

Corso di Formazione

MECCANICA DELL'AUTOMOBILE – IL MOTORE

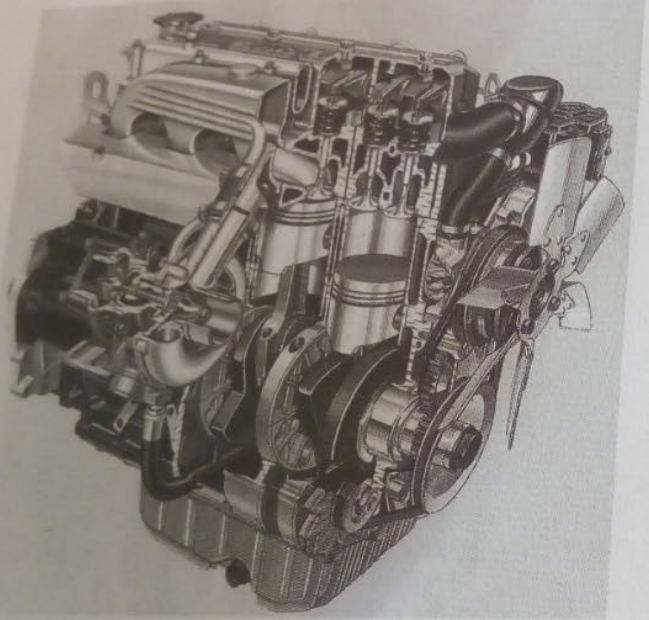
Disposizione dei cilindri

I cilindri possono essere disposti secondo varie configurazioni; la più classica è quella in linea, dove i cilindri sono in fila. I motori in linea possono avere 2,3,4,5,6 o 8 cilindri. Una variante della configurazione in linea è quella di Lancia Fulvia e Flavia, che è una V strettissima con unico basamento e unica testata.

La configurazione migliore del sistema in linea è quella a 6 cilindri, perché consente grande elasticità di marcia e bilancia le parti in movimento, consentendo di ridurre le vibrazioni. Ciò perché in tale motore avviene una combustione ogni 120° angolari (nel 4 cilindri in linea ogni 180°) quindi ogni giro ci sono tre fasi attive. Nello stesso tempo tale geometria permette di incrementare le potenze specifiche, quindi le prestazioni, più di quanto possa fare un motore a sei cilindri con una differente configurazione, senza compromettere l'affidabilità



Un configurazione molto usata nei motori di grande cilindrata è quella a V; in essa i cilindri sono divisi in due bancate identiche inclinate tra loro secondo un angolo che può variare tra 55° (V stretta) e 90° (V larga).



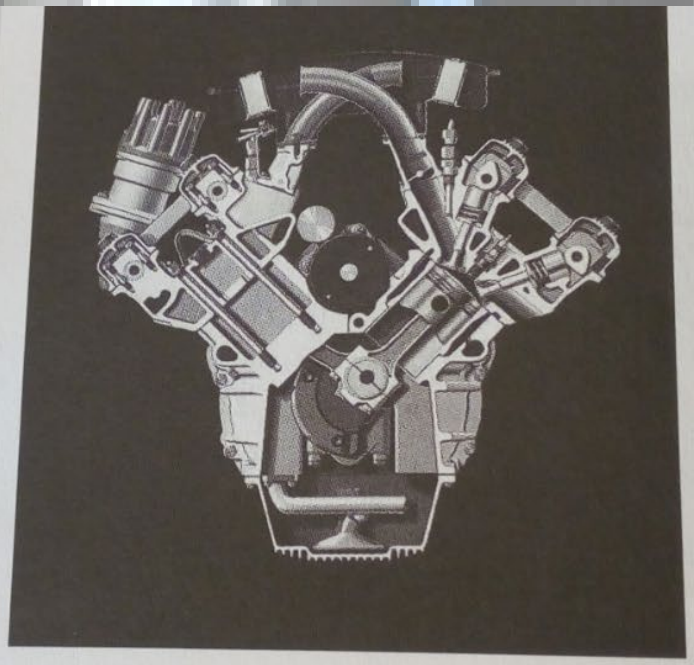
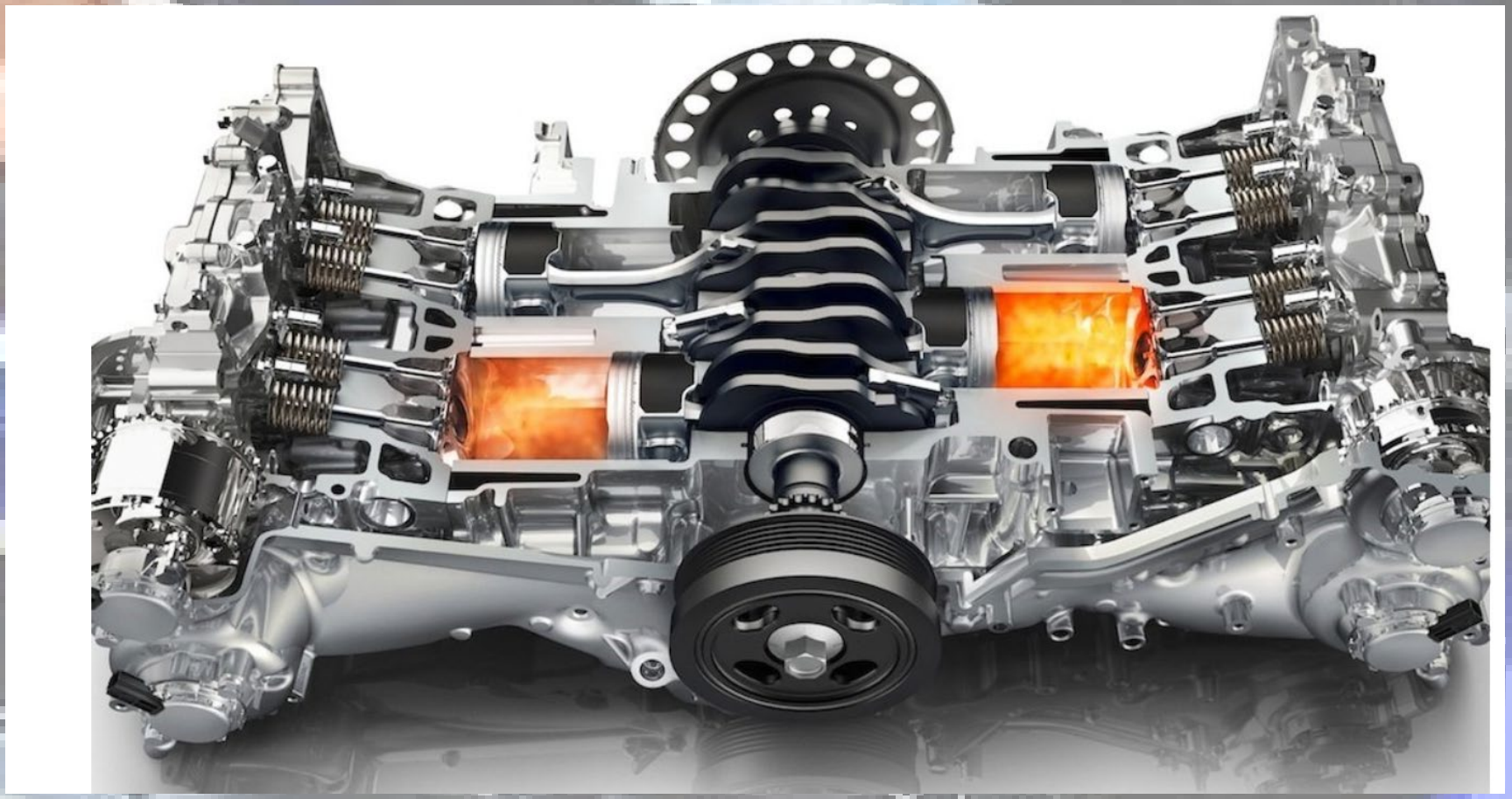


