

# IL MOTORE A COMBUSTIONE INTERNA

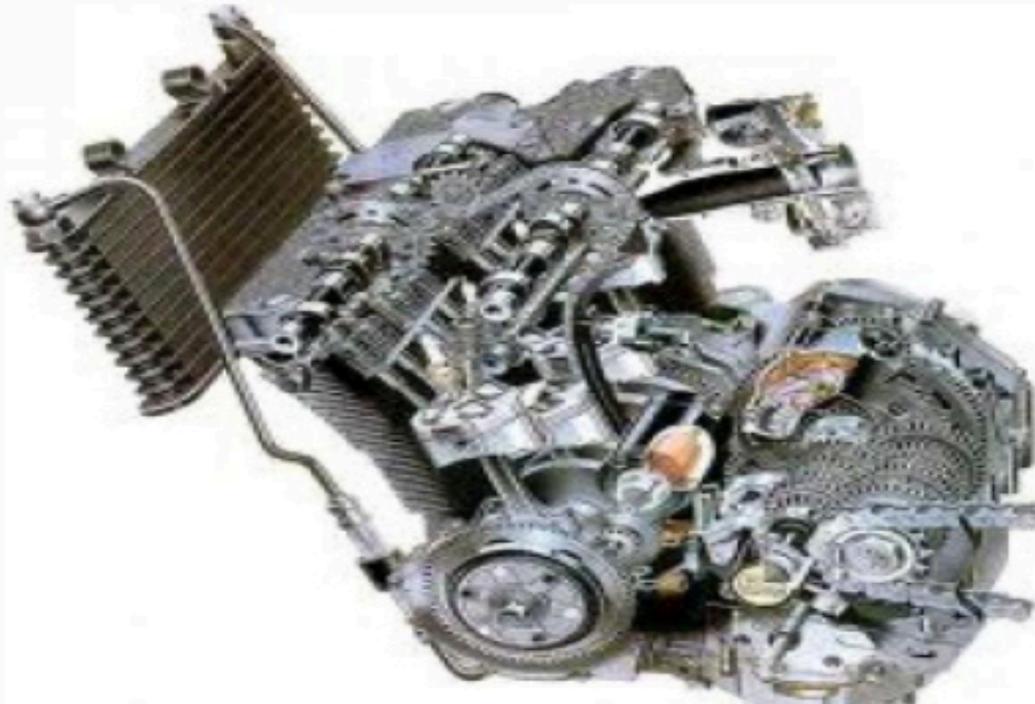
il motore endotermico o a combustione interna può essere:

- **alternativo** se la rotazione dell'albero motore è generata dal moto alternato dei pistoni
- **rotativo** se la rotazione è data direttamente dall'albero (es turbine, motori a pistone rotante..)

il motore più comunemente impiegato nei veicoli è il motore di tipo alternativo che può a sua volta essere:

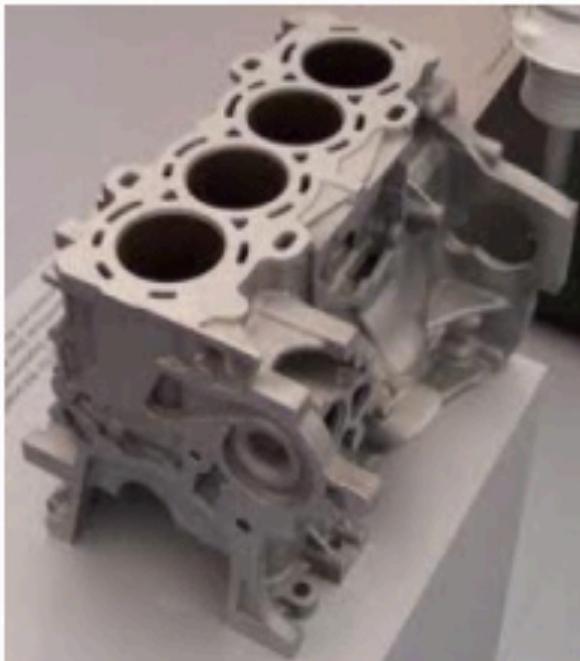
- **a scoppio o ad accensione comandata** nel quale la combustione è avviata da una scintilla
- **diesel o ad accensione spontanea** nel quale la combustione avviene senza inneschi

Nell'immagine sotto si può osservare uno spaccato di motore nel suo insieme:



tutti i motori hanno in comune delle parti costruttive e di funzionamento che ora tratteremo in modo semplice ed intuitivo.

**MONOBLOCCO** generalmente in ghisa o alluminio è un monolita ricavato per fusione all'interno del quale sono ricavati i cilindri entro i quali scorreranno i pistoni. Per problemi termici attorno ai cilindri sono ricavate delle intercapedini su cui verrà fatto circolare il liquido per il raffreddamento (raffreddamento a liquido) e/o delle alettature esterne per migliorare lo scambio termico con l'aria (raffreddamento ad aria) La parte più bassa del monoblocco è chiamata basamento: questo è una robusta struttura metallica che supporta l'albero motore, gli organi ausiliari ed i supporti di collegamento al telaio.



**COPPA** è una scatola che chiude il basamento all'interno della quale è riversato l'olio della lubrificazione. Assente nei motori da competizione, denominati a carter secco, nei quali l'olio è contenuto in un serbatoio a parte per poter abbassare il motore e quindi il baricentro del veicolo.



**PISTONI** chiamato anche stantuffo scorre all'interno dei cilindri ed è collegato per mezzo di uno spinotto alla biella. Per migliorare la tenuta tra pistone e cilindro il pistone porta in alto delle scanalature su cui sono inserite delle fasce elastiche (anelli di metallo) l'ultima delle quali è la raschiaolio che in fase di discesa pulisce la parete del cilindro dall'olio della lubrificazione. L'olio infatti mai deve raggiungere la testa del pistone e cioè non deve entrare nella camera di scoppio. Il pistone è l'organo meccanico più sollecitato per cui deve essere di materiale robusto, leggero e con basso coefficiente di dilatazione termica: sempre più spesso si sceglie per questo l'alluminio.



**BIELLA** è un asta che collega in alto (piede) il pistone per mezzo dello spinotto, in basso l'albero motore per mezzo di una contro staffa (cappellotto)



**BRONZINE** sono delle boccole di bronzo che trovano alloggiamento nelle parti di maggiore movimento ed usura: nel piede di biella, nella testa di biella e negli appoggi dell'albero motore (bronzine di banco). Questo accorgimento consente in caso di anomalia dell'impianto di raffreddamento e di lubrificazione la fusione della bronzina ad una temperatura relativamente bassa (300 gradi) generando un tipico battito percepibile come un guasto: arrestando il motore si evitano così guai ben più gravi.



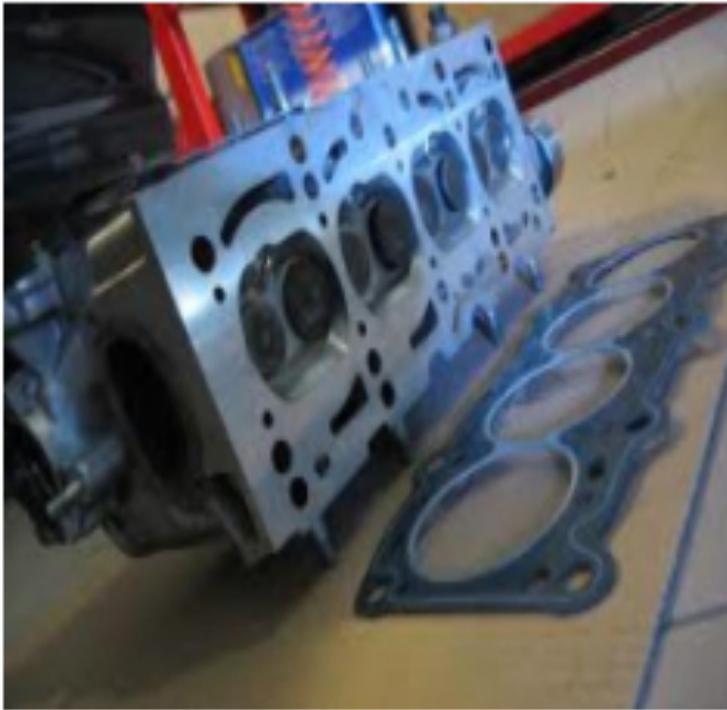
**ALBERO MOTORE** detto anche albero a gomiti o a manovelle è la parte più importante del motore poiché esso trasforma il movimento verticale dei pistoni in movimento rotatorio. La base di appoggio dell'albero è il basamento su cui vengono alloggiati le bronzine di banco. Dato l'importante lavoro a cui è sottoposto questo albero deve essere opportunamente sagomato ed equilibrato per evitare il più possibile movimenti anomali e vibrazioni che potrebbero portare ad una rottura. Il senso di rotazione è molto importante ed è scelto dai costruttori in base alle esigenze: ad esempio un motore trasversale alle ruote se gira in senso orario porterà uno sbilanciamento di masse sull'asse anteriore. L'albero è forato internamente per far scorrere l'olio della lubrificazione. Ad una estremità dell'albero si trova una puleggia che alloggia una o più cinghie (cinghia alternatore, cinghia pompa acqua e lubrificazione, cinghia pompa condizionatore, cinghia distribuzione). All'altra estremità si trova il volano



**VOLANO** è un grosso disco che svolge tre compiti: costituisce la base di appoggio della frizione  
costituisce la base di appoggio del motorino di avviamento con la sua massa per inerzia appiattisce le  
irregolarità di moto del motore che genera una spinta a tratti. Minore è il numero dei cilindri maggiore  
sarà l'irregolarità del motore e quindi più grande sarà la massa del volano: viceversa motori con tanti  
cilindri non necessitano di grandi volani.



**TESTATA** è il coperchio del motore. Si aggancia nella parte superiore del motore con delle viti (prigionieri) previa interposizione di una guarnizione. Nella base in corrispondenza dei cilindri è ricavata una cavità che costituisce la camera di scoppio. Nella parte superiore sono ricavate le sedi per le valvole. Essendo la testata soggetta ad altissime temperature anche in essa sono ricavate delle intercapedini e/o alette per il raffreddamento.



**VALVOLE** è costituita da una testa ed un gambo sulla cui estremità trova alloggio un piattello ed una molla. Le valvole consentono l'apertura e la chiusura di passaggi per riempire i cilindri o svuotarli: in ogni cilindro vi saranno pertanto almeno 2 valvole, una di aspirazione e una di scarico. Le valvole devono essere perfettamente calibrate in quanto devono garantire una perfetta tenuta con le loro sedi: dalla loro perfetta tenuta infatti dipende il buon funzionamento del motore. La loro apertura o chiusura è determinata dall'albero a camme.



**ALBERO A CAMME** o albero della distribuzioni è un tubo metallico con alloggiato delle protuberanze detti eccentrici o camme appunto. Ad ogni camma corrisponde una valvola: quando l'eccentrico ruotando si trova con la sua protuberanza verso la valvola la spinge in basso comprimendo la molla (valvola aperta) mentre quando l'eccentrico non ha la protuberanza verso la valvola la molla si distende alzando la valvola (valvola chiusa) Nei veicoli moderni l'albero a camme trova alloggiamento sulla testa dei motori mentre un tempo si trovava in basso ed il movimento delle valvole si otteneva con un complesso sistema di leve dette aste e bilancieri. L'albero a camme può essere singolo o doppio e riceve movimento dalla cinghia di distribuzione collegata ad una puleggia con l'albero motore



# La combustione

Tutti i motori a combustione interna si basano sulla reazione esotermica della combustione: la reazione di un carburante con un comburente, normalmente aria. I motori a combustione interna sono pertanto costituiti da diversi sistemi (impianti) che ne permettono il funzionamento, quali:

- **Impianto d'accensione, questo sistema è presente solo sui motori ad accensione comandata e permette l'inizio della combustione**
- **Impianto d'alimentazione che fornisce al motore combustibile e comburente**
- **Impianto d'avviamento che fornisce al motore la spinta per iniziare il ciclo**
- **Impianto di raffreddamento per contenere le alte temperature sprigionate dalle combustioni**
- **Impianto di lubrificazione per diminuire gli attriti**
- **Impianto di scarico per eliminare i gas combusti**

La combustione avviene quando per effetto di un innesco (scintilla o calore) un combustibile (benzina o gasolio) subisce una degradazione ad opera di un comburente (ossigeno): la reazione chimica provoca la liberazione di molecole di carbonio ed idrogeno (specie attive) che si combineranno per formare altri composti (anidride carbonica ed acqua) ed altra energia che servirà per la continuazione della combustione.

La combustione prevede quindi delle fasi:

- **inizio:** dopo l'innesco si sviluppano in una fase fortemente esotermica, cioè con grande sviluppo di calore, i primi elementi nuovi (Carbonio, Idrogeno e radicali liberi (specie attive))
- **propagazione:** le specie attive aumentano ed interagiscono tra di loro formando nuovi composti
- **terminazione:** le specie attive diventano prodotti stabili, aumentano e annichiliscono il combustibile residuo fino a spegnere la combustione

La combustione pertanto sarà lenta e controllata se le specie attive risulteranno in misura pari o inferiori a quelle disattivate in fase di terminazione. La combustione sarà viceversa violenta ed esplosiva quando le specie attive saranno in misura superiore alle ricombinazioni in fase di terminazione.

La combustione nel motore è di tipo esplosivo! In una combustione è di fondamentale importanza il rapporto tra combustibile e comburente detto rapporto stechiometrico:

per 1 gr di benzina occorrono circa 14,7 grammi d'aria

Una miscela con più combustibile si definisce ricca, una miscela con meno combustibile si definisce magra. L'efficienza di un motore dipende molto dalla carburazione, cioè dall'esatto rapporto tra aria e benzina: non è detto però che il rapporto sopra descritto debba essere per forza sempre rispettato; poiché la combustione è influenzata da altri fattori potrebbe essere che alle volte sia meglio avere una miscela magra o piuttosto più grassa.

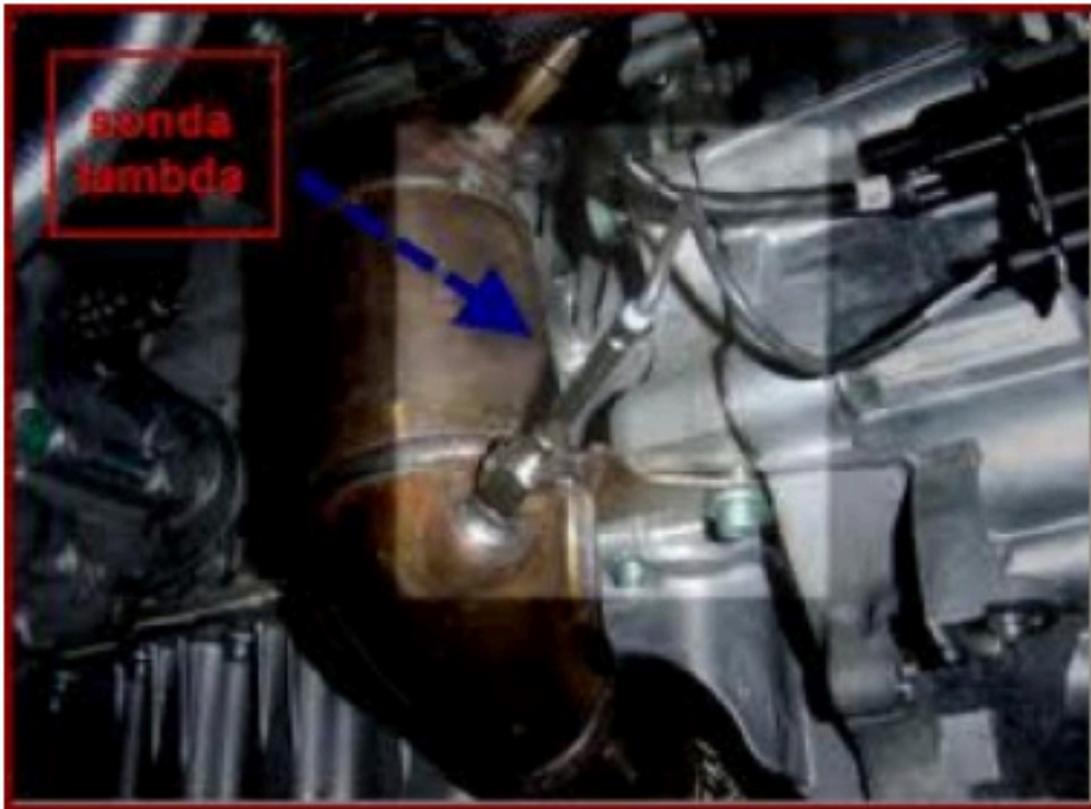
Per tali motivi oggi nelle auto moderne la tecnologia offre soluzioni molto all'avanguardia come la sonda lambda, in grado di leggere i risultati di una combustione, e le centraline elettroniche, in grado di gestire al meglio la miscela.

## La sonda lambda:

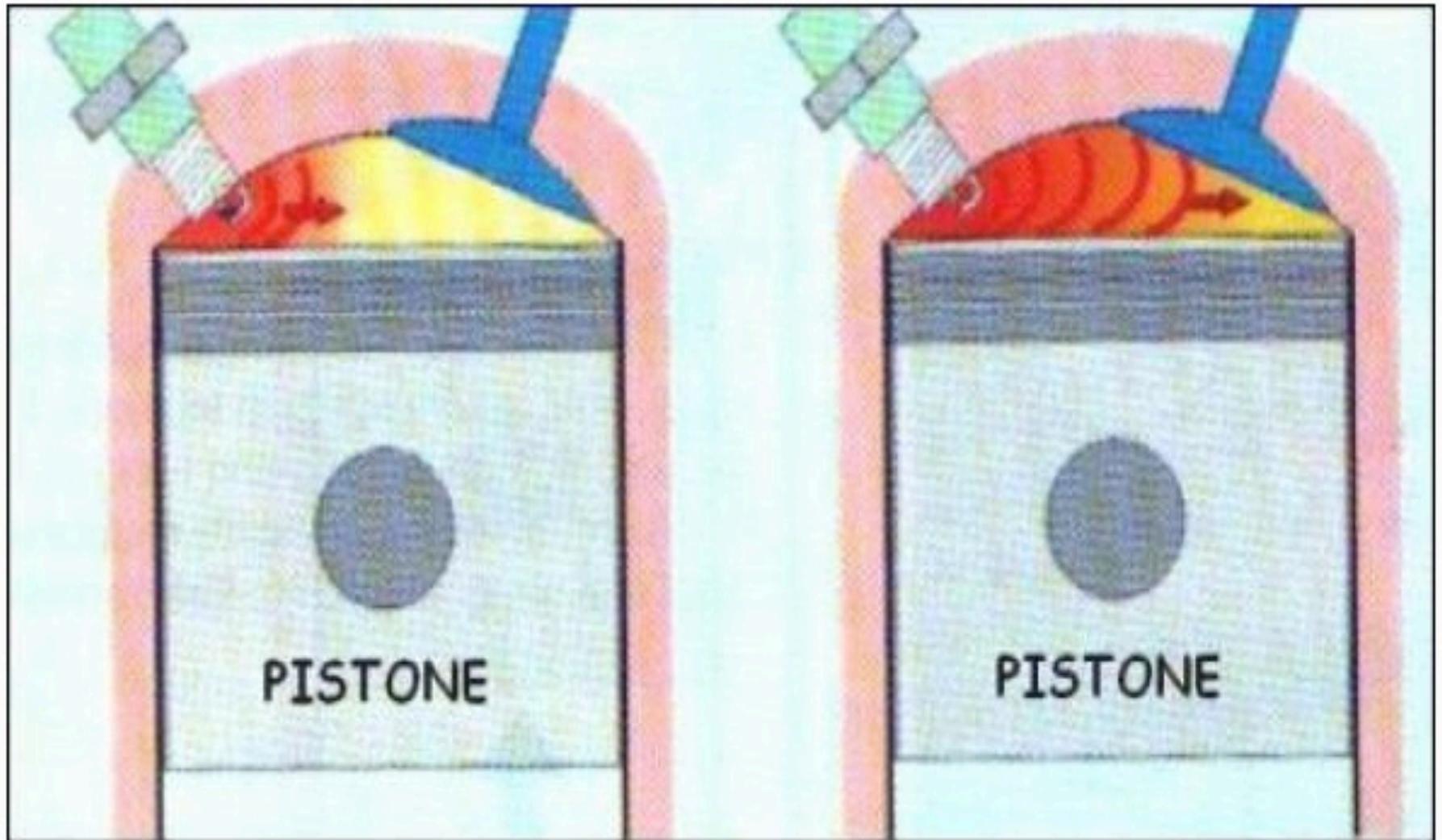
è in grado di rilevare la concentrazione di ossigeno all'interno dei gas di scarico; precisamente il valore di lambda, appunto, che sta ad indicare il rapporto tra l'aria e il combustibile, dove:

- Valore 1, quando la combustione è stechiometrica;
- < di 1, quando c'è un eccesso di combustibile;
- > di 1, quando c'è un eccesso d'aria.

