

# Motori ad accensione comandata

## 1 Generalità

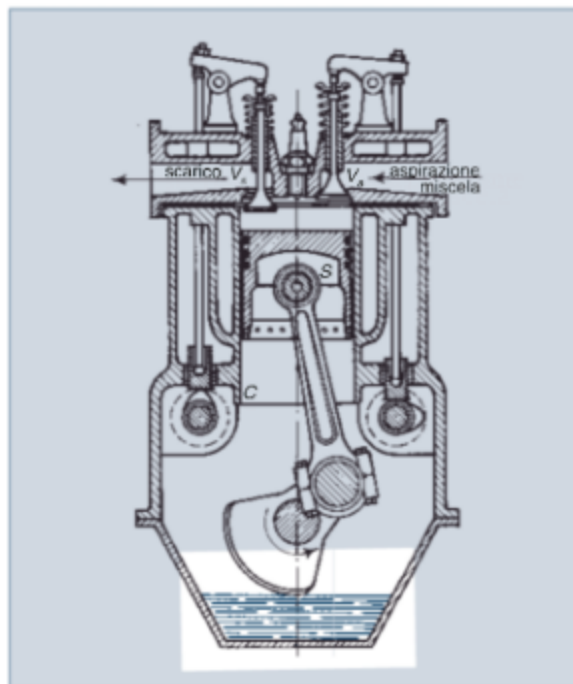
Un motore alternativo a scoppio è schematicamente costituito (FIGURA 16.1) da un cilindro (C) nel quale scorre a tenuta uno stantuffo (S), il cui moto rettilineo alternato è trasformato in moto rotatorio, pressoché uniforme, da un meccanismo biella-manovella.

Queste macchine vengono alimentate con una miscela aria-combustibile che nel recente passato era preventivamente preparata, vaporizzata e dosata in un organo accessorio (detto **carburatore** 1), e immessa nel cilindro attraverso una valvola ( $V_a$ ), aperta nell'istante voluto dal dispositivo di distribuzione.

Ormai il carburatore è stato quasi totalmente sostituito da sistemi a iniezione elettronica, che consentono di dosare la miscela con precisione elevatissima, cosa che è diventata indispensabile dopo l'adozione dei sistemi catalitici di trattamento dei gas di scarico.

La miscela introdotta nel cilindro viene incendiata tramite un organo iniettore 2 e i gas prodotti dalla combustione cedono la loro energia allo stantuffo prima di scaricarsi all'esterno attraverso la valvola ( $V_s$ ), azionata anch'essa dal dispositivo di distribuzione.

Come abbiamo già visto nel capitolo precedente, i motori alternativi possono essere a quattro o a due tempi.



16.1 Motore a scoppio a quattro tempi (schema).

## 2 Motori a quattro tempi

### Ciclo teorico

Esaminiamo il ciclo teorico che caratterizza il principio di funzionamento di un motore a scoppio a quattro tempi (FIGURA 16.2, pagina seguente). Esso non è un ciclo termodinamico, in quanto sull'asse delle ascisse non figurano i volumi specifici del fluido operante – che peraltro si rinnova a ogni ciclo – ma i volumi generati dallo stantuffo nel suo moto alternato nel cilindro del motore, volumi che, per la costanza della sezione, sono proporzionali agli spostamenti dello stantuffo stesso. Supponiamo che lo stantuffo si trovi inizialmente al punto morto superiore e sia dotato di una certa energia cinetica – residuo del precedente ciclo – sufficiente a fargli compiere gli spostamenti preliminari necessari per realizzare le prime fasi. Il ciclo teorico si completa in quattro corse dello stantuffo, e precisamente:

- Durante la prima corsa (0 → 1), lo stantuffo muovendosi verso il basso, aspira la miscela attraverso la valvola di aspirazione, mentre è chiusa quella di

1 Per questo i motori a scoppio venivano anche chiamati *motori a carburazione*.

2 Per questo ora si preferisce la dizione *motori ad accensione comandata*.

scarico; si suppone che tale aspirazione avvenga a pressione costante (atmosferica).

- Nella corsa di ritorno (1 → 2), si chiudono ambedue le valvole e la miscela viene compressa adiabaticamente acquistando pressione e temperatura; al termine della corsa avviene la combustione della miscela (2 → 3), assimilabile a una trasformazione a volume costante, in virtù della rapidità con cui si sviluppa. La pressione si innalza fortemente e i gas combusti esercitano una forte spinta sullo stantuffo.
- Nella terza corsa (3 → 4), restano chiuse le valvole e lo stantuffo si muove per effetto della spinta esercitata dai prodotti della combustione che si espandono entro il cilindro in una trasformazione adiabatica; al termine della corsa si apre istantaneamente la valvola di scarico e la pressione subisce una improvvisa diminuzione per la fuoriuscita di una parte dei gas combusti (4 → 1).
- Nella quarta corsa infine (1 → 0), si ottiene la completa espulsione dei prodotti residui attraverso la valvola di scarico che rimane aperta per tutta questa fase che si suppone avvenga anch'essa a pressione atmosferica.

Il ciclo è così concluso e il cilindro è pronto per ricevere altra miscela.

