



Corso di Formazione

MECCANICA DELL'AUTOMOBILE – IL MOTORE



PREMESSA

“Struttura del corso” ...

- **Capitolo 1 – il motore:** *il moto dei motori – il motore endotermico – il motore a 4 tempi – il motore a 2 tempi – il motore a ciclo Otto – il motore Diesel – cilindrata potenza e coppia motrice – cavallo e chilowatt;*
- **Capitolo 2 – struttura del motore:** *testata – basamento – albero e volano motore – pistone – biella – cinghie e pulegge – galoppini – coppa dell'olio – impianto di aspirazione dell'aria – disposizione dei cilindri;*
- **Capitolo 3 – alimentazione del motore a ciclo Otto:** *motori a carburazione libera – il carburatore – carburatore assistito elettronicamente – l'iniezione di benzina – iniezione;*
- **Capitolo 4 – l'accensione del motore a scoppio:** *l'accensione elettronica – candele;*
- **Capitolo 5 – il motore a ciclo Diesel:** *Motore diesel tradizionale – iniettori – motore a iniezione indiretta – motore a iniezione diretta – Common rail;*
- **Capitolo 6 – motori sovralimentati:** *motore turbocompresso – motore turbo con intercooler;*
- **Capitolo 7 – motori e disposizione dei cilindri:** *i motori in Linea – i motori a V - i motori Boxer*

IL MOTORE

Nei decenni che hanno seguito la comparsa dei primi prototipi, l'automobile si è fortemente evoluta, vedendo cambiare, modificare la propria struttura dall'aggiunta di meccanismi di perfezionamento delle sue parti essenziali ed anche di tanta elettronica per controllare ed ottimizzare motore e meccanica in generale. Ma a parte il progresso e le differenze che ha determinato tra le auto di un secolo fa e quelle ultra-tecnologiche dei nostri giorni, un'automobile è fondamentalmente costruita sempre allo stesso modo, vale a dire che determinate parti le ha sempre avute e sempre le avrà, almeno fin quando non si deciderà di abbandonare i motori endotermici e passare alla trazione elettrica.

Qualunque autovettura si prenda in esame è formata almeno da:

- un telaio che sorregge l'insieme della meccanica e della carrozzeria;
- un pianale, che ormai è tutt'uno con la parte bassa del telaio e che sorregge il motore e parte delle sospensioni, oltre ai sedili per conducente e passeggeri;
- una carrozzeria, che riveste e chiude la vettura e nella quale sono integrate superfici vetrate per garantire la visibilità agli occupanti;
- un motore, che garantisce la trazione;
- un cambio di velocità, per adattare il motore alle condizioni di lavoro e per consentire il movimento in retromarcia;
- una frizione, che serve a isolare il motore dal cambio di velocità nei cambi di marcia;
- un apparato di trasmissione, con cambio di velocità, che porta il moto del motore dal cambio di velocità alle ruote;
- un sistema di sospensioni, che serve ad assorbire le asperità della strada garantendo un viaggio comodo e l'indispensabile sicurezza;
- un sistema frenante, indispensabile per fermarne la corsa;
- un sistema sterzante, necessario per poter muovere il veicolo nella direzione voluta dal conducente;
- un apparato di scarico dei fumi risultanti dalla combustione nel motore;
- quattro ruote per circolare.



Il motore è la parte cruciale di un'auto, senza di esso non si può parlare di automobile, dato che automobile significa “capace di muoversi autonomamente”. L'indispensabile compito che il motore tradizionale svolge ha, però, un prezzo: l'inquinamento atmosferico; perciò, passati i decenni dell'euforia trasmessa dalle scoperte tecnologiche e dal progresso, la ricerca automobilistica ha mirato all'affinamento dei motori di autotrazione. Oggi il grosso degli sforzi compiuto nello studio delle nuove automobili riguarda prettamente il propulsore ed è mirato essenzialmente a due aspetti: il miglioramento delle prestazioni (intendendo con ciò anche la riduzione dei consumi) e il contenimento dell'inquinamento.

*Per prima cosa va detto che il motore delle automobili e dei mezzi commerciali è chiamato “termico” perché in esso la potenza meccanica viene ottenuta partendo da un processo termico. Il primo motore termico è stato indubbiamente la macchina a vapore, propulsore delle prime auto sperimentali (carro di Cugnot nel 1700), delle locomotive a vapore fino al ‘900 e delle navi fino ad una ottantina di anni fa. Le macchine a vapore sono **motori esotermici**, perché la combustione avviene non al loro interno, ma esternamente, nella caldaia che serve a produrre il vapore. I motori a vapore ancora oggi utilizzati nella produzione dell’elettricità (seppure siano un po' diversi da quelle delle locomotive) e nella propulsione navale. Il motore termico si basa sull’energia rilasciata dalla combustione, e sulla pressione esercitata dai gas prodotti o sull’espansione di vapore.*



1771, CARRO A VAPORE DI CUGNOT



Il moto dei motori

Una prima distinzione dei motori va fatta in base a come sfruttano l'energia in essi consumata per produrre il moto; i motori possono essere classificati in rotativi e alternativi: sono rotativi i motori elettrici e le turbine a gas e a vapore, mentre il classico motore della locomotiva a vapore e quello dell'automobile sono alternativi. Per rotativo si intende un motore che si muove direttamente facendo ruotare una parte che trasporta il moto mediante un "albero"; il motore alternativo invece ha la parte produttore il moto che si muove avanti e indietro (o in alto e in basso) e per far girare una ruota richiede un qualcosa che converta il moto rettilineo in rotatorio. Questo qualcosa è stato realizzato già nella macchina a vapore e si chiama meccanismo biella-manovella.

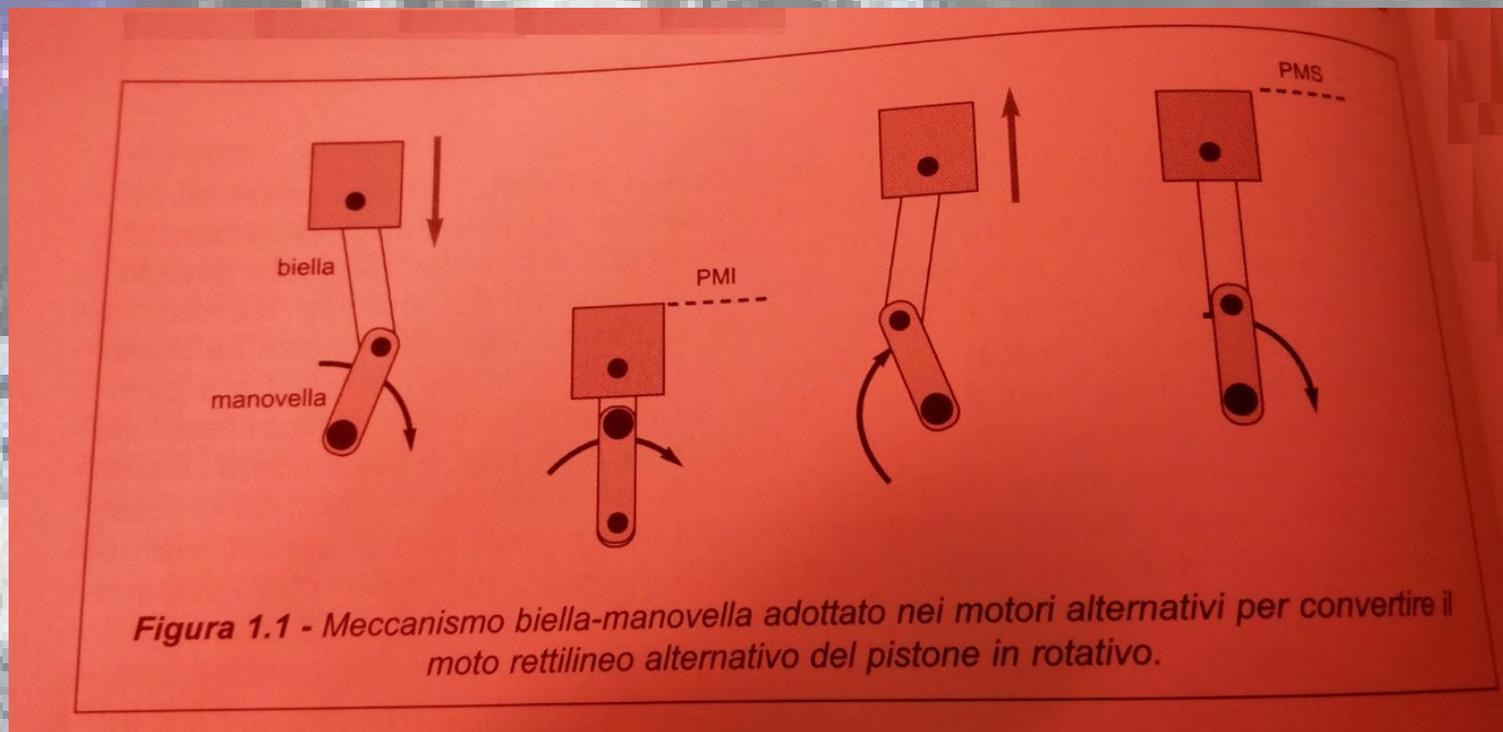
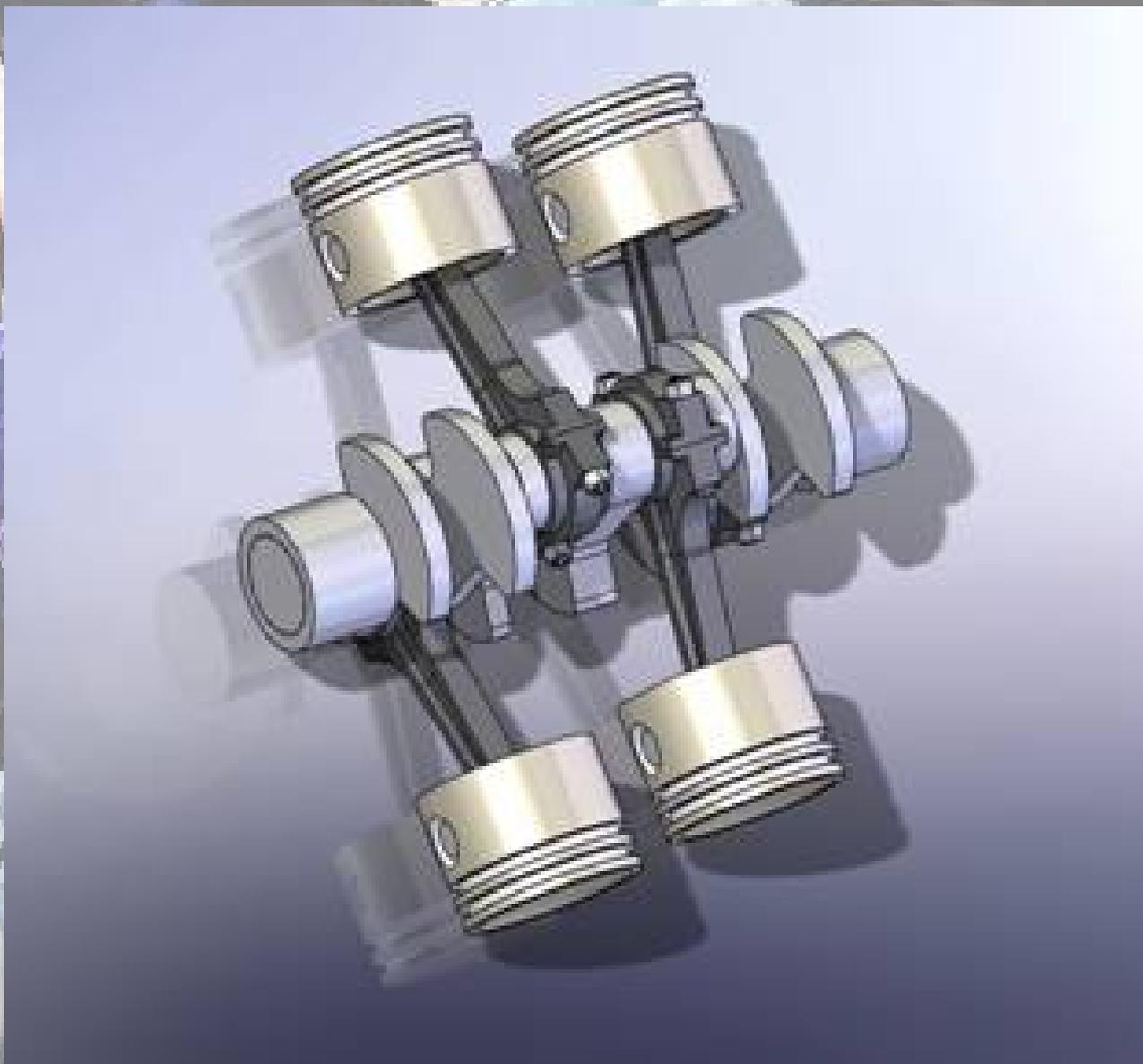
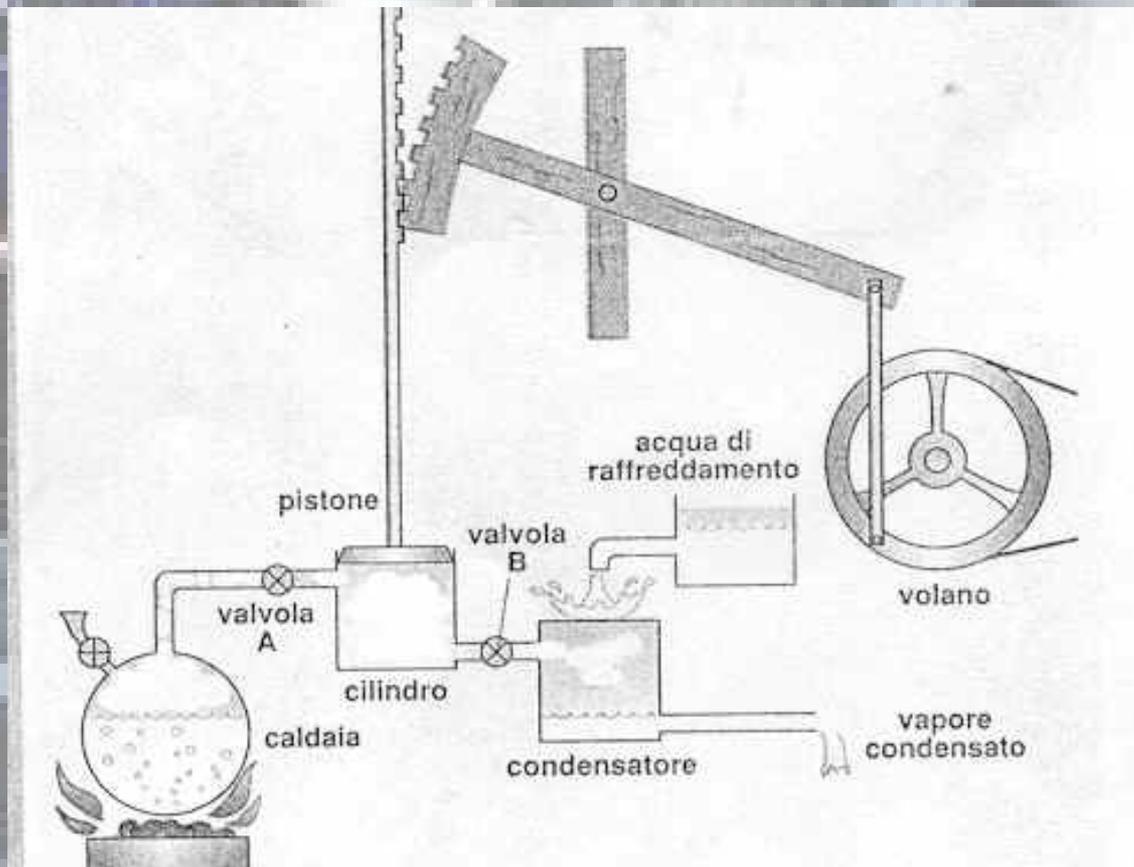