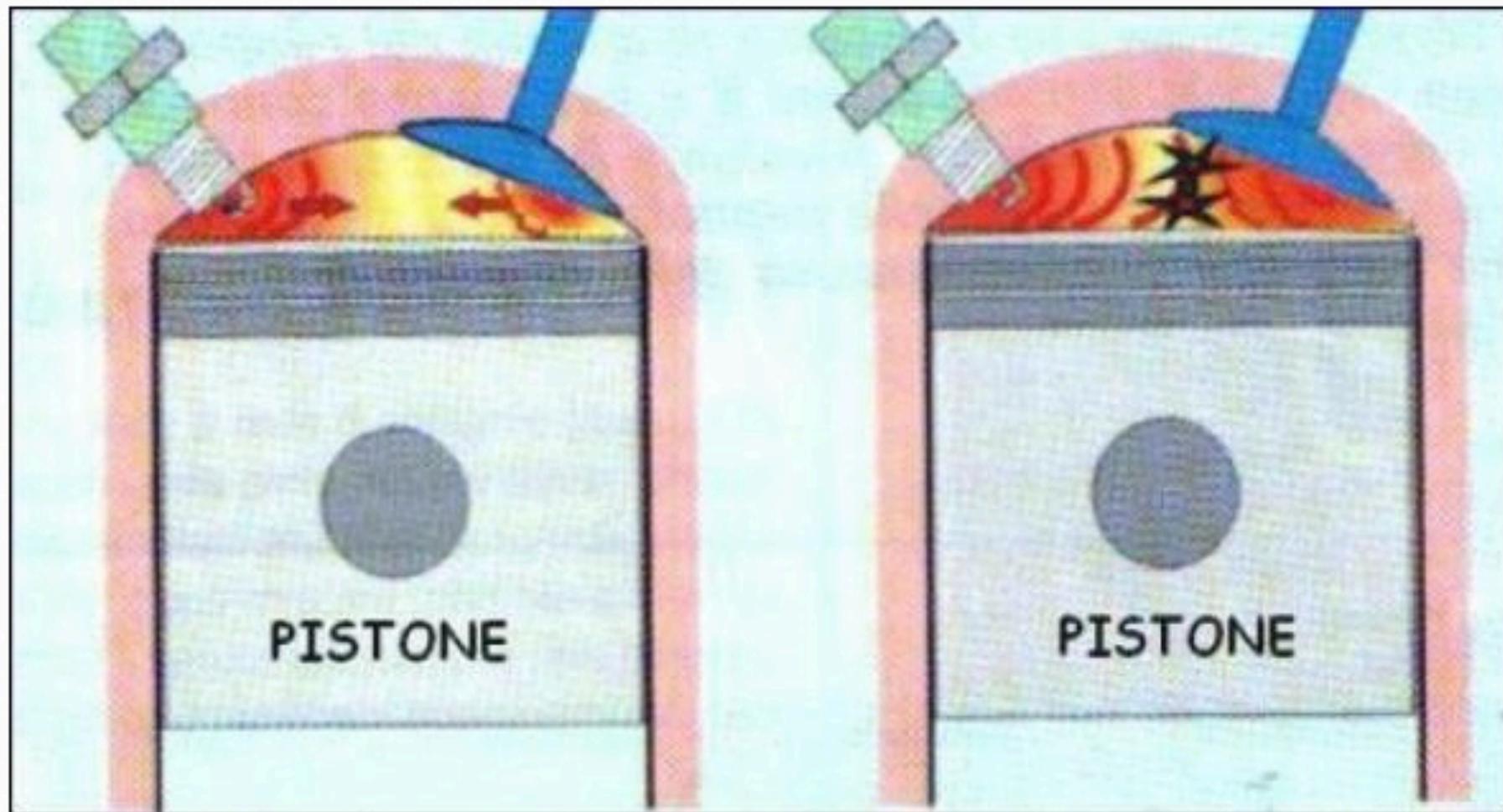
La sonda trasmette poi come segnale elettrico alla centralina che regola l'immissione di carburante e aria all'interno della camera di combustione.



**E' molto importante poi, il modo in cui deve avvenire una combustione: in un motore la combustione deve essere omogenea e deve propagarsi uniformemente**

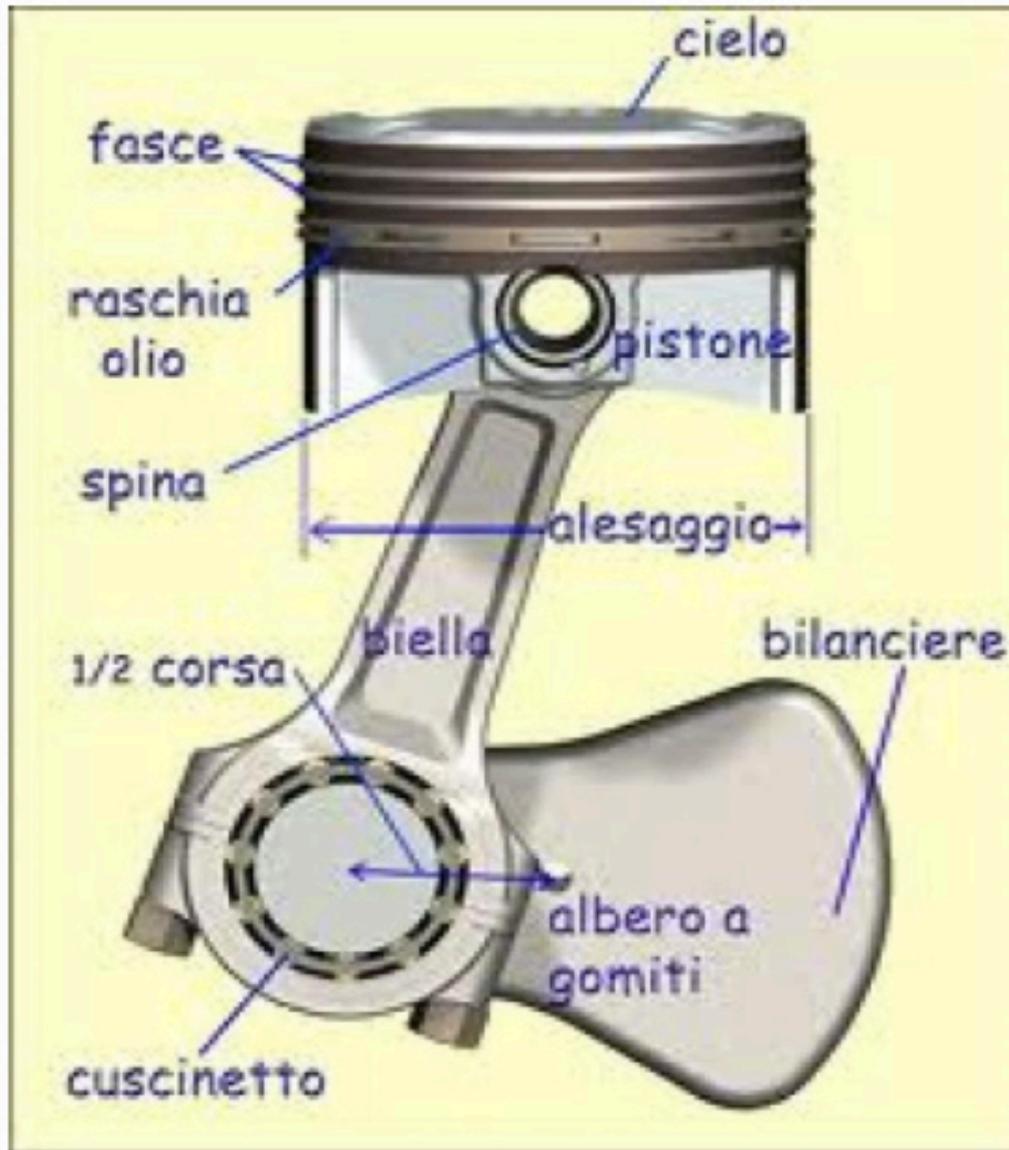


Viceversa una detonazione in zone non volute produrrebbe una combustione anomala con formazione di pericolose onde d'urto. Ecco perchè ai combustibili, ed in special modo alle benzine molto infiammabili, sono additate delle sostanze antidetonanti: famoso era il piombo della benzina rossa oggi sostituito nelle benzine verdi da altre sostanze.



## Parametri essenziali di un motore

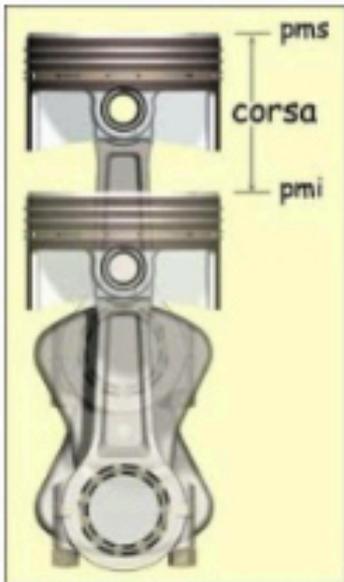
Nel motore vi sono dei parametri caratteristici che differenziano sostanzialmente un motore da un altro. Vediamo le caratteristiche fondamentali.



**ALESAGGIO:** è il diametro del cilindro in cui scorre il pistone

**PUNTI MORTI DEL PISTONE:** sono il punto più alto (punto morto superiore) ed il punto più basso (punto morto inferiore) della corsa del pistone

**CORSA DEL PISTONE:** è la distanza che percorre il pistone nel suo moto verticale dal punto morto superiore al punto morto inferiore



**in base al rapporto tra corsa ed alesaggio si hanno:**

- **motori quadri** se il rapporto è 1 cioè alesaggio e corsa sono uguali
- **motori superquadri o a corsa breve** se l'alesaggio è maggiore della corsa
- **motori sottoquadri o a corsa lunga** se l'alesaggio è più piccolo della corsa

**CILINDRATA.** è il volume teorico dei gas aspirabili nel cilindro moltiplicato per tutti i cilindri di un motore

$$Cilindrata\ totale = \left( \frac{alesaggio\ del\ cilindro}{20} \right)^2 \cdot \frac{corsa}{10} \cdot \pi \cdot numero\ dei\ cilindri$$

**RAPPORTO DI COMPRESSIONE:** è il rapporto tra il volume del cilindro  $V_0$  ed il volume della camera di scoppio  $V_c$

$$\rho_c^* = \frac{V_0 + V_c}{V_c}$$

Tanto più grande sarà il rapporto di compressione tanto più piccola sarà la camera di scoppio e quindi più compressa sarà la miscela prima dello scoppio: tale compressione favorisce l'aumento delle pressioni e delle temperature con maggior sviluppo di energia. Avere rapporti di compressioni alti significa avere maggior rendimento! Tuttavia non è possibile aumentare questo rapporto a valori troppo alti nei motori a benzina poichè ne provocherebbe l'accensione spontanea della benzina.

Nei motori a gasolio invece i rapporti di compressione sono volutamente maggiori perchè l'accensione del gasolio è appunto spontanea.

# Le fasi del motore a quattro tempi

**Viene definito ciclo operativo la serie di operazioni che permettono al motore di generare il movimento: il movimento è generato dalla pressione esercitata sul cielo del pistone nella fase di scoppio. Avendo il pistone un movimento obbligato in senso verticale è dunque inevitabile affermare che il motore alternativo genera movimento verticale! Sarà poi l'albero motore a trasformare questo moto in rotatorio.**

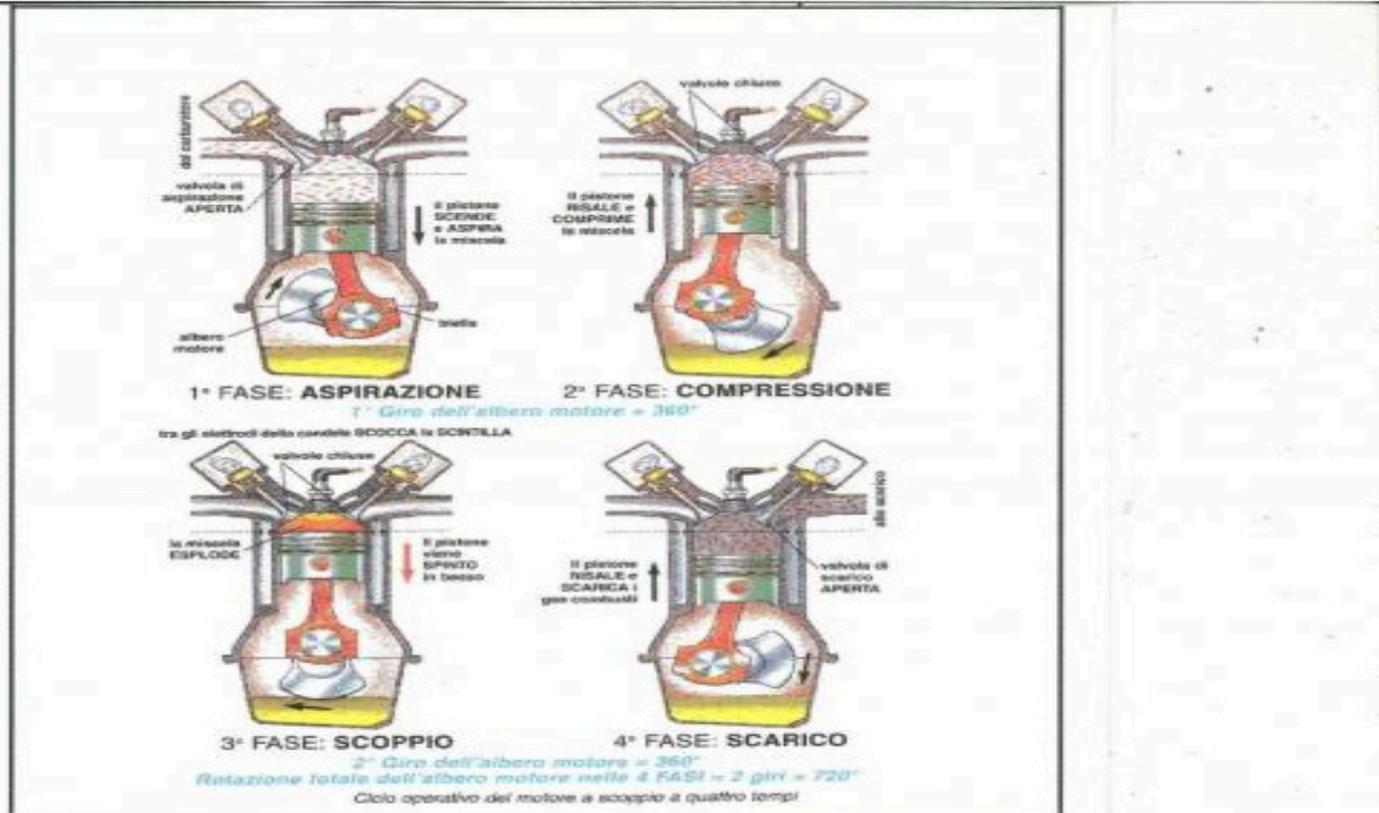
**Il ciclo operativo dei motori si compie in quattro fasi:**

**ASPIRAZIONE:** il pistone scende dal pms al pmi generando nel cilindro una depressione che richiama all'interno solo aria, nei motori diesel, o miscela aria più benzina, nei motori a benzina. Ciò avviene attraverso la valvola di aspirazione opportunamente aperta dall'albero a camme.

**COMPRESSIONE:** il pistone risale grazie alla spinta del volano dal pmi al pms con entrambe le valvole chiuse schiacciando ciò che prima aveva aspirato in uno spazio piccolissimo che è la camera di scoppio. Le pressioni e le temperature aumentano vertiginosamente. Indicativamente si raggiungono le 10 atmosfere nei motori a benzina, 14 nei diesel per arrivare anche a 25 nei motori da competizione; le temperature salgono sopra i 300 gradi.

**SCOPPIO ED ESPANSIONE:** quando il pistone è al pms nei motori a benzina una candela genera una scintilla ed innesca l'esplosione della miscela mentre nei motori diesel un iniettore nebulizza il gasolio che si auto innesca. Il calore prodotto dall'esplosione che può raggiungere i 2000 gradi provoca una dilatazione termica dei gas che sprigionano una pressione enorme spingendo il pistone verso il pmi. E' in questa fase che il motore produce il lavoro.

**SCARICO:** quando il pistone raggiunge il pmi si apre la valvola di scarico e si sfrutta la risalita del pistone verso il pms per spingere fuori i gas bruciati. Terminata questa fase si richiude la valvola di scarico si riapre quella di aspirazione ed il ciclo ricomincia.



Balza agli occhi una cosa: una sola fase su quattro produce energia e perciò possiamo affermare che almeno in linea teorica il rendimento del motore termico è pari al 25%

La realtà differisce leggermente da quanto sovraesposto: in pratica un funzionamento di questo tipo non potrebbe funzionare. Per avere una idea precisa di ciò che avviene nel motore bisogna studiare il ciclo otto e la fasatura della distribuzione.

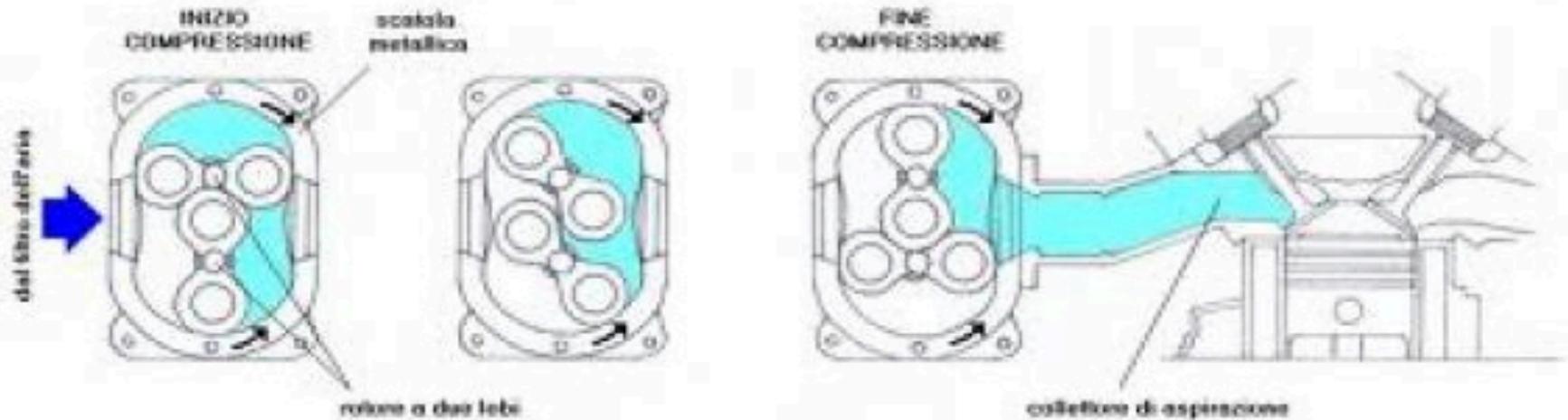
# La sovralimentazione dei motori

Per sovra alimentazione si intende l'introduzione di aria forzata in fase di aspirazione in modo da aumentare il contenuto d'aria e poter quindi aumentare carburante con lo scopo di innalzare le prestazioni di potenza e coppia.

I due sistemi di maggior uso nei motori sono:

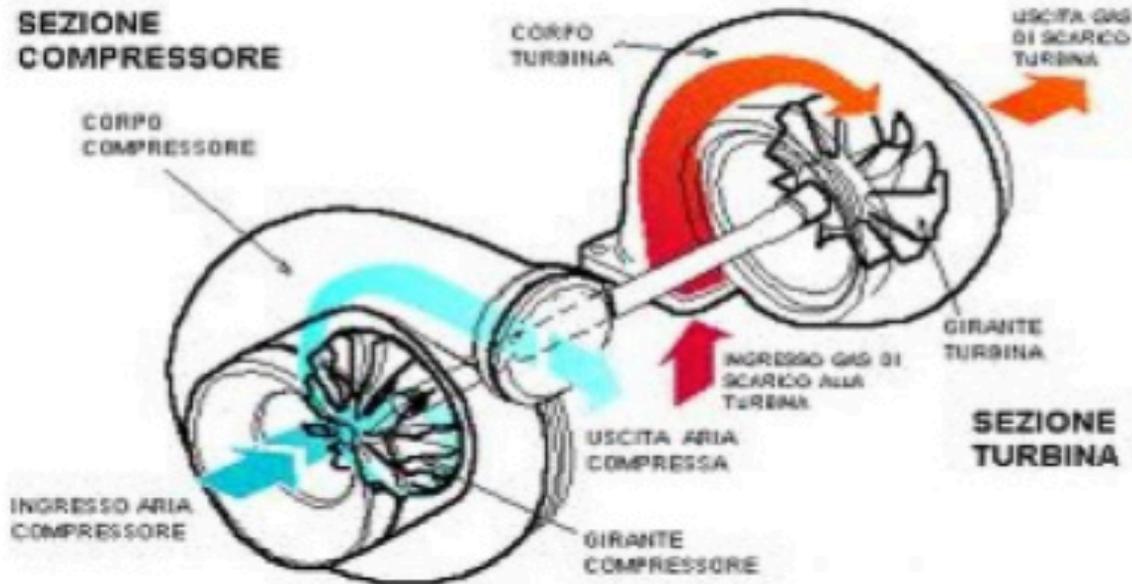
- compressore volumetrico
- turbocompressore

**COMPRESSORE VOLUMETRICO:** esso è costituito da due masse poste sui condotti di aspirazione mosse da una cinghia collegata all'albero motore. Questo sistema poco utilizzato assicura un notevole aumento delle prestazioni soprattutto a bassi e medi giri.