La differenza fra il ciclo termodinamico Otto e quello teorico del motore a scoppio a quattro tempi sono le fasi di aspirazione (0 → 1) e di scarico (1 → 0) che però, per le ipotesi fatte, non apportano sensibili variazioni al lavoro prodotto in quanto coincidenti ma percorse in senso opposto. Di conseguenza il lavoro e il rendimento sviluppati nel ciclo termico teorico di un motore a scoppio coincide con quello ricavato per il ciclo Otto. Quindi, il rendimento termico teorico di un motore a scoppio è dato da:

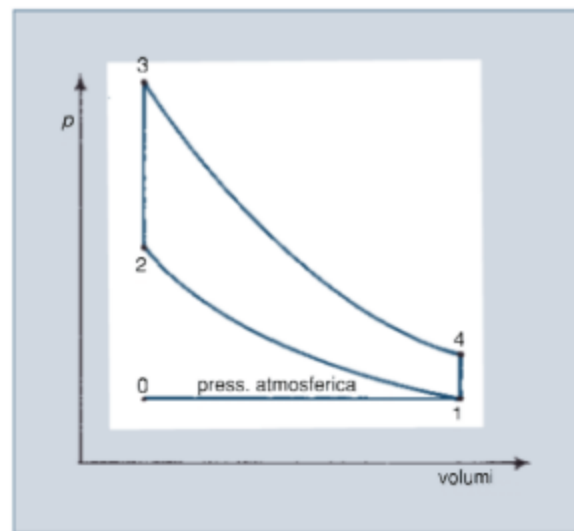
$$\eta_{id} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

in funzione del solo rapporto di compressione  $r$ .

Perciò, il rendimento del motore si può incrementare aumentando il rapporto di compressione  $r$ ; tale artificio non deve però arrivare all'accensione anticipata della miscela in seguito all'alta temperatura che questa potrebbe raggiungere al termine della fase di compressione. Per ovviare a tale inconveniente si adottano combustibili additivati con particolari sostanze che ne diminuiscono la tendenza all'accensione (par. 2, cap. 19).

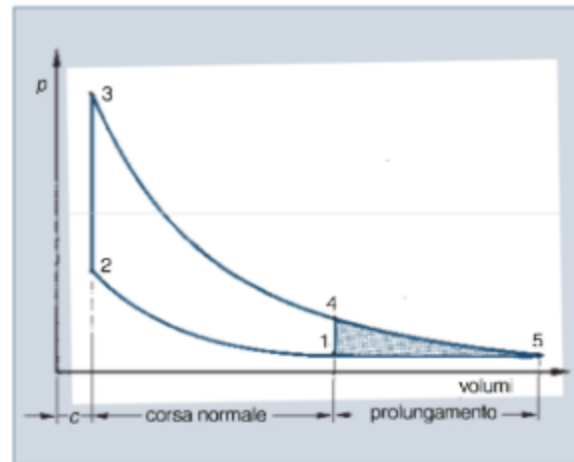
In linea di massima si può ritenere che nei motori a scoppio di tipo più comune, il rapporto di compressione oscilla fra 6 e 9, salvo raggiungere in alcuni casi (motori da competizione) valori intorno a  $10 \div 12$ .

Si potrebbe obiettare che nel ciclo termico ora illustrato, l'energia dei prodotti della combustione non è stata completamente sfruttata, in quanto la fase di espansione viene interrotta al punto 4, quando i gas contenuti nel cilindro posseggono ancora una pressione largamente superiore a quella atmosferica; si perde perciò una quantità di lavoro, pari all'area aggiuntiva (4-1-5) che potrebbe venire utilizzata lasciando espandere i gas fino alla pressione atmosferica (FIGURA 16.3). Ma dobbiamo tener presente che:



16.2 Ciclo teorico di un motore a scoppio a quattro tempi.

Il rendimento dipende anche dall'esponente  $\gamma$  che nel caso dei motori non può essere ritenuto pari a 1,4 in quanto il fluido operante è costituito da una miscela aria-combustibile; il coefficiente  $\gamma$  avrà perciò un valore intermedio fra quello che compete all'aria (1,4) e quello relativo al combustibile (~1,2) e tanto più vicino a uno dei due, quanto più massiccia è la dose del relativo componente nella miscela. Poiché il rendimento risulta tanto più elevato quanto maggiore è il valore di  $\gamma$ , si usa dire che «esso aumenta agendo su miscele povere (scarse cioè di combustibile) fortemente compresse».



16.3 Perdita per incompleta espansione.

- nel tratto finale dell'espansione, la spinta sullo stantuffo è molto debole, per il basso valore della pressione che agisce su di esso;
- sull'asse delle ascisse figurano i volumi generati dallo stantuffo, proporzionali – per la costanza della sezione – alle corse descritte; quindi per realizzare l'espansione completa, la corsa dello stantuffo risulterebbe eccessivamente ampliata con conseguente aumento delle dimensioni, dei pesi, delle forze d'inerzia e degli attriti sviluppati dalle masse mobili.

È preferibile perciò rinunciare all'espansione prolungata, perdendo una piccola aliquota del lavoro disponibile, nell'intento di realizzare un motore compatto, di peso ridotto e soggetto a minori forze d'inerzia.

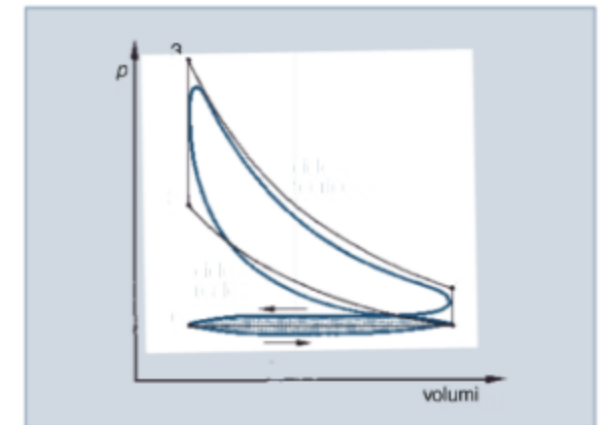
## Ciclo reale

Il ciclo termico reale potrebbe essere direttamente rilevato da un indicatore installato sul cilindro e manifesta, rispetto al ciclo termico ideale, le seguenti discordanze:

- la fase di aspirazione non avviene alla pressione atmosferica, ma a una pressione leggermente inferiore, essendo conseguente alla depressione prodotta dal moto dello stantuffo;
- analogamente, la fase di scarico avviene a una pressione lievemente superiore a quella atmosferica poiché i gas combusti sono spinti verso l'esterno dall'azione premente dello stantuffo. Perciò le due trasformazioni non risultano coincidenti ma distinte e costituiscono, nel loro insieme, un piccolo ciclo termico percorso in senso antiorario, con assorbimento di lavoro all'esterno; tale lavoro deve essere detratto da quello utile prodotto dal motore (FIGURA 16.4);
- la fase di espansione e quella di compressione – che avevamo supposto adiabatiche – sono in realtà delle politropiche, a esponente tanto minore quanto più grande è la cessione di calore all'esterno durante il loro svolgimento. È bene far presente che oltre all'impossibilità di realizzare l'adiabatica, la sottrazione di calore viene volutamente accresciuta – con i dispositivi di refrigerazione – per mantenere la temperatura del motore entro limiti tollerabili;
- la fase di combustione non è istantanea, ma richiede per il suo svolgimento un intervallo di tempo, seppur brevissimo; infatti inizia nelle immediate vicinanze dell'organo infiammante e si propaga ad alta velocità fino ai punti più lontani della camera di combustione. La relativa trasformazione avviene perciò a volume crescente conseguendo un minor incremento sia di pressione sia di temperatura;
- inoltre occorre tener presente l'effetto dello strozzamento subito dal fluido nell'attraversamento delle valvole e l'inerzia di queste all'apertura e alla chiusura; perciò il ciclo indicato reale (FIGURA 16.4) produce un lavoro minore di quello teorico.

## L'indicatore

Abbiamo visto che il ciclo reale di un motore viene detto anche **ciclo indicato** (o *diagramma indicato*); questo perché la sua rilevazione diretta è possibile applicando al cilindro un apparecchio (detto appunto **indicatore**) che riporta su un foglio di carta – in scala opportuna – gli spostamenti dello stantuffo e i valori della pressione del fluido esistente entro il cilindro nelle diverse fasi del ciclo. Le corse dello stantuffo, proporzionali ai volumi generati nel cilindro, si riportano sull'asse delle ascisse mentre le pressioni sull'asse delle ordinate; si ottiene così un sistema cartesiano propor-

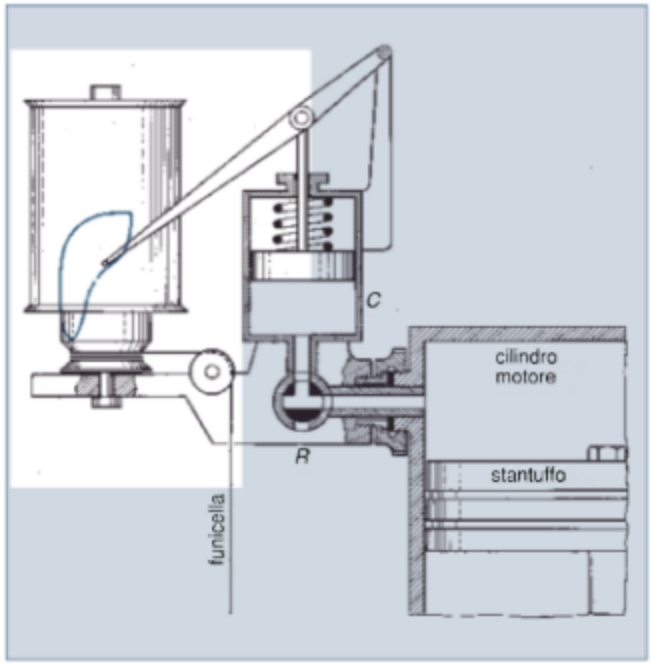


16.4 Ciclo reale di un motore a scoppio a «4T».

zionale al diagramma  $p-v$ , e il ciclo tracciato su di esso rappresenta (sempre secondo una certa proporzionalità) il diagramma di lavoro del fluido operante, assimilabile al ciclo reale da esso seguito.

Nella sua forma più schematica, l'indicatore è costituito da (FIGURA 16.5):

- un tamburo ( $T$ ) che ruota alternativamente intorno al suo asse geometrico compiendo spostamenti periferici proporzionali alle corse dello stantuffo motore; questi spostamenti sono ottenuti tramite una sottile funicella, avvolta parzialmente intorno al tamburo e collegata con l'estremità opposta, al bilanciere o alla testa a croce della macchina.
- un cilindretto ( $C$ ) che viene messo in comunicazione con il cilindro del motore in modo che il fluido penetri in esso e agisca sullo stantuffino ( $S$ ) il cui movimento è contrastato da una molla opportunamente tarata;
- un sistema di leve e biellette che amplifica e trasferisce i movimenti dello stantuffo ( $S$ ) a una punta scrivente ( $P$ ); quest'ultima traccia una curva su un foglietto di carta avvolto intorno al tamburo ( $T$ ).



16.5 Principio di funzionamento di un indicatore.

L'apparecchio viene inserito in un apposito bocchettone di attacco, dotato di un rubinetto a tre vie ( $R$ ), fisso al cilindro del motore, e si collega la funicella alla testa a croce registrandone opportunamente la lunghezza; con il rubinetto a tre vie si mette in comunicazione l'indicatore con l'interno del cilindro motore. **Il fluido penetra nell'apparecchio e agisce sullo stantuffino con una forza proporzionale alla pressione di cui è dotato, forza che essendo contrastata dalla molla, produce spostamenti tanto più piccoli quanto più compressa è la molla stessa in seguito alla taratura preventiva** **4**; la punta scrivente si sposta verticalmente in modo proporzionale agli spostamenti dello stantuffo mentre nel frattempo il cilindro ruota su se stesso: quindi sul foglietto posizionato sul cilindro appare una curva che rappresenta l'evoluzione del fluido nell'interno della macchina. Le dimensioni del ciclo rilevato con l'indicatore dipendono evidentemente dalla taratura della molla e dalle caratteristiche dell'apparecchio.