Figura 2.41
A sinistra, motore a 4 cilindri in linea (2.0 TD VM) e a destra propulsore 6 cilindri a V inclinati di 60° (Alfa Romeo).

Nel 6 cilindri a V si perde un'accensione ogni due giri dell'albero motore, quindi l'accensione deve essere per forza sfalsata tra le due bancate e ciò produce sollecitazioni tangenziali e quindi un aumento delle vibrazioni e dell'ondeggiamento. Dopo il 4 cilindri in linea il V6 è la configurazione più utilizzata; offre alte prestazioni, grazie alla possibilità di ottenere una maggiore potenza rispetto ad altre configurazioni, limitando però in consumi.

Altra configurazione dei motori è quella a “sogliola”, usata ad esempio da VW, BMW, DAF, ALFA ROMEO; in pratica è una V a 180°, dove vi sono ancora due bancate, ma opposte l’una all’altra e i pistoni scorrono orizzontalmente. Di questo motore esistono due versioni: in quella a *cilindri contrapposti* i cilindri delle due bancate sono affacciati gli uni agli altri e le bielle dei pistoni hanno i piedi montati insieme su un perno di biella comune dell’albero motore; nella versione *boxer*, le bielle di ogni pistone si collegano ognuna a un proprio perno di biella dell’albero motore.

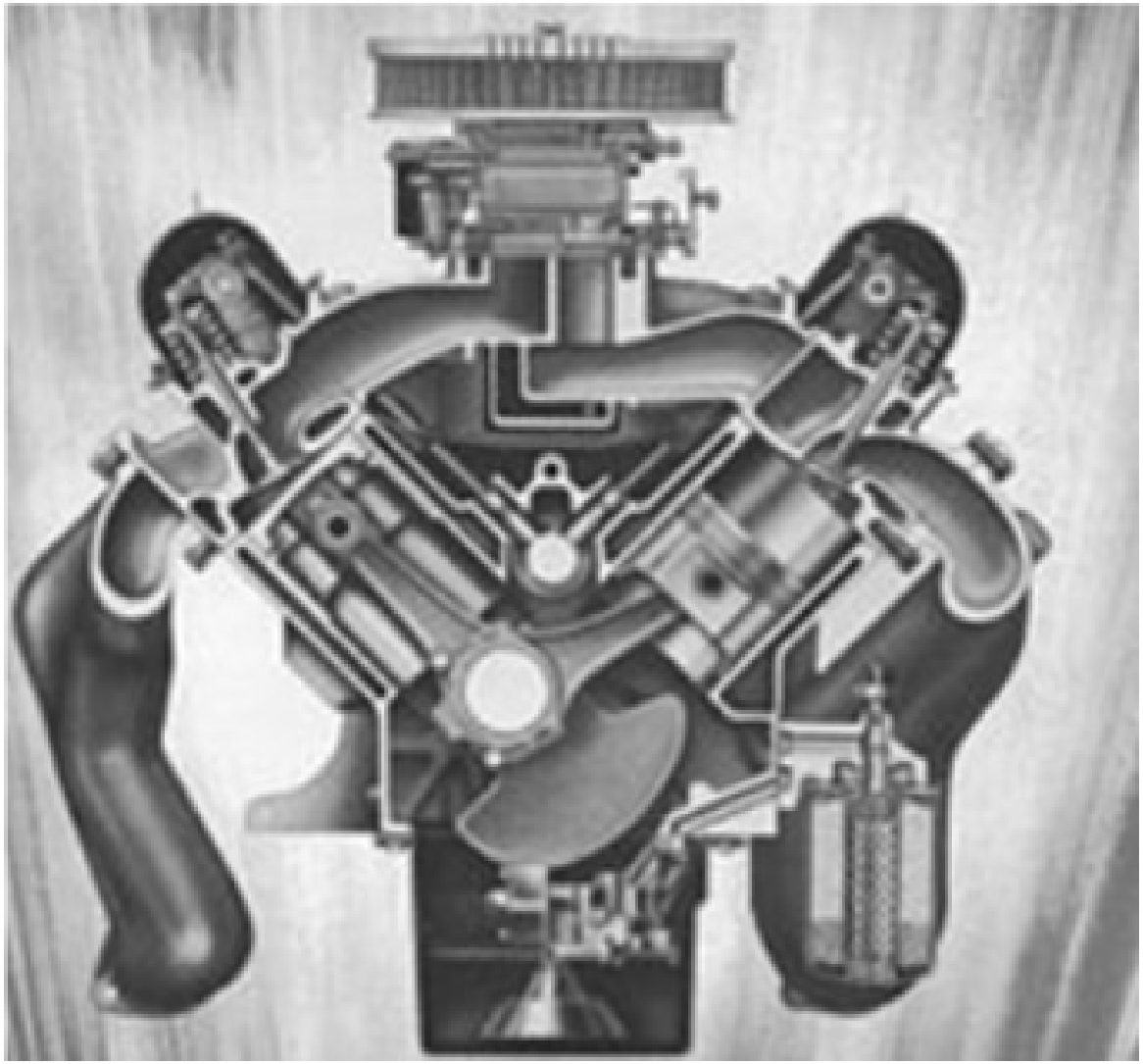
Il nome boxer nasce dal fatto che i pistoni si muovono alternativamente come i pugni di un pugile. Nel primo caso i cilindri delle due bancate sono intercalati, mentre nel secondo risultano in linea. Le vibrazioni prodotte dal motore a sogliola sono notevoli (minori nel boxer) e si possono smorzare solo elevando il numero dei cilindri a 6 o 8, ovvero alternando le accensioni nei cilindri delle due bancate, facendole incrociare. Il motore a sogliola permette di abbassare il baricentro e quindi di portare in basso il peso del motore, consentendo un migliore bilanciamento dell'automobile.