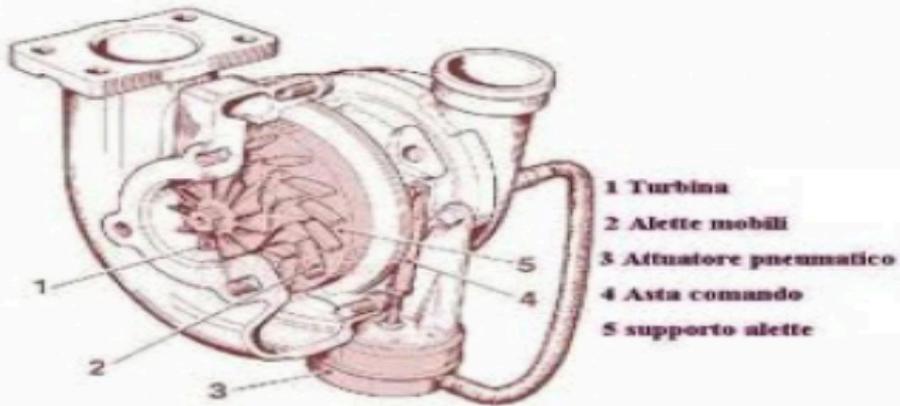


**TURBOCOMPRESSORE:** noto spesso come turbo (chiamato anche turbogruppo giacché è l'unione di una turbina e compressore come in figura) rappresenta senza dubbio il sistema più diffuso. Esso è composto da una girante turbina che viene messa in rotazione dai gas di scarico e da una girante compressore, generalmente in lega di magnesio, collegata alla turbina mediante un piccolo albero. Il compressore, trascinato in rotazione dalla turbina, comprime l'aria e la immette, quindi, nel collettore d'aspirazione, fornendo ai cilindri del motore una quantità d'aria maggiore di quanto ne potrebbero aspirare.

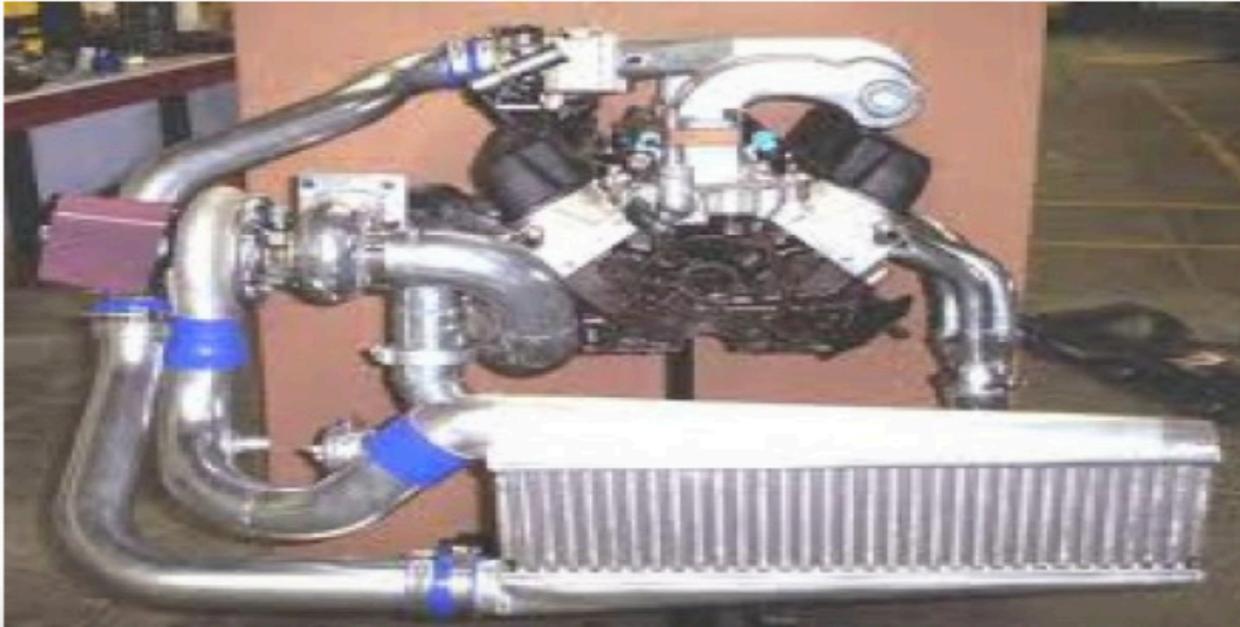
Si tratta di un complesso altamente efficiente in quanto utilizza l'energia residua dei gas di scarico per azionare la turbina e con essa il compressore. In questo modo è possibile immettere nella camera di scoppio anche un maggior quantitativo di carburante, assicurando così una maggiore potenza. Tuttavia proprio in virtù di tale potenza, ovvero maggior consumo, anche i gas di scarico sono costretti a uscire più velocemente, così anche il turbocompressore ruoterà più rapidamente conferendo una sempre maggiore potenza al propulsore. La girante normalmente supera i 180.000 giri/min. Molto efficace ad alti regimi.



Per cercare di migliorare l'efficienza del turbo a bassi regimi oggi una soluzione adottata è quella del turbo a geometria variabile. In pratica la girante motrice dei gas di scarico possiede delle palette che, anziché essere fisse, sono mobili ed il movimento è determinato da una centralina elettronica. Le palette sono aperte o chiuse a seconda dei giri del motore ottenendo così l'inerzia di una turbina piccola se a palette chiuse e portate d'aria enormi a palette aperte.



**INTERCOOLER:** per aumentare ancor di più l'efficienza del turbo spesso è associato ad esso un intercooler, cioè uno scambiatore di calore aria acqua. In pratica i gas compressi prima di entrare nel cilindro vengono raffreddati: è noto che se un gas è raffreddato diminuisce il suo volume perciò a parità di spazio un contenitore potrà contenerne di più. In questo modo è possibile aumentare ancora di più la quantità di miscela aspirabile.



# IL MOTORE A BENZINA

I carburanti più utilizzati oggi sono composti da idrocarburi e sono derivati dal petrolio. I più noti sono benzina, gasolio, metano e GPL. Recentemente sono stati sviluppati prototipi che possono utilizzare anche idrogeno (sia gassoso, sia liquido).

La maggior parte dei motori a combustione interna progettati per funzionare a benzina possono bruciare anche metano o GPL senza modifiche a parte quelle necessarie per l'impianto di alimentazione.

I motori a benzina, metano, gpl o idrogeno sono anche chiamati motori ad accensione comandata: nei motori ad accensione comandata di solito l'accensione viene comandata attraverso una scintilla ad alta tensione che scocca nella miscela aria-combustibile all'interno del cilindro. La scintilla viene prodotta attraverso un impianto d'accensione ed una candela.

**LA CANDELA** La candela è un dispositivo in grado di generare una scintilla per innescare la combustione delle benzine. Essa non è altro che un sistema di due elettrodi fissati in un corpo ceramico (isolante). Gli elettrodi sono conduttori (nikel, cromo).



[title]

**Alla candela viene applicata una tensione di migliaia di volt generata da una bobina: la differenza di tensione fra i due elettrodi è crescente fino a superare la capacità isolante della miscela di aria e benzina, che al ridursi della resistenza dielettrica incomincia a ionizzarsi. Un gas ionizzato diviene conduttore, generando una breve ma intensissima scarica di elettroni con un meccanismo analogo a quello dei fulmini: la scintilla, che induce un riscaldamento locale della carica fresca fino a temperature che vanno dai 700 ai 1000 °C**

**In funzione del suo grado termico, una candela si dice "calda" se ha bassa attitudine a disperdere calore, ed è idonea per motori di bassa potenza. Si dice, invece, "fredda" se ha buona attitudine a disperdere calore ed è idonea per motori di elevata potenza.**

**La candela deve ricevere l'impulso di corrente nel momento più opportuno: in teoria esattamente a fine fase compressione, nella realtà questo istante è anticipato già nella fase di compressione perchè bisogna tener conto dei tempi, seppur infinitesimali; necessari per innescare l'esplosione e propagarla su tutto il cielo del pistone. Questo è oggi completamente gestito oramai da sistemi elettronici (centraline eeprom) in grado di calcolare al millesimo il momento più opportuno per l'innescio.**

# IL MOTORE DIESEL

**L'invenzione del motore diesel porta la data del 1892 quando l'ing. Rudolf Diesel deposita il brevetto di un motore in grado di funzionare con combustibili più economici della benzina. A quel tempo l'esigenza infatti era quella di trovare una alternativa alla benzina per far funzionare i motori delle macchine industriali, delle navi ecc.**



**L'applicazione agli autoveicoli sarà infatti ben più lontana, nel primo conflitto mondiale sui carri armati, poi successivamente agli autocarri ed autobus sul finire degli anni 20, ed infine, nel 1936 sulla prima auto, una Mercedes.**

**Il concetto di base del funzionamento del motore Diesel è che quando un gas viene compresso, la sua temperatura cresce. In questo motore viene utilizzata tale proprietà comprimendo all'interno del cilindro la sola aria a valori elevati fino a raggiungere la temperatura alla quale il combustibile, iniettato presso il punto morto superiore, si accende spontaneamente.**

**Viene pertanto definito motore ad accensione spontanea, in contrapposizione al motore ad accensione comandata, nel quale l'accensione è innescata da una scarica elettrica.**

**In un motore Diesel con ciclo a quattro tempi l'aria viene immessa nel cilindro, richiamata dal movimento discendente del pistone e attraverso la valvola di aspirazione, quando il pistone risale tale aria è compressa. In tale compressione l'aria può raggiungere valori di temperatura tra i 700 e i 900 gradi C e pressioni vicine ai 30/40 bar .**

**A questo punto avviene l'iniezione del gasolio che si trova in condizioni di auto accendersi ed esplodere. Il motore Diesel dovrà avere un rapporto di compressione molto più elevato di quello di un analogo motore a benzina. Questa necessità influenza anche il peso di un motore Diesel, che sarà maggiore di quello di un motore a benzina di analoga cilindrata, in quanto le parti del motore dovranno essere costruite per resistere a stress più elevati.**

**Proprio per il suo funzionamento, il motore Diesel trae maggiori vantaggi dall'impiego di sistemi di sovralimentazione che effettuano una compressione dell'aria già prima che questa entri nel cilindro. ecco perchè il motore diesel è quasi sempre turbodiesel!**

**Grazie a questo il motore diesel riesce ad avere efficienze superiori del 15% rispetto al benzina: è noto a tutti infatti che con un litro di gasolio si fanno in media più chilometri rispetto ad una analoga vettura a benzina.**

## L'iniezione del diesel

**Dato il particolare funzionamento nel motore a gasolio riveste una notevole importanza il sistema di iniezione del carburante che dovrà essere:**

- **ad altissime pressioni per poter penetrare nella camera di scoppio in cui vi è aria ad elevatissime pressioni**
- **finemente nebulizzato per avere una combustione omogenea ed efficace**
- **precisa al millesimo di secondo**

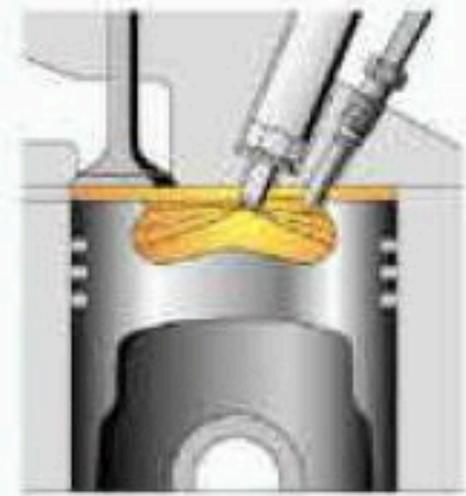
**Si ricorre pertanto agli iniettori come mezzo per sparare il gasolio nella camera di scoppio ed ad un sistema di iniezione che ne controlli tempi e pressioni.**

**INIETTORI:** gli iniettori sono componenti in grado di spruzzare un fluido ad elevate pressioni generate precedentemente in un ambiente che nel caso dei motori è la camera di scoppio.



**L'iniezione può essere:**

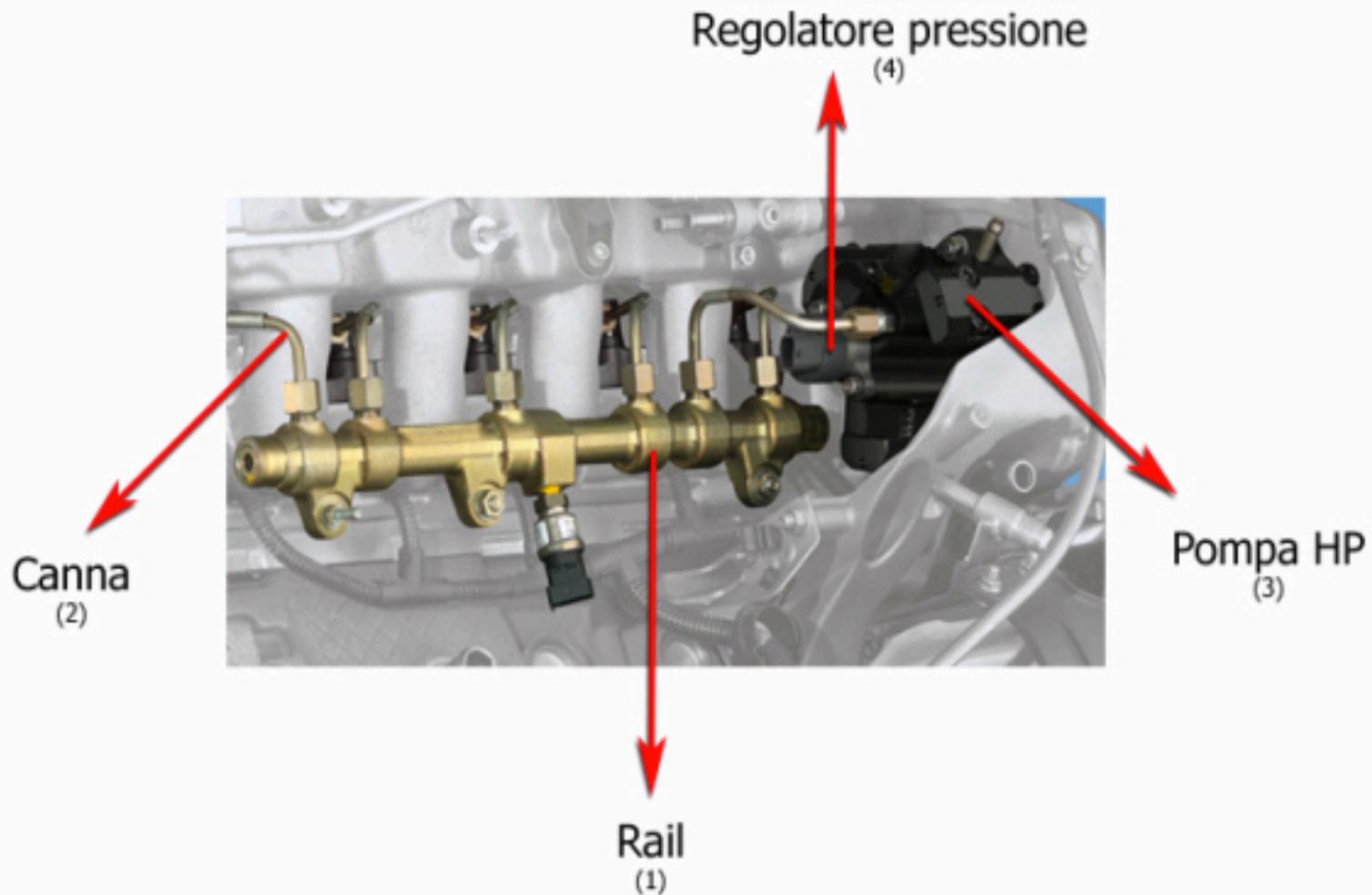
- **diretta** cioè direttamente nella camera di scoppio
- **indiretta** cioè in una precamera di combustione



**Rispetto ai vecchi iniettori meccanici ad ago e molla (polverizzatori) oggi si utilizzano iniettori gestiti elettronicamente da un software (elettro iniettori) e spesso abbinati singolarmente ad una pompa (iniettore pompa) per raggiungere pressioni elevatissime.**

**IL COMMON RAIL: l'iniettore è solo l'ultimo tassello di un processo che vede coinvolto il sistema di alimentazione il cui compito principale è quello di portare agli iniettori il gasolio ad elevate pressioni. Nei vecchi mezzi di locomozione vi era la pompa di iniezione oggi sostituita dal più efficiente common rail.**

**Ideato dal gruppo Fiat e dalla Marelli il brevetto fu poi ceduto alla bosh ed oggi ne godono tutti i mezzi di locomozione. Trattasi di un sistema molto semplice costituito da una pompa che spinge in pressione continua il gasolio entro un tubo (rail) sul quale sono installati gli elettroiniettori. Al momento dell'apertura dell'ugello il gasolio passa dal rail alla camera di scoppio con pressioni dell'ordine di 2000 bar polverizzandosi all'istante**



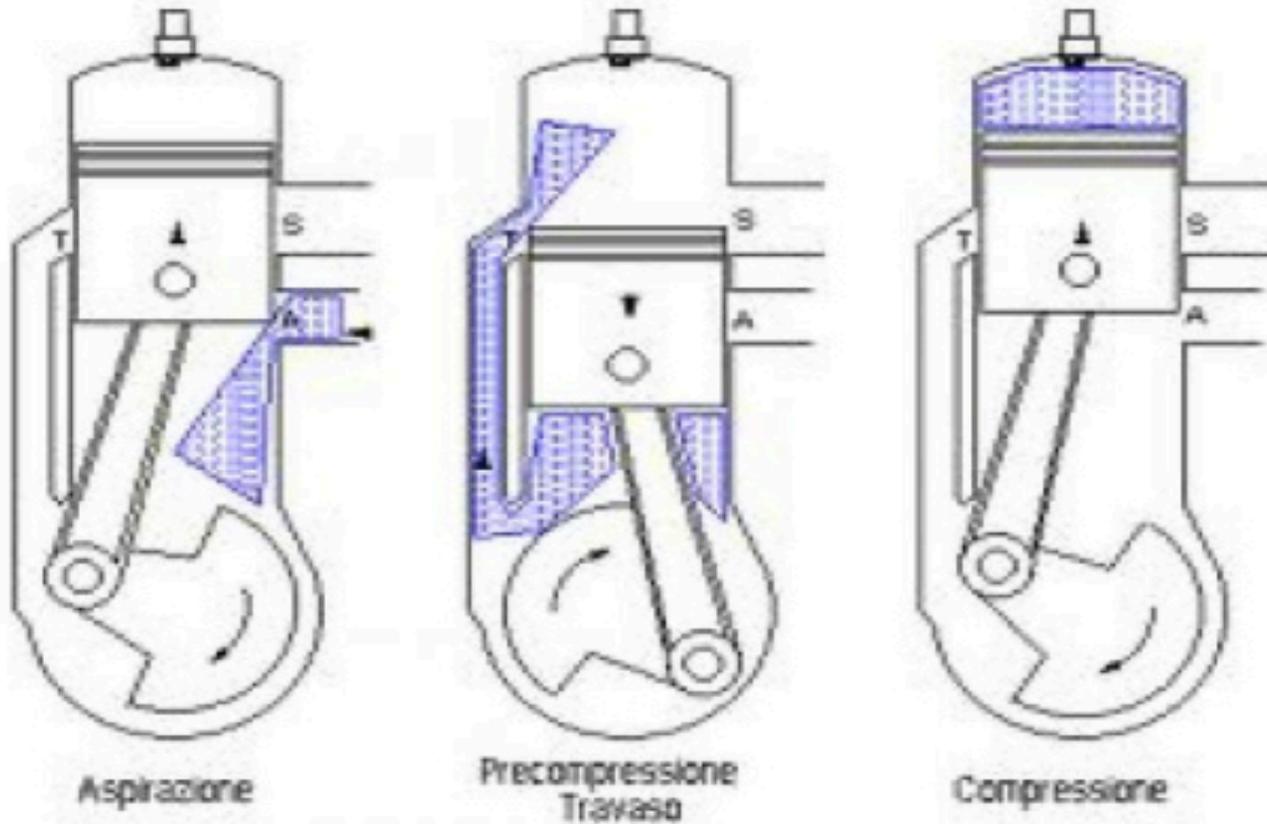
**Poter contare su pressioni così elevate di iniezione ha portato ad una conseguenza: il gasolio si brucia meglio ed a più basse temperature e quindi si è potuto diminuire i rapporti di compressione e costruire così motori di più contenute dimensioni: ecco perchè lo sviluppo così massiccio negli ultimi vent'anni di questi motori nel campo automobilistico.**

# IL MOTORE A DUE TEMPI

Il motore a due tempi compie le quattro fasi in due soli movimenti del pistone e non ha valvole mobili. Vi sono delle feritoie dette luci che vengono aperte o chiuse direttamente dal pistone. Alla base la coppa è a tenuta stagna perchè serve per la fase di compressione e non contiene olio. L'olio per la lubrificazione è aggiunto direttamente alla miscela che sarà pertanto composta da: aria, benzina ed olio (2-4/5%).