### 3 Motori a due tempi

Un motore alternativo viene classificato a due tempi quando compie il ciclo termico in due sole corse di stantuffo, equivalenti a un giro dell'albero principale; esso rappresenta quindi una semplificazione del motore a quattro tempi essendo capace – per le ipotesi fatte – di produrre teoricamente una potenza doppia di quest'ultimo, a parità di altre caratteristiche.

Da un esame del ciclo teorico del quattro tempi (FIGURA 16.2) ci si rende conto come per ottenere lo stesso lavoro (e quindi un ciclo della stessa conformazione) eliminando due corse di stantuffo, sia necessario abolire le due trasformazioni  $0 \rightarrow 1$  e  $1 \rightarrow 0$  che avevamo supposte coincidenti. È chiaro che, operando in tal senso, le due fasi di aspirazione e di scarico non possono verificarsi con la semplicità del quattro tempi: lo scarico infatti non può avvenire sotto la spinta del pistone in moto verso l'alto, e l'aspirazione non si può ottenere in seguito alla depressione conseguente al moto di ritorno del pistone stesso.

**4** Altri tipi di indicatori sono provvisti di una serie di molle di diversa grossezza in modo da non richiedere una speciale taratura ma un semplice controllo preventivo e l'eventuale sostituzione della molla con una più adatta, in funzione della pressione nel motore.

La miscela deve pertanto penetrare **spontaneamente** nel cilindro in virtù di una leggera pressione (di poco superiore a quella atmosferica) a essa conferita da un organo esterno; si raggiunge così anche lo scopo di espellere quasi totalmente – sotto la spinta della miscela entrante – i residui gas della combustione completando la fase di scarico.

Le fasi di aspirazione e di scarico, in un motore a due tempi, risultano così parzialmente sovrapposte e nel loro complesso costituiscono la **fase di lavaggio**; l'organo meccanico che con la sua azione di compressione, consente lo svolgimento di questa delicatissima fase, viene definito **pompa di lavaggio**. Nei piccoli motori a due tempi, (per lo più monocilindrici) la pompa di lavaggio è costituita dal carter stesso del motore che è a perfetta tenuta, mentre nei grandi motori si preferisce installare, all'estremità dell'albero, un cilindro-pompa la cui funzione è di alimentare i cilindri motori.

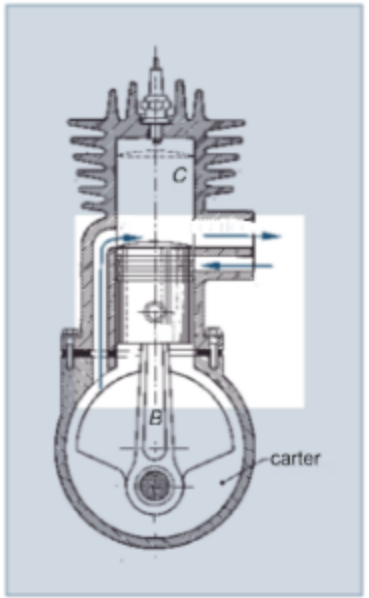
#### Motori con aspirazione dal carter

Si tratta in genere di motori di piccola potenza, la cui costruzione risulta notevolmente semplificata rispetto a un motore a quattro tempi; le fasi di introduzione e scarico che nei motori a quattro tempi sono affidate all'apertura delle relative valvole azionate dal meccanismo della distribuzione, nel motore a due tempi vengono regolate dallo stantuffo stesso che nel suo moto alternato scopre, nell'istante dovuto, alcune feritoie praticate nella parete del cilindro attraverso le quali la miscela penetra nell'interno e i gas combusti si scaricano all'atmosfera.

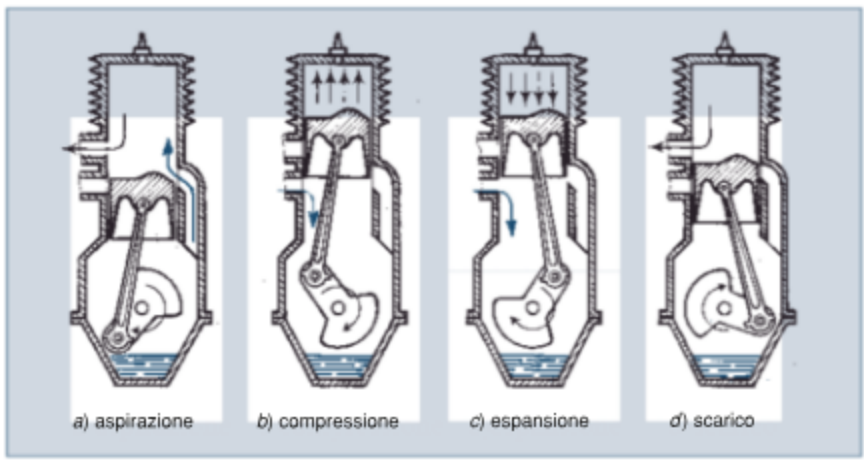
**In altre parole, lo stantuffo, oltre a sviluppare il necessario lavoro meccanico, si comporta come il cassetto cilindrico di una motrice a vapore, distribuendo il fluido operante alle varie destinazioni.**

Lo schema di un piccolo motore a due tempi è illustrato in FIGURA 16.6: le luci ( $a$ ) di ammissione al cilindro comunicano a mezzo di un condotto ricavato nel monoblocco con il carter del motore che assolve il compito di pompa di lavaggio, e aspira la miscela combustibile, attraverso le luci ( $f$ ); le luci di scarico sono generalmente più lunghe di quelle di ammissione in modo che lo stantuffo in fase di discesa le scopra prima delle altre permettendo un primo deflusso all'esterno dei gas combusti. Per facilitare la fase di lavaggio, il cielo del pistone non è piano ma assume forme caratteristiche più o meno bombate per deviare verso l'alto il fluido entrante in modo che quest'ultimo possa scacciare avanti a sé i residui prodotti dalla combustione che si annidano nella parte alta del cilindro.