Figura 1.1 - Meccanismo biella-manovella adottato nei motori alternativi per convertire il moto rettilineo alternativo del pistone in rotativo.

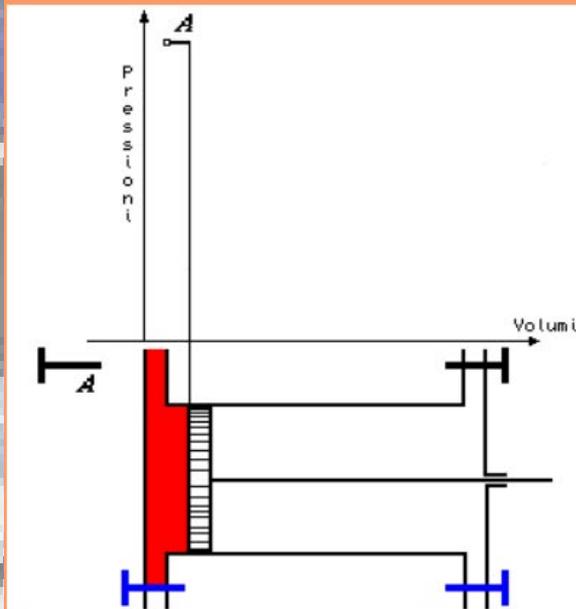


Il primo motore a vapore consisteva in un cilindro cavo chiuso in cima e in fondo (cilindro) nel quale scorreva assialmente un secondo cilindro pieno (pistone) collegato al meccanismo biella-manovella; quando dalla sommità veniva fatto entrare del vapore ad alta pressione, questo, espandendosi, spingeva indietro il pistone, il quale premeva sulla biella (collegata ad esso mediante una spinetta che ne permetteva la rotazione) mettendo in rotazione l'albero connesso alla manovella.



Il punto più lontano raggiungibile dal vertice del cilindro prende il nome di *punto morto inferiore (PMI)*. Arrivato qui, il pistone veniva fatto tornare indietro da una seconda iniezione di vapore, fino al punto più vicino al vertice, detto *punto morto superiore (PMS)*. La definizione di punto morto nasce dal fatto che si tratta di una zona alla quale non c'è moto, perché il pistone si arresta e inverte la direzione. Il motore a vapore siffatto prende il nome di macchina a vapore alternativa a doppio effetto e veniva usato nelle locomotive.

Ciclo reale di una motrice a vapore.



Le fasi di un ciclo di una macchina a vapore sono:

- 1) Fase di introduzione del vapore (F-A-B).
- 2) Fase di espansione (B-C).
- 3) Fase di scarico (C-D-E).
- 4) Fase di compressione (E-F-A).

Aperto la valvola di ammissione (A) il vapore entra nel cilindro ad una pressione leggermente inferiore a quella della caldaia. Finché la valvola resta aperta la pressione nel cilindro rimane costante perché lo stantuffo si sposta verso destra.

La fase di ammissione avviene a pressione costante ed è rappresentata graficamente dal segmento A-B parallelo all'asse dei volumi (trasformazione isobarica).

A questo punto viene istantaneamente chiusa la valvola di ammissione, il vapore continua ad espandersi e spinge lo stantuffo fino al punto morto di destra. La pressione del vapore diminuisce mentre il volume, generato dallo spostamento del pistone, aumenta.

Questa trasformazione avviene senza scambio di calore con l'esterno ed è quindi una adiabatica.

La fase di espansione finisce al punto C quando viene aperta la valvola di scarico: la pressione scende di colpo al valore dell'ambiente entro il quale il vapore si scaricherà.

Come previsto da Carnot, senza punto freddo il ciclo non produce lavoro utile. Se lo scarico avviene nel condensatore il punto D si abbassa, l'area del ciclo aumenta e maggiore è il lavoro utile prodotto dal ciclo.

La fase di scarico avviene a volume costante e quindi è una isometrica rappresentata dal segmento C-D parallelo all'asse delle pressioni.

In D il pistone inizia la sua corsa di ritorno. Fino al punto E la pressione non aumenta perché la valvola di scarico resta aperta.

Questo tratto di ciclo avviene a pressione costante (trasformazione isobarica) retta D-E parallela all'asse dei volumi.

Prima che il pistone giunga al punto morto di sinistra viene chiusa la valvola di scarico (punto E). Il pistone continua la corsa verso sinistra, il volume del vapore rimasto nel cilindro diminuisce e la sua pressione aumenta. Non c'è scambio di calore con l'esterno.

Dal punto E al punto F si ha una trasformazione adiabatica.

Il pistone raggiunge il punto morto di sinistra, viene aperta la valvola di ammissione del vapore, la pressione sale di colpo al valore già visto per l'inizio del ciclo.

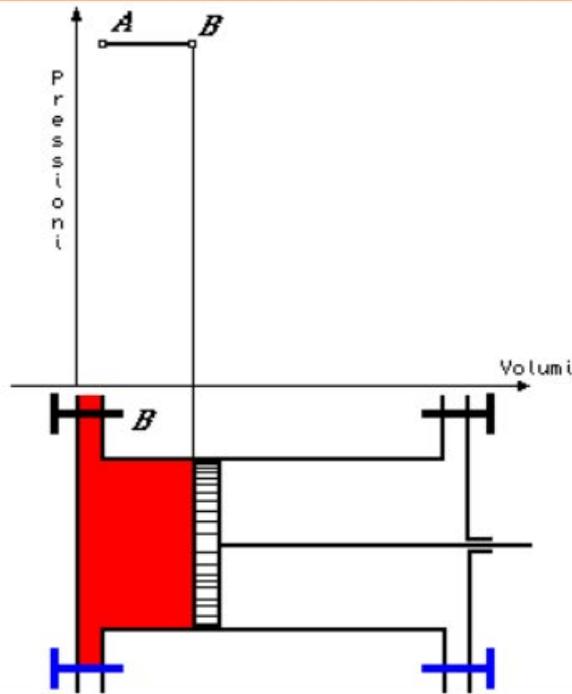
Questo tratto di ciclo (F-A) avviene a volume costante (trasformazione isometrica).

Tutto ricomincia.

In pratica non è possibile aprire la valvola di scarico nell'istante preciso in cui il pistone giunge al punto morto di destra. L'apertura avviene alcuni istanti prima. In corrispondenza della fase di scarico il ciclo di trasformazione deve essere leggermente arrotondato.

L'area racchiusa dal ciclo e colorata di rosso rappresenta il lavoro che la macchina compie ad ogni ciclo. Il diagramma vale anche per una macchina a doppio effetto.

Ciclo reale di una motrice a vapore.



Le fasi di un ciclo di una macchina a vapore sono:

- 1) Fase di introduzione del vapore (F-A-B).
- 2) Fase di espansione (B-C).
- 3) Fase di scarico (C-D-E).
- 4) Fase di compressione (E-F-A).

Aperto la valvola di ammissione (A) il vapore entra nel cilindro ad una pressione leggermente inferiore a quella della caldaia. Finché la valvola resta aperta la pressione nel cilindro rimane costante perché lo stantuffo si sposta verso destra.

La fase di ammissione avviene a pressione costante ed è rappresentata graficamente dal segmento A-B parallelo all'asse dei volumi (trasformazione isobarica).

A questo punto viene istantaneamente chiusa la valvola di ammissione, il vapore continua ad espandersi e spinge lo stantuffo fino al punto morto di destra. La pressione del vapore diminuisce mentre il volume, generato dallo spostamento del pistone, aumenta.

Questa trasformazione avviene senza scambio di calore con l'esterno ed è quindi una adiabatica.

La fase di espansione finisce al punto C quando viene aperta la valvola di scarico: la pressione scende di colpo al valore dell'ambiente entro il quale il vapore si scaricherà.

Come previsto da Carnot, senza punto freddo il ciclo non produce lavoro utile. Se lo scarico avviene nel condensatore il punto D si abbassa, l'area del ciclo aumenta e maggiore è il lavoro utile prodotto dal ciclo.

La fase di scarico avviene a volume costante e quindi è una isometrica rappresentata dal segmento C-D parallelo all'asse delle pressioni.

