

# L'ALIMENTAZIONE NEI MOTORI AERONAUTICI A PISTONI

(di Giorgio Sforza)



*Per alimentazione si intende il processo a mezzo del quale l'apposito impianto del motore, dopo aver prelevato l'aria dall'ambiente esterno, provvede a mescolarla in dosi appropriate con il carburante, formando la miscela aria benzina e a farla giungere nei cilindri per la combustione. L'alimentazione può avvenire mediante carburatore o mediante iniezione: con il primo sistema l'aria e la benzina vengono miscelate da un dispositivo specifico, chiamato carburatore, e la miscela in esso formata viene inviata ai cilindri attraverso i collettori di aspirazione; con il secondo, invece, attraverso i collettori passa l'aria, nel flusso della quale la benzina viene iniettata in quantità predosate direttamente su ogni valvola di aspirazione.*

*Nei motori aeronautici di costruzione recente, l'alimentazione a carburatore è per lo più impiegata solo per quelli di potenza più modesta, indicativamente al di sotto dei 150 kW, mentre l'alimentazione a iniezione è impiegata in modo pressoché generalizzato per le potenze maggiori. Quest'ultimo sistema è preferito per alimentare i motori più potenti in quanto consente di raggiungere una maggiore uniformità della miscela e riduce le differenze di distribuzione tra un cilindro e l'altro causate dalla diversa lunghezza dei condotti di aspirazione.*

In genere un circuito di alimentazione può assumere differenti configurazioni. Indipendentemente da ciò un circuito esso è comunque costituito da:

- Una presa d'aria principale;
- Un filtro;
- Una presa d'aria alternata;
- Un dosatore del flusso d'aria (carburatore o iniettore);
- Condotti di immissione tanti quanti sono i cilindri,
- Un collettore di scarico ed una marmitta.

## **PRESA D'ARIA PRINCIPALE**

È di solito situata nella parte anteriore o sui fianchi del muso dell'aereo, e comunque in una posizione che consente, per quanto possibile di sfruttare la pressione dinamica generata dal moto di avanzamento: quanto maggiore è la velocità, tanto maggiore diventa la pressione con cui l'aria è forzata nei condotti, e perciò, nel rispetto del rapporto stechiometrico, tanto maggiore è la quantità di benzina che può essere bruciata nell'unità di tempo e la conseguente potenza del motore. L'apertura della presa d'aria principale è sovente schermata con una rete, o con una grata, che impedisce l'ingresso di corpi estranei di grosse dimensioni. Dalla presa parte il condotto che convoglia l'aria al carburatore, o all'iniettore; la parte centrale di questo condotto è spesso realizzata in materiale flessibile per facilitare le operazioni di assiemaggio.

## **FILTRO**

È situato a valle della presa d'aria e la sua funzione è quella di fermare le impurità in sospensione nell'atmosfera. Particolarmente dannose per il motore sono le particelle solide sollevate dall'elica o portate dal vento, come i granelli di sabbia e di polvere: se non trattenute, si depositano in parte nei condotti e negli ugelli del carburatore, o dell'iniettore, provocandone l'otturazione o comunque alterandone la taratura. Quelle che penetrano nel motore provocano, nel tempo, danneggiamenti di tipo meccanico: dapprima una sorta di abrasione del cilindro e, successivamente, dopo essere stati inglobati dall'olio, una vera e propria smerigliatura degli organi interni e una occlusione finale dei meati lubrificati.

Nei filtri di carta l'aria passa attraverso le porosità degli elementi filtranti, mentre le particelle solide rimangono intrappolate sulla loro superficie, appositamente corrugata. Essi possono essere puliti periodicamente soffiando un getto di aria compressa in verso opposto a quello normalmente seguito dal flusso di alimentazione. La loro sostituzione è comunque necessaria, nel rispetto della tempistica prevista dal costruttore. Un altro tipo di filtro è quello costituito da schiuma di poliuretano impregnata con una soluzione di glicol, in grado di trattenere la polvere. Esso non può essere pulito, ma sostituito periodicamente.