Esaminiamo ora le singole fasi di un motore a due tempi (FIGURA 16.7) supponendo che nel ciclo precedente il carter abbia già aspirato e compresso, nella



16.6 Motore monocilindrico «2T» (schema).

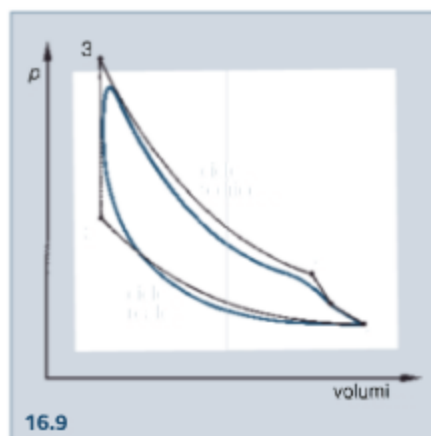
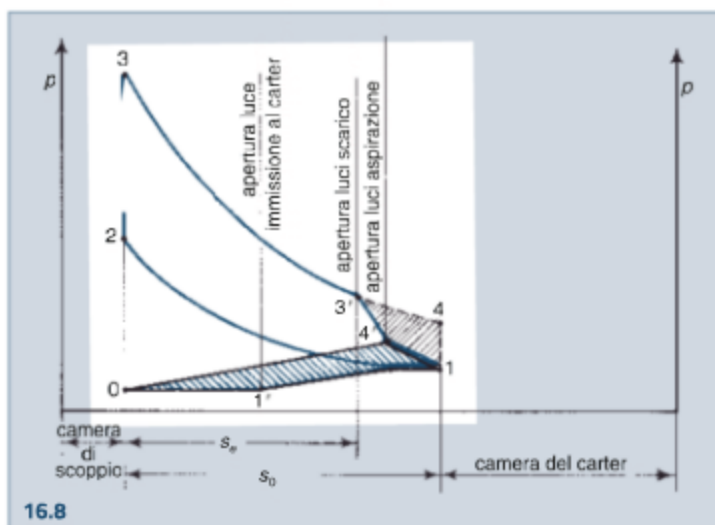


16.7 Fasi di un motore a scoppio a due tempi con aspirazione dal carter.

corsa di ritorno, la miscela, mentre nell'interno del cilindro è già avvenuta la fase di scoppio:

- **fase di aspirazione:** lo stantuffo, nel suo moto discendente scopre prima le luci di scarico e i gas combusti perdono rapidamente – ma non istantaneamente – di pressione poiché l'apertura della luce è progressiva; qualche istante dopo, si apre anche la luce di aspirazione che mette in comunicazione il cilindro con il carter nel quale la miscela pura è in lieve pressione. Essa penetra perciò nel cilindro, scacciando innanzi a sé i residui prodotti della combustione. È bene far notare come questa fase sia di grande importanza nel funzionamento del motore: una abbondante affluenza di miscela pura, se da un lato garantisce un perfetto lavaggio, dall'altro comporta una perdita, perché parte di essa effluisce dalla luce di scarico; invece una scarsa alimentazione di miscela non può consentire un lavaggio efficace e il cilindro, nel ciclo successivo, produrrà un lavoro minore per difetto di alimentazione;
- **fase di compressione:** lo stantuffo risalendo chiude progressivamente prima le luci di aspirazione e poi quelle di scarico, iniziando la compressione della miscela e provocando di conseguenza una depressione nel carter; prima che termini la corsa ascendente, il lembo inferiore dello stantuffo scopre la luce di ammissione al carter, nel quale penetra nuova miscela fresca proveniente dal carburatore. Qui si evidenzia una particolarità costruttiva dei motori a due tempi: la dimensione assiale dello stantuffo non può essere arbitraria ma è condizionata dalla posizione delle luci, in modo che l'alternanza di chiusure e di aperture possa verificarsi nel modo descritto;
- **fase di scoppio:** avviene come nei motori a quattro tempi;
- **fase di espansione:** lo stantuffo spinto dai gas combusti inizia la corsa discendente, compiendo lavoro utile e contemporaneamente comprimendo – dopo la chiusura della luce – la miscela fresca immessa precedentemente nel carter. Prima del termine della corsa, si apre progressivamente la luce di scarico e la pressione nel cilindro diminuisce fortemente fino all'apertura della luce di aspirazione; a questo punto l'introduzione di nuova miscela fa sì che l'abbassamento di pressione risulti meno sensibile fino a raggiungere l'equilibrio con l'ambiente esterno;
- **fase di scarico:** la miscela fresca spinge i prodotti della combustione.

Dal ciclo teorico di un motore a due tempi (FIGURA 16.8) si rileva facilmente la perdita dell'area tratteggiata in nero, rispetto a un quattro tempi di uguali caratteristiche. Tale perdita, che riduce l'ampiezza della corsa a un valore effettivo ( $s_e$ )



16.8 Ciclo teorico di un motore a scoppio a due tempi.

16.9 Ciclo indicato di un motore a «2T».

soddisfare le normative di emissione euro 5 (per presenza di incombusti e olio di lubrificazione bruciato).

D'altronde le nuove tecnologie e i materiali più resistenti dovrebbero aver risolto i problemi passati. Sembra che la Mazda abbia intenzione di produrre delle auto a idrogeno motorizzate con il propulsore rotativo Wankel, cosa che indubbiamente risolverebbe il problema delle emissioni, anche se la tendenza generalizzata per l'uso dell'idrogeno è attualmente rivolta alla produzione di energia elettrica con «fuel-cell» (v. cap. 22).