**1 TEMPO:** il pistone scendendo per effetto dello scoppio precedente apre la luce dello scarico e la luce di ingresso della nuova miscela: si ha pertanto il lavaggio della camera di scoppio cioè l'uscita dei gas combusti e l'entrata della miscela nuova

**2 TEMPO: Il pistone risalendo comprime la miscela preparandolo allo scoppio ed aspira nuova miscela nella coppa grazie all'apertura della luce di aspirazione**



**Il motore a due tempi perciò produce uno scoppio ogni giro dell'albero a differenza del quattro tempi dove avviene un solo scoppio ogni due giri dell'albero a tutto vantaggio delle prestazioni. I motori a due tempi infatti pur non potendo raggiungere valori di giri elevati (non si possono costruire motori quadri o superquadri) sviluppano a parità di giri e di cilindrata il doppio della potenza di un quattro tempi.**

**Tuttavia oggi è stato praticamente abbandonato a causa della sua rumorosità e per motivi ambientali: la miscela brucia olio per cui è molto inquinante.**

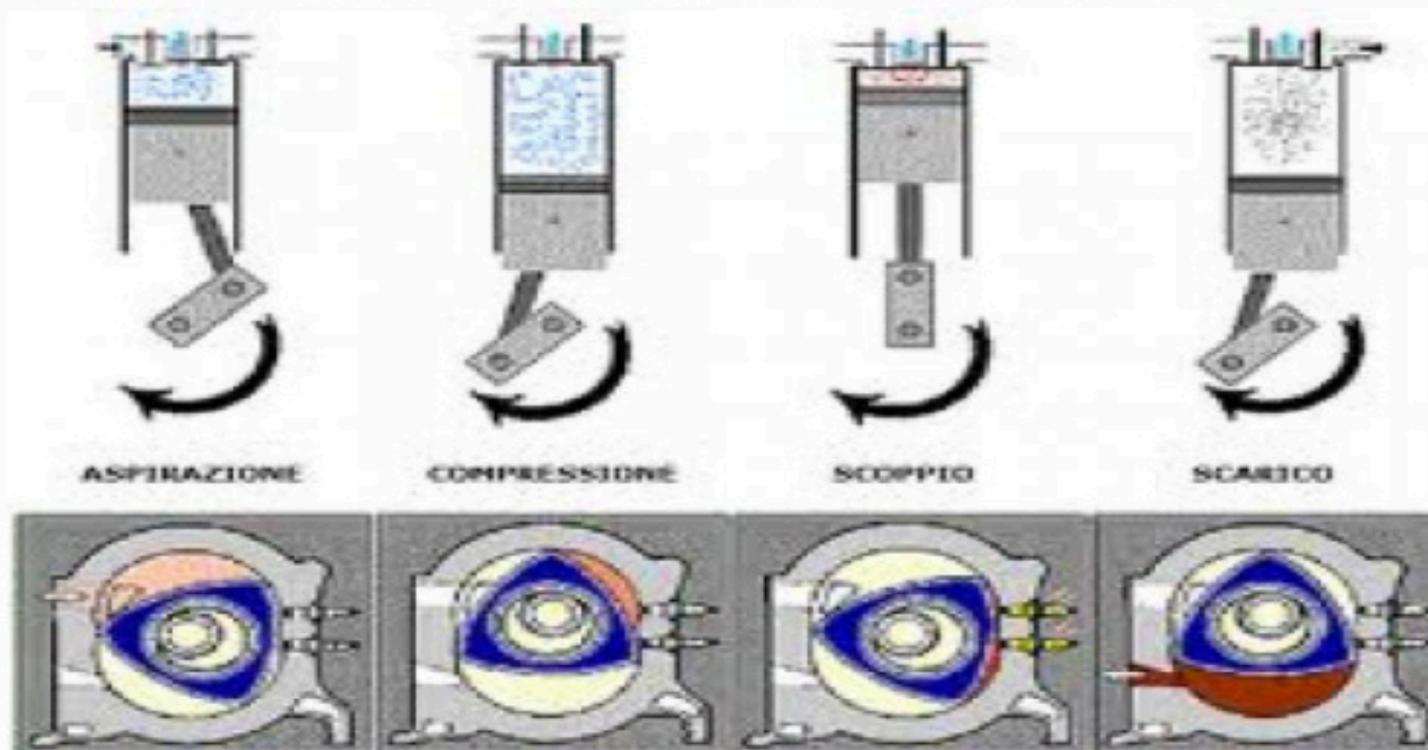
# IL MOTORE WANKEL

**E' un motore di tipo rotativo inventato nel 1957 dall'omonimo ingegnere statunitense: è costituito da uno statore e da un rotore. Lo statore è un contenitore a forma epitrocoidale mentre il rotore è un pistone a tre lobi denominato triangolo di reuleaux.**



**Il principio di funzionamento del Wankel è molto semplice: un pistone a tre lobi (rotore) ruota eccentricamente intorno all'albero motore, generando con il suo movimento camere di lavoro, all'interno delle quali si compiono ciclicamente le quattro classiche fasi di aspirazione, compressione, combustione e scarico.**

**Girando all'interno della carcassa con un particolare movimento orbitante, il rotore forma tre camere, il cui volume varia ciclicamente: nelle 3 camere si compiono contemporaneamente 3 cicli Otto a quattro tempi, sfasati tra loro di  $120^\circ$ . Avendo il rotore tre lati uguali, il processo avviene in modo sequenziale 3 volte a ogni giro del rotore stesso (corrispondente a 3 giri dell'albero motore), con un notevole vantaggio ai fini della potenza erogata e della regolarità di funzionamento**



**I vantaggi di questo motore sono molti: leggero, facile da costruire, pochi elementi in movimento, potenze erogate enormi ma tuttavia non ha trovato diffusione per un motivo: i consumi elevati. La combustione infatti non è perfetta e presenta una notevole percentuale di idrocarburi incombusti.**









## CAPITOLO 8

### LA DISTRIBUZIONE DEL MOTORE

Il sistema di distribuzione è una parte fondamentale del motore a quattro tempi, perché è responsabile dell'invio ai cilindri della miscela di aria e combustibile (della sola aria, nei motori diesel e Otto a iniezione diretta) oltre che del deflusso dei gas di scarico; regola quindi l'attività dei condotti di aspirazione e scarico, mediante valvole di aspirazione e di scarico. La distribuzione non esiste nel motore a due tempi, dove aspirazione e scarico avvengono mediante apposite luci scoperte dal pistone. Le prestazioni del motore in fatto di combustione, potenza, coppia, consumo e inquinamento, si giocano sugli intervalli di apertura e chiusura delle valvole. In questo capitolo verrà analizzata la distribuzione nella sua forma base e nelle varianti che nel corso dei decenni sono state sviluppate per ottimizzare le prestazioni dei propulsori, non ultime le tecniche di fasatura variabile e del Multiair FIAT. Per cominciare va detto che la distribuzione è composta dai seguenti elementi:

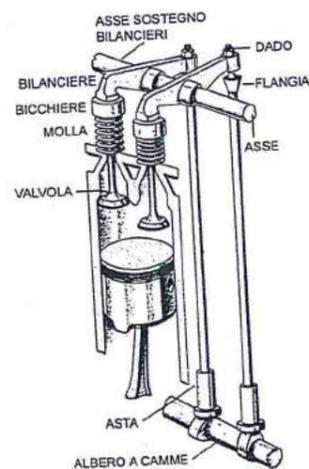
- ☑ valvole (sono almeno due per cilindro);
- ☑ punterie (azionano le valvole);
- ☑ albero della distribuzione (aziona le punterie);
- ☑ sistema di trasmissione del moto all'albero della distribuzione.

In quasi tutti i motori realizzati ad oggi, la distribuzione è fatta così e vede le valvole azionate dall'albero motore tramite un sistema che può essere a catena, a cinghia dentata, a cascata d'ingranaggi oppure a catena e ingranaggi; nei motori per competizioni sportive e in particolare in Formula 1, sono stati sperimentati sistemi di distribuzione con valvole comandate elettricamente (magnetiche o piezo). A parte alcune varianti di motore realizzate negli anni passati, in un quattro tempi tradizionale l'azionamento delle valvole si ottiene mediante un albero ad eccentrici (a camme) o della distribuzione; ogni eccentrico, ruotando,

spinge su una punteria. Quest'ultima è un organo meccanico che trasmette il moto alle valvole per spinta; le punterie possono essere diverse a seconda del tipo di distribuzione usato. Quella tradizionale è a strisciamento e per come lavora deve sopportare la spinta dell'eccentrico, che ha una forte componente laterale in quanto è generata dallo strisciamento tra la camma e la punteria. C'è poi la punteria a rullo, che viene spinta mediante un rullo; tale soluzione riduce l'attrito e viene riservata ai motori per auto sportive, perché in quelle stradali l'attrito si risolve con la lubrificazione. L'albero a camme ruota a metà dei giri dell'albero motore, perché ogni suo giro completo corrisponde a un movimento di apertura e chiusura di una valvola, che deve aprirsi e chiudersi una sola volta per ciascun ciclo di combustione, il quale dura due giri dell'albero motore.

### 8.1 - Tipi di distribuzione

A seconda di dov'è collocato l'albero a camme e di come sono azionate le val-



vole, la distribuzione può essere:

- ad aste e bilancieri;
- ad albero a camme in testa.

Nel primo tipo l'albero a camme aziona le valvole tramite un sistema di aste e bilancieri; l'albero è posto lateralmente al motore e viene azionato da una catena o da ingranaggi (sistema OHV). Nel secondo tipo, molto usato oggi per essere più semplice, l'albero a camme aziona direttamente le valvole mediante aste provviste di piattelli anti attrito; l'albero a camme viene messo in rotazione da una cinghia dentata o una catena. I due tipi hanno in comune l'albero ad eccentrici, le valvole e le punterie. Indipendentemente dalla collocazione, la distribuzione può essere diretta o indiretta: nel primo caso le valvole vengono premute direttamente dalle camme, sia pure per interposizione di piattelli, bicchieri ecc. Nel secondo le camme agiscono su aste e bilancieri (distribuzione laterale) o semplicemente su bilancieri (distribuzione in testa con bilancieri).

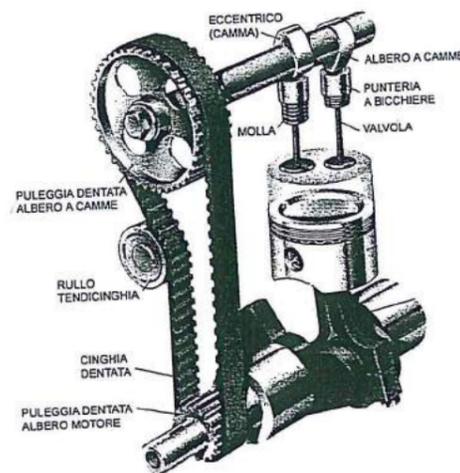


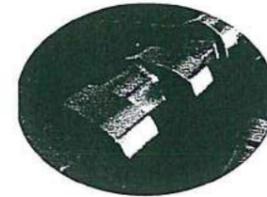
Figura 8.1 - Distribuzione ad aste e bilancieri (a sinistra) e in testa (a destra).

L'albero a camme ha gli eccentrici con sezione a goccia, la cui curvatura e quindi ripidità di cambiamento del diametro in funzione della rotazione angolare, dipende da quanto nettamente debba aprirsi la valvola: camme molto appuntite permettono aperture nette in un breve intervallo di rotazione dell'albero motore, però richiedono un maggiore sforzo e caricano di più lo stelo delle valvole, mentre camme più bombate fanno aprire le valvole più gradualmente e riducono le sollecitazioni. Siccome ogni valvola deve aprirsi al massimo per 1/4 del ciclo di combustione e quindi per non più di mezzo giro dell'albero motore, la zona a diametro variabile della camma occupa non oltre metà giro; pertanto la zona a diametro costante, vista in sezione deve essere almeno metà giro (180°). In questo modo, ogni valvola apre durante una sola corsa del pistone in ogni ciclo.

Ogni valvola deve essere spinta e quindi aperta con un certo anticipo rispetto alla fase corrispondente: ad esempio, quella di aspirazione deve già trovarsi aperta quando il pistone inizia a scendere dal PMS al PMI una volta esaurita la fase di scarico; quella di scarico deve invece chiudersi esattamente nel momento in cui il pistone è arrivato al PMS durante lo scarico. Ne deriva che le camme si trovano angolate, per uno stesso cilindro, di 180° o qualcosa meno, in base all'anticipo con cui si vuole aprire la valvola di aspirazione. Ciò dipende dal fatto che le valvole non possono aprirsi o chiudersi immediatamente, a causa del profilo delle camme, quindi l'apertura deve avvenire un po' in anticipo e lo stesso vale per la chiusura. In altre parole, il momento in cui la camma si trova al picco e la valvola è alla massima apertura non coincide con quando il pistone è al PMI. L'angolo di anticipo dell'apertura di-



Figura 8.2  
Coppia di alberi a camme per motore 10 cilindri a V; nel dettaglio, camme con angolo di salita molto stretto.



pende dalla pendenza degli eccentrici ed è tanto minore quanto più appuntite sono le camme. Le camme delle valvole di aspirazione di un motore a quattro cilindri sono sfasate tra di loro di 90°; lo stesso vale per quelle di scarico. L'angolo tra camme di aspirazione e scarico di un cilindro è usualmente minore di 180°.

#### 8.1.1 - Distribuzione ad aste e bilancieri

Si tratta del più antico tipo di distribuzione (Figura 8.1 a sinistra) e adotta un albero a camme posto lateralmente e mosso da una cascata d'ingranaggi o da una catena; il primo sistema viene usato nei motori per uso sportivo e in quelli delle vetture di pregio, in quanto estremamente affidabile (cinghie e catene possono rompersi, mentre gli ingranaggi no). Per cascata d'ingranaggi s'intende che il moto viene trasmesso da un ingranaggio dell'albero motore a quello dell'albero a camme mediante uno o più ingranaggi solidali con essi.

Ogni eccentrico, ruotando, spinge verso l'alto un'asta la cui base è allargata per ricevere meglio la spinta ed è lubrificata per ridurre l'attrito; la cima di ciascun asta solleva un lato di un bilanciere, facendo abbassare l'al-

tro lato, che preme sullo stelo della valvola determinando l'apertura.

Il bilanciante è un arco metallico che oscilla come un'altalena su un asse situato fra il punto spinto dall'asta e quello che preme sullo stelo della valvola; l'asse di oscillazione del bilanciante è a sua volta avvitato alla testata mediante appositi collari fermati da bulloni. Di solito la cima dell'asta è filettata e si infila nell'apposito occhietto del bilanciante; alla base della filettatura c'è una flangia che permette di spingere sulla parte inferiore del bilanciante. Per impedire che quest'ultimo sfugga, sulla cima dell'asta si avvitano un dado con tanto di controdado per bloccarne la posizione. Il dado deve consentire il registro della posizione di riposo del bilanciante e quindi del gioco a riposo dell'intera punteria. La parte del bilanciante che spinge la valvola preme su un "bicchiere" metallico, il cui fondo abbassa lo stelo della valvola, facendola aprire. A volte la valvola viene spinta direttamente senza l'interposizione del bicchiere. In cima allo stelo della valvola c'è un piattello che blocca la molla di richiamo, la quale serve a riportare la valvola stessa in posizione di chiusura quando la punteria torna a riposo, ovvero quando la camma, ruotando, torna al suo minore diametro e lascia scendere l'asta e il bilanciante. La mol-

la è tarata per chiudere ermeticamente la valvola e, nei motori sovralimentati, per resistere alla pressione dell'aria nei condotti di aspirazione.

La distribuzione ad aste e bilanciari è poco usata nelle auto perché ha troppe parti in movimento e quindi troppa inerzia. Comunque ancora pochi anni fa venivano prodotti motori con un sistema del genere, assistito dal recupero idraulico del gioco di punteria, che non richiedeva la registrazione.

### 8.1.1.1 - Punterie a rullo

Diversamente dal sistema appena descritto (detto anche Direct Acting Mechanical Bucket - DAMB), nella punteria a rullo la camma spinge l'asta mediante un rullo; la punteria di questo tipo può essere diretta o indiretta (Figura 8.3). Nel primo caso il rullo è imperniato sulla base dell'asta e ruota quando l'eccentrico gli scorre addosso, trasmettendo la spinta. Nel secondo il rullo è imperniato su una leva oscillante (dito) ancorata ad un asse a lato dell'albero a camme; lo strisciamento della camma lo fa ruotare, trasmettendogli la spinta, per effetto della quale l'estremità libera della leva sale e spinge sulla base dell'asta. Anche la punteria a rullo richiede la lubrificazione, però siccome il rullo è libero di ruotare si riducono l'attrito

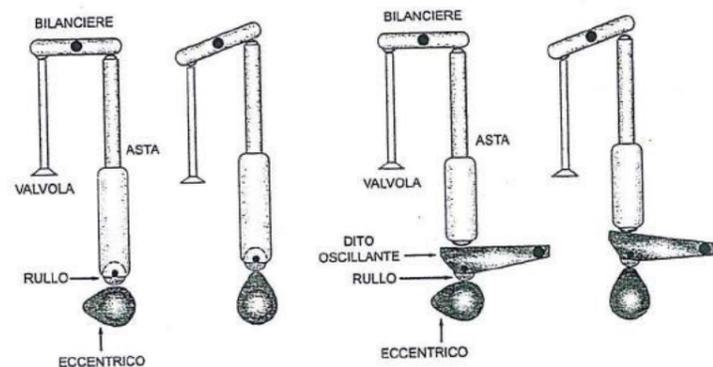


Figura 8.3 Punterie a rullo: a sinistra il tipo a rullo sulla base dell'asta e a destra quello leva ausiliaria (dito oscillante).

e lo sforzo delle parti. Tale soluzione è adatta ai motori in cui l'apertura delle valvole è molto rapida e le camme hanno profilo ripido.

### 8.1.2 - Albero a camme in testa (OHC)

In questo sistema (Figura 8.1 a destra) anche chiamato OHC (Over Head Camshaft) o distribuzione diretta, l'albero a camme è posto sopra la testata ed aziona direttamente gli steli delle valvole comprimendo dei bicchieri che si trovano sopra di esse; le valvole hanno la solita molla di chiusura, trattenuta dal piattello.

Questo tipo di distribuzione è più semplice e presenta meno problemi di risonanza, dato che ha poche parti in movimento. L'albero a camme viene fissato sopra la testata mediante collari con bronzine e bulloni; è lubrificato dall'olio spinto nella sede delle punterie, che viene sbattuto dalle camme. Il difetto di questo tipo di distribuzione va cercato nella lontananza tra il punto di presa di forza (l'albero motore) e l'albero a camme, che obbliga a trasmettere il moto con cinghie dentate o catene; le cinghie devono essere verificate e sostituite ogni 80-100.000 km, ma in alcuni casi possono cedere prima e provocare seri danni. Va notato che la cinghia deve essere per forza dentata, in quanto non può slittare, altrimenti si sposta la fase della distribuzione.

Esistono, ma sono riservati alle corse, motori con distribuzione in testa azionata a catena e ingranaggi.

### 8.1.3 - Distribuzione indiretta ad albero a camme in testa

Una variante del sistema OHC ha l'albero ad eccentrici posto sopra la testata ma lateralmente, ed ogni eccentrico aziona una valvola mediante una leva su cui spinge direttamente, senza

bisogno di aste. Si tratta (Figura 8.9) di un sistema di punteria indiretto che è una via di mezzo tra quello ad aste e bilanciari e quello a camme in testa; si usa per amplificare l'escursione degli eccentrici dell'albero a camme, grazie al fatto che le leve hanno il fulcro dietro il punto di applicazione della forza. Lo sforzo richiesto all'albero a camme è lo stesso di una punteria tradizionale, perché gli eccentrici sforzano maggiormente ma compiono una corsa minore. Il sistema presenta il vantaggio di contenere l'altezza del castello delle punterie.

### 8.1.4 - Parametri delle camme

La forma degli eccentrici gioca un ruolo determinante nel comportamento del motore, come pure il centerline: quest'ultimo è l'angolo di cui il loro asse radiale è inclinato rispetto alla direzione cui corrisponde la massima apertura della valvola di aspirazione quando il pistone è al punto morto superiore; in parole povere, l'angolo (in gradi) dopo il PMS per cui si ottiene la massima alzata della valvola di aspirazione, ovvero l'angolo prima del PMS per cui si ottiene la massima alzata

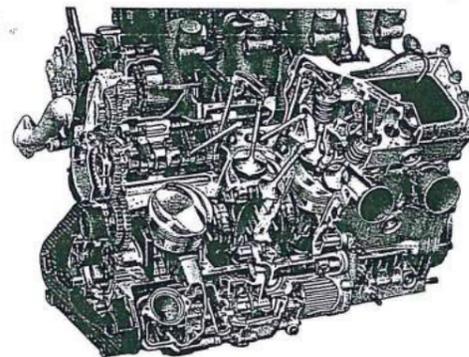


Figura 8.4 - Motore con distribuzione ad aste e bilanciari ed albero a camme azionato da una cascata di ingranaggi. Le punterie sono a rullo con leva oscillante (Mercedes).