## **PRESA D'ARIA ALTERNATA**

La presa alternata è costituita da una apertura, a valle del filtro, normalmente tenuta chiusa da uno sportello. Quest'ultimo può essere aperto mediante un collegamento meccanico il cui comando è situato in cabina. Negli impianti ad iniezione, lo sportello si apre anche automaticamente per la depressione che si crea all'interno del condotto quando l'aria di alimentazione trova difficoltà ad entrare dalla presa principale.

La presa d'aria alternata ha la funzione di offrire un passaggio alternativo all'aria di alimentazione quando c'è un qualche impedimento nella presa principale. La causa più ricorrente di ostruzione è il ghiaccio che si accumula sulla grata della presa o sulla faccia anteriore del filtro.

Quando si apre la presa alternata, l'aria che entra nel motore ha due caratteristiche negative:

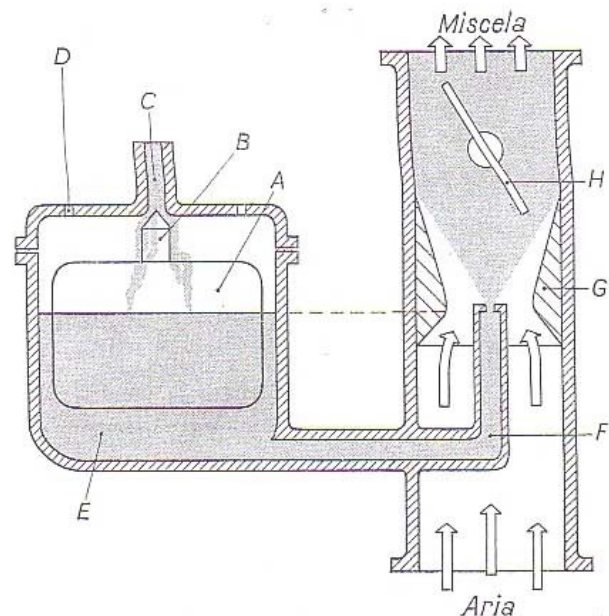
- non è filtrata in quanto la presa alternata è posta a valle del filtro;
- è più calda di quella esterna essendo già passata sui cilindri per raffreddarli.

L'uso dell'aria alternata va perciò ridotto al minimo, sia perché provoca sempre un calo più o meno pronunciato della potenza del motore, costretto a respirare aria meno densa in quanto più calda, sia perché le impurità presenti nell'aria non possono essere più trattenute.

## CARBURATORE

Il carburatore<sup>1</sup> è l'organo preposto alla carburazione, ovvero all'intimo mescolamento del carburante (benzina) con il comburente (aria). Per la formazione della miscela è necessario che i due componenti si trovino allo stato gassoso: perciò la benzina, che parte dal serbatoio allo stato liquido, nel carburatore deve evaporare.

La miscela aria-benzina che alimenta un motore ad accensione comandata deve essere il più possibile omogenea per non provocare diversità di funzionamento fra i vari cilindri e deve essere dosata con notevole precisione, non solo perché esistono abbastanza ristretti limiti di accendibilità della stessa, ma anche per il corretto funzionamento del motore. Infatti una miscela troppo grassa, cioè troppo ricca di benzina, oltre a causare un inutile spreco di carburante, può dar luogo ad una diluizione dell'olio lubrificante e ad una abbondante emissione di gas tossici ed incombusti. Una miscela troppo magra provoca invece perdita di potenza, surriscaldamento del motore e spesso autoaccensione e detonazione, con conseguenti precoci usure.