In D il pistone inizia la sua corsa di ritorno. Fino al punto E la pressione non aumenta perché la valvola di scarico resta aperta.

Questo tratto di ciclo avviene a pressione costante (trasformazione isobarica) retta D-E parallela all'asse dei volumi.

Prima che il pistone giunga al punto morto di sinistra viene chiusa la valvola di scarico (punto E). Il pistone continua la corsa verso sinistra, il volume del vapore rimasto nel cilindro diminuisce e la sua pressione aumenta. Non c'è scambio di calore con l'esterno.

Dal punto E al punto F si ha una trasformazione adiabatica.

Il pistone raggiunge il punto morto di sinistra, viene aperta la valvola di ammissione del vapore, la pressione sale di colpo al valore già visto per l'inizio del ciclo.

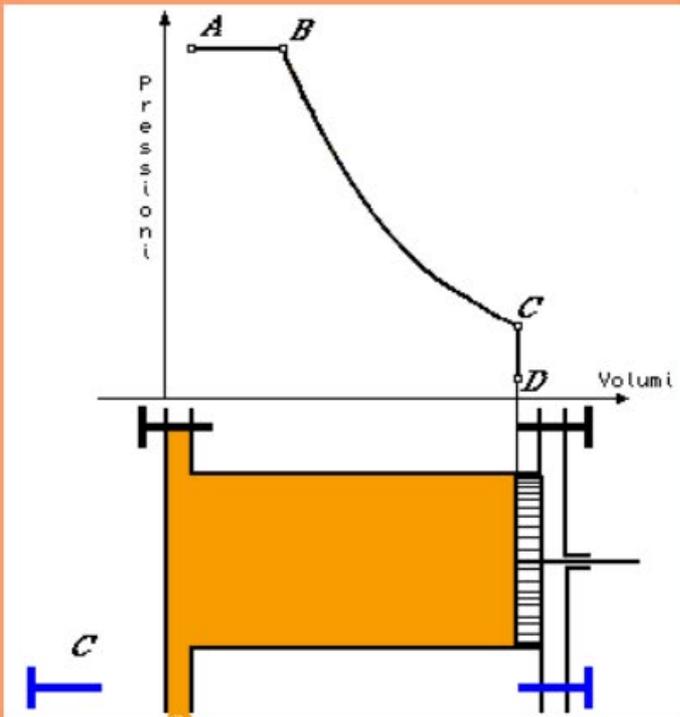
Questo tratto di ciclo (F-A) avviene a volume costante (trasformazione isometrica).

Tutto ricomincia.

In pratica non è possibile aprire la valvola di scarico nell'istante preciso in cui il pistone giunge al punto morto di destra. L'apertura avviene alcuni istanti prima. In corrispondenza della fase di scarico il ciclo di trasformazione deve essere leggermente arrotondato.

L'area racchiusa dal ciclo e colorata di rosso rappresenta il lavoro che la macchina compie ad ogni ciclo. Il diagramma vale anche per una macchina a doppio effetto.

Ciclo reale di una motrice a vapore.



Le fasi di un ciclo di una macchina a vapore sono:

- 1) Fase di introduzione del vapore (F-A-B).
- 2) Fase di espansione (B-C).
- 3) Fase di scarico (C-D-E).
- 4) Fase di compressione (E-F-A).

Aperto la valvola di ammissione (A) il vapore entra nel cilindro ad una pressione leggermente inferiore a quella della caldaia. Finchè la valvola resta aperta la pressione nel cilindro rimane costante perchè lo stantuffo si sposta verso destra.

La fase di ammissione avviene a pressione costante ed è rappresentata graficamente dal segmento A-B parallelo all'asse dei volumi (trasformazione isobarica).

A questo punto viene istantaneamente chiusa la valvola di ammissione, il vapore continua ad espandersi e spinge lo stantuffo fino al punto morto di destra. La pressione del vapore diminuisce mentre il volume, generato dallo spostamento del pistone, aumenta.

Questa trasformazione avviene senza scambio di calore con l'esterno ed è quindi una adiabatica.

La fase di espansione finisce al punto C quando viene aperta la valvola di scarico: la pressione scende di colpo al valore dell'ambiente entro il quale il vapore si scaricherà.

Come previsto da Carnot, senza punto freddo il ciclo non produce lavoro utile. Se lo scarico avviene nel condensatore il punto D si abbassa, l'area del ciclo aumenta e maggiore è il lavoro utile prodotto dal ciclo.

La fase di scarico avviene a volume costante e quindi è una isometrica rappresentata dal segmento C-D parallelo all'asse delle pressioni.

In D il pistone inizia la sua corsa di ritorno. Fino al punto E la pressione non aumenta perchè la valvola di scarico resta aperta.

Questo tratto di ciclo avviene a pressione costante (trasformazione isobarica) retta D-E parallela all'asse dei volumi.

Prima che il pistone giunga al punto morto di sinistra viene chiusa la valvola di scarico (punto E). Il pistone continua la corsa verso sinistra, il volume del vapore rimasto nel cilindro diminuisce e la sua pressione aumenta. Non c'è scambio di calore con l'esterno.

Dal punto E al punto F si ha una trasformazione adiabatica.

Il pistone raggiunge il punto morto di sinistra, viene aperta la valvola di ammissione del vapore, la pressione sale di colpo al valore già visto per l'inizio del ciclo.

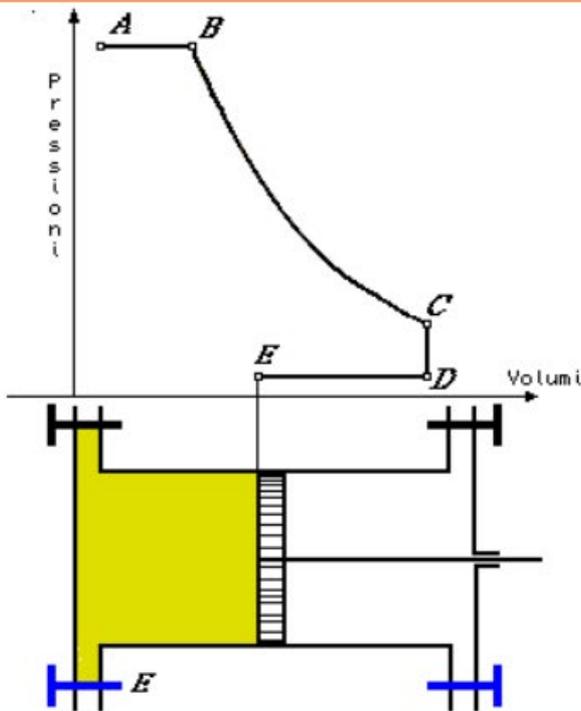
Questo tratto di ciclo (F-A) avviene a volume costante (trasformazione isometrica).

Tutto ricomincia.

In pratica non è possibile aprire la valvola di scarico nell'istante preciso in cui il pistone giunge al punto morto di destra. L'apertura avviene alcuni istanti prima. In corrispondenza della fase di scarico il ciclo di trasformazione deve essere leggermente arrotondato.

L'area racchiusa dal ciclo e colorata di rosso rappresenta il lavoro che la macchina compie ad ogni ciclo. Il diagramma vale anche per una macchina a doppio effetto.

Ciclo reale di una motrice a vapore.



Le fasi di un ciclo di una macchina a vapore sono:

- 1) Fase di introduzione del vapore (F-A-B).
- 2) Fase di espansione (B-C).
- 3) Fase di scarico (C-D-E).
- 4) Fase di compressione (E-F-A).

Aperto la valvola di ammissione (A) il vapore entra nel cilindro ad una pressione leggermente inferiore a quella della caldaia. Finchè la valvola resta aperta la pressione nel cilindro rimane costante perchè lo stantuffo si sposta verso destra.

La fase di ammissione avviene a pressione costante ed è rappresentata graficamente dal segmento A-B parallelo all'asse dei volumi (trasformazione isobarica).

A questo punto viene istantaneamente chiusa la valvola di ammissione, il vapore continua ad espandersi e spinge lo stantuffo fino al punto morto di destra. La pressione del vapore diminuisce mentre il volume, generato dallo spostamento del pistone, aumenta.

Questa trasformazione avviene senza scambio di calore con l'esterno ed è quindi una adiabatica.

La fase di espansione finisce al punto C quando viene aperta la valvola di scarico: la pressione scende di colpo al valore dell'ambiente entro il quale il vapore si scaricherà.

Come previsto da Carnot, senza punto freddo il ciclo non produce lavoro utile. Se lo scarico avviene nel condensatore il punto D si abbassa, l'area del ciclo aumenta e maggiore è il lavoro utile prodotto dal ciclo.

La fase di scarico avviene a volume costante e quindi è una isometrica rappresentata dal segmento C-D parallelo all'asse delle pressioni.

In D il pistone inizia la sua corsa di ritorno. Fino al punto E la pressione non aumenta perchè la valvola di scarico resta aperta.

Questo tratto di ciclo avviene a pressione costante (trasformazione isobarica) retta D-E parallela all'asse dei volumi.

Prima che il pistone giunga al punto morto di sinistra viene chiusa la valvola di scarico (punto E). Il pistone continua la corsa verso sinistra, il volume del vapore rimasto nel cilindro diminuisce e la sua pressione aumenta. Non c'è scambio di calore con l'esterno.

Dal punto E al punto F si ha una trasformazione adiabatica.

Il pistone raggiunge il punto morto di sinistra, viene aperta la valvola di ammissione del vapore, la pressione sale di colpo al valore già visto per l'inizio del ciclo.

Questo tratto di ciclo (F-A) avviene a volume costante (trasformazione isometrica).

Tutto ricomincia.

In pratica non è possibile aprire la valvola di scarico nell'istante preciso in cui il pistone giunge al punto morto di destra. L'apertura avviene alcuni istanti prima. In corrispondenza della fase di scarico il ciclo di trasformazione deve essere leggermente arrotondato.

L'area racchiusa dal ciclo e colorata di rosso rappresenta il lavoro che la macchina compie ad ogni ciclo. Il diagramma vale anche per una macchina a doppio effetto.

Ciclo reale di una motrice a vapore.

Le fasi di un ciclo di una macchina a vapore sono:

- 1) Fase di introduzione del vapore (F-A-B).
- 2) Fase di espansione (B-C).
- 3) Fase di scarico (C-D-E).
- 4) Fase di compressione (E-F-A).

Aperto la valvola di ammissione (A) il vapore entra nel cilindro ad una pressione leggermente inferiore a quella della caldaia. Finchè la valvola resta aperta la pressione nel cilindro rimane costante perchè lo stantuffo si sposta verso destra.

La fase di ammissione avviene a pressione costante ed è rappresentata graficamente dal segmento A-B parallelo all'asse dei volumi (trasformazione isobarica).

A questo punto viene istantaneamente chiusa la valvola di ammissione, il vapore continua ad espandersi e spinge lo stantuffo fino al punto morto di destra. La pressione del vapore diminuisce mentre il volume, generato dallo spostamento del pistone, aumenta.

Questa trasformazione avviene senza scambio di calore con l'esterno ed è quindi una *adiabatica*.

La fase di espansione finisce al punto C quando viene aperta la valvola di scarico: la pressione scende di colpo al valore dell'ambiente entro il quale il vapore si scaricherà.

Come previsto da Carnot, senza punto freddo il ciclo non produce lavoro utile. Se lo scarico avviene nel condensatore il punto D si abbassa, l'area del ciclo aumenta e maggiore è il lavoro utile prodotto dal ciclo.

La fase di scarico avviene a volume costante e quindi è una *isometrica* rappresentata dal segmento C-D parallelo all'asse delle pressioni.

In D il pistone inizia la sua corsa di ritorno. Fino al punto E la pressione non aumenta perchè la valvola di scarico resta aperta.

Questo tratto di ciclo avviene a pressione costante (trasformazione *isobarica*) retta D-E parallela all'asse dei volumi.

Prima che il pistone giunga al punto morto di sinistra viene chiusa la valvola di scarico (punto E). Il pistone continua la corsa verso sinistra, il volume del vapore rimasto nel cilindro diminuisce e la sua pressione aumenta. Non c'è scambio di calore con l'esterno.