Dallo sviluppo dei primi motori a combustione interna si sono susseguite diverse tipologie di configurazione, tutte volte a **migliorare le prestazioni** tenendo sempre sott'occhio i costi e gli ingombri.

Vediamo meglio cosa significano queste lettere e numeri: nei motori a V la lettera "V" rappresenta proprio la **configurazione** con cui i blocchi dei cilindri sono tra di loro separati. Questi formano uno specifico angolo con il piano di mezzeria passante per l'asse dell'albero motore, pari alla metà dell'angolo formato da cilindri opposti.



L'angolo tra i cilindri può assumere valori più o meno accentuati, ma una configurazione particolare è quella a 90° che prende il nome di **motore a "L"**.





Come forse si è già intuito dalle raffigurazioni precedenti, il numero indica la **quantità di cilindri presenti**, equamente distribuiti tra le due bancate del motore. Nella quasi totalità di applicazioni motoristiche si usano configurazioni con un numero **pari** di cilindri per garantire una miglior simmetria; fanno però eccezione alcune configurazioni V5 dove si ha una bancata da tre cilindri e una da due, sconveniente dal momento che non si riesce ad avere regolarità di funzionamento tra le varie fasi.

Vantaggi e svantaggi

Ma quali sono i reali vantaggi introdotti con la configurazione dei motori a V? Proviamo a confrontarlo con un classico motore a pistoni in linea, tipica geometria adottata sui veicoli che vediamo quotidianamente in città.

A parità di cilindrata (volume d'aria teoricamente aspirato durante un ciclo, quindi variazione di volume tra il PMS e il PMI) il motore a V si mostra più **compatto**. E' infatti possibile ottenere un motore più **corto** con un **baricentro** più **basso**, talvolta migliorando anche il bilanciamento. D'altra parte bisogna anche prevedere una duplicazione di molti organi, con tutte le conseguenze collegate al costo di produzione e riparazione, e alla **complessità di progetto**.

In questo caso è anche necessario tener conto che l'estensione dei cilindri non è più soltanto lungo la verticale, come avviene in una configurazione di pistoni in linea, ma ha anche una componente orizzontale: questo si traduce in un **maggior ingombro trasversale**.

Nei motori più complessi – ma in generale in tutti – è necessario prevedere uno **schema di accensione**, ossia una sequenza ben definita con cui si innesca la combustione all'interno dei vari cilindri. In ogni differente motore la sequenza di accensione consigliata è indirizzata a ottenere una coppia regolare, evitando al tempo stesso la generazione e propagazione di vibrazioni. In un 4 cilindri gli schemi di accensione sono tutti simili, mentre in un V12 le possibilità sono decisamente maggiori:



Quello in figura è lo schema di accensione di un motore V12 di una Lamborghini Aventador, dove i vari numeri indicano appunto la sequenza precisa studiata durante il progetto: l'ottimizzazione di motori ad alto contenuto tecnologico passa necessariamente anche attraverso particolari sottigliezze.





La motorizzazione della Lamborghini Aventador S Roadster resta la stessa. Si tratta di un **propulsore V12 da 6,5 litri** abbinato ad un cambio ISR a 7 rapporti. La potenza sviluppada è di **740 CV** con 690 Nm di coppia massima. La velocità massima dichiarata è di 350 km/h con accelerazione **da 0 a 100 km/h in 3 secondi.**



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 di 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.

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.

Nel motore a carburatore il circuito di alimentazione 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.