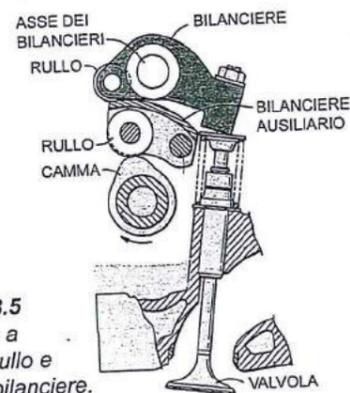


Figura 8.5  
Punteria a doppio rullo e doppio bilanciere.

della valvola di scarico. Importante è anche l'escursione della camma, ossia la differenza tra il diametro base (il minimo) e la massima profondità dell'eccentrico, perché determina l'alzata delle valvole. Un altro parametro importante è la curvatura, ovvero quanto le camme sono appuntite, perché da ciò dipende qual è la porzione di corsa del pistone richiesta per l'apertura e la chiusura delle valvole. Le corse d'apertura e chiusura corrispondono alla lunghezza dell'eccentrico da quando il diametro comincia ad aumentare a quando prende a diminuire (Figura 8.7) ovve-

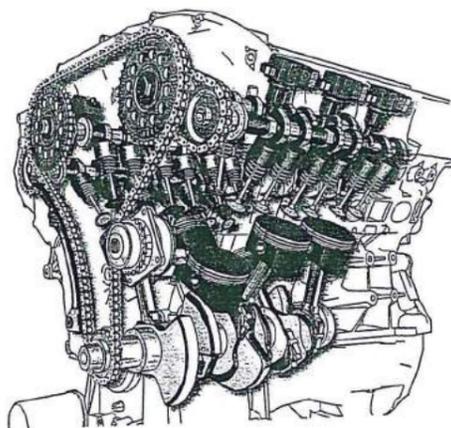


Figura 8.6 - Motore bialbero con distribuzione ad albero a camme in testa (DOHC).

ro dove inizia la punta smussata della camma. Non è detto che i due tratti (apertura e chiusura) debbano essere uguali e incurvati allo stesso modo, perché ciò dipende da come deve funzionare il motore.

Un altro parametro importante è il cosiddetto LSA (*Lobe Separation Angle*) cioè la distanza tra la centerline dell'eccentrico che comanda la valvola di aspirazione e quella della camma che comanda quella di scarico, il tutto diviso per due. La centerline della valvola di aspirazione è la più importante perché è ad essa che ci si riferisce per mettere in fase il motore.

Per fare un esempio, si può ipotizzare un albero a camme con centerline di aspirazione di  $105^\circ$  e centerline di scarico di  $115^\circ$ ; il valore dell'LSA è:

$$(105^\circ + 115^\circ) / 2 = 110^\circ$$

Il valore dell'LSA influenza sia il regime di giri cui si sviluppa la coppia massima, sia la distribuzione della coppia lungo tutto l'arco di giri. Bassi valori di LSA (cioè camme di aspirazione e scarico angolarmente vicine) comportano un aumento dell'angolo di incrocio, una diminuzione della distanza tra valvola e pistone al PMS, una distribuzione della potenza ristretta ad un piccolo arco di giri, maggiore coppia ai bassi regimi ma curva di coppia più arcuata, maggiore pressione all'interno del cilindro e regime massimo di giri più basso.

Per contro, un LSA elevato determina ridotto angolo di incrocio, maggior potenza agli alti regimi, distribuzione della potenza su un ampio range di giri, minimo più regolare, maggior distanza tra pistone al PMS e valvole, minore pressione nel cilindro, regime massimo di giri più elevato e coppia massima più bassa ma meglio distribuita nell'arco dei giri. Curvature ed eccentricità delle camme sono quindi

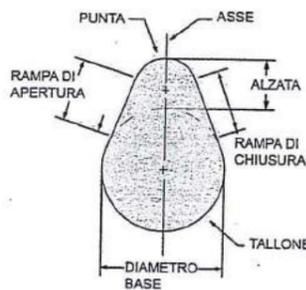


Figura 8.7 - Definizione delle varie zone di un eccentrico dell'albero a camme.

determinanti e laddove si modifichino per l'usura, le prestazioni del motore cambiano.

L'albero a camme è realizzato in acciaio temperato e sottoposto a trattamenti di nitrurazione per indurirlo ulteriormente, però può capitare che il trattamento ceda e qualche eccentrico si spunti; il difetto è visibile ad occhio. Un'usura prematura delle camme può verificarsi anche se le valvole sforzano molto, oppure a causa di cattiva lubrificazione delle guide valvola.

## 8.2 - Distribuzione bialbero (DOHC)

Per garantire ottime prestazioni, i moderni motori hanno più di due valvole per cilindro: tipicamente due per l'aspirazione ed una per lo scarico (più grande delle altre due) oppure due

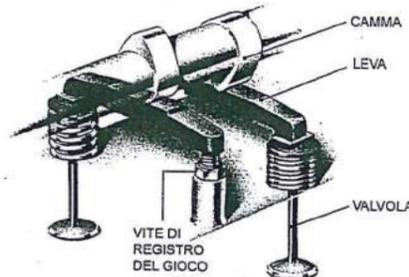


Figura 8.9 - Distribuzione indiretta con albero a camme in testa laterale.

per l'aspirazione ed altrettante per lo scarico. Più valvole permettono un miglior riempimento ed un più rapido svuotamento dei cilindri; il miglior riempimento nasce dal fatto che più valvole riducono la turbolenza e la resistenza dell'aria che si immette dai condotti di aspirazione.

Il numero di valvole di scarico può essere inferiore a quello delle valvole di aspirazione perché i gas combusti si trovano in pressione nel cilindro e quindi la loro espulsione verso l'impianto di scarico è facilitata anche in presenza di una limitata superficie di passaggio. L'aria diretta ai cilindri, in-

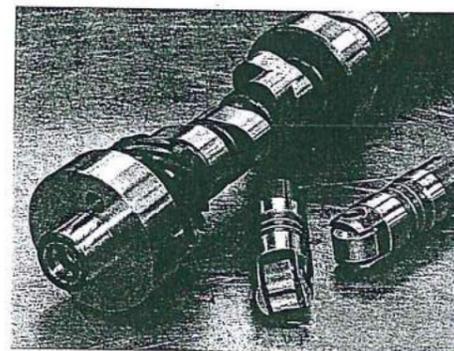


Figura 8.8 - Albero a camme con accanto punterie a rullo.

vece, nei motori aspirati viene richiamata dalla depressione provocata dal pistone; perciò è opportuno avere una superficie di passaggio dell'aria il più possibile ampia per facilitare un ottimale riempimento della camera.

Nei motori da competizione, che funzionano a un numero di giri molto alto, il maggior numero di valvole consente di ottenere grandi sezioni di passaggio con valvole piccole e quindi leggere. La massa ridotta delle valvole permette il raggiungimento di regimi di giri elevati senza troppe sollecitazioni sulle molle di richiamo e

sugli organi della distribuzione.

Le valvole sono di norma collocate lateralmente, per lasciare posto alla candela di accensione o all'iniettore.

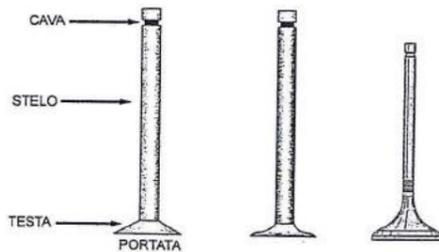
Per azionare più di due valvole a cilindro vengono usati due alberi a camme, collocati in testa. Gli alberi girano a metà del regime del motore e sono azionati insieme.

I motori a doppio albero prendono il nome di DOHC (*Double Over Head Camshaft*) oppure *Twin Cam* o, all'italiana, *bialbero*.

Non sempre il motore bialbero ha più di due valvole a cilindro: in alcuni casi si sceglie solo per dare una certa inclinazione alle valvole e collocarle ai lati opposti della camera di combustione, al fine di creare particolari turbolenze. L'Alfa Romeo, ad esempio, decenni fa realizzava motori con un albero per le valvole di aspirazione ed uno per quelle di scarico.

### 8.3 - Valvole del motore

Le valvole sono i componenti del motore che aprono e chiudono i condotti di scarico ed aspirazione; nella loro forma canonica, ampiamente adottata nei motori in circolo, sono fatte a *fungo*: hanno uno stelo di azionamento ed una testa a disco la cui sezione è trapezoidale o a cappella di fungo, ossia un trapezio con i lati obliqui a profilo esponenziale. La testa entra in una sede appositamente ricavata nella testata e fresata affinché faccia perfetta te-



nuta con il suo dorso. La parte della testa che si affaccia nella camera di combustione si chiama *portata*.

La chiusura della valvola viene assicurata da una robusta molla che punta in basso sulla testata e in alto su un disco alloggiato nell'apposita cava della cima dello stelo. In cima allo stelo preme il bilanciante, ovvero il bicchiere, se trattasi di distribuzione con albero a camme in testa.

La corsa di apertura, ossia quanto la valvola si abbassa rispetto alla posizione di chiusura, prende il nome di *alzata della valvola*; dipende dalla differenza tra il minimo e il massimo diametro di ogni eccentrico dell'albero della distribuzione.

Lo stelo o asta della valvola scorre in un foro (che gli permette lo sbocco verso la punteria) che si chiama *guida valvola* ed è a tenuta; viene lubrificato dall'olio presente nella parte alta della testata che alloggia le punterie, altrimenti l'usura e il calore porterebbero al grippaggio e a "far puntare" le valvole, condizione in cui il motore

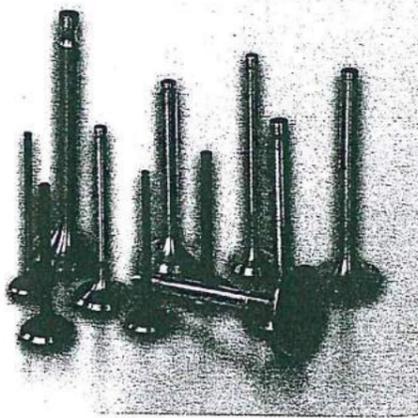


Figura 8.10 - Valvole a fungo: il piattello è l'elemento che chiude fisicamente il condotto, mentre lo stelo scorre nella guida valvola della testata. La cava serve ad alloggiare il disco che trattiene la molla di richiamo.

non funziona più bene perché una o più valvole non si aprono o chiudono correttamente.

Considerando che la testata alle alte temperature di esercizio si dilata, le guide valvola hanno un certo gioco a freddo, che porta all'avvio a un leggero trafileamento d'olio nelle camere di combustione. Lo stesso olio trafile nei motori a benzina un po' usurati quando si rilascia l'acceleratore e si scala di marcia, allorché la forte depressione causata dalla chiusura della farfalla e dal regime di giri, chiama olio e produce la tipica fumata azzurra.

Dovendo lavorare ad alte temperature (sono in contatto con i gas di combustione...) e mantenere nel contempo l'eccellente rigidità che serve a resistere alla pressione delle punterie (che ad alti regimi praticamente picchiano sulla cima dello stelo) le valvole sono realizzate in acciaio temperato rapido o super-rapido; vengono poi lappate così da risultare perfettamente lisce e lucide ed assicurare perfetta tenuta con la sede nella testata ed ottimo scorrimento nelle guide valvola.

Le valvole di aspirazione, che devono sopportare temperature di circa 500 °C, sono in acciaio temperato; quelle di scarico, più sollecitate (la portata e la testa superano a volte 900 °C) nei motori più prestanti vengono trattate con rivestimenti anticorrosione resistenti alle alte temperature. Per lo scarico si usano anche valvole a stelo cavo, all'interno del quale (dalla parte verso la testa) viene introdotto del sodio: questo metallo fonde a circa 97 °C e, muovendosi all'interno della cavità, permette di trasferire il calore verso lo stelo e quindi dissiparlo più alla svelta. La tecnica delle valvole al sodio fu ampiamente collaudata dall'Alfa Romeo nel motore della prima Giulia 1.3. Un'altra tecnica costruttiva per le valvole di scarico consiste nel realizzare la parte bassa (te-

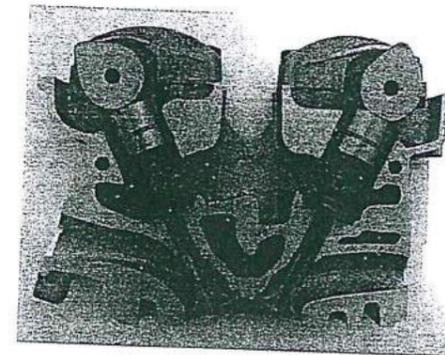


Figura 8.11 - Sopra, sezione di testata per motore con doppio albero a camme in testa e valvole a fungo a profilo esponenziale. Sotto, bicchieri di punterie per distribuzione in testa.



sta e primo quarto dello stelo) in acciaio resistente a corrosione, alta temperatura e calamina; però questo non può essere sottoposto a indurimento, presenta una certa ruvidità e quindi cattive proprietà di scorrimento, oltre che bassa conducibilità termica. Per ovviare a ciò, la prima parte dello ste-

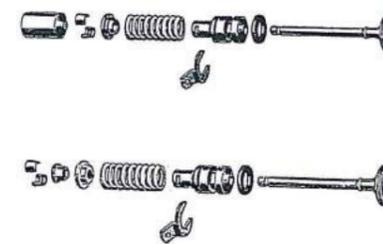


Figura 8.12 - Insieme delle parti che formano una valvola montata: in vista la molla e la rondella che la trattiene in cima.

lo si riempie con sodio e poi si salda alla parte restante, composta da acciaio temperato e ben levigata, che scorre bene nella guide valvola.

### 8.3.1 - Posizione delle valvole

Nella formulazione convenzionale le valvole sono poste perpendicolarmente al cielo del pistone, ma sovente, per collocare la candela o l'iniettore nel centro della camera di combustione, vengono disassate ed inclinate per seguire il profilo della camera di combustione, in particolar modo quando questa è emisferica.

L'inclinazione tra le valvole a fungo è importante sia per la conformazione della camera di combustione che per le dimensioni della testata e quindi gli ingombri del motore. Può essere *generale o relativa*: la prima è l'inclinazione totale tra le valvole di scarico e d'aspirazione e si definisce per i motori a doppio albero, quando le valvole si trovano dai lati opposti del cilindro; la seconda è riferita alla valvola rispetto all'asse del cilindro. In alcuni casi viene indicata l'inclinazione tra le valvole della stessa funzione (tra le valvole d'aspirazione o tra le valvole di scarico), dove tale valore sarà diverso da 0 solo in caso di valvole radiali. Solitamente le valvole dai lati opposti sono inclinate tra loro di  $40 \div 60^\circ$ .

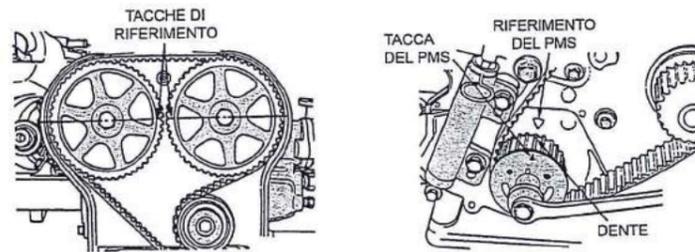


Figura 8.13 - Messa in fase di un motore bialbero: prima si allineano le pulegge degli alberi a camme, poi si fanno combaciare le tacche sulla puleggia dell'albero motore e sul basamento, quindi si passa la cinghia e la si tende.

Le valvole possono essere disposte in vario modo: laterale (il più usato) dove le valvole d'aspirazione o di scarico sono confinanti tra loro; viene utilizzato su tutti i moti aspirati e sulla quasi totalità dei motori sovralimentati. C'è poi la disposizione a flussi incrociati, dove le valvole d'aspirazione non sono posizionate tutte dallo stesso lato del cielo della camera di combustione, ma risultano alternate a quelle di scarico. Questo è il sistema utilizzato per i motori sovralimentati da competizione.

### 8.4 - Fasatura della distribuzione

Perché il motore funzioni correttamente, la distribuzione dev'essere in fase con il movimento dei pistoni, nel senso che l'apertura e la chiusura delle valvole devono avvenire in perfetto sincronismo con le fasi del motore.

Ciò viene assicurato dalla *fasatura*, che consiste nel sincronizzare il movimento dell'albero della distribuzione con quello dell'albero motore; la fasatura serve a determinare il punto di apertura e di chiusura delle valvole rispetto alla posizione del pistone. Più precisamente, per fasatura delle valvole si intendono gli angoli di apertura e di chiusura riferiti a PMI e PMS. Gli effetti della fasatura delle valvole sulle prestazioni di un motore a benzi-

na sono notevoli e si possono comprendere definendo il concetto di *angolo di incrocio delle valvole*. Esso è l'intervallo di rotazione dell'albero motore, misurato in gradi, durante il quale rimangono aperte simultaneamente le valvole di aspirazione e di scarico: ciò avviene quando il pistone si trova al PMS all'inizio della fase di aspirazione e alla fine dello scarico. In pratica si assiste al ritardo di chiusura dello scarico ed all'anticipo di apertura dell'aspirazione.

L'angolo di incrocio dipende da come è fatto l'albero a camme, ossia dall'inclinazione, per ogni cilindro, delle camme di aspirazione rispetto a quelle di scarico; nei motori bialbero a 2 valvole per cilindro dipende dalla posizione angolare dell'albero dell'aspirazione rispetto a quella dell'albero di scarico. L'angolo d'incrocio si sceglie in genere tra i  $10^\circ$  e i  $60^\circ$  (fino ai  $120^\circ$  nei motori da gara) in base sia alle caratteristiche costruttive del motore, sia alle prestazioni volute; permette di utilizzare al meglio la depressione creata nel cilindro dall'espulsione dei gas di scarico e di ottimizzare il rendimento volumetrico sfruttando l'inerzia dell'aria che entra nel cilindro. Più il motore è "spinto", tanto maggiore è l'angolo di incrocio; tuttavia, a partire dagli anni '70 del secolo scorso, si è preferito ridurre il suo valore (in particolare il ritardo di chiusura delle valvole di scarico) allo scopo di limitare la fuoriuscita di benzina incombusta e, di conseguenza, le emissioni inquinanti ed il consumo.

In generale, ritardare la chiusura delle valvole (angolo di incrocio elevato) significa incrementare la potenza agli alti regimi, dovuta ad un certo grado di sovralimentazione prodotta dagli effetti inerziali del moto dell'aria, ma ciò comporta perdite ai medi e bassi regimi causate dai reflussi della miscela nei condotti di aspirazione. Al con-



Figura 8.14 - Testata di motore con valvole di aspirazione più grandi di quelle di scarico e distribuzione ad aste e bilancieri (Chevrolet).



trario, se si anticipa la chiusura delle valvole di aspirazione (basso angolo di incrocio) si ottengono incrementi di prestazioni ai bassi e medi regimi. La scelta tra le due fasature è sovente frutto di compromessi, perché un angolo di incrocio limitato riduce, soprattutto ad alto numero di giri, l'ampiezza delle fasi di aspirazione della miscela e di scarico dei gas combusti, impedendo l'ottimale riempimento dei cilindri e limitando di conseguenza la potenza erogata. Al contrario, un incrocio eccessivo potrebbe causare un funzionamento irregolare del motore a basso numero di giri e, soprattutto al minimo, ritorni di fiamma verso l'alimentazione. Nei motori a benzina dotati di un carburatore per cilindro si adottano elevati angoli di incrocio, perché la presenza di una farfalla per ogni collettore impedisce i reflussi ai bassi regimi ed al minimo.

### 8.4.1 - Messa in fase della distribuzione

L'operazione di *messa in fase* serve a sincronizzare il moto delle valvole con quello dei pistoni e a garantire l'ango-

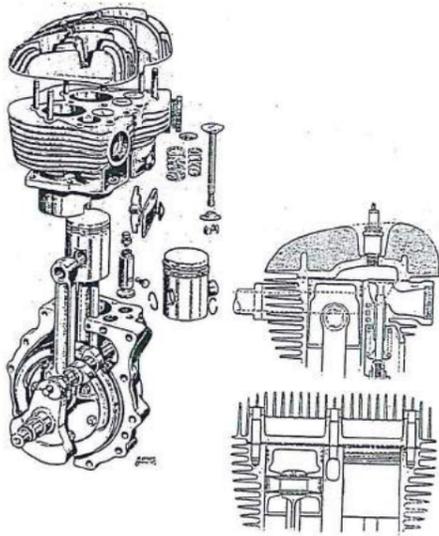


Figura 8.37 - Motore con distribuzione a valvole laterali.

### 8.10 - Distribuzione a valvole laterali

Oltre a quelle finora descritte, esistono altre metodiche per gestire l'afflusso dell'aria e il deflusso dei gas di scarico, che si basano su valvole sempre a fungo, ma disposte diversamente. Un esempio è il sistema a valvole laterali SV (*Side Valves*) che usa un azionamento con albero a camme laterale, solo che le valvole sono posizionate sui condotti di aspirazione e scarico, alla rovescia; in pratica dalla testata partono i condotti, che poi curvano verso il basso, dove vengono aperti e chiusi da valvole a fungo azionate dall'albero a camme, posto lateralmente al motore e che le comanda in modo diretto (Figura 8.37).

