time.com

Termodinamica e funzionamento motore a scoppio:

- "Le idee della fisica – volume secondo" – Zanichelli
- www.alfonsomartone.itb.it/vglavh.html

Benzine e derivati del petrolio:

- "Chimica applicata: la chimica del carbonio e la chimica nell'industria" – Zanichelli
- it.wikipedia.org
- It.encarta.msn.com