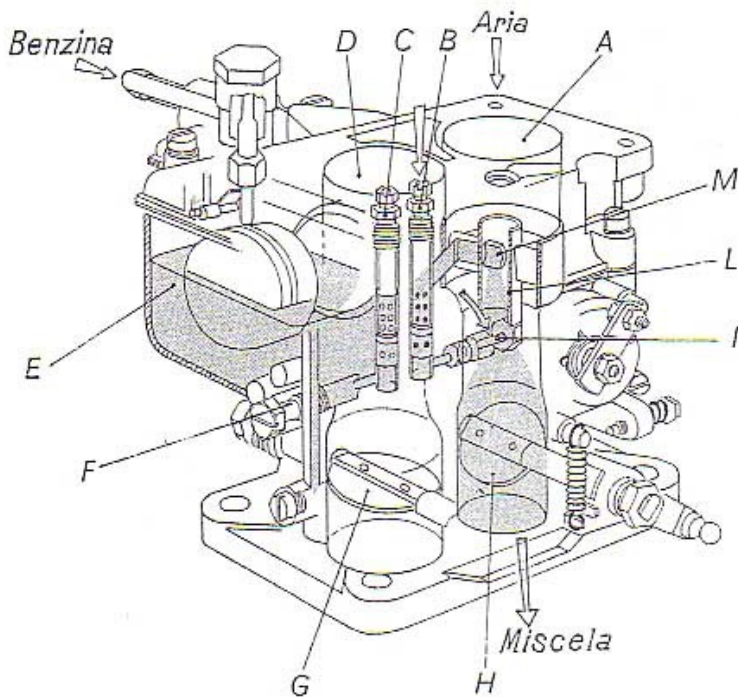
Con una miscela troppo magra si ha nel cilindro una bassa percentuale di carburante rispetto all'aria presente: l'accensione avviene soltanto per alcune parti distribuite intorno alla candela, poi il processo si estingue e cessa la combustione. Per titoli minori si riesce ad avviare la combustione, ma questa è lenta e la potenza prodotta è bassa. Arricchendo ulteriormente la miscela, diminuendo cioè il titolo, la combustione diventa significativa, il fronte di fiamma avanza nel modo opportuno e il motore funziona bene: si passa così dal *titolo di best economy*, in cui è minimo il consumo, al *titolo stechiometrico* in cui è massima la temperatura di combustione, al *titolo di best power* in cui è massima la potenza erogata. Una ulteriore diminuzione del titolo, al di sotto di quello di best power, rende la miscela ricca e grassa, con un notevole eccesso di carburante che non partecipa alla combustione, anzi la ostacola e la rallenta. Da ciò si può concludere che la miscela deve essere ricca sia alle basse che alle alte potenze, mentre può essere magra soltanto nel campo delle potenze intermedie, cioè nelle condizioni di crociera e di holding

<sup>1</sup> La denominazione carburatore è comunemente riservata a quegli apparecchi che effettuano la carburazione con un carburante liquido; per quelli che la effettuano con un carburante gassoso è utilizzata la denominazione miscelatore.

## Carburatore a galleggiante

La figura nella pagina precedente riporta lo schema funzionale di un carburatore elementare, ossia la forma più semplice di carburatore che costituisce anche la parte essenziale di quelli più complessi: esso in sostanza è costituito da un tubo di Venturi, dove passa l'aria aspirata dal motore. Nella gola del diffusore (G) è sistemato l'ugello spruzzatore (F) che è collegato con un tubicino con una vaschetta (E) dove, per mezzo di una valvola (B) comandata da un galleggiante (A), è assicurato un livello costante della benzina, leggermente inferiore a quello dell'ugello. Gli altri elementi costituenti sono il foro di mantenimento della pressione atmosferica (D), il foro di ingresso della benzina (C) e la valvola a farfalla (H). Poiché il passaggio dell'aria nella gola del Venturi produce una depressione proporzionale al quadrato della velocità dell'aria (teorema di Bernoulli) e d'altro canto la benzina fuoriesce dall'ugello con una velocità proporzionale al salto di pressione (teorema di Torricelli), ne risulta che velocità dell'aria e velocità della benzina sono direttamente proporzionali fra loro, producendo un miscela di titolo costante, in corrispondenza ad un regime di giri del motore.