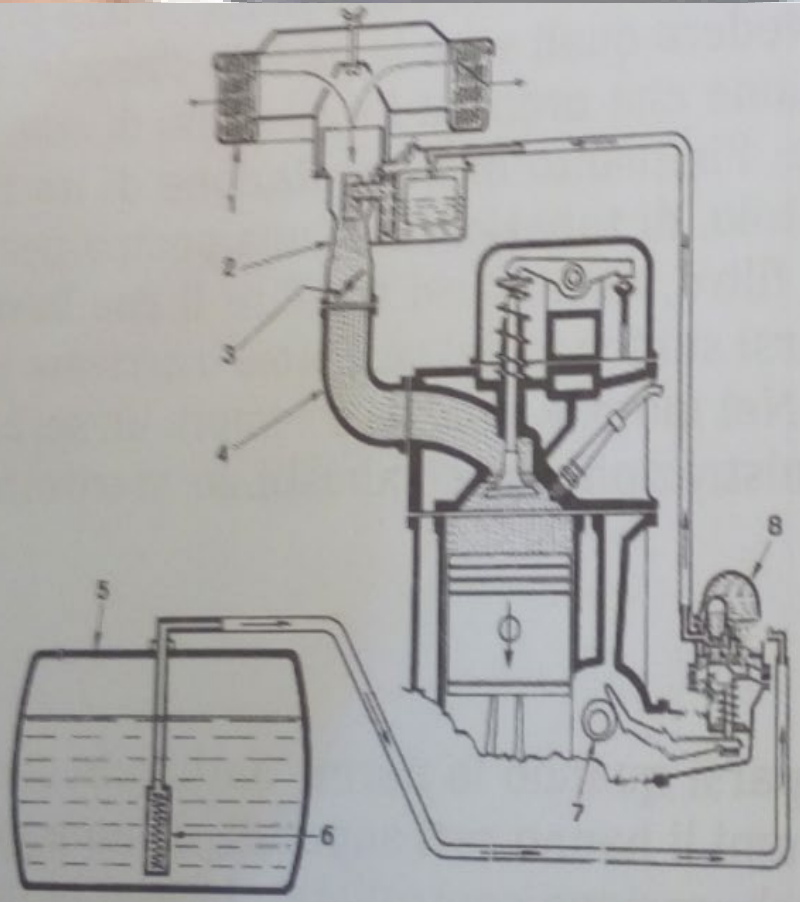


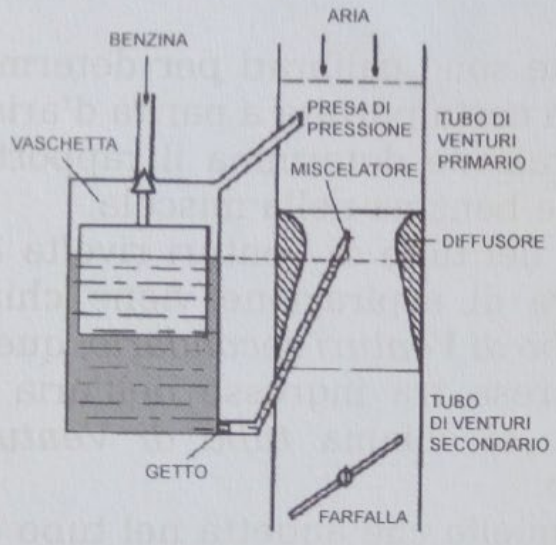
Figura 3.1
Circuito di alimentazione di un motore con carburatore (fonte Weber Carburatori): 1. filtro aria; 2. carburatore; 3 valvola a farfalla; 4. collettore d'aspirazione; 5. serbatoio del combustibile; 6. pescante; 7. camma; 8. pompa d'aspirazione del combustibile.

Il carburatore

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



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.



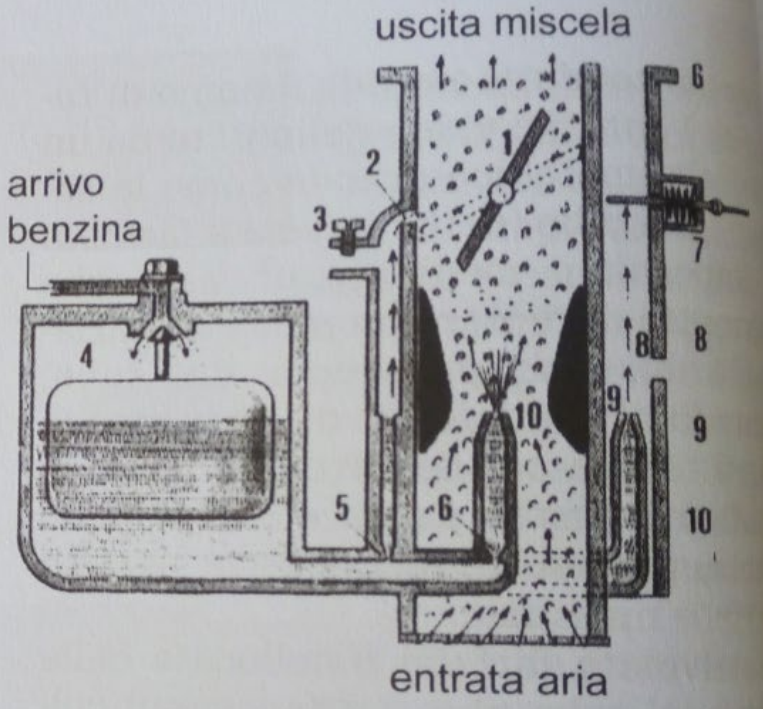


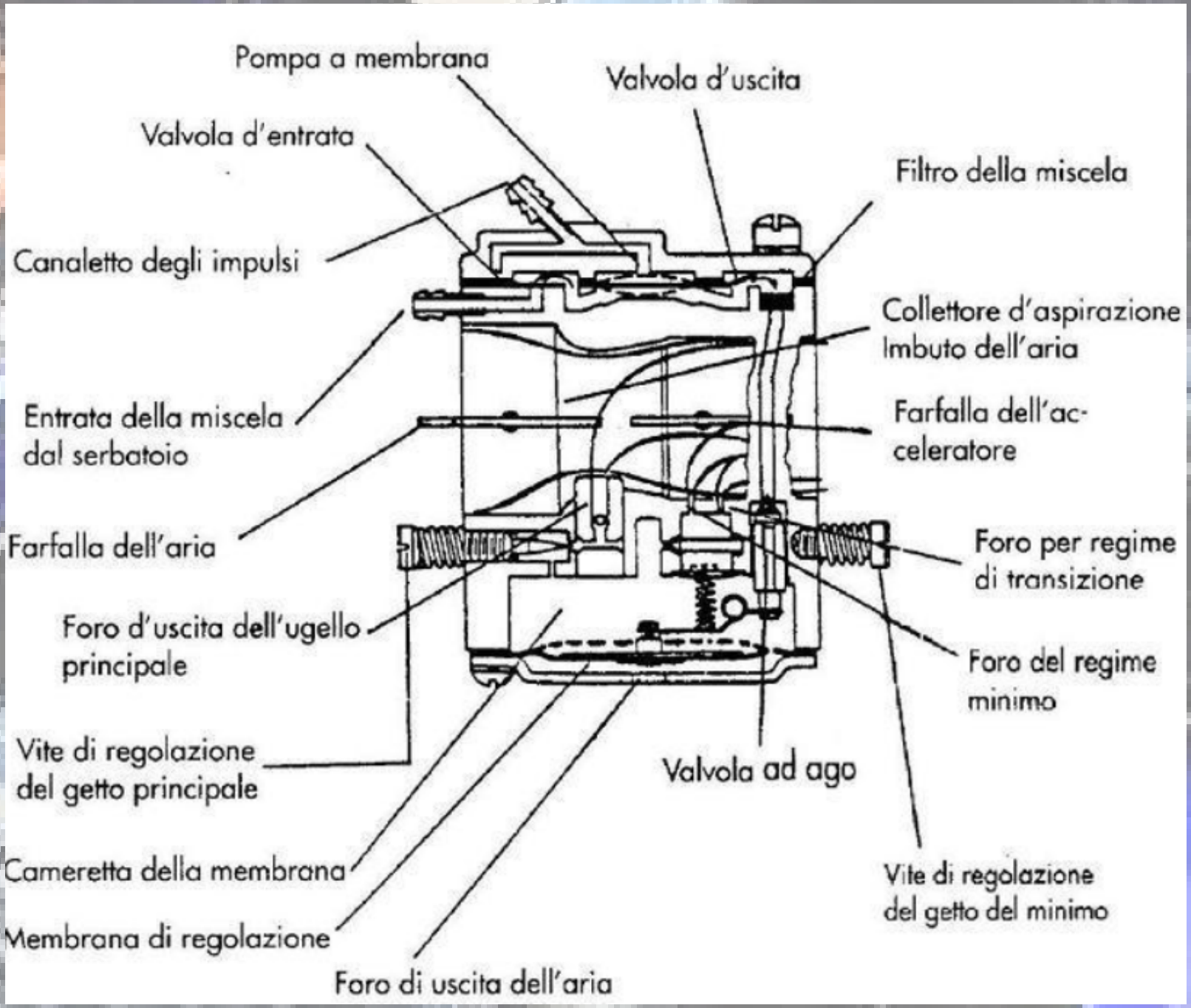
Figura 3.3 - *A sinistra, rappresentazione schematica del carburatore. A destra sezione di carburatore: 1 = valvola a farfalla; 2 = condotto del minimo; 3 = vite registro del minimo; 4 = vaschetta della benzina; 5 = getto del minimo; 6 = getto principale; 7 = comando starter; 8 = aria starter; 9 = getto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

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 EURO 3 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.