Il sistema a valvole laterali, veniva molto usato fino al Secondo Dopoguerra e in esso le valvole spesso erano azionate dallo stesso albero motore, tramite una serie di leveraggi. Le valvole potevano anche essere, invece che parallele al cilindro, per-

pendicolari ad esso, puntate contro i condotti di aspirazione e scarico (Figura 8.38).

Un'altra tecnica di distribuzione (RCV) è quella che adotta *valvole a fodero*: la valvola è, in questo caso, un tubo che ruota attorno al pistone aprendo le luci di scarico ed aspirazione, sincronizzato da un albero che trasmette il moto dell'albero motore (Figura 8.39). Il tubo o manicotto è posto in un'intercapedine ricavata nelle pareti dei cilindri, sulle cui pareti sono ricavati i passaggi attraverso i quali la miscela fresca entra e i gas combusti escono. Il tubo, ruotando provvede proprio alla chiusura e apertura di queste luci; il manicotto viene azionato da un anello inferiore, che a sua volta viene messo in movimento attraverso un piccolo condotto ricavato nella base del cilindro.

### 8.11 - Distribuzione desmodromica

Si tratta di un sistema di distribuzione basato sempre sulle solite valvole a fungo, che però non vengono richiamate in posizione di chiusura da molla, bensì dallo stesso gruppo di organi che ne provoca l'apertura. In pratica lo stelo di ogni valvola viene azionato da una coppia di bilancieri, ognuno

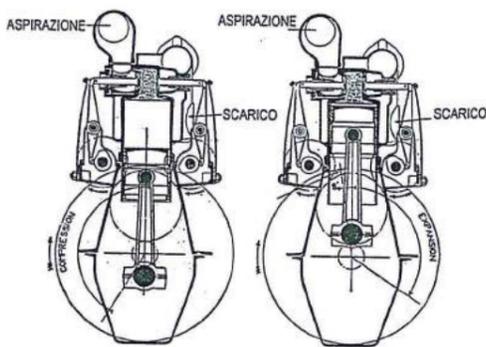


Figura 8.38 - Motore a valvole laterali perpendicolari (Lanchester).

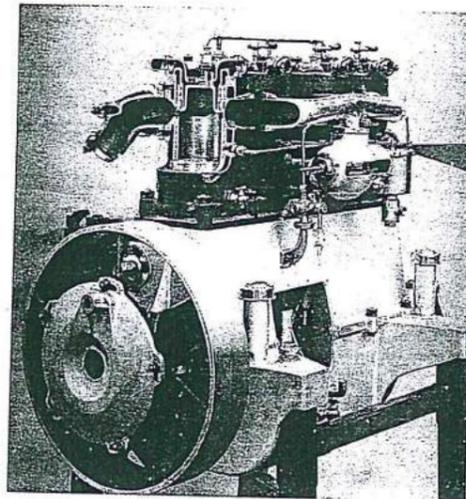


Figura 8.39 - Motore con distribuzione a valvole a fodero.

mosso da una propria punteria per effetto dell'albero a camme o direttamente da una camma. I bilancieri sono speculari l'uno rispetto all'altro e si muovono sincronizzati in modo che quando uno scende l'altro fa lo stesso.

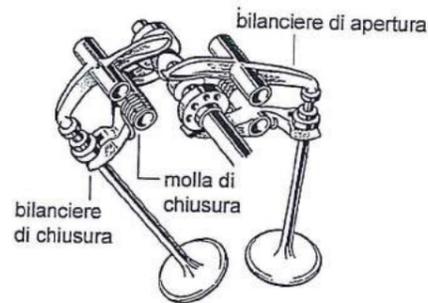
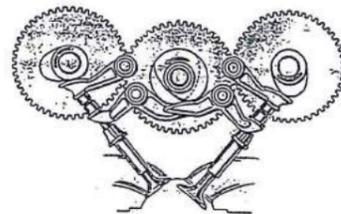


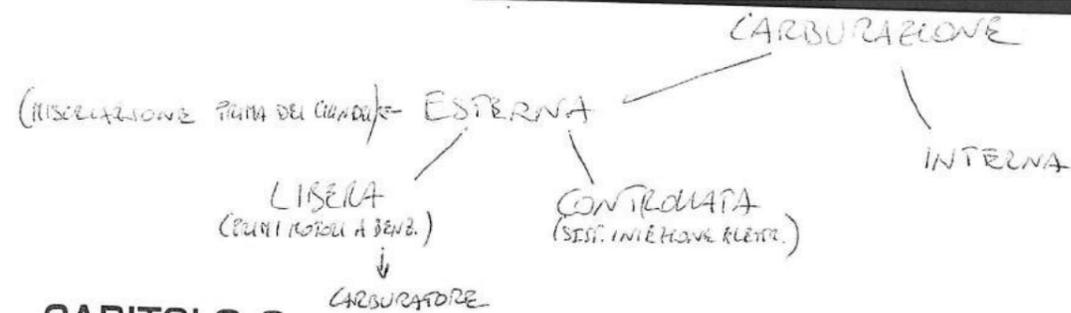
Figura 8.40 - Sopra, distribuzione desmodromica; sotto, il sistema Ducati.



Un bilanciere, abbassandosi, fa scendere la valvola, mentre quando torna a riposo quello opposto risale e fa chiudere la valvola.

Mentre il bilanciere di comando dell'apertura è vincolato solo dalla rispettiva punteria, quello di chiusura è mantenuto in posizione di riposo (sollevato) mediante una molla a spirale vincolata al castello delle punterie, in modo da premere sulla valvola e tenerla chiusa. Per questa ragione, c'è un certo gioco tra esso e la camma che lo aziona, altrimenti se questa puntasse, la valvola e il bilanciere verrebbero sforzati eccessivamente, ovvero se vi fosse gioco la valvola non riuscirebbe a chiudersi perfettamente come richiesto.

L'impiego della distribuzione desmodromica consente di aprire e di richiudere le valvole con grande rapidità e di eliminare ogni rischio di sfarfallamento delle valvole stesse in caso di fuorigiri, però aumenta considerevolmente la complessità costruttiva e determina anche un notevole incremento dei costi di fabbricazione. La desmodromica è stata impiegata in campo automobilistico dalla Mercedes Benz e utilizzata sui motori a otto cilindri in linea delle Formula 1 (di 2.500 cm<sup>2</sup>) e delle vetture sportive (3.000 cm<sup>2</sup>) del biennio 1954-1955. Lo schema impiegato prevedeva l'impiego di due camme per ogni valvola, dal profilo complementare: quella di apertura agiva su di una punteria a pattino, mentre quella di richiamo azionava un bilanciere a due bracci (disposto in posizione rovesciata rispetto a quella usuale) che afferrava lo stelo della valvola per mezzo di un'apposita "scodellina". Un'altra casa che adotta la distribuzione desmodromica è la Ducati, produttrice di moto stradali e da competizione, più volte vincitrice di titoli mondiali. La Ducati è attualmente l'unica casa che adotta la desmodromica.



## CAPITOLO 3

### ALIMENTAZIONE DEL MOTORE A CICLO OTTO

Il motore a ciclo Otto si distingue dal diesel per il circuito di alimentazione del combustibile e del comburente (l'aria aspirata dall'ambiente). Tale circuito fino a una ventina di anni fa usava il carburatore per miscelare aria e benzina; oggi si avvale di sistemi d'iniezione anche diretta nei cilindri, adottati prima dalla Volkswagen (FSI) e poi dall'Alfa Romeo (JTS). Perché il motore Otto funzioni, nei suoi cilindri deve essere composta una miscela di aria e benzina (o gas metano o GPL, ma anche idrogeno) che poi brucia quando la candela di accensione fa scoccare una scintilla; quest'ultima produce calore a sufficienza per incendiare il combustibile, con la complicità dell'ossigeno contenuto nell'aria aspirata. Per quanto riguarda l'alimentazione del combustibile, si può fare una prima distinzione tra motori a carburazione esterna ed a carburazione interna; tra quelli a carburazione esterna, che poi sono i più diffusi, si possono distinguere motori a carburazione libera e a carburazione controllata. Prima di analizzare le varie categorie è il caso di vedere quali sono le parti in comune, ossia la porzione del circuito di alimentazione che precede i dispositivi di somministrazione del combustibile al motore: l'impianto di alimentazione di un tipico motore a benzina consta di un serbatoio, di tubazioni e di una pompa per portare il combustibile e di almeno un filtro, necessario a pulire il combustibile stesso da depositi che possono formarsi sul fondo del serbatoio o arrivare insieme al combustibile dal rifornimento. Nel motore a gas, c'è sempre un serbatoio, tra esso e il dispositivo di somministrazione del combustibile, si trovano dei riduttori di pressione.

#### 3.1 - Motori a carburazione libera

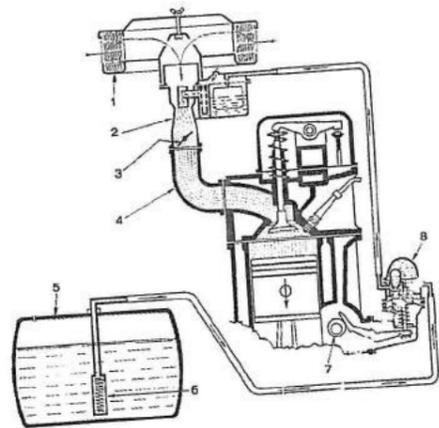
Sono i primi motori a benzina, scomparsi quando le norme antinquinamento e le esigenze di contenimento dei consumi li hanno resi superati, a vantaggio dei sistemi ad iniezione elettronica (a carburazione controllata). In essi la miscela

di aria e benzina giunge già pronta nei cilindri, preparata dal carburatore; per questo si parla di carburazione esterna, in quanto la miscelazione del combustibile e dell'aria avviene prima dei cilindri. Questa caratteristica è comune ai sistemi ad iniezione escluso quello ad iniezione diretta, dove aria e combustibile restano separati fino all'arrivo nei cilindri. La miscelazione è resa possibile dal fatto che il combustibile usato nei motori a ciclo otto (benzina, alcol metilico e/o etilico) è sufficientemente volatile da restare in sospensione nell'aria aspirata.

Nel motore a carburatore, il circuito di alimentazione (Figura 3.1) consta di un serbatoio, di tubazioni, di una pompa meccanica che aspira la benzina dal serbatoio e del carburatore. La pompa del combustibile è tipicamente a membrana e viene azionata da una camma aggiunta sull'albero della distribuzione o da un albero ad esso calettato, che può essere lo stesso che aziona lo spinterogeno.

### 3.2 - Il carburatore

Il carburatore è un miscelatore di aria e combustibile montato sul collettore di aspirazione, in modo da fornire ad



**Figura 3.1**  
Circuito di alimentazione di un motore con carburatore (fonte Weber Carburatori): 1. filtro aria; 2. carburatore; 3. valvola a farfalla; 4. collettore d'aspirazione; 5. serbatoio del combustibile; 6. pescante; 7. camma; 8. pompa d'aspirazione del combustibile.

esso la miscela combustibile; per l'esattezza l'aria aspirata dal motore viene fatta passare tutta per il carburatore. Ciò consente di preparare la miscela semplicemente facendo arrivare il combustibile da piccoli ugelli, dai quali viene risucchiato per effetto della depressione causata dal movimento di discesa dei pistoni verso il PMI nella fase di aspirazione. Questo modo di funzionamento implica che la quantità di combustibile aspirato sia funzione della portata dell'aria che attraversa il carburatore, quindi controllando la portata si decide la quantità di combustibile immessa nei cilindri.

Oltre a miscelare il combustibile con l'aria, il carburatore provvede quindi a controllare la potenza erogata dal motore secondo il comando che il conducente impartisce attraverso l'acceleratore e a mantenere il rapporto tra aria e combustibile entro valori ottimali in tutto il campo di funzionamento del motore.

#### 3.2.1 - Funzionamento del carburatore

Il carburatore consta di un condotto attraversato dall'aria aspirata dal motore, affacciato da una parte sulla presa d'aria in comunicazione con il mannicotto in arrivo dal filtro dell'aria (entrata del carburatore) e dall'altra sul collettore di aspirazione (uscita del carbura-

tore); il condotto prende il nome di tubo di Venturi e viene delimitato da un piattello metallico grande come la sezione del tubo (detto valvola a farfalla) e imperniato mediante un asse che permette di ruotarlo in modo da variare la luce di passaggio del tubo. Quando il piattello è di traverso, fa quasi tenuta con le pareti del tubo di Venturi e lascia passare solo un filo d'aria; quando è verticale, la portata d'aria è massima.

La valvola a farfalla è collocata dalla parte del tubo che si affaccia sul collettore di aspirazione; viene aperta premendo sull'acceleratore. Il tubo è solitamente cilindrico e la valvola a farfalla è un disco, ma esistono anche carburatori con tubi che iniziano con sezione rettangolare ed hanno una valvola a farfalla parimenti sagomata. Il tubo di Venturi è diviso in due parti dal diffusore, che è un restringimento conico allargato verso la farfalla, finalizzato a restringere il percorso dell'aria per creare un minimo di turbolenza necessario a favorire la diffusione delle goccioline di benzina nell'aria. All'interno del diffusore si trova lo spruzzatore, ossia un tubo che riporta un ugello (getto principale) dal quale arriva il combustibile contenuto in una vaschetta di alimentazione incorporata nel carburatore.

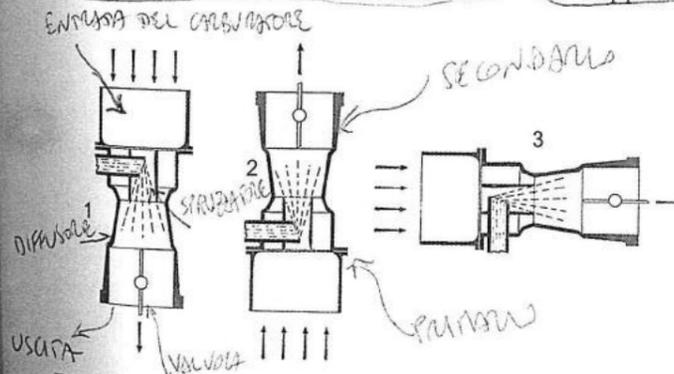
La depressione causata dall'aspirazione del motore, risucchia benzina dai

getti, che sono calibrati per determinare una certa portata a parità d'aria; la calibrazione determina il rapporto tra aria e benzina nella miscela.

La zona del tubo di Venturi rivolta al collettore di aspirazione viene chiamata tubo di Venturi secondario; quella compresa tra ingresso dell'aria e diffusore si chiama tubo di Venturi primario.

Oltre a quello che aggetta nel tubo di Venturi, il carburatore ha altri circuiti da cui arriva la benzina, che sono sempre almeno due: quello dello starter e quello del minimo.

Lo starter, anche detto dispositivo d'avviamento o arricchitore di miscela, nasce per aiutare l'avvio del motore quando fa molto freddo, condizione nella quale è facile che parte della benzina condensi sul collettore d'aspirazione separandosi dall'aria e non raggiungendo i cilindri, quindi determinando una miscela molto "povera". Si tratta di una sorta di bypass, ossia un secondo tubo, messo in parallelo a quello di Venturi, dove entra aria in arrivo dalla presa principale (vertice del tubo di Venturi) e viene reimmessa a valle della valvola a farfalla, ovvero nel collettore d'aspirazione del motore. In questo percorso si trova un getto ausiliario (getto dello starter) sempre alimentato dalla vaschetta, da cui la depressione può risucchiare un supplemento di combustibile. Il

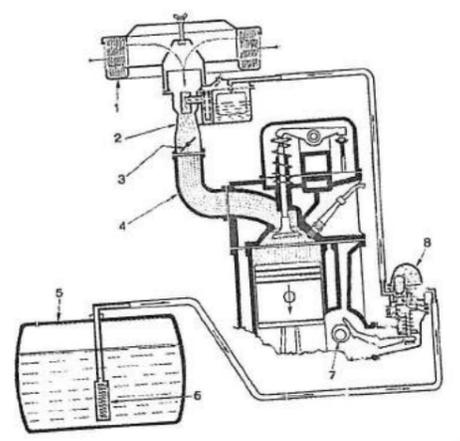


**Figura 3.2**  
Configurazioni dei carburatori per motori d'automobile: 1) a getto in basso (invertito); 2) a getto in alto (verticale); 3) a getto laterale (orizzontale).

di aria e benzina giunge già pronta nei cilindri, preparata dal carburatore; per questo si parla di carburazione esterna, in quanto la miscelazione del combustibile e dell'aria avviene prima dei cilindri. Questa caratteristica è comune ai sistemi ad iniezione escluso quello ad iniezione diretta, dove aria e combustibile restano separati fino all'arrivo nei cilindri. La miscelazione è resa possibile dal fatto che il combustibile usato nei motori a ciclo otto (benzina, alcol metilico e/o etilico) è sufficientemente volatile da restare in sospensione nell'aria aspirata. Nel motore a carburatore, il circuito di alimentazione (Figura 3.1) consta di un serbatoio, di tubazioni, di una pompa meccanica che aspira la benzina dal serbatoio e del carburatore. La pompa del combustibile è tipicamente a membrana e viene azionata da una camma aggiunta sull'albero della distribuzione o da un alberino ad esso calettato, che può essere lo stesso che aziona lo spinterogeno.

### 3.2 - Il carburatore

Il carburatore è un miscelatore di aria e combustibile montato sul collettore di aspirazione, in modo da fornire ad



**Figura 3.1**  
Circuito di alimentazione di un motore con carburatore (fonte Weber Carburatori): 1. filtro aria; 2. carburatore; 3. valvola a farfalla; 4. collettore d'aspirazione; 5. serbatoio del combustibile; 6. pescante; 7. camma; 8. pompa d'aspirazione del combustibile.

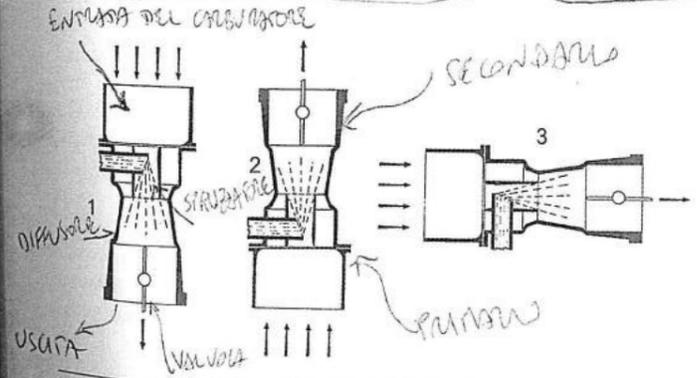
esso la miscela combustibile; per l'esattezza l'aria aspirata dal motore viene fatta passare tutta per il carburatore. Ciò consente di preparare la miscela semplicemente facendo arrivare il combustibile da piccoli ugelli, dai quali viene risucchiato per effetto della depressione causata dal movimento di discesa dei pistoni verso il PMI nella fase di aspirazione. Questo modo di funzionamento implica che la quantità di combustibile aspirato sia funzione della portata dell'aria che attraversa il carburatore, quindi controllando la portata si decide la quantità di combustibile immessa nei cilindri. Oltre a miscelare il combustibile con l'aria, il carburatore provvede quindi a controllare la potenza erogata dal motore secondo il comando che il conducente impartisce attraverso l'acceleratore e a mantenere il rapporto tra aria e combustibile entro valori ottimali in tutto il campo di funzionamento del motore.