Nella figura sottostante è riportato lo spaccato di un carburatore doppio corpo rappresentato quando il motore è alimentato dal solo condotto primario, cioè in marcia di crociera oppure in fase di accelerazione ai bassi regimi. La



benzina proveniente dalla vaschetta perviene in entrambi i pozzetti emulsionatori attraverso due getti distinti, ma solo in uno di essi c'è il richiamo d'aria atto a formare l'emulsione che forma la miscela solo nel corpo più piccolo. Gli elementi costituenti sono: il corpo principale (A), l'emulsionatore del corpo principale (B), l'emulsionatore del secondo corpo (C), il secondo corpo (D), la vaschetta a livello costante (E), il getto del secondo corpo (F), la farfalla chiusa del secondo corpo (G), la farfalla semiaperta del corpo principale (H), il getto del corpo principale (I), il centratore del corpo principale (L) e lo spruzzatore del corpo principale (M).

Il problema maggiore per un carburatore elementare è quello di mantenere costante il titolo della miscela, prossimo a quello stechiometrico. Infatti le leggi di afflusso dell'aria e del combustibile sono diverse: mentre per l'aria si può ammettere che la portata vari con la radice quadrata della depressione ( $\Delta p$ ), per il combustibile si ha un andamento quasi lineare. Se si riporta su uno stesso diagramma la portata di aria e combustibile (ovviamente in scale diverse), si nota che le due curve si intersecano in solo punto e quindi il rapporto aria/combustibile è prossimo a quello stechiometrico per un solo valore  $\Delta p$  della depressione, cioè per un unico regime del motore.

La portata  $Q$  e la velocità di efflusso  $V$  sono legate alla differenza di pressione  $\Delta p$  e alla densità  $\rho$  dalla relazione:

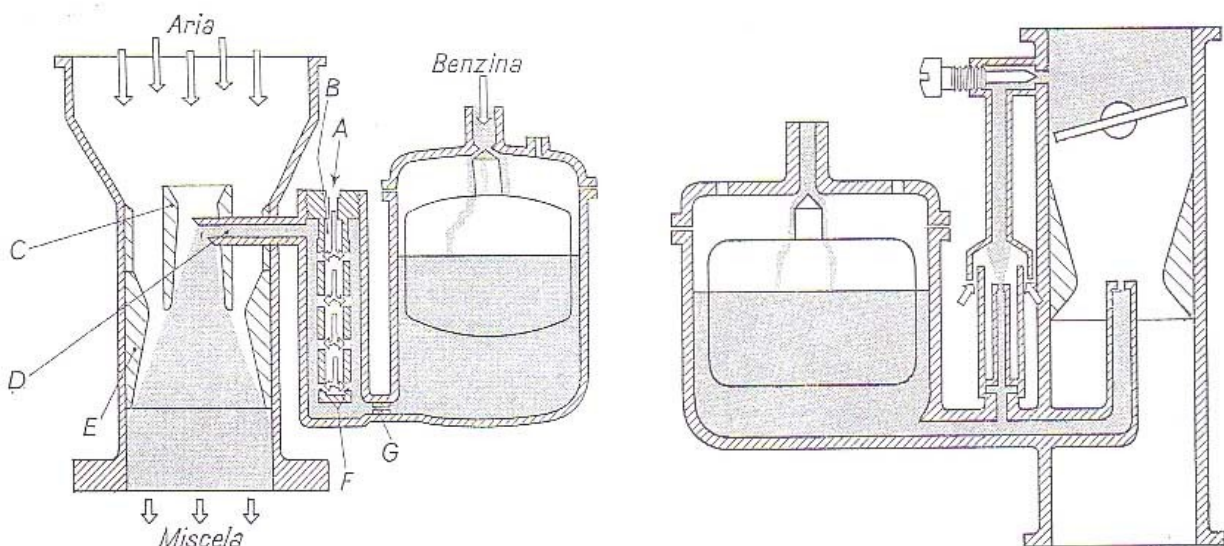
$$Q = \beta \cdot S \cdot V = \beta \cdot S \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$