Pompa a membrana
Valvola d'uscita
Valvola d'entrata
Filtro della miscela
Canaletto degli impulsi
Collettore d'aspirazione
Imbuto dell'aria
Entrata della miscela
dal serbatoio
Farfalla dell'ac-
celeratore
Farfalla dell'aria
Foro per regime
di transizione
Foro d'uscita dell'ugello
principale
Foro del regime
minimo
Vite di regolazione
del getto principale
Valvola ad ago
Cameretta della membrana
Vite di regolazione
del getto del minimo
Membrana di regolazione
Foro di uscita dell'aria

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 di iniezione dei motori 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 (EURO 1,2,3) 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 multi-point. I sistemi di iniezione meccanica sono tipicamente multi-point. I motori single-point e multi-point sono a carburazione esterna: la miscela si forma nel collettore di aspirazione (single-point) e nei condotti in prossimità dei singoli cilindri (multi-point). Sono poi arrivati i sistemi di 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.

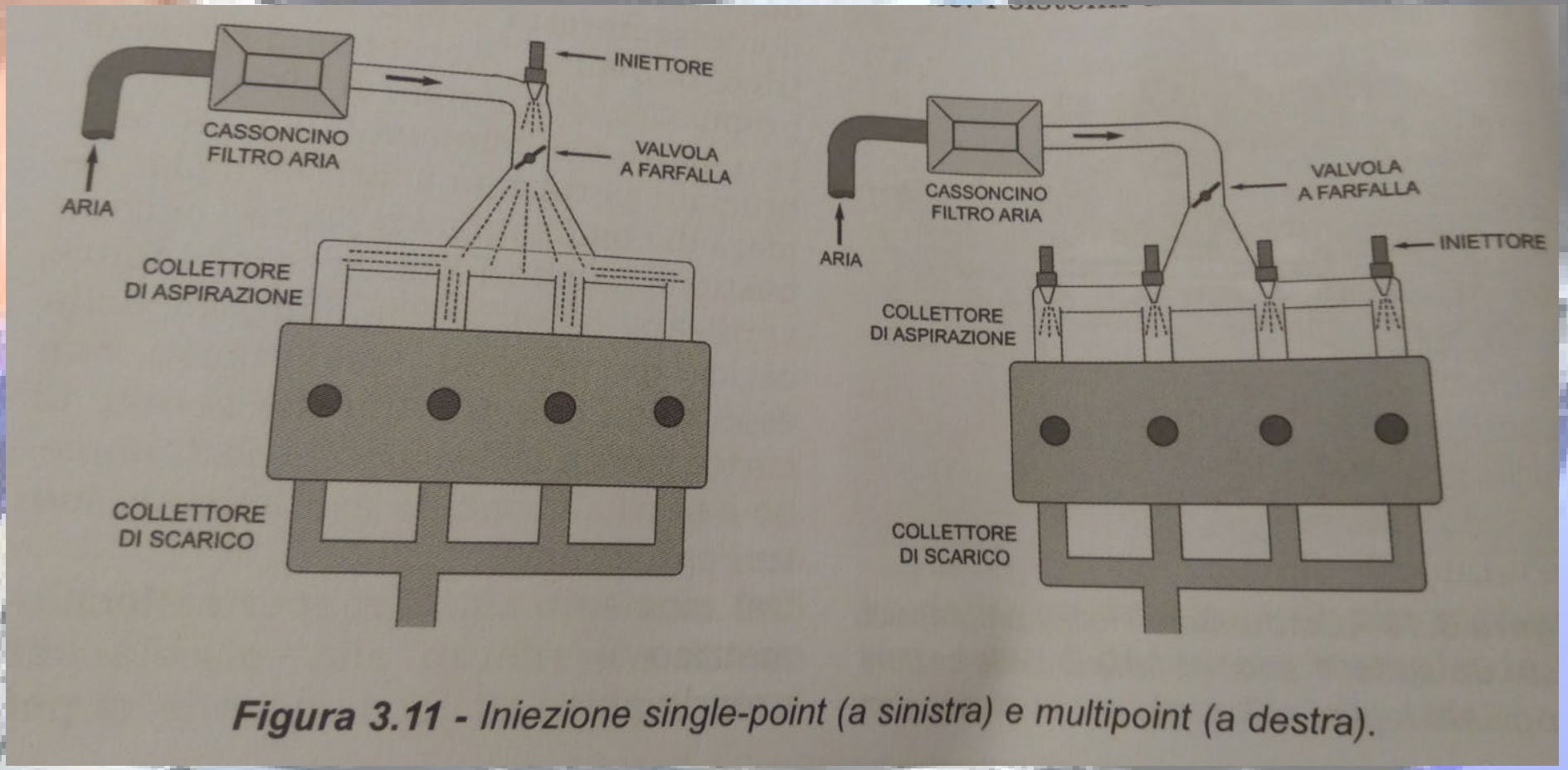


Figura 3.11 - *Iniezione single-point (a sinistra) e multipoint (a destra).*



Iniezione elettronica



L’iniezione elettronica sui motori benzina è arrivata alla metà degli anni 60’, risolvendo il problema di calcolare esattamente la miscela di aria e benzina

L'**iniezione elettronica** nei motori a benzina comparve per la prima volta nella **seconda metà degli anni '60** e risolse l'annoso problema di calcolare la **giusta miscela di aria e benzina** in un motore.

Dalla nascita dei **primi motori a benzina** tecnicamente definiti "a combustione interna", infatti si pone il problema di **dosare l'esatta quantità di carburante** per ottenere un buon rendimento, senza inutile consumo di carburante.