#### 3.2.1 - Funzionamento del carburatore

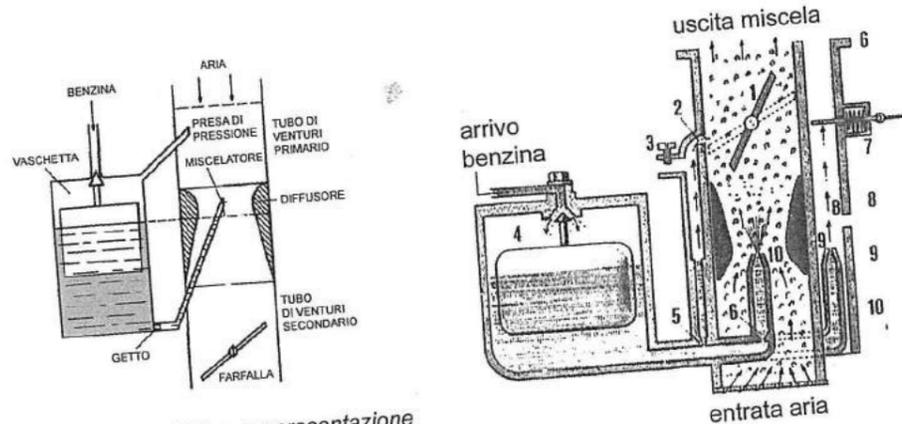
Il carburatore consta di un condotto attraversato dall'aria aspirata dal motore, affacciato da una parte sulla presa d'aria in comunicazione con il manicotto in arrivo dal filtro dell'aria (entrata del carburatore) e dall'altra sul collettore di aspirazione (uscita del carbura-

to); il condotto prende il nome di tubo di Venturi e viene delimitato da un piattello metallico grande come la sezione del tubo (detto valvola a farfalla) e imperniato mediante un asse che permette di ruotarlo in modo da variare la luce di passaggio del tubo. Quando il piattello è di traverso, fa quasi tenuta con le pareti del tubo di Venturi e lascia passare solo un filo d'aria; quando è verticale, la portata d'aria è massima. La valvola a farfalla è collocata dalla parte del tubo che si affaccia sul collettore di aspirazione; viene aperta premendo sull'acceleratore. Il tubo è solitamente cilindrico e la valvola a farfalla è un disco, ma esistono anche carburatori con tubi che iniziano con sezione rettangolare ed hanno una valvola a farfalla parimenti sagomata. Il tubo di Venturi è diviso in due parti dal diffusore, che è un restringimento conico allargato verso la farfalla, finalizzato a restringere il percorso dell'aria per creare un minimo di turbolenza necessario a favorire la diffusione delle goccioline di benzina nell'aria. All'interno del diffusore si trova lo spruzzatore, ossia un tubo che riporta un ugello (getto principale) dal quale arriva il combustibile contenuto in una vaschetta di alimentazione incorporata nel carburatore. La depressione causata dall'aspirazione del motore, risucchia benzina dai

getti, che sono calibrati per determinare una certa portata a parità d'aria; la calibrazione determina il rapporto tra aria e benzina nella miscela. La zona del tubo di Venturi rivolta al collettore di aspirazione viene chiamata tubo di Venturi secondario; quella compresa tra ingresso dell'aria e diffusore si chiama tubo di Venturi primario. Oltre a quello che aggetta nel tubo di Venturi, il carburatore ha altri circuiti da cui arriva la benzina, che sono sempre almeno due: quello dello starter e quello del minimo. Lo starter, anche detto dispositivo d'avviamento o arricchitore di miscela, nasce per aiutare l'avvio del motore quando fa molto freddo, condizione nella quale è facile che parte della benzina condensi sul collettore d'aspirazione separandosi dall'aria e non raggiungendo i cilindri, quindi determinando una miscela molto "povera". Si tratta di una sorta di bypass, ossia un secondo tubo, messo in parallelo a quello di Venturi, dove entra aria in arrivo dalla presa principale (vertice del tubo di Venturi) e viene reimmessa a valle della valvola a farfalla, ovvero nel collettore d'aspirazione del motore. In questo percorso si trova un getto ausiliario (getto dello starter) sempre alimentato dalla vaschetta, da cui la depressione può risucchiare un supplemento di combustibile. Il



**Figura 3.2**  
Configurazioni dei carburatori per motori d'automobile: 1) a getto in basso (invertito); 2) a getto in alto (verticale); 3) a getto laterale (orizzontale).



**Figura 3.3** - A sinistra, rappresentazione schematica del carburatore. A destra sezione di carburatore: 1 = valvola a farfalla; 2 = condotto del minimo; 3 = vite registro del minimo; 4 = vaschetta della benzina; 5 = getto del minimo; 6 = getto principale; 7 = comando starter; 8 = aria starter; 9 = getto starter; 10 = getto principale. La zona strozzata attorno al getto principale si chiama diffusore ed agevola l'aspirazione della benzina.

flusso dell'aria aspirata in esso dipende dalla posizione del comando dello starter, che solitamente è un pomello posto nell'abitacolo sotto il volante; questo permette di aprire e chiudere, ovvero modulare il passaggio dell'aria nel tubo dello starter, mediante una valvola a saracinesca. La portata del combustibile si decide mediante un'apposita vite che occlude parzialmente il condotto che alimenta il getto dello starter. Una volta avviato il motore e verificato che gira correttamente, lo starter va disinserito, perché altrimenti determina un eccesso di benzina e una carburazione scorretta, che porta a fumosità ed eccessivo consumo del propulsore, ma anche a un eccesso di inquinamento, dato che, come si spiegherà più avanti, troppa benzina non viene correttamente bruciata e finisce per rimanere incombusta e inquinare l'ambiente.

Nei motori a carburatore di ultima generazione (di una ventina di anni fa) lo starter viene comandato automaticamente tramite una lamina bimetallica in grado di percepire la temperatura ambiente ed azionare una leva che co-

manda l'arricchitore; la lamina è contratta a freddo, mentre a caldo si dilata e riporta la leva dello starter a riposo, chiudendo la valvola a saracinesca, la quale a freddo è aperta. Un altro sistema del genere rileva la temperatura del liquido di raffreddamento sempre tramite un dispositivo a lamina bimetallica e tira la leva dello starter a freddo, per poi riportarla a riposo a caldo.

Lo starter può anche essere azionato da un attuatore elettromagnetico alimentato tramite un termostato in grado di sentire la temperatura del motore e valutare se inserire o meno l'arricchitore di miscela; a freddo la valvola a saracinesca è aperta e tramite il tubo dello starter il motore riceve la miscela grassa. Man mano che la temperatura sale, la saracinesca dello starter si chiude e blocca il passaggio dell'aria e quindi l'alimentazione di miscela grassa. A caldo, la miscela aspirata dipende dalla valvola a farfalla dell'acceleratore. In alcuni carburatori lo starter è dotato di un comando pneumatico che chiude la valvola a saracinesca quando si accelera; il co-

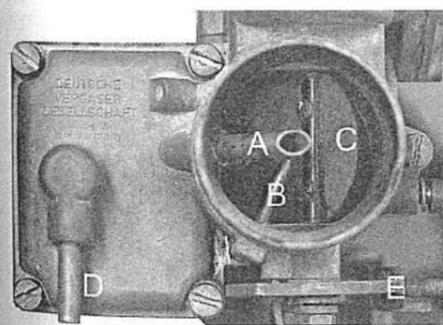
mando si basa sulla depressione nella parte inferiore del tubo di Venturi e serve ad evitare il supplemento di benzina quando il motore è in marcia e viene sostenuto dall'accelerazione. Simile al circuito dello starter è quello del minimo: è ancora un tubo posto in parallelo al Venturi e serve per mantenere in funzione il motore, ossia per dargli il combustibile occorrente a vincere gli attriti e le inerzie quando la valvola a farfalla dell'acceleratore è al minimo, ovvero chiusa. La quantità di benzina che viene aspirata dalla depressione nel tubo del minimo si regola mediante una vite, che penetra più o meno nel tubo stesso regolandone la portata. Questa valvola, detta vite del minimo, consente di regolare con precisione il regime di rotazione del motore con l'acceleratore a riposo. Ad evitare che le vibrazioni del motore e quindi del carburatore facciano spostare la regolazione, una volta scelta la posizione la vite deve essere bloccata con dell'apposito smalto resistente alle alte temperature. Il circuito del minimo si può realizzare anche senza tubo in parallelo al Venturi: basta sistemare un piccolo getto a valle della valvola a farfalla (dal lato di uscita del carburatore) e disporre un mecca-

smo che permetta di non chiudere del tutto quest'ultima. Al minimo, la modesta quantità d'aria che attraversa la farfalla risucchia combustibile dal getto; aprendo la valvola a farfalla, ad un certo punto la depressione si riduce e non viene più risucchiato combustibile dal minimo, ma solo dal getto principale. Il minimo può anche essere chiuso mediante un'elettrovalvola.

### 3.2.2 - Struttura del carburatore

Il carburatore può essere realizzato secondo varie configurazioni, dove gli elementi assumono diverse collocazioni; le configurazioni sono tre (Figura 3.2) ossia a getto verso il basso (carburatore invertito) a getto verso l'alto (carburatore verticale) e a getto laterale (carburatore orizzontale). Nel tipo invertito, l'aria entra dall'alto ed esce verso il basso miscelata con la benzina; nel tipo a getto verso l'alto l'aria entra dal basso e da sopra esce la miscela.

Indipendentemente dalla configurazione, il carburatore ha un circuito di alimentazione del combustibile basato su una vaschetta a livello costante integrata; la vaschetta costituisce una riserva indispensabile perché la sola



**Figura 3.4** - A sinistra, carburatore visto dall'alto: A) presa d'aria vaschetta; B) presa di depressione del minimo e dello starter; C) farfalla dello starter; D) tubo entrata benzina; E; levetta azionamento starter. A destra, pompa di ripresa pneumatica (Weber).

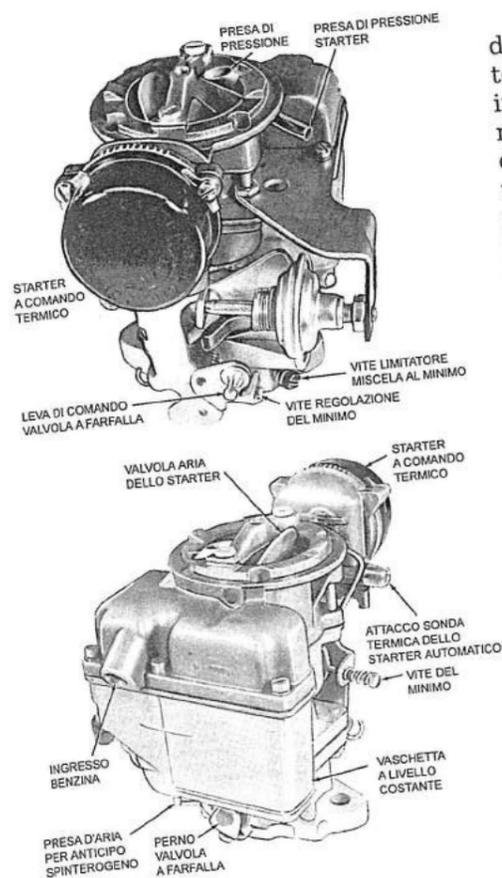


Figura 3.9  
Parti di un moderno carburatore con starter a comando termico a spirale bimetallica.

benzina; quando la farfalla si apre sempre più, contribuisce il getto principale e a farfalla tutta aperta il getto di progressione non partecipa quasi più perché l'aria passa tutta dal tubo di Venturi.

### 3.2.6 - Tubo di emulsione

Prendo progressivamente la valvola a farfalla, depressione e velocità dell'aria nel tubo di Venturi crescono, solo che la depressione aumenta più rapidamente della velocità dell'aria. Può quindi capitare che la miscela diventi troppo ricca a causa delle dimensioni

del getto. Per evitare ciò è stato creato il carburatore a *tubo di emulsione*: in esso il getto principale viene alimentato da un tubo che, arrivando dalla vaschetta, scorre per un tratto in un secondo tubo di diametro maggiore, ad esso coassiale, verticale e aperto in cima, affacciato alla presa d'aria prima del Venturi. Il tubo di alimentazione è forato in modo che al crescere della depressione, quando l'aria aspirata dal diffusore non basta più, viene risucchiata aria attraverso il tubo di emulsione, con il risultato che al getto principale giunge non solo benzina ma una miscela di aria e benzina. Quando la depressione cala, non c'è perdita di benzina perché il tubo di emulsione permette di riversare ciò che esce dai forellini direttamente nella vaschetta. Il sistema permette una buona resa del motore a regimi medio bassi garantita da un ristretto diffusore, e supplisce ad alti regimi, quando servirebbe un diffusore più ampio.

### 3.3 - Carburatori pluricorpo

In motori ai quali vengono richieste prestazioni particolarmente spinte, il carburatore singolo può non bastare a soddisfare il fabbisogno di miscela; per questo motivo bisognerebbe montare un carburatore di dimensioni esagerate, cosa che comporta più di un problema, tra cui la disomogeneità della miscela prodotta nel tubo di Venturi. Per mantenere i condotti di dimensioni accettabili bisognerebbe allora usare più carburatori assegnando ognuno a un certo numero di cilindri, ma ciò complicherebbe il motore perché imporrebbe più tubi di alimentazione e comandi collegati per acceleratore, starter ecc., senza contare che il regime del minimo dipenderebbe dalla registrazione di più carburatori e sarebbe quindi complessa. E poi, come fare in modo che tutti i car-

buratori siano tarati in modo uguale per fornire la stessa miscela a tutti i cilindri? In casi del genere si ricorre ai carburatori a *doppio corpo*, cosiddetti perché hanno due tubi di Venturi alimentati da un'unica vaschetta a livello costante e provvisti di due farfalle comandate dallo stesso asse mosso dall'acceleratore. Starter e minimo hanno un unico circuito ma due condotti, ognuno dei quali sfocia vicino all'attacco del collettore di aspirazione. Esistono anche carburatori quadricorpo, che hanno quattro tubi di venturi ed altrettanti getti e valvole a farfalla. Fa parte della categoria il *carburatore progressivo*, usato ad esempio nel motore 2.0 CHT della FIAT: esso consta di un corpo piccolo, per i bassi regimi di giri, finalizzato a creare una grande turbolenza per meglio miscelare il combustibile, e di un corpo grande, che si apre solo oltre una certa posizione dell'acceleratore.

Questo sistema permette di ottimizzare il consumo di combustibile perché a bassi regimi utilizza un tubo stretto, dove si crea la miscela strettamente necessaria e non ci sono dispersioni di benzina, mentre usa il tubo di Venturi

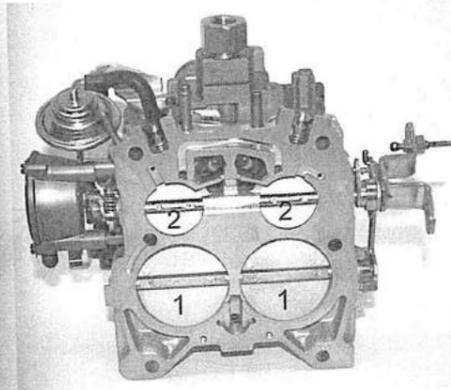


Figura 3.10 - Carburatore Holley progressivo visto da sotto: 1 sono le farfalle delle sezioni per gli alti regimi e 2 quelle per i bassi regimi.

grande solo ad alti regimi, quando il motore ha molto bisogno di aria.

### 3.4 - Il rapporto di miscela

Si definisce con questo termine, indicato con A/F, il rapporto tra la massa di aria e quella di combustibile nella miscela aspirata dal motore. Per ottenere la completa combustione della benzina occorre che il valore di A/F sia *stechiometrico*; ciò permette una combustione completa, che non lascia né eccesso d'aria (miscele povere) né di carburante incombusto (miscele ricche). In chimica, la stechiometria è la branca che studia le proporzioni tra gli elementi coinvolti in una reazione; nel caso della combustione, il rapporto è stechiometrico quando tutti gli atomi di carbonio e idrogeno della benzina si combinano con l'ossigeno. Il rapporto stechiometrico dipende dal tipo di combustibile: per le benzine commerciali varia all'incirca da 14,5 a 14,8, ossia occorrono 14,5-14,8 kg di aria a pressione atmosferica per la combustione di 1 kg di benzina. Per i motori alimentati ad alcol metilico tale rapporto scende a 6,5, mentre per l'alcol etilico vale 9.

La miscela erogata dal carburatore durante il funzionamento del motore non è sempre in rapporto stechiometrico, in quanto, a seconda del tipo di propulsore, del regime di giri e del carico, parte del combustibile non viene bruciata perché non arriva nella camera di combustione o perché la combustione è imperfetta. Possono inoltre verificarsi fenomeni di diluizione della carica da parte di gas esausti non espulsi dal cilindro, nonché perdite di carica fresca allo scarico: tale fenomeno è particolarmente evidente nei motori a due tempi.

Dal momento che il rapporto stechiometrico è riferito alla miscela che prende parte alla combustione, si può

sto nel condotto di aspirazione prima della valvola a farfalla, oscillante su un albero che mediante una leva agisce sul dosatore/distributore; l'aria aspirata dal motore solleva il piattello (che normalmente ostruisce il passaggio); la leva del piattello spinge sul pistone del dosatore/distributore aumentando la portata della benzina tanto più quanto maggiore è la portata dell'aria aspirata e viceversa.

Il dosatore/distributore è dotato di una valvola di depressione differenziale con un condotto di uscita per ogni iniettore. Quando il piattello del rilevatore di aria aspirata si solleva, il pistoncino di comando del dosatore invia la quantità di carburante, mediante le scanalature di comando, in direzione del lato superiore della membrana. La pressione del carburante e della molla (lato superiore della membrana) diventano superiori alla pressione sul lato inferiore della stessa che, spinta verso il basso, apre i condotti che vanno agli iniettori. Il dosatore/distributore è dotato di un regolatore di pressione che limita la pressione stessa a un valore ben determinato e lascia affluire il carburante in eccedenza verso il condotto di ritorno e da esso al serbatoio. Il dosatore svolge dunque due funzioni: regola la portata di combustibile; manda combustibile in pressione ad

un iniettore alla volta, sincronizzandosi con il movimento del pistone (arrivo al PMS quando le valvole sono chiuse) e con l'accensione.

### 3.6.1.1 - Avviatore a freddo

Nel K-Jetronic ci sono tre organi supplementari che consentono l'avviamento e fungono da starter. Il primo è il *Registro Aria Ausiliaria*, che consente di ottenere un regime più elevato del motore durante la fase di riscaldamento. Nell'avviamento a freddo, l'aria viene fatta passare da un tubo che scavalca la valvola a farfalla; il passaggio viene aperto da un dispositivo a lamina bimetallica che si riscalda. Il passaggio dell'aria ausiliaria si chiude progressivamente man-mano che la temperatura aumenta.

L'aria ausiliaria viene rilevata dal piattello, dato che la presa corrispondente è a valle di questo dispositivo; ciò fa in modo che il pistoncino di comando del dosatore/distributore venga ulteriormente sollevato ed assicuri un aumento del regime del motore anche a farfalla chiusa.

Un secondo elemento utile all'avvio a freddo è il *Regolatore di riscaldamento* (Figura 3.15) che assicura l'arricchimento del carburante durante la fase di riscaldamento del motore. A motore freddo, una lamina bimetallica preme sulla molla della valvola del re-

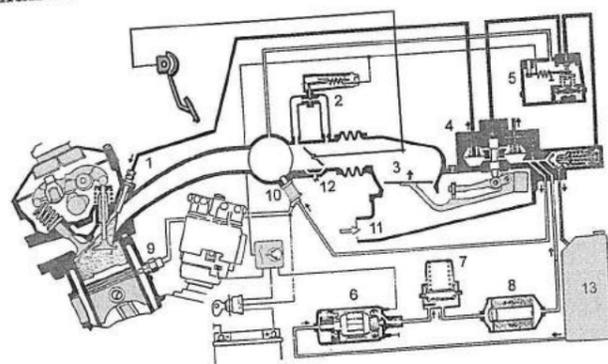


Figura 3.12 - Schema dell'iniezione meccanica K-Jetronic: 1) iniettore; 2) comando aria ausiliaria; 3) rilevatore portata aria; 4) dosatore/distributore; 5) regolatore pressione benzina; 6) pompa benzina; 7) accumulatore; 8) filtro benzina; 9) sensore temperatura motore; 10) iniettore avvio a freddo; 11) collettore d'aspirazione; 12) vite del minimo; 13) serbatoio.

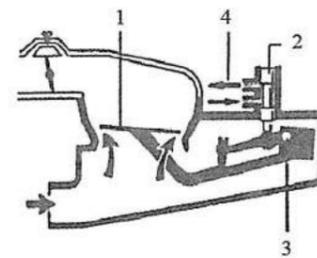


Figura 3.13 - Azionamento del dosatore ad aria aspirata: 1) piattello; 2) pistone del dosatore; 3) leva; 4) condotti benzina.

golatore di pressione della benzina (punto 5 della Figura 3.12). Il circuito di ritorno della benzina non utilizzata dagli iniettori viene aperto e quindi la pressione sul pistoncino di comando è più debole. Per effetto di ciò il piattello solleva maggiormente il pistoncino, aumentando la quantità di carburante che arriva agli iniettori.

Il riscaldamento della lamina bimetallica, operato da una resistenza, diminuisce la pressione sulla molla e il condotto di ritorno si chiude lentamente, cosicché la pressione di comando raggiunge il valore normale e l'arricchimento viene interrotto.

L'ultimo dispositivo usato nell'avviamento a freddo è l'*Iniettore di avvio a freddo*, ossia un iniettore supplementare inserito nel collettore di aspirazione, che funziona come il getto dello starter del carburatore: si trova a valle della valvola a farfalla ed inietta a una pressione di circa 2,5 bar. L'iniettore viene aperto e chiuso elettricamente e l'alimentazione gli giunge mediante un termostato a lamina bimetallica collocato sul monoblocco del motore: a freddo il suo contatto elettrico, chiuso, porta la tensione della batteria all'elettrovalvola dell'iniettore; ciò permette un supplemento di benzina iniettata e che va a miscelarsi all'aria passata dalla valvola a farfalla. A caldo, il contatto del termostato si apre e viene sospesa l'erogazione di

corrente all'iniettore, quindi smette il supplemento di benzina.