Dal punto E al punto F si ha una trasformazione *adiabatica*.

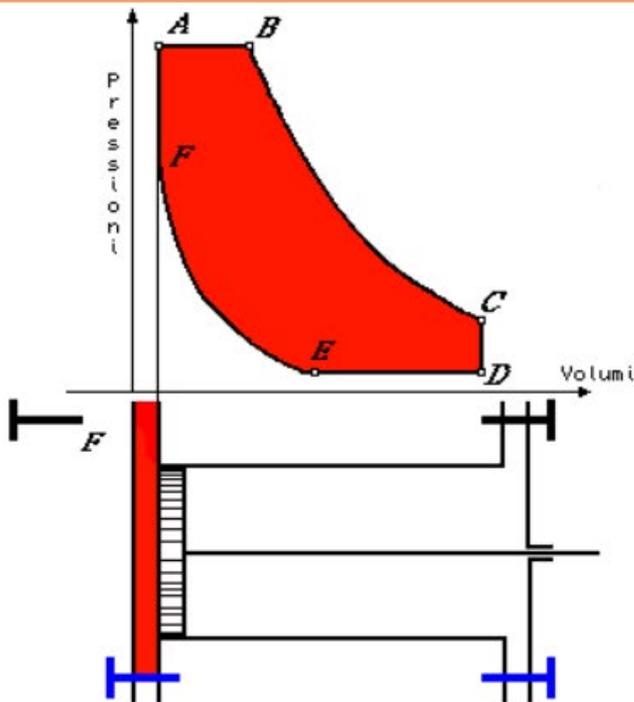
Il pistone raggiunge il punto morto di sinistra, viene aperta la valvola di ammissione del vapore, la pressione sale di colpo al valore già visto per l'inizio del ciclo.

Questo tratto di ciclo (F-A) avviene a volume costante (trasformazione *isometrica*).

Tutto ricomincia.

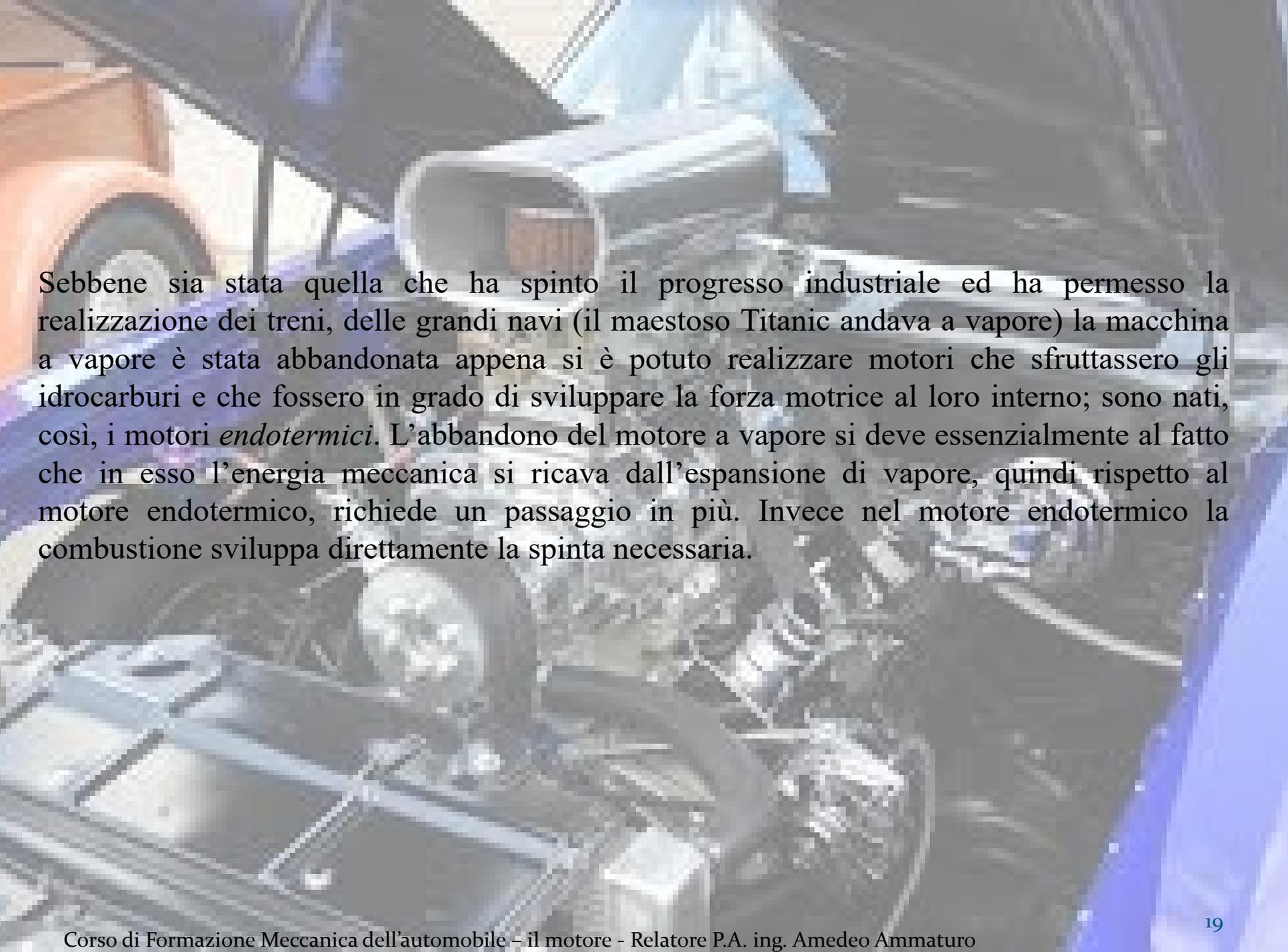
In pratica non è possibile aprire la valvola di scarico nell'istante preciso in cui il pistone giunge al punto morto di destra. L'apertura avviene alcuni istanti prima. In corrispondenza della fase di scarico il ciclo di trasformazione deve essere leggermente arrotondato.

L'area racchiusa dal ciclo e colorata di rosso rappresenta il lavoro che la macchina compie ad ogni ciclo. Il diagramma vale anche per una macchina a doppio effetto.





Il motore endotermico



Sebbene sia stata quella che ha spinto il progresso industriale ed ha permesso la realizzazione dei treni, delle grandi navi (il maestoso Titanic andava a vapore) la macchina a vapore è stata abbandonata appena si è potuto realizzare motori che sfruttassero gli idrocarburi e che fossero in grado di sviluppare la forza motrice al loro interno; sono nati, così, i motori *endotermici*. L'abbandono del motore a vapore si deve essenzialmente al fatto che in esso l'energia meccanica si ricava dall'espansione di vapore, quindi rispetto al motore endotermico, richiede un passaggio in più. Invece nel motore endotermico la combustione sviluppa direttamente la spinta necessaria.



La macchina a vapore risulta più ingombrante perché richiede una caldaia dove trasformare l'acqua in vapore ad alta pressione e poi non permette partenze immediate, in quanto prima di ottenere il vapore occorrono alcuni minuti; inoltre, in caso di brusche variazioni di pendenza o forti inclinazioni l'acqua della caldaia potrebbe fuoriuscire. Infine, il rendimento termico è scarso, perché l'energia termica fornita al vapore dalla combustione si disperde in parte nel passaggio dalla caldaia al cilindro. L'invenzione del motore endotermico ha cambiato un certo modo di vedere sia il trasporto, sia la produzione di energia elettrica: sono endotermici i motori delle auto, quelli di molte imbarcazioni, degli elicotteri, nonché le turbine a gas usate nelle centrali elettriche, nelle moderne turbonavi e in alcuni locomotori ferroviari. Anche i reattori e i turboreattori degli aerei sono motori endotermici.

Quello che interessa l'automobile è però il motore endotermico alternativo, che è composto similmente a quello a vapore. Più esattamente, consta delle seguenti parti:

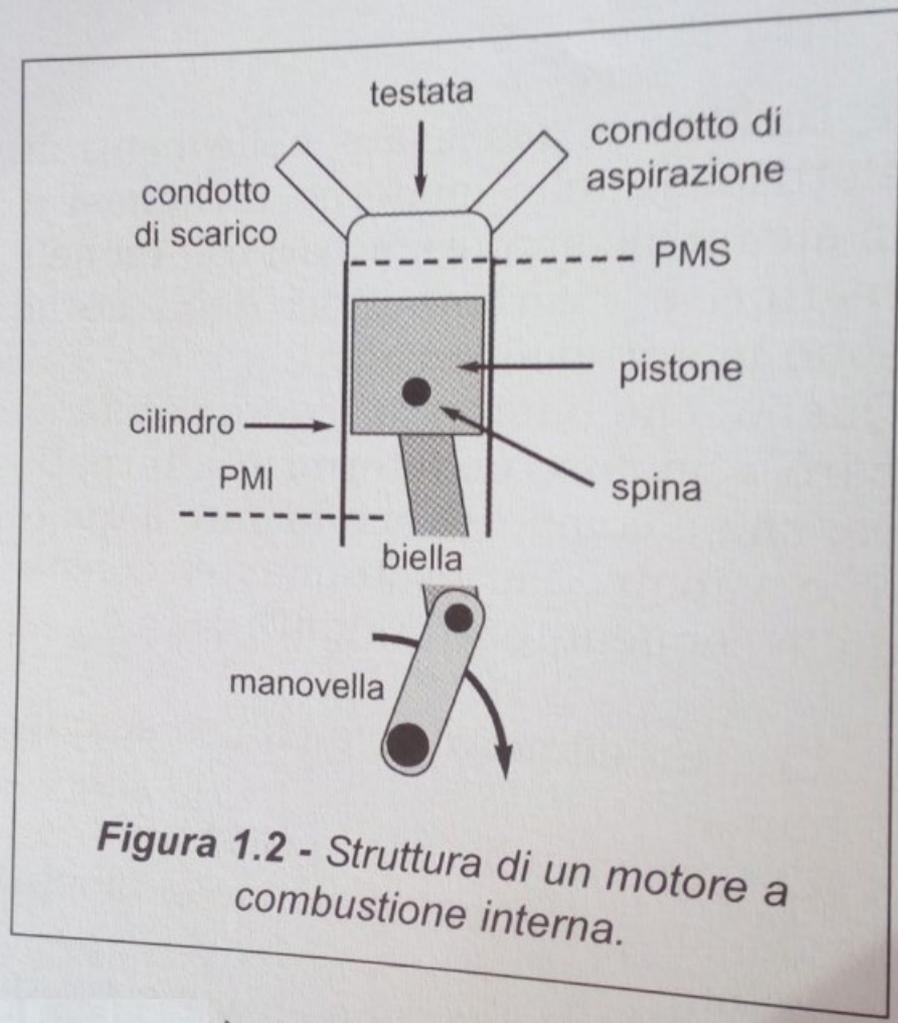
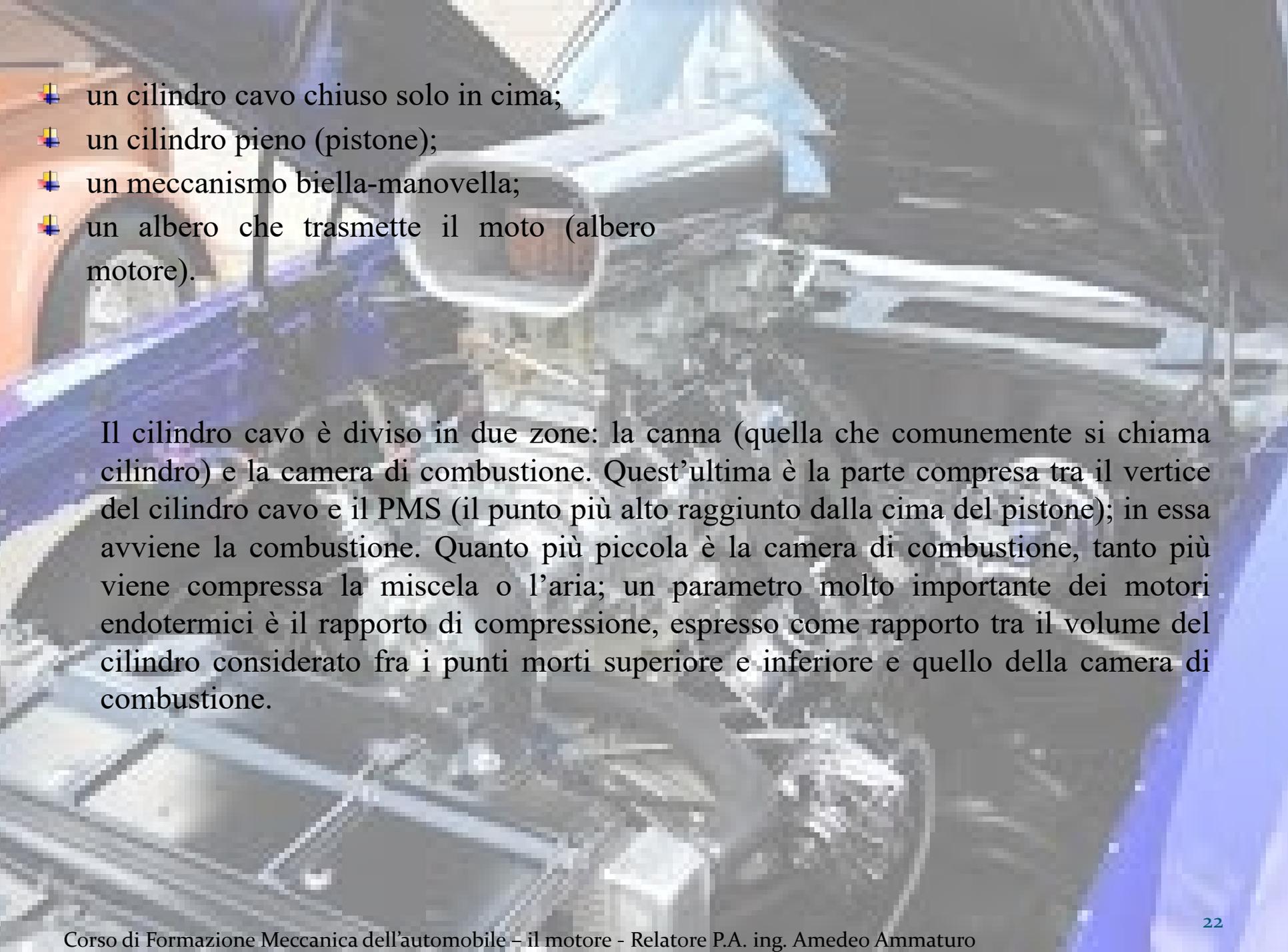
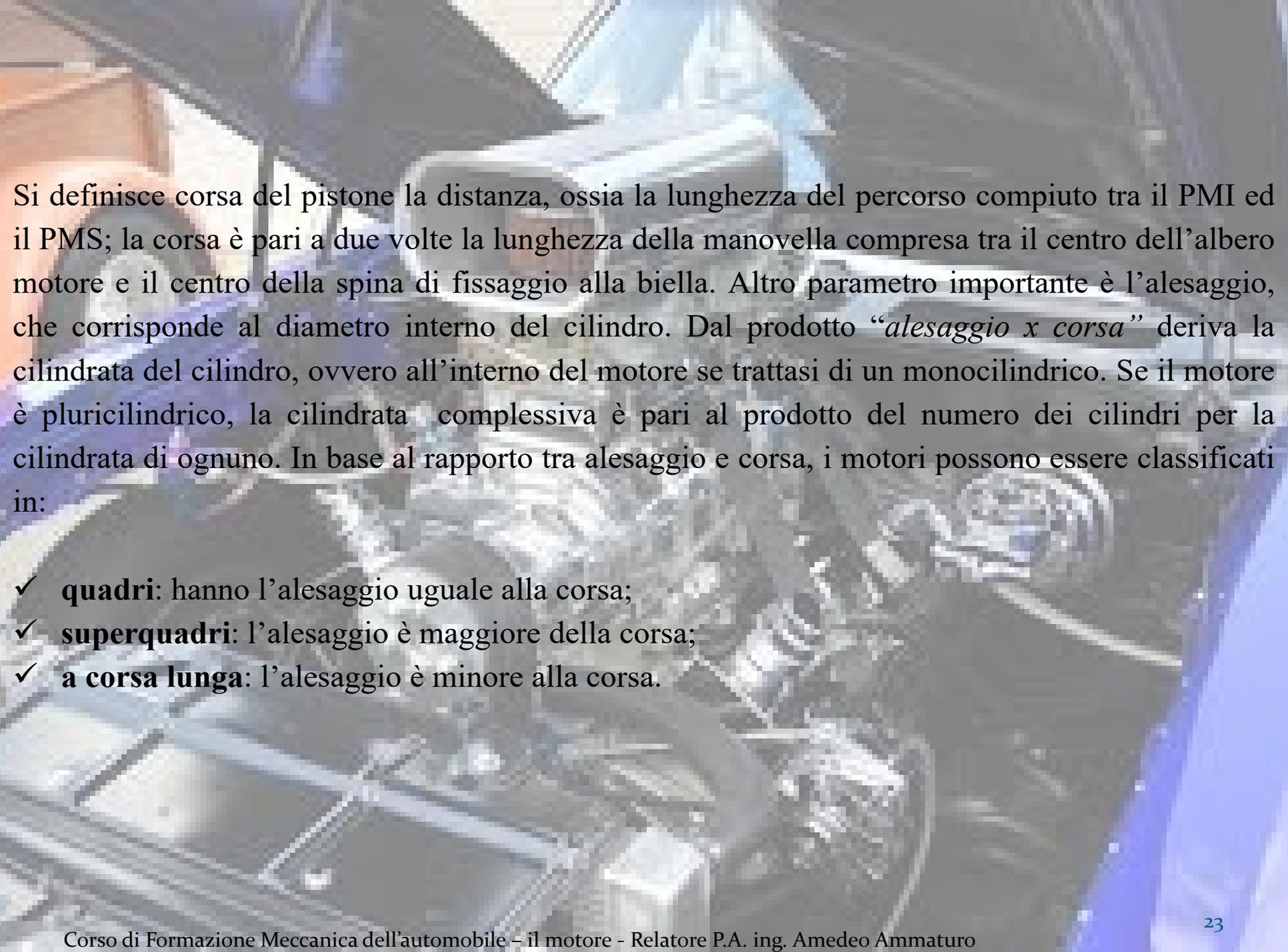


Figura 1.2 - Struttura di un motore a combustione interna.

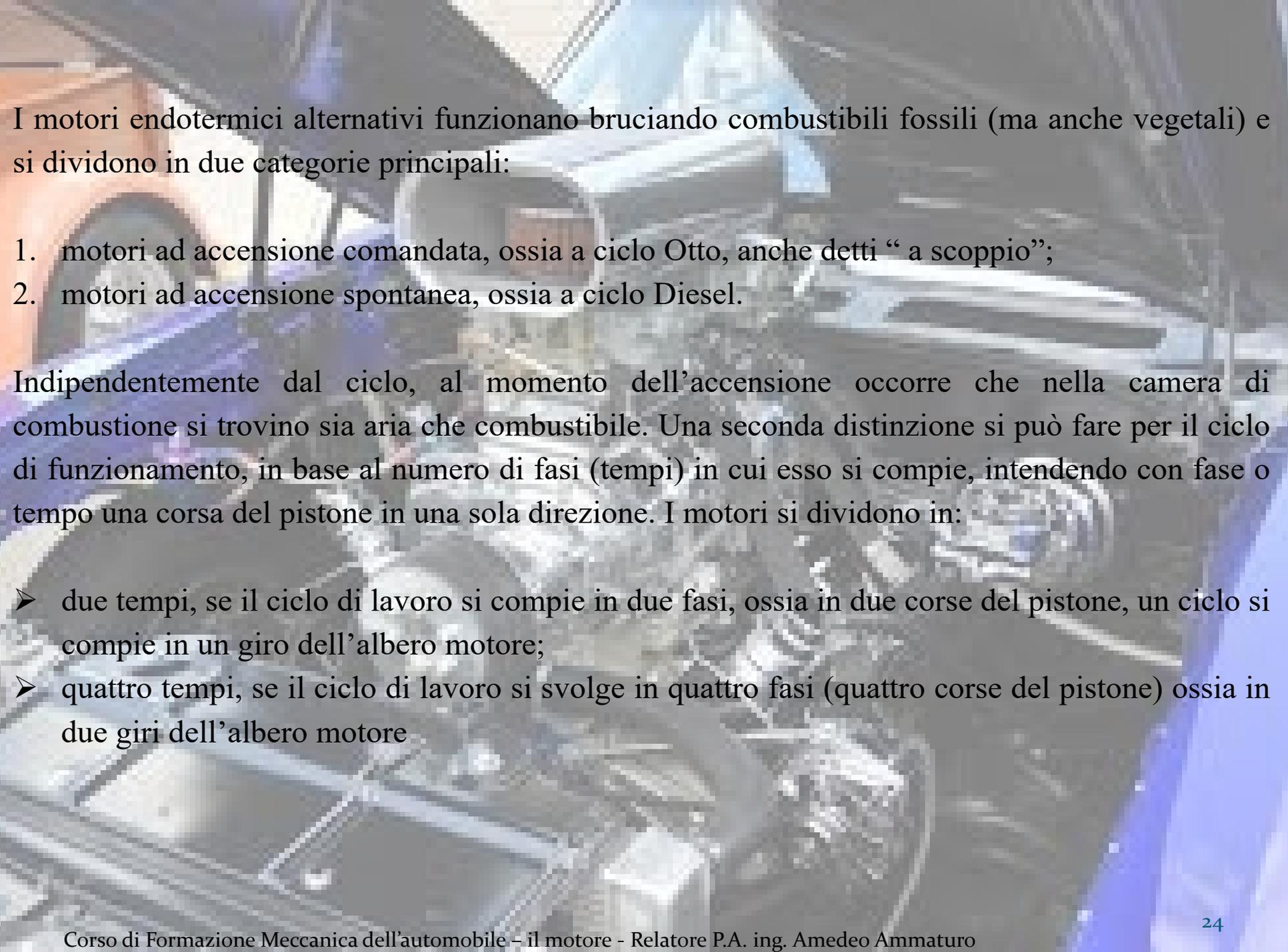
- 
- A detailed close-up photograph of an internal combustion engine's cylinder and piston assembly. The piston is at the top of the cylinder, and the connecting rod is visible. The image is slightly blurred, focusing on the mechanical components.
- ✚ un cilindro cavo chiuso solo in cima;
 - ✚ un cilindro pieno (pistone);
 - ✚ un meccanismo biella-manovella;
 - ✚ un albero che trasmette il moto (albero motore).

Il cilindro cavo è diviso in due zone: la canna (quella che comunemente si chiama cilindro) e la camera di combustione. Quest'ultima è la parte compresa tra il vertice del cilindro cavo e il PMS (il punto più alto raggiunto dalla cima del pistone); in essa avviene la combustione. Quanto più piccola è la camera di combustione, tanto più viene compressa la miscela o l'aria; un parametro molto importante dei motori endotermici è il rapporto di compressione, espresso come rapporto tra il volume del cilindro considerato fra i punti morti superiore e inferiore e quello della camera di combustione.

A detailed close-up photograph of an engine's internal components, specifically the piston and connecting rod. The piston is at the top, showing its crown and rings. The connecting rod is attached to the piston pin and extends downwards. The background is a blurred view of the engine block and other parts, with a blue light source visible on the right side.