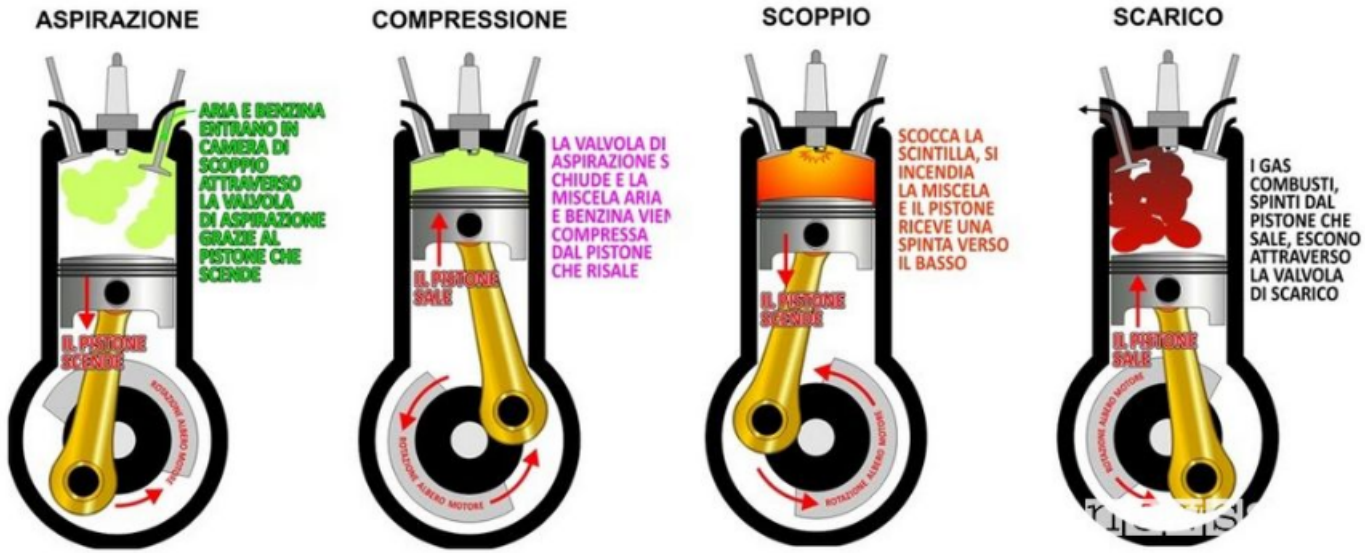
Iniezione elettronica calcola la miscela esatta aria/benzina

Il sistema di iniezione elettronica rappresentava un deciso **salto in avanti** rispetto ai pur ottimi carburatori prodotti dall'italiana **Weber**, fabbrica bolognese che forniva questi componenti montati sulle **DS storiche**: l'iniezione elettronica modulava infatti la carburazione tramite un **calcolatore** che calcolava per ogni giro del motore la **giusta miscela di aria e benzina** e donava alla DS ulteriore potenza e consumi più bassi, permettendo una varietà di rapporti aria/benzina pressoché infinita ed adattata alle **condizioni di temperatura motore e ambientale**, pressione dell'aria e richiesta di potenza da parte del conducente.

Miscela aria/benzina in un motore

Un motore per girare deve avere una **miscela tra aria e benzina** da inserire nei cilindri del motore, una miscela in cui il rapporto tra gli elementi sia ottimale in ogni condizione di funzionamento e quindi non costante ma variabile in base a diversi fattori, come il numero dei giri del motore, la sua temperatura e la **richiesta di potenza** da parte del conducente.

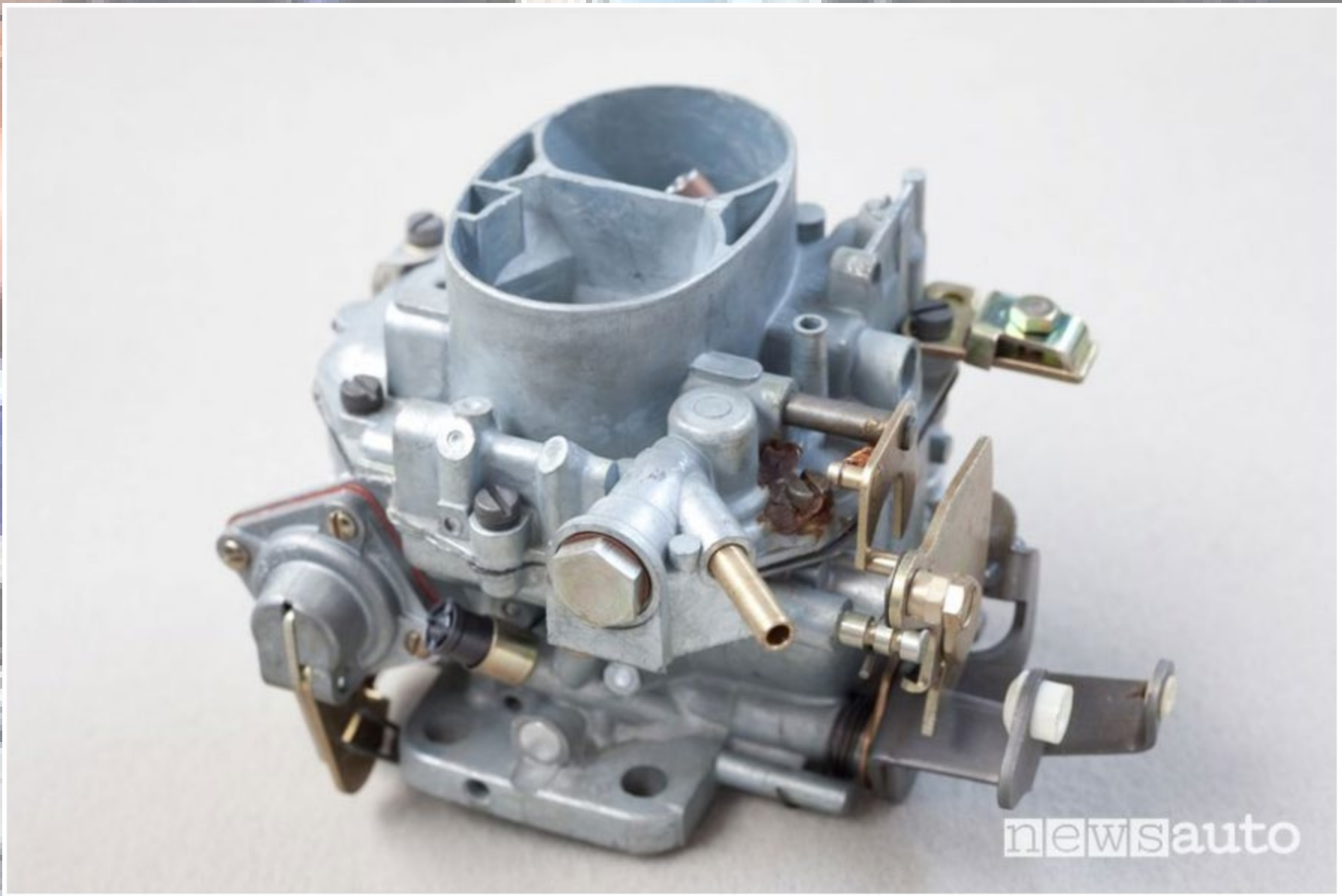
Infatti, se una miscela fatta con una parte di benzina per diciotto parti d'aria è ottimale per un funzionamento al minimo, non va bene per l'uso stradale che richiede una **miscela di 1/15** o nel caso di una richiesta di potenza, ad esempio per un **sorpasso** dove sarebbe ottimale avere **una parte di benzina ogni tredici parti d'aria**, dosaggi che però possono variare in funzione di temperatura del motore, pressione barometrica, temperatura dell'aria eccetera, eccetera...