### 3.6.2 - Iniezione elettronica

L'iniezione meccanica ha ben presto dovuto lasciare il posto a sistemi più sofisticati, capaci di dosare con più precisione la quantità di benzina aspirata e di ottimizzare il rapporto A/F in funzione di un maggior numero di parametri: ad esempio sulla base di valori rilevati sullo scarico e quindi dopo la combustione (*sonda lambda*). È nato così in un primo tempo il *KE-Jetronic*, un sistema d'iniezione con il solito misuratore di portata d'aria meccanico e il distributore, ma assistito da un minimo di elettronica. Quindi si è passati all'iniezione elettronica vera e propria, nella quale ancora una volta la Bosch è stata precorritrice,

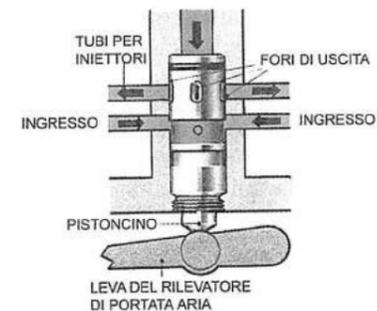
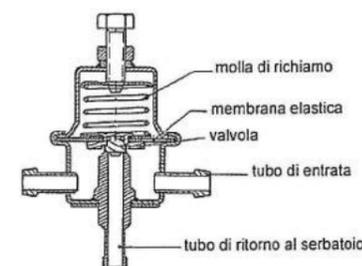


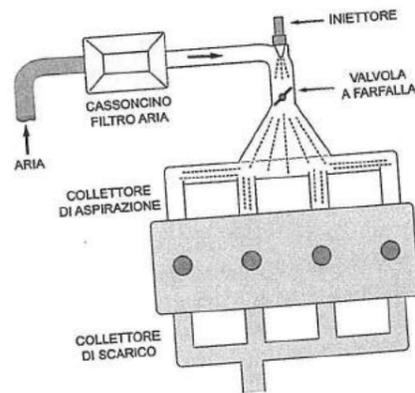
Figura 3.14 - Qui sopra, dosatore/distributore del sistema d'iniezione; sotto, regolatore di pressione del combustibile.



concludere che la miscela erogata dal carburatore deve molto spesso essere più ricca ( $A/F < A/F$  stechiometrico) per compensare i fenomeni negativi di cui sopra. Il rapporto  $A/F$  deve inoltre variare, entro certi limiti, secondo le condizioni di funzionamento del motore; in generale la miscela aria/carburante deve essere più ricca ( $A/F$  minore) al minimo, nella fase di accelerazione ed a piena potenza; a carico costante la miscela può smagrirsi, ossia  $A/F$  può aumentare rispetto alle condizioni precedenti.

### 3.5 - Carburatore assistito elettronicamente

Malgrado i sistemi di iniezione elettronica, il carburatore è stato usato ancora in questi anni, ma è stato affiancato dalla gestione elettronica. Un esempio è il carburatore ECS della Dell'Orto, progettato per motori 2 e 4 tempi monocilindrici. La carburazione elettronica è un sistema di gestione integrata di alimentazione e accensione, che consente di rispettare le normative antinquinamento EURO3 ed ottimizzare nel contempo le prestazioni. L'ECS offre facili avviamenti, guidabilità a freddo, minimo stabile,



adattabilità alle condizioni climatiche ed elevata prontezza di risposta. Il sistema si basa su una centralina che rileva i parametri di funzionamento del motore e la posizione della valvola a farfalla (mediante un potenziometro montato sull'asse di questa) quindi adegua la quantità di benzina immessa per ottenere il miglior rapporto  $A/F$ ; ciò, mediante attuatori elettrici che nel carburatore comandano la quantità di benzina risucchiata dal getto principale, il supplemento di ripresa, lo starter e il minimo.

### 3.6 - L'iniezione di benzina

L'esigenza di dosare con precisione il rapporto  $A/F$  ha orientato i costruttori di sistemi di alimentazione verso la carburazione controllata, ottenuta mediante l'iniezione di combustibile. Diversamente dai sistemi a carburatore, dove è l'aria ad aspirare il combustibile, nei motori ad iniezione il carburante viene preventivamente dosato da un sistema di controllo, quindi spruzzato mediante dispositivi chiamati iniettori. La quantità di carburante dipende ancora dall'aria aspirata, ma viene dosata con maggiore precisione. I sistemi d'iniezione dei moto-

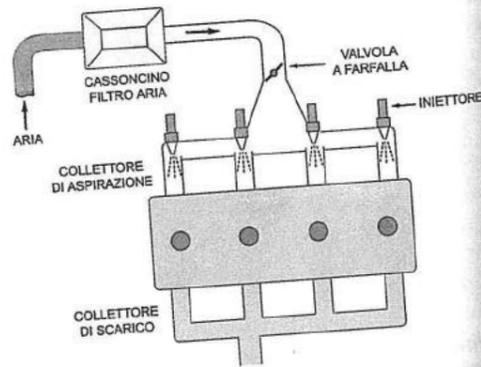


Figura 3.11 - Iniezione single-point (a sinistra) e multipoint (a destra).

ri a ciclo Otto possono essere elettronici o meccanici; per quanto riguarda l'iniezione elettronica, si dividono in:

- single-point;
- multi-point.

Nel single-point c'è un unico iniettore che spruzza benzina nel collettore di aspirazione in corrispondenza di ogni fase attiva, cioè quando il cilindro in aspirazione ha il pistone che scende verso il PMI. Siccome in un motore a 4 tempi a 4 cilindri ciò avviene ogni giro dell'albero motore, l'iniettore inietterà una volta ogni giro e la miscela formata dall'aria aspirata e dalla benzina iniettata sarà catturata dal cilindro che si trova in fase di aspirazione. Il sistema single-point è come un carburatore nel quale si può dosare elettronicamente il rapporto di miscela e non permette di sfruttare a pieno le qualità dell'iniezione di benzina; veniva usato nelle prime vetture con catalizzatore (EURO1, 2, 3) di classe economica e presenta difficoltà di avviamento a freddo causate dalla precipitazione delle gocce di benzina sulle pareti fredde del collettore d'aspirazione, quindi la necessità di arricchire la miscela a freddo.

Per ottimizzare il più possibile la combustione è indispensabile iniettare la benzina subito prima della valvola di aspirazione di ogni cilindro; così viene fatto nei motori a iniezione multipoint. I sistemi di iniezione meccanica sono tipicamente multipoint.

I motori single-point e multipoint sono a carburazione esterna: la miscela si ferma nel collettore d'aspirazione (single-point) o nei condotti in prossimità dei singoli cilindri (multipoint). Sono poi arrivati i sistemi d'iniezione diretta di benzina, dove la carburazione avviene internamente ai cilindri. Il sistema ad iniezione consente di definire con precisione la quantità di

benzina nella miscela. Si pone quindi il problema di decidere quanta benzina iniettare nelle varie condizioni di funzionamento del motore; a ciò si provvede in modo differente a seconda che si tratti di iniezione meccanica o elettronica.

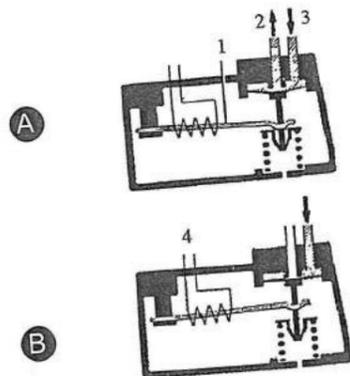
#### 3.6.1 - Iniezione meccanica

Le prime iniezioni meccaniche per auto di serie sono state l'italiana SPICA e la Bosch K-Jetronic montata sulle BMW e in alcune Volkswagen 30 anni fa. La Bosch dosa la benzina mediante un regolatore meccanico comandato dalla depressione nel collettore d'aspirazione. Il sistema è composto da:

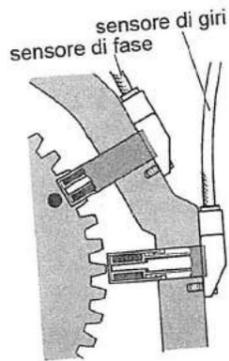
1. una pompa elettrica che aspira la benzina dal serbatoio per poi mandarla in pressione al gruppo di iniezione;
2. un corpo farfallato, cioè un manicotto contenente la valvola a farfalla, posto prima del collettore di aspirazione;
3. un iniettore per cilindro, posto immediatamente prima della valvola di aspirazione;
4. un dosatore/distributore rotante comandato dalla depressione nel collettore di aspirazione, che alimenta gli iniettori.

Il K-Jetronic funziona così: il carburante aspirato da una pompa elettrica viene inviato in pressione ad un piccolo serbatoio chiamato accumulatore e quindi al filtro, che lo ripulisce da eventuali sedimenti; da qui va ad un regolatore di pressione che lo porta al dosatore/distributore. Questo è l'elemento chiave del sistema, perché provvede a distribuire il carburante in quantità che dipende dalla portata dell'aria aspirata dal motore, rilevata da un apposito rilevatore pneumatico. Quest'ultimo consta di un piattello po-

con il suo sistema *L-Jetronic* montato su vetture di serie già 25 anni fa. La differenza sostanziale tra l'iniezione meccanica e quella elettronica è che in quest'ultima non c'è il distributore rotante: tutti gli iniettori ricevono il combustibile (mandato in pressione dalla pompa in un accumulatore, cui sono collegati tutti gli iniettori) ma non spruzzano fin quando non viene dato loro un comando elettrico dalla centralina elettronica che governa il sistema. Ciò perché ogni iniettore incorpora un'elettrovalvola magnetica che blocca l'afflusso del combustibile finché non riceve tensione. Nell'iniezione meccanica gli iniettori sono passivi e iniettano quando il distributore dà loro combustibile. Nell'iniezione elettronica, a decidere la quantità di combustibile iniettato e l'istante di iniezione provvede una centralina di controllo, in base alla temperatura dell'acqua di raffreddamento nel monoblocco, della portata e della temperatura dell'aria aspirata, ma anche, cosa indispensabile per ottenere il rispetto delle più severe normative antinquinamento, della bontà della combustione. Alla stessa centra-



**Figura 3.15** - Funzionamento del regolatore di riscaldamento a freddo (A) e a caldo (B): 1. lamina bimetallica; 2. entrata benzina; 3. uscita per iniettori; 4. resistenza riscaldatrice.



**Figura 3.16** Sensori di giri e di fase dell'accensione per iniezione elettronica

lina, chiamata ECU (*Electronic Control Unit*) sono demandati numerosi altri compiti, tra i quali la gestione dell'accensione, che attualmente è allo stato solido; la centralina stabilisce l'istante in cui la scintilla deve scoccare in ogni cilindro, sulla base dei parametri di funzionamento del motore, primi fra tutti il regime di rotazione e la quantità di benzina iniettata dagli iniettori. Nell'iniezione elettronica, inoltre, il sensore della portata d'aria è elettronico e fornisce alla centralina un segnale utile alla valutazione della portata d'aria. Un moderno sistema di iniezione elettronica (ad esempio Bosch Motronic) è più complesso e consta delle seguenti parti:

- una centralina di governo;
- un gruppo di sensori;
- un gruppo di attuatori.

Il gruppo dei sensori serve alla centralina per prendere informazioni sullo stato del motore; è composto da:

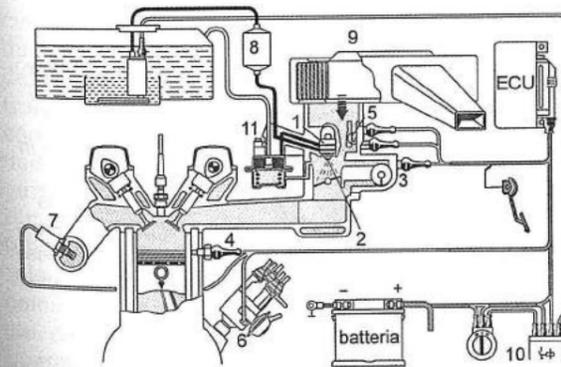
- un sensore di portata dell'aria aspirata (*debimetro*);
- un sensore di temperatura dell'aria aspirata;
- nei motori turbocompressi, un sensore di pressione dell'aria inviata al collettore d'aspirazione in alternativa al debimetro;

- un sensore di temperatura del motore;
- un sensore di giri del motore;
- un sensore di fase del motore;
- un sensore di combustione, ovvero di CO sullo scarico.

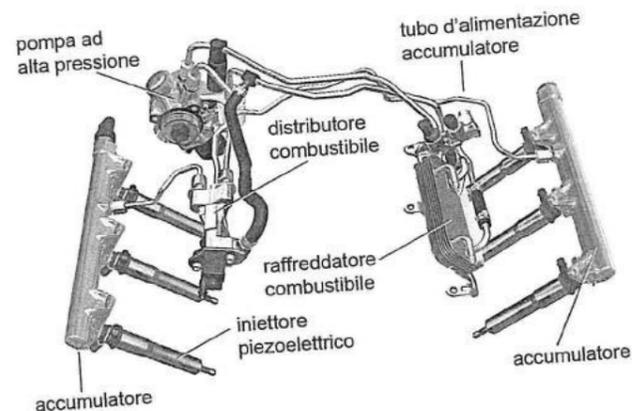
Degli attuatori fanno parte le elettrovalvole per il comando della mandata agli iniettori o per l'apertura degli iniettori a comando elettrico, ma anche, nei moderni propulsori, un motorino elettrico (*servocomando*) che aziona la valvola a farfalla; in questo caso l'acceleratore non comanda più la valvola mediante un cavo d'acciaio, ma muove il perno di un potenziometro, il quale trasmette un segnale elettrico alla ECU, la quale lo interpreta per impostare una determinata posizione della valvola a farfalla mediante un servocomando. Nei sistemi del genere la posizione della farfalla viene costantemente verificata dalla ECU, mediante un secondo potenziometro il cui albero è solidale con quello su cui ruota la farfalla stessa. Tra gli attuatori figura anche un relé che sconnette l'alimentazione della frizione elettrica del compressore del climatizzatore. Di seguito viene fatta una breve descrizione dei sensori usati: il debimetro o misuratore della massa d'aria, funziona come il misuratore dell'*L-Jetronic*; incorpora un sensore di tem-

peratura dell'aria (termistore) perché la ECU deve conoscere l'esatta quantità di aria a disposizione e la sola portata non basta a dare tale informazione in quanto la massa effettivamente aspirata risente della temperatura (l'aria calda è meno densa di quella fredda). Quanto al sensore di pressione, è un trasduttore utile, ad esempio, per valutare l'esatta massa d'aria aspirata quando la vettura si muove in montagna: in tal caso l'aria è rarefatta e saperne temperatura e volume può non bastare ad ottenere il giusto rapporto di miscela.

Per i sensori di portata d'aria e temperatura del motore si rimanda al Capitolo 6, perché sono gli stessi del motore diesel moderno. Anche i sensori di giri e posizione dell'albero motore sono simili; ne diamo qui una breve descrizione: trattasi di sensori magnetici tipicamente a variazione di riluttanza, composti da una bobina elettrica avvolta su un nucleo ferromagnetico che viene alimentata da una corrente elettrica mediante una resistenza ed affacciata su un settore dentato che gira tutta la circonferenza del volano motore. Il passaggio dei denti davanti al sensore causa variazioni di riluttanza e quindi di corrente nella bobina, tanto che ai capi della resistenza che ha in serie si localizza una tensione variabile la cui frequenza di-



**Figura 3.17** - Iniezione Mono Jetronic (Bosch): 1) iniettore; 2) getto; 3) sensore posizione farfalla; 4) sensore temperatura motore; 5) passaggio aria starter; 6) sensore accensione; 7) sonda lambda; 8) filtro benzina; 9) filtro aria; 10) gruppo relé; 11) dosatore a depressione.



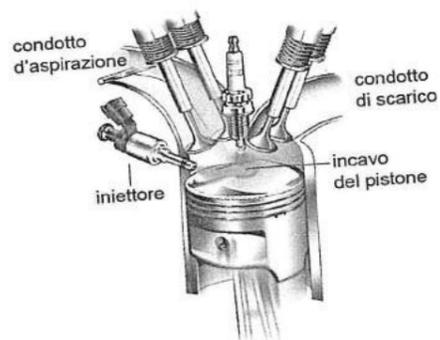
**Figura 3.21**  
Impianto d'iniezione diretta per motore 6 cilindri a V; il distributore ripartisce la mandata tra i due accumulatori. Il raffreddatore del combustibile è uno scambiatore che sfrutta l'acqua dell'impianto di raffreddamento del motore.

omogenea e magra d'aria e benzina; durante la fase di compressione una seconda iniezione genera una miscela più ricca, cosicché attorno alla candela vi siano aria e benzina in rapporto stechiometrico (da qui la denominazione JTS) pronti ad essere accesi, nonostante ai margini della camera vi sia miscela magra.

Un'ultima peculiarità dei motori GDI è l'elevato rapporto di compressione, che favorisce il rendimento e le prestazioni del motore, ammissibile perché la benzina viene iniettata ad alta pressione. Il principale svantaggio del motore a iniezione diretta di benzina è il costo, dovuto alla complessità dell'impianto di alimentazione.

Nel motore a iniezione diretta la benzina spruzzata direttamente nella camera di combustione raffredda l'aria più di quanto non avvenga nei propulsori tradizionali (in cui, invece, gli abbassamenti di temperatura interessano soprattutto i collettori di aspirazione). La carica entrante si raffredda e, di conseguenza, aumenta la densità dell'aria, incrementando il grado di riempimento del motore e, quindi, si hanno apprezzabili aumenti prestazionali. Inoltre, l'iniezione diretta dà la possibilità di aumentare il rapporto di compressione del motore, in quanto la ridotta temperatura della camera di combustione allontana il rischio di de-

tonazione (cioè, il rischio del cosiddetto "battito in testa"). Tra l'altro, tutto questo si traduce in un incremento della pressione media effettiva del motore pari a circa il 10 %, con una conseguente riduzione dei consumi pari a circa il 4÷5%. Sul fronte dei consumi, ulteriori vantaggi derivano dalla possibilità di allungare i rapporti del cambio in proporzione all'incremento di coppia ottenuto rispetto ad una corrispondente versione a iniezione indiretta. In definitiva, l'iniezione diretta è in grado di garantire maggiore potenza e minori consumi. In più, la



**Figura 3.22** - Cilindro di motore a iniezione diretta di benzina wall-guided: il condotto di aspirazione sfocia sulla cava del pistone, dove spruzza l'iniettore; la miscela formata viene diretta dalla sagoma della cava verso la candela.

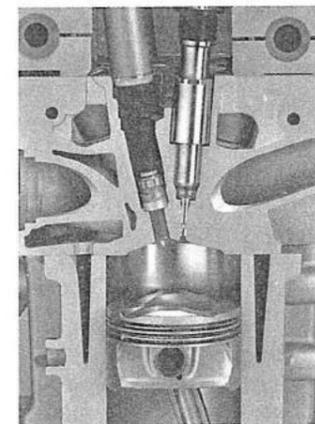
tempestività dell'arrivo del combustibile nella camera di combustione si traduce anche in una maggiore prontezza di risposta del motore.

In realtà, l'incremento di prestazioni (potenza, coppia e prontezza di risposta) viene notevolmente attenuato se ad essa viene affiancato l'uso del sistema della carica stratificata (soluzione adottata dai progettisti giapponesi); infatti, la necessità di imprimere all'aria aspirata dal motore le turbolenze utili a ridurre la portata dell'aria stessa (ed evitare così il rischio che lo smagrimento della miscela si protragga anche ai regimi alti e medio-alti) determina un decremento delle prestazioni.

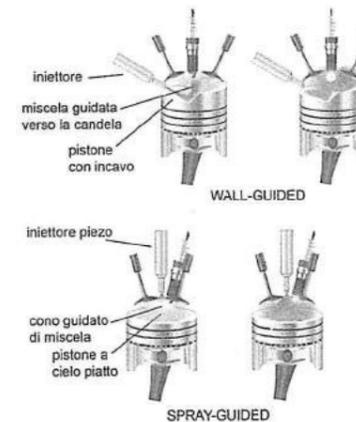
Il sistema a carica stratificata si rende altresì necessario per ridurre le emissioni di NOx, che aumentano con miscele magre (vedere Capitolo 12).

### 3.8 - Iniettori di benzina

L'iniettore del motore a benzina è composto essenzialmente da un corpo cilindrico cavo che si avvita nella testata, al cui interno è montato uno spruzzatore. Quest'ultimo consta di un ugello ostruito da una valvola a spillo mantenuta a riposo in posizione di chiusura mediante una molla debolmente caricata (la pressione di aper-



**Figura 3.24**  
Spaccato di un motore ad iniezione spray-guided (BMW).



**Figura 3.23** - Differenza tra il sistema wall-guided e lo spray-guided.

tura è intorno ai 3 bar). Il corpo cavo dell'iniettore termina su un raccordo filettato cui si avvita il tubo in arrivo dal distributore (sistemi ad iniezione meccanica) ovvero dall'accumulatore (iniezione elettronica o diretta). L'iniettore per impianti K-Jetronic è simile a quello del diesel (Capitolo 6) e viene aperto dalla pressione di mandata della pompa dell'iniezione, ovvero del desatore/distributore.

L'iniettore per i motori a iniezione elettronica dispone invece di un'elettrovalvola che blocca il combustibile prima della valvola a spillo, fin quando non riceve il comando di apertura dalla centralina di gestione del motore (ECU); l'elettrovalvola è solitamente elettromagnetica e si colloca tra il tubo di entrata e il canale che porta alla camera della valvola a spillo.

L'iniettore per i motori a iniezione diretta è uguale, solo che ha la molla tarata per pressioni di apertura superiori al centinaio di bar; inoltre nell'ultima generazione l'elettrovalvola è piezoelettrica e non magnetica, per consentire la velocità di commutazione richiesta dai sistemi a più iniezioni per ciclo di combustione.

NR C.  
ELECTR