Si definisce corsa del pistone la distanza, ossia la lunghezza del percorso compiuto tra il PMI ed il PMS; la corsa è pari a due volte la lunghezza della manovella compresa tra il centro dell'albero motore e il centro della spina di fissaggio alla biella. Altro parametro importante è l'alesaggio, che corrisponde al diametro interno del cilindro. Dal prodotto "*alesaggio x corsa*" deriva la cilindrata del cilindro, ovvero all'interno del motore se trattasi di un monocilindrico. Se il motore è pluricilindrico, la cilindrata complessiva è pari al prodotto del numero dei cilindri per la cilindrata di ognuno. In base al rapporto tra alesaggio e corsa, i motori possono essere classificati in:

- ✓ **quadri:** hanno l'alesaggio uguale alla corsa;
- ✓ **superquadri:** l'alesaggio è maggiore della corsa;
- ✓ **a corsa lunga:** l'alesaggio è minore alla corsa.

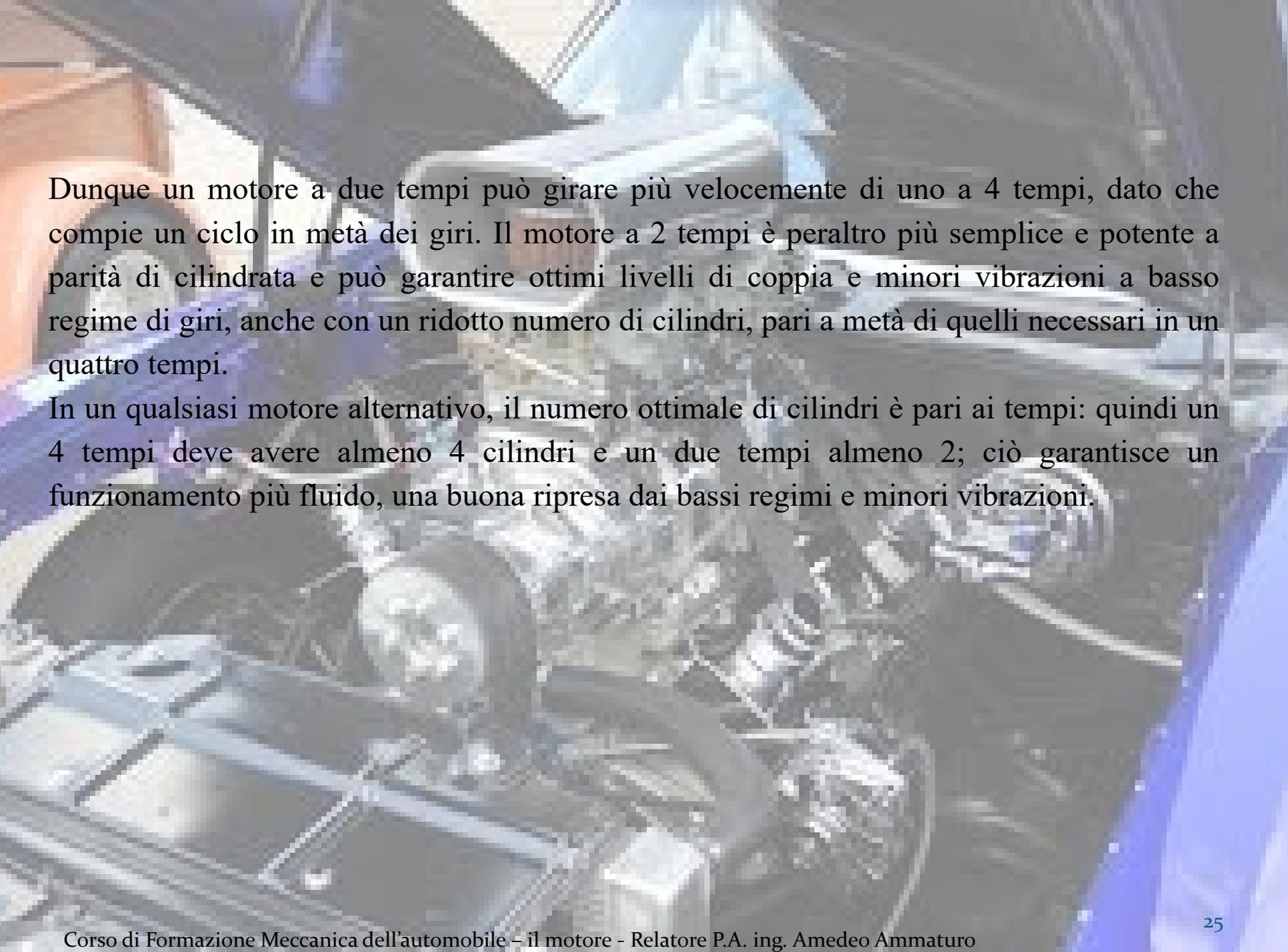


I motori endotermici alternativi funzionano bruciando combustibili fossili (ma anche vegetali) e si dividono in due categorie principali:

1. motori ad accensione comandata, ossia a ciclo Otto, anche detti “ a scoppio”;
2. motori ad accensione spontanea, ossia a ciclo Diesel.

Indipendentemente dal ciclo, al momento dell'accensione occorre che nella camera di combustione si trovino sia aria che combustibile. Una seconda distinzione si può fare per il ciclo di funzionamento, in base al numero di fasi (tempi) in cui esso si compie, intendendo con fase o tempo una corsa del pistone in una sola direzione. I motori si dividono in:

- due tempi, se il ciclo di lavoro si compie in due fasi, ossia in due corse del pistone, un ciclo si compie in un giro dell'albero motore;
- quattro tempi, se il ciclo di lavoro si svolge in quattro fasi (quattro corse del pistone) ossia in due giri dell'albero motore



Dunque un motore a due tempi può girare più velocemente di uno a 4 tempi, dato che compie un ciclo in metà dei giri. Il motore a 2 tempi è peraltro più semplice e potente a parità di cilindrata e può garantire ottimi livelli di coppia e minori vibrazioni a basso regime di giri, anche con un ridotto numero di cilindri, pari a metà di quelli necessari in un quattro tempi.

In un qualsiasi motore alternativo, il numero ottimale di cilindri è pari ai tempi: quindi un 4 tempi deve avere almeno 4 cilindri e un due tempi almeno 2; ciò garantisce un funzionamento più fluido, una buona ripresa dai bassi regimi e minori vibrazioni.



Nei motori endotermici esistono condotti per portare il combustibile nel cilindro ed altri per far uscire i gas di scarico, ossia quelli esausti dopo la combustione e lo sfruttamento dell'energia prodotta dalla dilatazione; a seconda del motore, possono essere sia gestiti da valvole che liberi. Nei motori endotermici, ciò che entra nel cilindro attraverso i condotti o le valvole, è aria nei Diesel e nei ciclo Otto a iniezione diretta, ovvero la miscela di aria e combustibile nei tradizionali motori a benzina o a gas. I condotti e le valvole che portano l'aria o la miscela di combustibile sono detti rispettivamente condotti di aspirazione e valvole di aspirazione mentre quelli che fanno uscire i gas combustibili sono chiamati, rispettivamente, condotti di scarico e valvole di scarico.



Il motore a quattro tempi

Per funzionare correttamente, questo motore ha bisogno di valvole che regolamentino l'entrata dell'aria e l'uscita dei gas combusti ormai espansi e inutilizzabili per spingere il pistone. Indipendentemente dal tipo di motore (ad accensione spontanea o comandata) i tempi o fasi del ciclo di lavoro sono i seguenti:



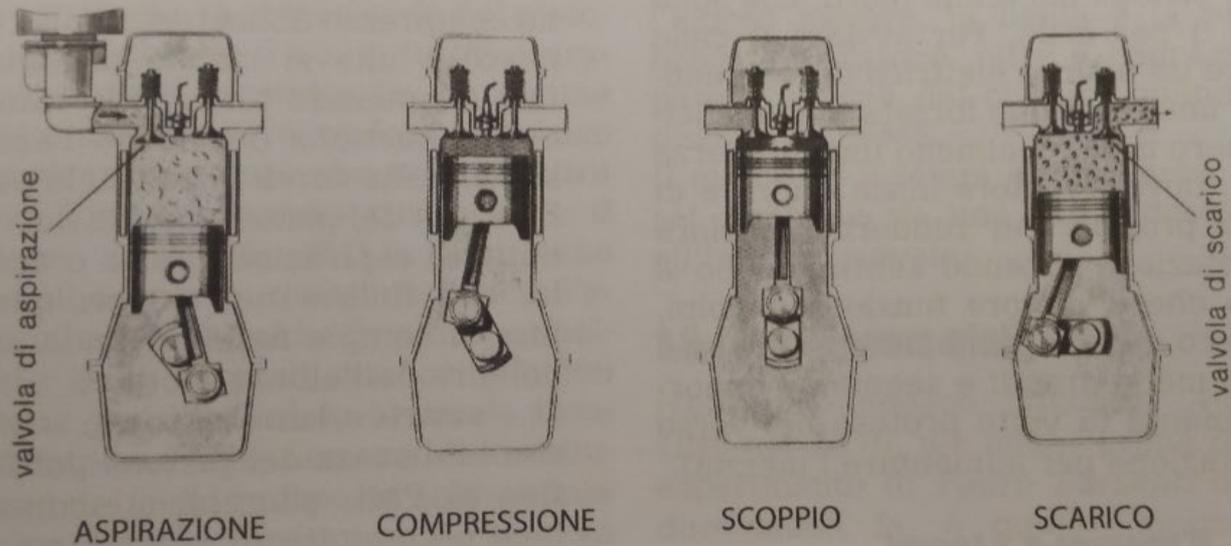


Figura 1.3 - Le fasi caratteristiche del motore a quattro tempi, in questo caso a ciclo otto.

- **aspirazione**: inizia con l'apertura della valvola di aspirazione e con la discesa del pistone, che dal PMS scende fino al punto morto inferiore, aspirando l'aria o la miscela, si compie nel primo mezzo giro dell'albero motore;

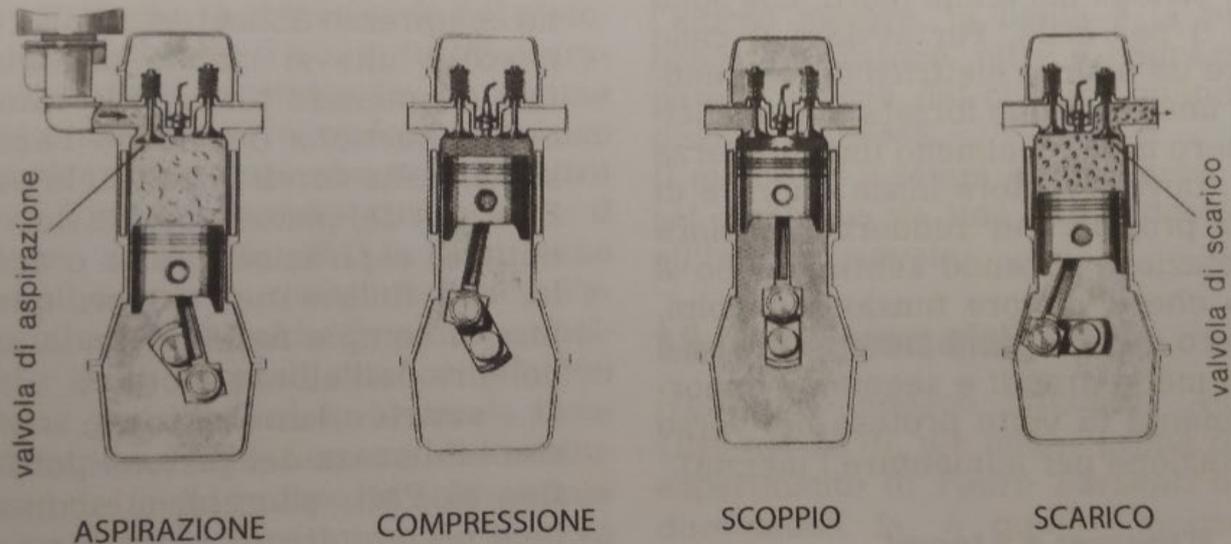


Figura 1.3 - Le fasi caratteristiche del motore a quattro tempi, in questo caso a ciclo otto.