Carburatore auto a benzina

Prima dell'avvento dell'iniezione elettronica il problema fu risolto dai carburatori, alla **fine dell'800**. Il carburatore era un dispositivo che serve a **variare la miscela** tra aria e benzina (carburare) in base alla posizione dell'acceleratore, che dispone generalmente di un **"parzializzatore"** che riduce l'aspirazione d'aria in fase di avviamento (starter) e che tramite una **pompa di ripresa** permette di "spruzzare" benzina in più durante le accelerazioni.

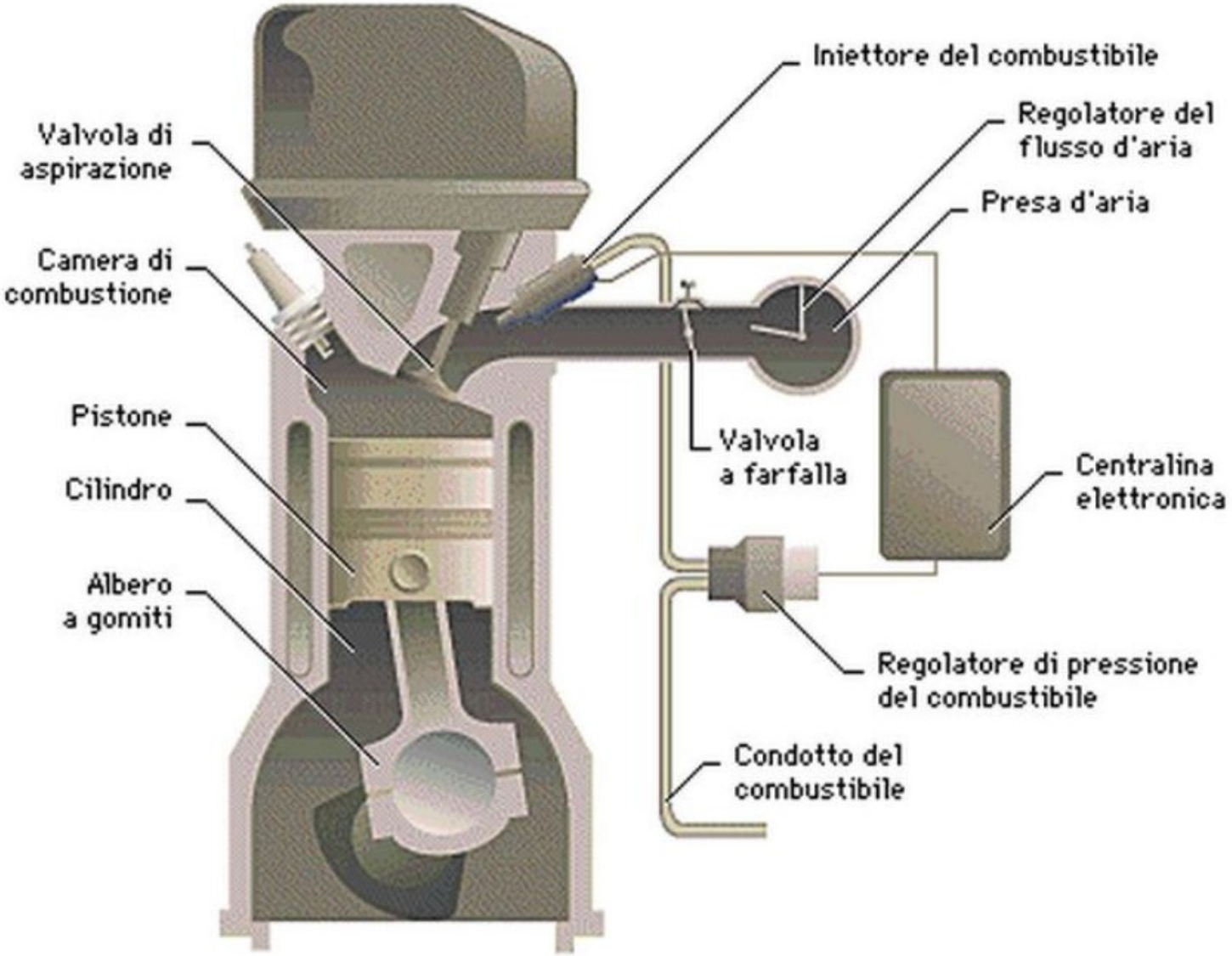
Ma i carburatori meno sofisticati (in genere tutti quelli privi di controllo elettronico) **non sono in grado di variare la miscela in base ai dati ambientali**, fornendo al motore una carburazione "buona per tutte le occasioni", ma raramente "perfetta".



Carburatore doppio corpo

La svolta con l'arrivo dell'iniezione elettronica

La svolta vera arrivò nella **seconda metà degli anni '60**, quando leggi ambientali via via più stringenti (specialmente negli **Stati Uniti** che fino a quel momento avevano trascurato il problema) spinsero i costruttori a trovare **nuove soluzioni**, rese possibili dal progresso tecnologico.



Schema funzionamento motore con iniezione elettronica

L'iniezione elettronica sulle DS

Così nel settembre '69 la DS fu la prima auto francese ad adottare in serie un sistema di iniezione a controllo elettronico nelle versioni **DS21** e poi **DS23 berlina e Cabriolet**, riconoscibili per la scritta **Injection Electronique** sul cofano bagagli, sotto al monogramma del modello.