in cui  $\beta$  è un coefficiente di riduzione della portata ed S la sezione di efflusso. Tale relazione vale tanto per l'aria, quanto per il carburante. Per l'aria il coefficiente  $\beta$  è praticamente costante al variare della differenza di pressione  $\Delta p$ . Per il carburante,  $\beta$  è funzione crescente di  $\Delta p$  in conseguenza di complessi fenomeni dovuti alla sovrapposizione del moto laminare col moto turbolento nel getto considerato come un tubo capillare di piccola lunghezza. Le variazioni del coefficiente  $\beta$  in funzione di  $\Delta p$  dipendono dalla lunghezza, dal diametro e dalla forma dell'estremità del getto. Pertanto se si tara il carburatore per il giusto rapporto di miscela al massimo numero di giri, la miscela risulta eccessivamente povera a basso regime. Al contrario se si adotta il giusto rapporto aria-combustibile ai bassi regimi, la miscela risulta troppo ricca per regimi viepiù crescenti.

Per correggere tale inconveniente si hanno tre sistemi: ad aria supplementare (*Krebs-Pallas*), dove la miscela fornita dal getto principale è regolata al giusto titolo ai bassi regimi e man mano che la velocità aumenta si apre una luce intorno al diffusore attraverso la quale passa un supplemento d'aria che smagrisce la miscela; a getto compensato (*Zenith*) dove la miscela invece è regolata per le alte velocità ed è arricchita alle basse da un secondo getto di benzina; ad aria antagonista (*Solex*) in cui la benzina è fatta passare in un emulsionatore dove è frenata dalla stessa aria aspirata. Quest'ultimo caso è rappresentato nella sottostante figura a sinistra che riporta lo schema funzionale di un carburatore invertito: (A) getto dell'aria di freno, (B) emulsionatore, (C) centratore, (D) spruzzatore, (E) diffusore, (F) fori dell'emulsionatore e (G) getto del carburante.

Durante la marcia al minimo del motore la portata d'aria è insufficiente a formare una depressione capace di richiamare benzina dalla vaschetta: in sostanza l'aria nel diffusore passa ad una velocità troppo bassa da poter trascinare con se la benzina che affluisce. In queste condizioni però la valvola a farfalla è quasi chiusa e quindi il condotto di aspirazione a valle della farfalla è soggetto a forte depressione, di cui si può approfittare richiamando la benzina a mezzo di apposito getto. Pertanto il carburatore è dotato di un secondo carburatorino che butta un getto di benzina a valle della farfalla. Il minimo va regolato su ciascun motore agendo su due viti: l'una regola la chiusura della farfalla, l'altra l'efflusso di benzina dal foro del minimo.



Quando si passa dal funzionamento al minimo a quello normale, aprendo la farfalla, diminuendo la depressione a valle di questa, viene a diminuire la portata del getto del minimo, mentre deve ancora iniziare l'efflusso del getto principale. Per ovviare a ciò si dispongono dei fori connessi con quello del minimo che vengono scoperti dal movimento di apertura della valvola a farfalla, detti fori di

progressione. Inoltre può adottarsi una pompa di ripresa, il cui pistoncino è comandato da una molla in modo da iniettare nel diffusore uno spruzzo supplementare di benzina quando la farfalla viene aperta bruscamente. La pompa di ripresa, che integra l'effetto dei fori di progressione, è indispensabile quando sono utilizzati diffusori di grande diametro per evitare i cosiddetti vuoti di carburazione.

Quando il motore è freddo il carburatore deve fornire una miscela molto ricca, perché la benzina anziché evaporare si condensa e bagna le pareti dei condotti, in modo tale di che nei cilindri arriva una miscela tendenzialmente magra. Vi sono due sistemi per arricchire la miscela all'avviamento. Con il primo si chiude una valvola ausiliare posta a valle del diffusore, creando così una depressione che richiama benzina dal getto principale; l'asse di questa farfalla non è diametrale di modo che se si accelera troppo con lo starter inserito, la farfalla si apre, vincendo la tensione di una molletta, evitando l'ingolfamento del motore. Con il secondo sistema si dispone di un vero e proprio carburatorino in parallelo che aggiunge la sua erogazione a quella del carburatore principale.