## 5 La carburazione

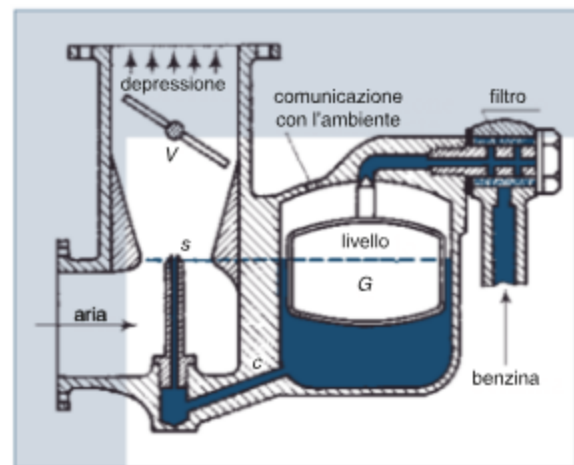
La carburazione è l'insieme di operazioni che comportano la formazione e il dosaggio della **miscela aria-combustibile** in un esatto proporzionamento, in modo da consentire un'alimentazione proporzionata al regime di rotazione del motore. Ciò veniva realizzato tramite l'organo meccanico detto **carburatore** (oggi si utilizzano principalmente sistemi a iniezione elettronica).

Un carburatore assolve contemporaneamente le seguenti funzioni:

- mantiene costante il livello del combustibile;
- miscela il combustibile con l'aria prelevata dall'esterno nell'esatta proporzione;
- dosa il quantitativo di miscela da inviare nel cilindro a ogni ciclo.

Abbiamo sempre chiamato *miscela* un miscuglio di aria e benzina; ciò non esclude l'uso di carburanti diversi, purché soddisfino certe condizioni senza le quali il funzionamento risulterebbe difettoso. La miscela prodotta dal carburatore è infatti pseudo gassosa, essendo composta da un gas (l'aria) e da un liquido (il combustibile) vaporizzato per effetto di una modesta depressione generata dallo stantuffo. Occorre quindi che il combustibile sia facilmente volatile, capace cioè di emettere vapori in seguito a una lieve riduzione di pressione. Il rapporto aria-benzina deve soddisfare le condizioni necessarie allo sviluppo di una buona combustione **5**, tenendo presente che nei motori endotermici l'eccesso di aria potrà essere limitato al minimo indispensabile trattandosi di una premiscelazione molto intima. In genere il volume di aria richiesto, supera di gran lunga quello della benzina, per cui **nel carburatore sono previsti ampi condotti di passaggio per l'aria e varchi ridottissimi per il combustibile**.

Un carburatore (FIGURA 16.14) è costituito da due recipienti, il primo dei quali (**vaschetta a livello costante**) riceve il combustibile liquido, proveniente – per gravità o perché spinto da una piccola pompa – dal serbatoio di alimento, mentre nel secondo avviene la miscelazione fra il combustibile e l'aria comburente. La vaschetta a livello costante contiene un galleggiante (*G*) munito di asta con spillo conico, che con il suo spostamento – in funzione del livello liquido – condiziona l'ingresso di altro combustibile. La vaschetta comunica con un condotto (*c*) che penetra all'interno di un **diffusore** convergente divergente (a somiglianza di un tubo di Venturi) e termina con uno spruzzatore (*s*) costituito da un minuscolo ugello calibrato. La posizione dell'ugello e quella del diffusore sono condizionate dal livello nella vaschetta adiacente, in modo che il liquido non possa tracimare all'esterno quando il motore è fermo, ma risenta a sufficienza la depressione provocata dallo stantuffo. **Lo spruzzatore perciò è posto nella sezione di area minima del diffusore, in posizione lievemente più alta del livello esistente nella vaschetta**; il liquido, in



16.14 Carburatore elementare (schema).

**5** Si veda, in proposito, quanto esposto nel paragrafo 3, capitolo 21, volume 2.

esso contenuto, dotato di alta volatilità, vaporizza in seguito alla depressione prodotta dal motore, e viene aspirato insieme a una notevole quantità di aria, richiamata dall'esterno. Questa, attraversando la sezione contratta, assume la massima velocità e si mescola intimamente con il combustibile vaporizzato formando una miscela esplosiva in cui le proporzioni dei singoli componenti dipendono dall'entità delle sezioni di passaggio del diffusore e dello spruzzatore. **In genere si cerca di ottenere un rapporto di massa aria-benzina di circa 15/1 ÷ 18/1**. L'intensità dell'aspirazione viene regolata tramite una valvola a farfalla (*V*) che chiude parzialmente il condotto di comunicazione con il motore ed è connessa alle leve di comando.

Nella realtà, questo schema di carburatore viene affiancato da alcuni dispositivi che perfezionano le prestazioni in diverse condizioni. Abbiamo però anche detto che attualmente i sistemi più usati sono a iniezione elettronica.

### Starter

L'avviamento a freddo del motore può risultare difficoltoso con una miscela dosata per la marcia normale, sia perché i vapori di benzina si condensano sulle pareti fredde del collettore, sia perché la depressione è molto modesta in quanto prodotta solo dal motorino di avviamento. Occorre perciò un dispositivo atto ad arricchire la miscela nella fase di avvio e nei primi minuti di marcia; si interviene riducendo la quantità di aria introdotta nel diffusore mediante un apposito diaframma che poi si esclude, oppure adottando un getto supplementare (**starter**) il cui efflusso agisce a valle della valvola a farfalla.

Lo **starter** aumenta la proporzione della benzina nella miscela aria-carburante ed era un dispositivo del carburatore che parzializzava il flusso d'aria in un condotto supplementare in cui veniva preparata una miscela particolarmente **ricca** (FIGURA 16.15): il motore in fase di avviamento, aspira la miscela che è contenuta nel pozzetto (*p*) posto in derivazione rispetto al diffusore, essendo chiusa la valvola a farfalla; in seguito, vuotatosi il pozzetto, si apre la farfalla, entra gradualmente in funzione lo spruzzatore principale e si esclude lo starter. Il comando dello starter poteva essere manuale, semiautomatico o automatico.