La DS21 passò così **dai 180 ai 195 km/h** di velocità, **da 115 a circa 130 cavalli SAE** (che divennero 140 sulla DS23IE). A differenza dei sistemi di iniezione elettronica più moderni, infatti, il sistema montato sulle DS non aveva una **"mappatura"** e ricalcolava permanentemente i parametri di iniezione migliori in funzione delle variabili automaticamente fornite al calcolatore.



DS23 IE Injection Electronique Pallas del 1974

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-Jetronik, 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 con il suo sistema L-Jetronic montato su vetture di serie già 25 anni fa.

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. 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 di 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 elettronico, 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.

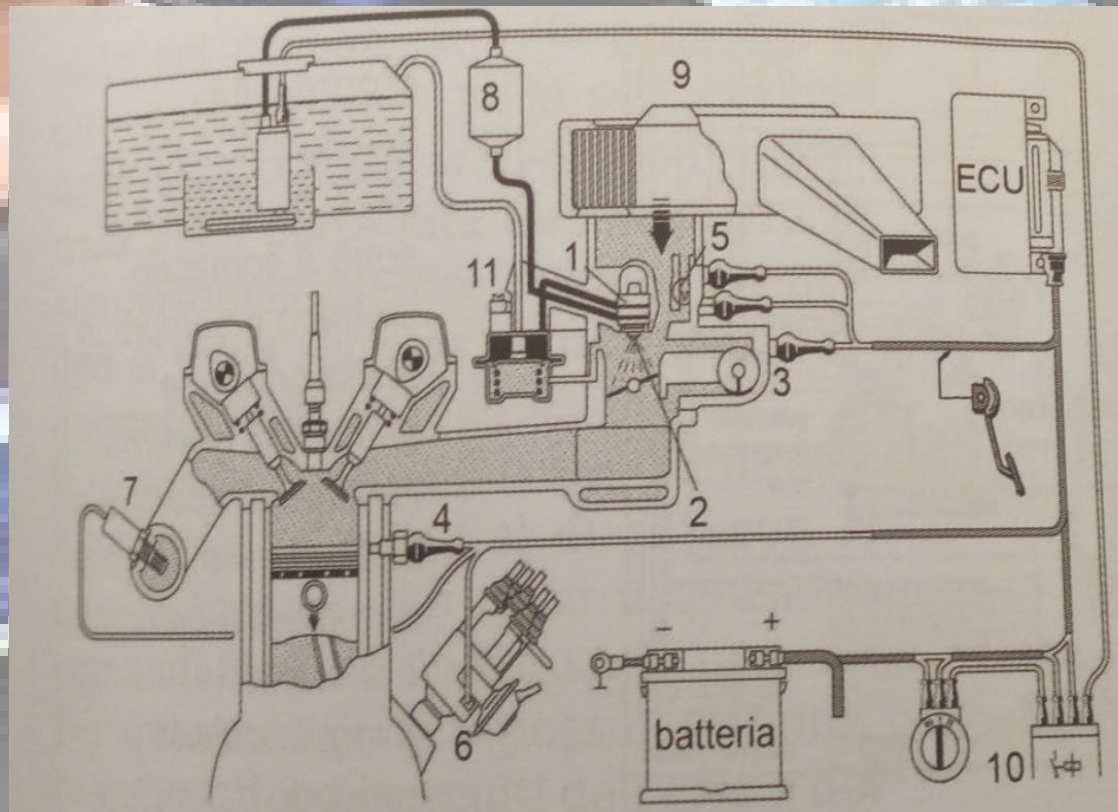


Figura 3.17 - Iniezione Mono Jetronic (Bosch): 1) iniettore; 2) getto; 3) sensore posizione farfalla; 4) sensore temperatura motore; 5) passaggio aria starter; 6) sensore accensione; 7) sonda lambda; 8) filtro benzina; 9) filtro aria; 10) gruppo relé; 11) dosatore a depressione.

Alimentazione del motore a ciclo Otto.

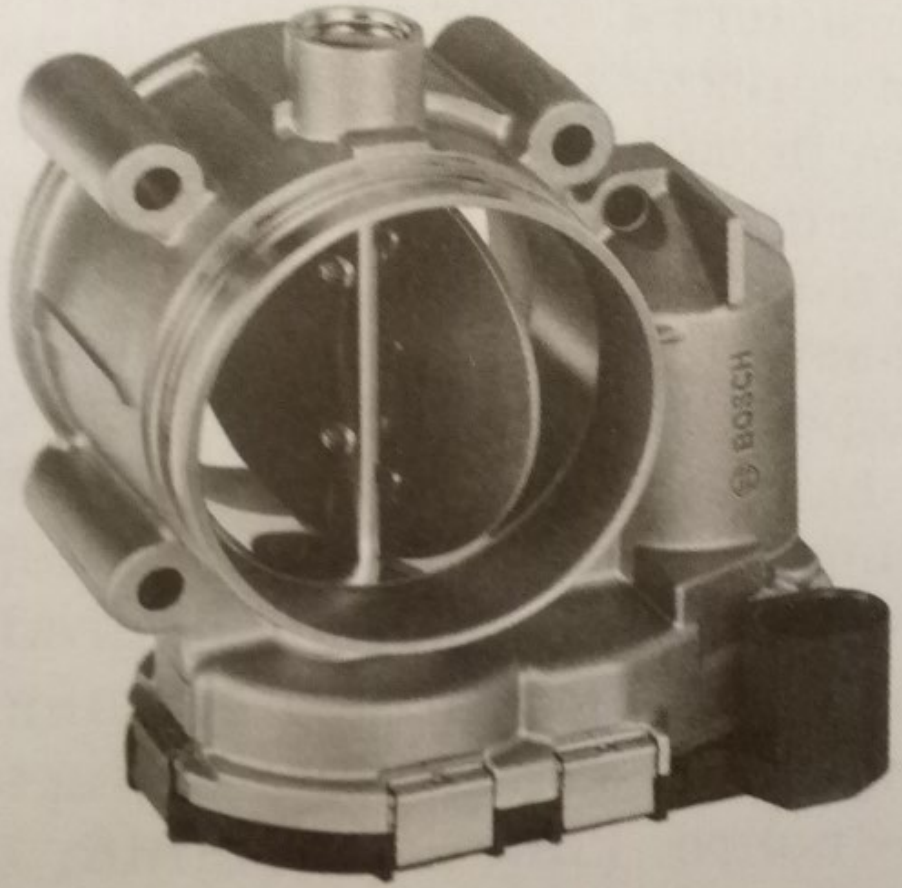


Figura 3.20 - *Corpo farfallato a comando elettrico (Bosch) con sensore di posizione della farfalla.*



Figura 3.19
Debimetro con integrato il sensore di temperatura dell'aria (Bosch).