La disposizione della vaschetta deve essere tale che le forze d'inerzia, conseguente a moti curvi, non abbiano influenza sulla carburazione, quelle di accelerazione tendano a ingrassare la miscela, quelle di rallentamento a smagrirla; pertanto essa è normalmente disposta davanti al diffusore. Per migliorare l'omogeneità della miscela, molti carburatori sono dotati di centratore che si tratta di un altro diffusore posto dentro al Venturi nel quale sbocca il getto principale. Si possono avere carburatori a due o più corpi, ossia due o più tubi di Venturi alimentati dalla stessa vaschetta. Per esse si può avere il tipo con comando delle farfalle sincronizzato e diffusori eguali quando ciascun corpo alimenta un cilindro o un gruppo di cilindri indipendentemente dagli altri. Quando si vogliono ottenere una marcia regolare ed un minor consumo ai bassi regimi si adotta invece l'apertura differenziata delle valvole a farfalla: si apre per prima la farfalla relativa al corpo avente diffusore più piccolo e successivamente, a piena potenza, tutti i cilindri sono alimentati da entrambi i corpi.

### **Carburatore aeronautico**

Un carburatore impiegato in campo aeronautico deve soddisfare i seguenti requisiti:

- A. Garantire l'efflusso regolare di combustibile, anche in condizioni di azioni dinamiche di forte entità;
- B. Assicurare l'omogeneità della miscela;
- C. Assicurare il mantenimento della dosatura al variare della temperatura e della pressione;
- D. Consentire un arricchimento della miscela al regime di piena potenza;
- E. Permettere, a mezzo di comando manuale o automatico, l'arresto immediato dell'alimentazione del motore, per escludere la possibilità che si verifichi un incendio;
- F. Essere munito dispositivo di riscaldamento.

Il carburatore da impiegare nei motori per aeromobili comporta diversi dispositivi ausiliari, imposti dall'influenza delle elevate quote di funzionamento. Poiché al crescere della quota di volo la densità dell'aria diminuisce mentre quella del carburante rimane costante, un carburatore normale, in cui il rapporto aria-combustibile è stabilito in base al rapporto dei volumi dei due fluidi, fornirebbe una miscela tanto più ricca quanto più elevata è la quota. Si ovvia a questo inconveniente disponendo dei correttori altimetrici, comandati da capsule barometriche, che provvedono automaticamente a mantenere costante la dosatura. Altri correttori di curva provvedono ad arricchire progressivamente la miscela: aprendosi la valvola a farfalla aumenta la pressione di alimentazione e quindi il pericolo

di detonazione<sup>2</sup>. Il motore aeronautico è quindi alimentato con miscele piuttosto ricche in condizioni di piena potenza e con miscele povere quando fornisce potenza ridotta (per esempio volo di crociera), in modo da ottenere il minimo consumo.

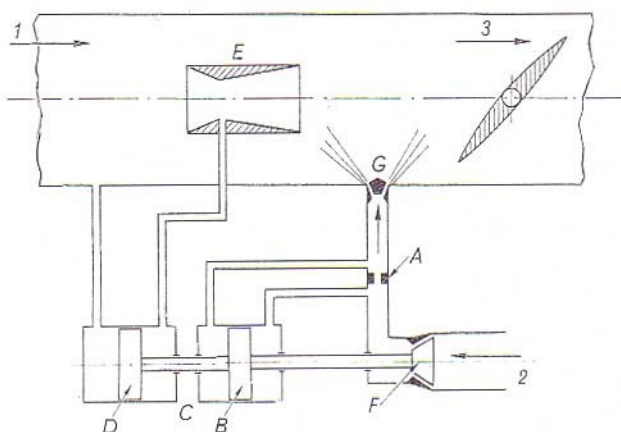
Speciali accorgimenti debbono essere adottati nella costruzione della vaschetta a livello costante per impedire il suo svuotamento durante il volo acrobatico o rovescio. Così come si pone particolare cura nel riscaldare con olio o aria calda i condotti interni per evitare la formazione di ghiaccio sui getti.