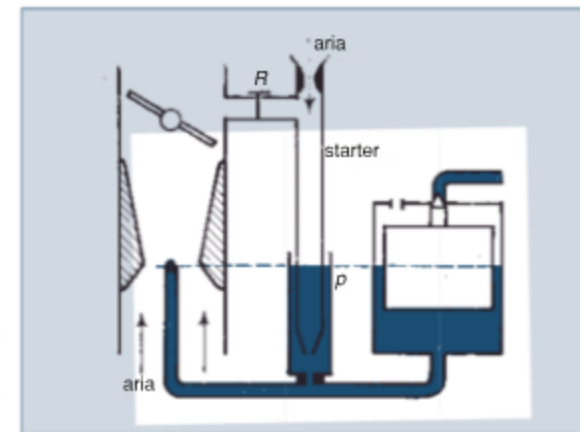
Nei moderni impianti a iniezione elettronica la logica di gestione arricchisce automaticamente l'alimentazione dagli iniettori nella fase di avviamento (fino alla temperatura di circa 70 °C del liquido di raffreddamento).

## 6 La distribuzione

La **distribuzione** è l'insieme di meccanismi che provocano aperture e chiusure dei condotti di alimentazione e di scarico consentendo, con la loro giusta ritmicità, lo svolgimento delle fasi descritte nel ciclo teorico.

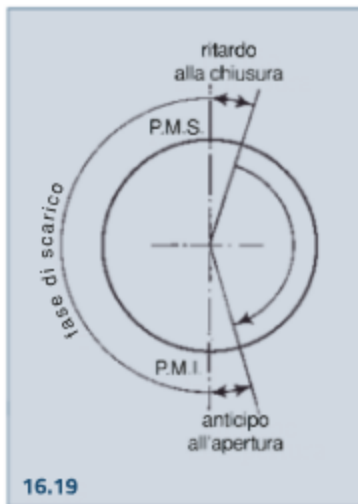
In un motore a quattro tempi, la distribuzione è assicurata da un sistema di valvole che si aprono sotto l'azione di **eccentrici** (o **camme**) calettati su un albero rotante, parallelo a quello principale e da esso azionato (**albero a camme**), e si richiudono perché risospinte sul proprio seggio da molle opportunamente tarate **6**.

Nei motori comuni sono sufficienti una valvola per l'aspirazione della miscela e una per lo scarico dei gas combusti, in ogni cilindro. Nei motori spinti, destinati alle competizioni o a particolari prove, si ricorre a un numero di valvole maggiore per assicurare un perfetto riempimento dei cilindri, in seguito all'espulsione



16.15 Starter di avviamento (schema).

**6** Nei motori veloci l'inerzia delle molle produce spesso ritardi alla chiusura delle valvole provocando irregolarità di funzionamento; si preferisce perciò adottare sistemi di distribuzione più complessi (distribuzione desmodromica) nei quali sia l'apertura sia la chiusura delle valvole sono comandate da camme opportunamente sagomate.