- **compressione:** la valvola di aspirazione si chiude e il pistone risale dal PMI al punto morto superiore e comprime l'aria o la miscela, che si riduce di volume fino a rimanere tutta nella camera di combustione. Questa fase si compie nella seconda metà del primo giro dell'albero motore;

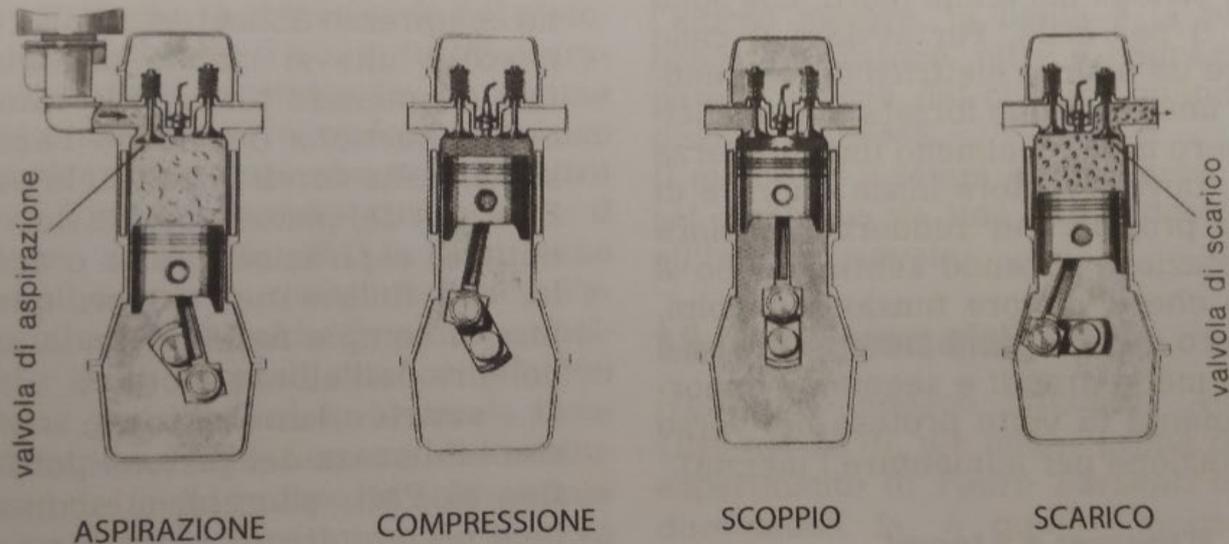


Figura 1.3 - Le fasi caratteristiche del motore a quattro tempi, in questo caso a ciclo otto.

- **combustione/espansione:** la combustione provoca gas che, espandendosi, spingono il pistone facendolo scorrere di nuovo dal POMS al PMI. La spinta è l'unica fase attiva del ciclo di quattro tempi del motore ed è quella che provoca la rotazione dell'albero motore. Si compie nella prima metà del secondo giro dell'albero motore;

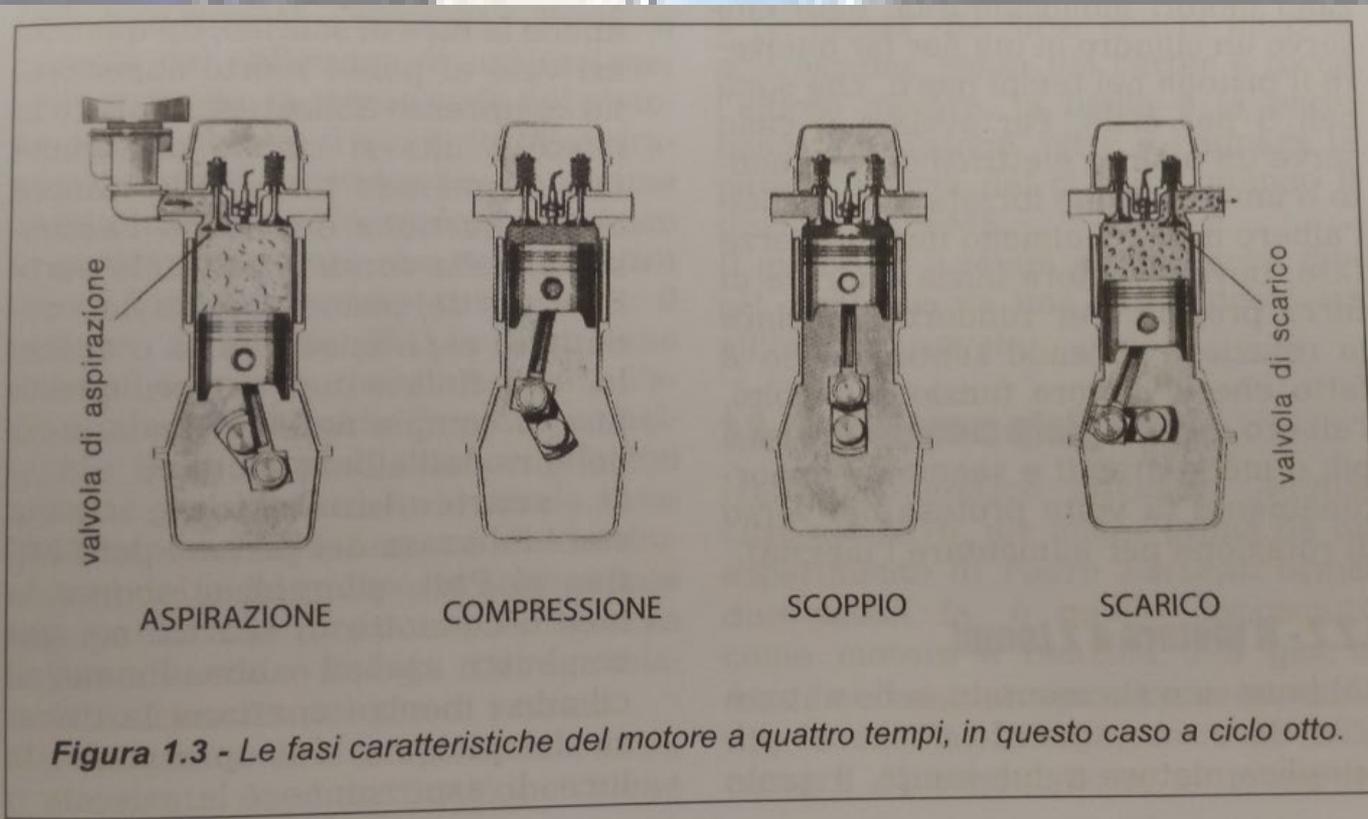
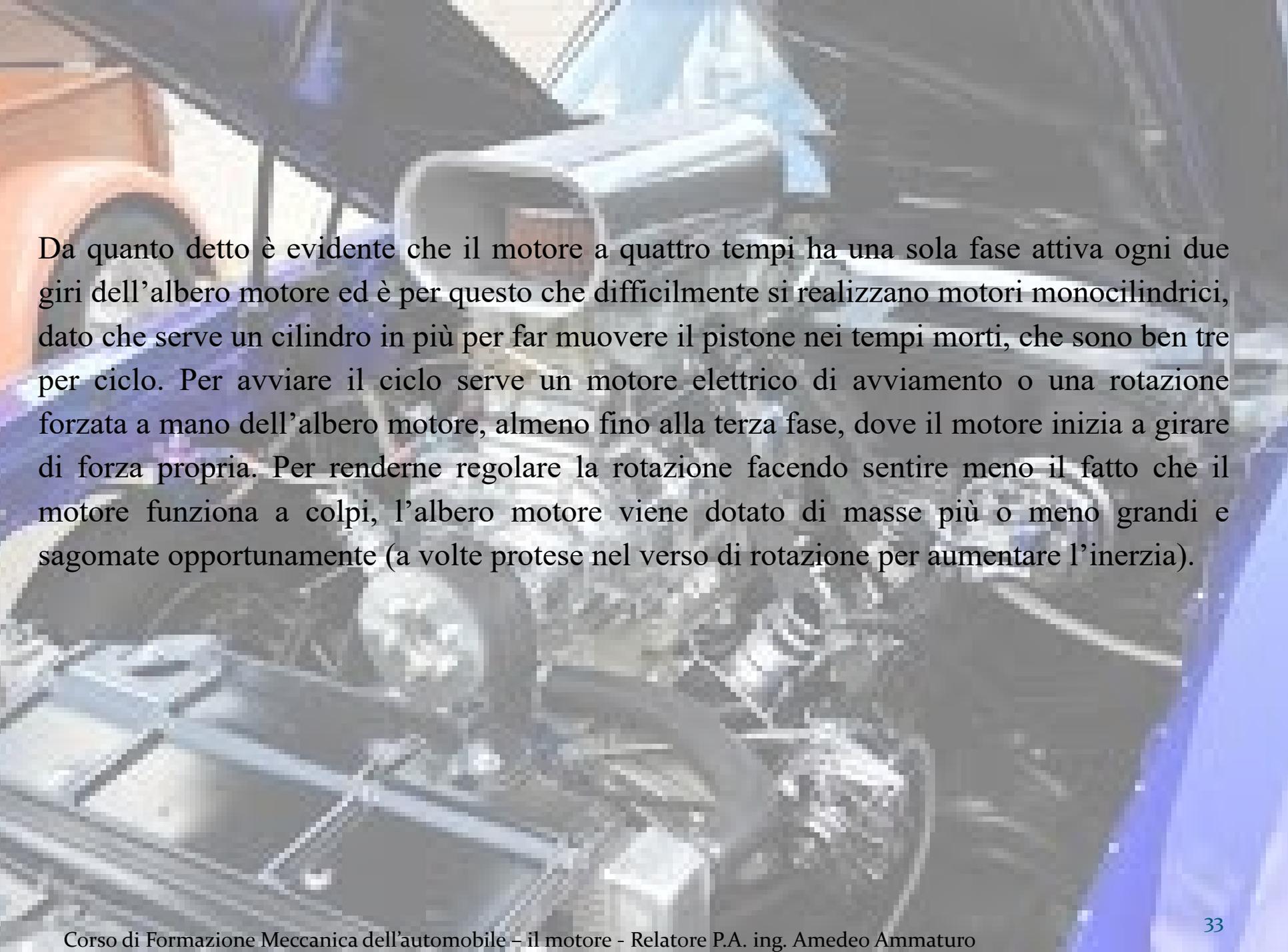


Figura 1.3 - Le fasi caratteristiche del motore a quattro tempi, in questo caso a ciclo otto.

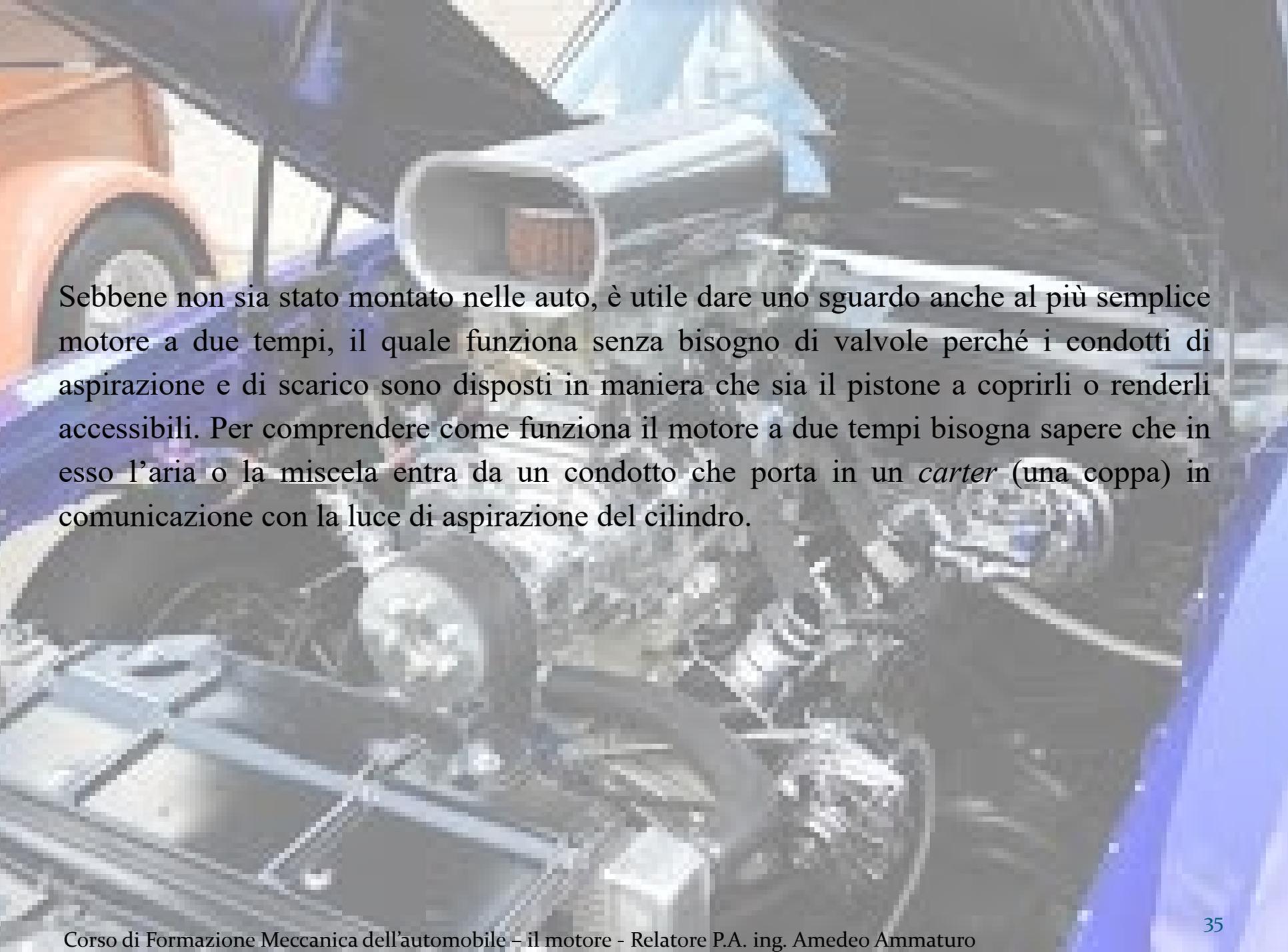
- **espulsione (scarico)**: per l'inerzia accumulata dall'albero motore, il pistone risale dal PMI fino al PMS spingendo fuori i gas di scarico, usando la valvola di scarico che nel frattempo è stata aperta per agevolare l'uscita.



Da quanto detto è evidente che il motore a quattro tempi ha una sola fase attiva ogni due giri dell'albero motore ed è per questo che difficilmente si realizzano motori monocilindrici, dato che serve un cilindro in più per far muovere il pistone nei tempi morti, che sono ben tre per ciclo. Per avviare il ciclo serve un motore elettrico di avviamento o una rotazione forzata a mano dell'albero motore, almeno fino alla terza fase, dove il motore inizia a girare di forza propria. Per renderne regolare la rotazione facendo sentire meno il fatto che il motore funziona a colpi, l'albero motore viene dotato di masse più o meno grandi e sagomate opportunamente (a volte protese nel verso di rotazione per aumentare l'inerzia).

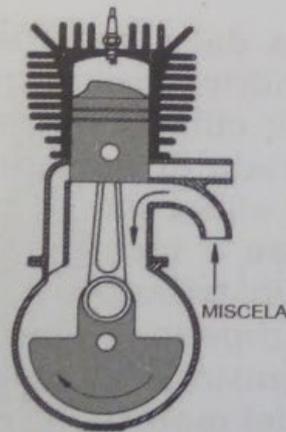


Il motore a due tempi

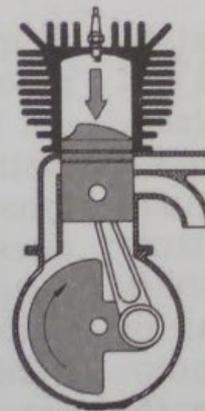


Sebbene non sia stato montato nelle auto, è utile dare uno sguardo anche al più semplice motore a due tempi, il quale funziona senza bisogno di valvole perché i condotti di aspirazione e di scarico sono disposti in maniera che sia il pistone a coprirli o renderli accessibili. Per comprendere come funziona il motore a due tempi bisogna sapere che in esso l'aria o la miscela entra da un condotto che porta in un *carter* (una coppa) in comunicazione con la luce di aspirazione del cilindro.

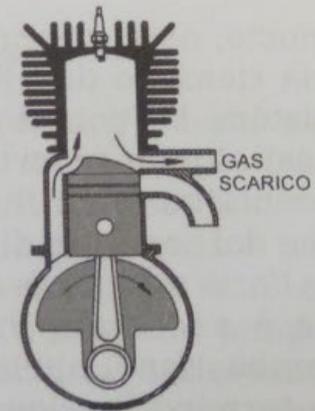
Le due fasi del motore sono:



ASPIRAZIONE
E COMPRESSIONE



PRIMA FASE
ESPANSIONE



ESPANSIONE
E ASPIRAZIONE

Figura 1.5 - Funzionamento del motore a due tempi a benzina: nella prima corsa il pistone comprime la miscela già aspirata dal carter e si porta al punto morto superiore, fin quando avviene lo scoppio (sinistra); intanto aspira nel carter nuova miscela. L'espansione fa scendere il pistone fino al PMS (a destra) e la pressione esercitata dal suo fondo nel carter spinge la miscela nella luce di aspirazione e quindi nel cilindro. Il pistone quando è a metà corsa (fase intermedia) chiude sia le due luci che il condotto d'aspirazione.

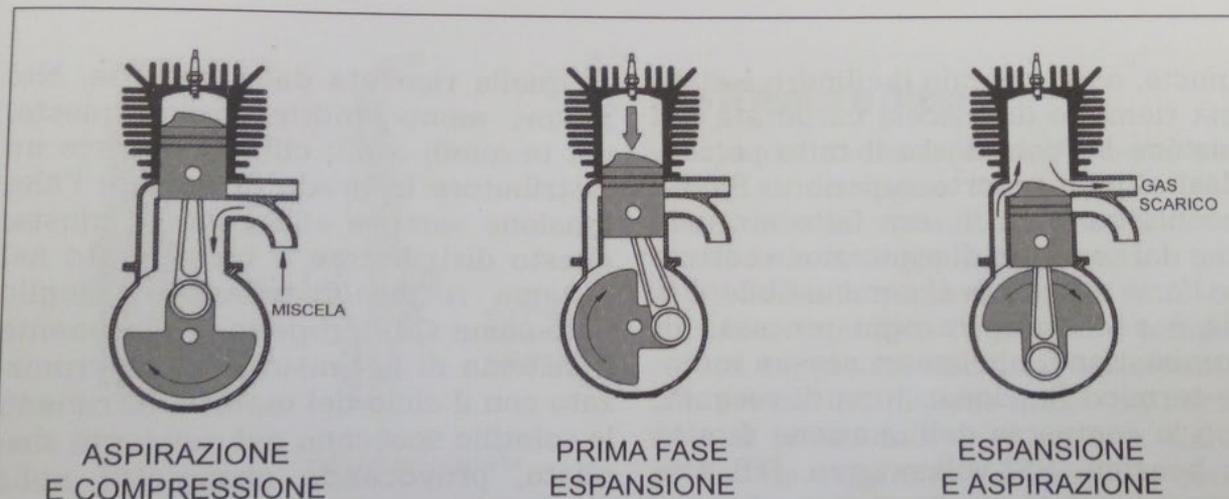


Figura 1.5 - Funzionamento del motore a due tempi a benzina: nella prima corsa il pistone comprime la miscela già aspirata dal carter e si porta al punto morto superiore, fin quando avviene lo scoppio (sinistra); intanto aspira nel carter nuova miscela. L'espansione fa scendere il pistone fino al PMS (a destra) e la pressione esercitata dal suo fondo nel carter spinge la miscela nella luce di aspirazione e quindi nel cilindro. Il pistone quando è a metà corsa (fase intermedia) chiude sia le due luci che il condotto d'aspirazione.

- **compressione/combustione:** per l'inerzia dell'albero motore, il pistone risale dal PMI al PMS e copre per prima la luce di aspirazione, solitamente posta un po' più in basso di quella di scarico, il pistone continua a salire e copre anche la luce di scarico, fino quando, arrivato al punto morto superiore, ha compresso abbastanza l'aria o la miscela, che si riduce di volume fino a rimanere tutta nella camera di combustione e avviene l'accensione. Nella corsa in salita, la parte inferiore del pistone aspira dal condotto di aspirazione l'aria o miscela, che finisce nel carter. Questa fase si compie nella seconda metà del giro dell'albero motore;

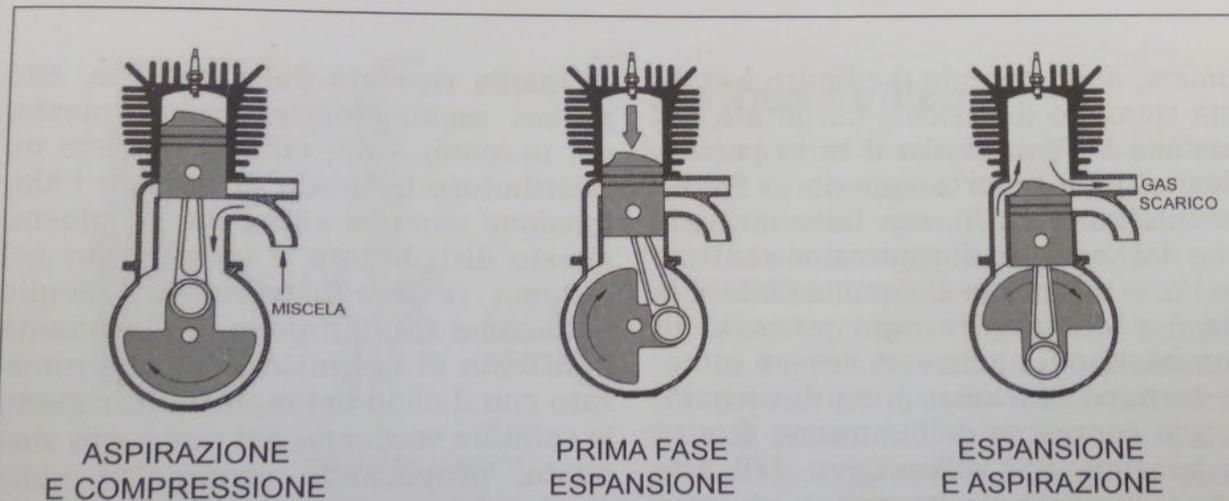


Figura 1.5 - Funzionamento del motore a due tempi a benzina: nella prima corsa il pistone comprime la miscela già aspirata dal carter e si porta al punto morto superiore, fin quando avviene lo scoppio (sinistra); intanto aspira nel carter nuova miscela. L'espansione fa scendere il pistone fino al PMS (a destra) e la pressione esercitata dal suo fondo nel carter spinge la miscela nella luce di aspirazione e quindi nel cilindro. Il pistone quando è a metà corsa (fase intermedia) chiude sia le due luci che il condotto d'aspirazione.

- **scarico/immissione:** inizia con la discesa del pistone dal PMS fino al PMI, allorché si scopre la luce o condotto di scarico e i gas combusti esausti abbandonano il cilindro. Mentre continua la discesa del pistone, si scopre anche la luce di aspirazione e la miscela o aria entra perché viene spinta dalla corsa in discesa del pistone, la cui parte inferiore chiude il condotto di aspirazione. Questa fase si compie in mezzo giro dell'albero motore.



In realtà l'aspirazione si compie in due fasi: nella prima la coda del pistone, che è a tenuta, risucchia l'aria o miscela dal collettore di aspirazione; nella seconda, la stessa coda del pistone prima chiude il condotto d'aspirazione, quindi, scendendo, comprime l'aria o miscela spingendola nella luce di aspirazione dato che non c'è altra via di fuga. Va notato che quando il pistone arriva al PMI le luci sono entrambe aperte, quindi in teoria l'aria o miscela potrebbe fuggire parzialmente dalla luce di scarico; ciò non avviene perché il cielo (ossia la sommità esposta alla camera di combustione) del pistone riporta solitamente una gobba che crea una turbolenza capace di evitare la fuga e di agevolare la fuoriuscita dei gas di scarico.