16.19 Estensione della fase di scarico.

16.20 Diagramma circolare della distribuzione in un motore a quattro tempi.

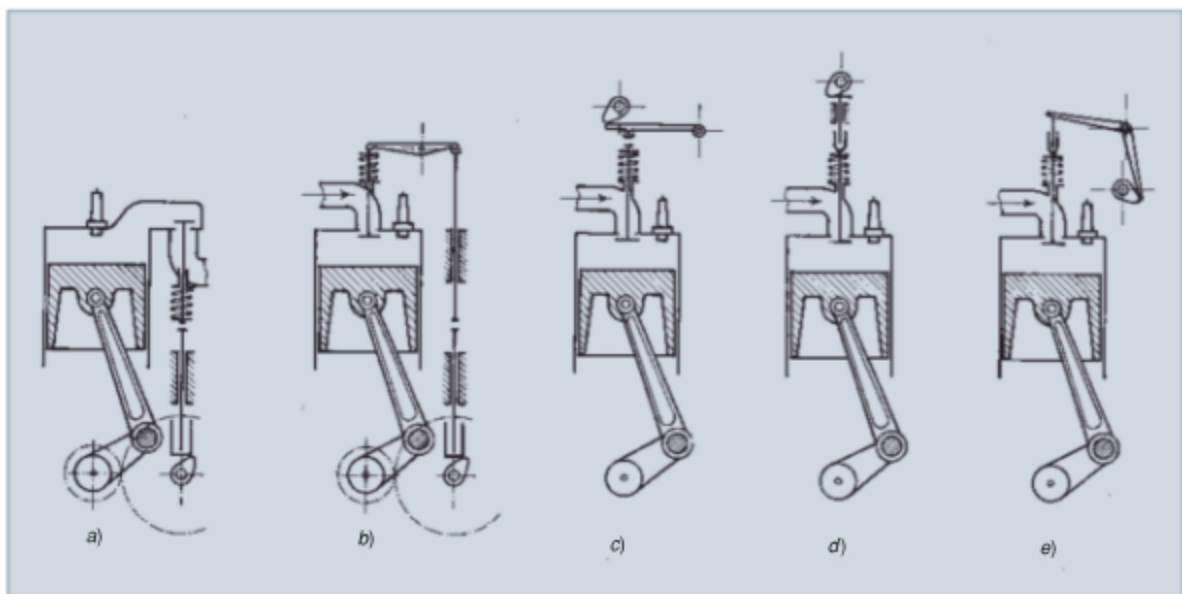


16.20

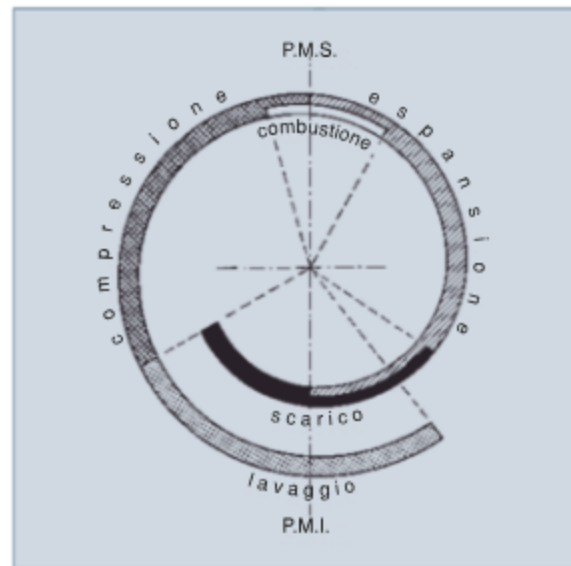
in genere inferiore all'anticipo all'apertura previsto per quella di aspirazione; mediamente si può ritenere che esso oscilli fra 15° e 30° (FIGURA 16.19).

Il complesso di anticipi e ritardi altera sensibilmente la durata delle fasi del motore che, nel caso teorico, dovrebbero avvenire ciascuna in una corsa dello stantuffo; l'effettiva estensione delle fasi viene messa in evidenza nel cosiddetto **diagramma circolare** che, per un motore a quattro tempi, comprende due giri completi dell'albero motore (FIGURA 16.20).

Da questo si rileva che per un breve arco di tempo sono aperte ambedue le valvole (aspirazione e scarico) il che, se da un punto di vista consente un miglior rendimento volumetrico, da un altro lato comporta una leggera perdita di miscela che effluisce direttamente allo scarico insieme ai gas combusti.



16.21 Posizioni diverse dell'albero della distribuzione.



16.22 Diagramma circolare della distribuzione in un motore a due tempi.

Il sistema di trasmissione fra l'albero motore e l'albero a camme utilizza generalmente cinghie dentate che, accoppiate con pulegge a intagli, sostituiscono efficacemente le ruote dentate usate in passato, assicurando una maggior silenziosità della trasmissione e una notevole facilità di sostituzione.

L'albero a camme (FIGURA 16.21) può essere disposto a fianco del motore o in testa, oppure nella soluzione separata (un albero per le camme di aspirazione e uno per le camme di scarico) in entrambi i modi; in nessun caso comunque, la camma agisce direttamente sullo stelo della valvola, ma sempre attraverso un complesso di organi intermedi (aste, bilancieri, distanziatori ecc.) fra i quali occorre sempre prevedere il necessario gioco per l'assorbimento delle dilatazioni termiche e un opportuno organo di registrazione.

Nei motori a due tempi, la distribuzione è generalmente affidata al moto dello stantuffo che scopre e ricopre alternativamente le luci di aspirazione e di scarico; non si parla di organi della distribuzione ma le considerazioni espresse sull'estensione delle varie fasi conservano inalterato il proprio valore. Il diagramma circolare di un motore a due tempi (FIGURA 16.22) è riferito a un solo giro dell'albero motore; in esso sono rilevabili le fasi di scarico e di lavaggio che ovviamente si sovrappongono con un leggero anticipo all'apertura dello scarico le cui luci sono più estese di quelle di ammissione.

## 7 L'accensione

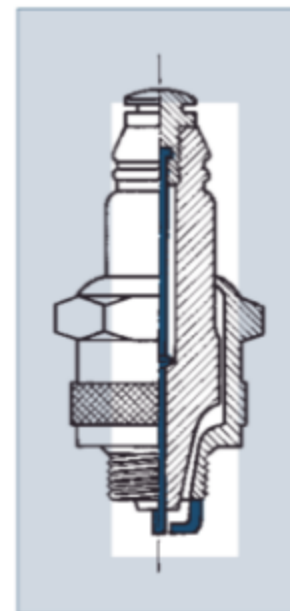
L'organo infiammante che produce l'accensione della miscela, è la *candela* (FIGURA 16.23), costituita, nella sua forma più schematica, da:

- un corpo di acciaio, che si avvita alla testata del motore, dalla cui estremità inferiore sporge un elettrodo collegato a massa;
- uno stelo centrale percorso da corrente ad alta tensione (10 000 ÷ 20 000 volt) che termina a brevissima distanza ( $\approx 0,5$  mm) dall'elettrodo di massa;
- un manicotto di materiale isolante interposto fra l'elettrodo centrale e il corpo di acciaio.

La corrente ad alta tensione che perviene all'elettrodo centrale in un determinato istante, per scaricarsi a massa, genera fra le due punte un arco tanto più intenso quanto più alta è la tensione; l'arco incendia la miscela nelle sue immediate vicinanze e la combustione si diffonde rapidamente in tutta la camera di combustione.

L'elettrodo centrale è in nichel, in lega di nichel o in acciaio al tungsteno, dovendo resistere sia alle elevate temperature generate dalla combustione, sia all'azione corrosiva e ossidante dell'arco. Se le **punte degli elettrodi sono troppo separate, l'arco può non formarsi, mentre se sono troppo vicine l'arco è di scarsa intensità e l'accensione è difettosa.**

Il manicotto deve garantire l'isolamento dell'elettrodo centrale malgrado le varie sollecitazioni termiche, elettriche e meccaniche cui è sottoposto; l'isolamento è assicurato fino a quando la temperatura del manicotto non supera i 900 ÷ 1000 °C, poiché, oltre tali limiti, il materiale diviene conduttore. Ogni tipo di candela ha una diversa capacità di auto raffreddamento che ne condiziona la temperatura di regime e perciò si parla di *candele calde* o *candele fredde*.



16.23 Candela di accensione (schema).