Nei carburatori a galleggiante durante il funzionamento si verificano situazioni che inducono il raffreddamento dell'aria che li attraversa. Ciò perché nella sezione del tubo di Venturi (diffusore), dove avviene la carburazione, il restringimento della stessa comporta una accelerazione del flusso d'aria e, nel rispetto del teorema di conservazione dell'energia, una diminuzione di pressione. La depressione, necessaria per aspirare la benzina dalla vaschetta, e favorirne l'evaporazione nel diffusore, costringe però l'aria ad espandersi, e perciò a raffreddarsi adiabaticamente. Contestualmente l'evaporazione della benzina sottrae all'aria il calore latente necessario per il cambiamento di stato. Ciò è valido nella realtà solo in prima approssimazione, per cui si hanno vari tipi di carburatore non solo a seconda della posizione degli organi, ma anche dei sistemi con cui si ripara ai difetti del carburatore elementare.

Quando detto raffreddamento è sufficiente ad abbassare la temperatura al di sotto del punto di rugiada, l'umidità contenuta nell'aria condensa e ghiaccia, aderendo alle pareti del tubo di Venturi e della valvola a farfalla. Se il fenomeno sopra descritto si protrae nel tempo, l'accumulo del ghiaccio restringe progressivamente la sezione del condotto di aspirazione, con la conseguente progressiva perdita di potenza del motore, fino al punto che non arriva più miscela sufficiente ai cilindri e si verifica un arresto per soffocamento. Il primo avviso che nel carburatore è in corso una formazione di ghiaccio è dato da un calo di giri se l'elica è a passo fisso o da un calo della MAP (*Manifold Air Pressure*: pressione di alimentazione nel condotto di aspirazione) se l'elica è a giri costanti.

## Il carburatore a iniezione

Tipico dell'impiego aeronautico è il carburatore a iniezione (o a pressione). Che funziona secondo



lo schema riportato nella figura affianco. La benzina è messa sotto pressione da una pompa e passa attraverso una luce tarata A: il salto di pressione tra monte e valle di tale luce è sentito dalle due facce dello stantuffo B del servomotore C; allo stelo dello stantuffo B è collegato lo stantuffo D sulle cui facce agisce il salto di pressione del Venturi E attraversato dalla corrente d'aria. Quando aumenta la portata d'aria, aumenta il salto di pressione che agisce su D, il servomotore si sposta aprendo la valvola F, consentendo così un maggior afflusso di carburante allo

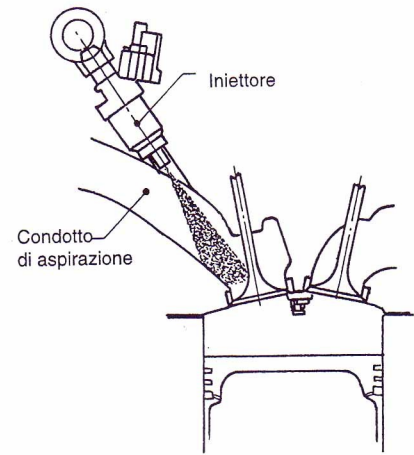
spruzzatore G. La maggior portata di carburante determina un maggior salto di pressione attraverso la luce A e di conseguenza sulle due facce dello stantuffo B, cosicché il servomotore si trova in una nuova posizione di equilibrio. Pregio principale del carburatore ad iniezione è quello di consentire di spruzzare il carburante nell'aria sotto forte pressione, non solo per effetto della depressione esistente nel Venturi, e quindi favorire la miscelazione senza richiedere elevate velocità dell'aria e

<sup>2</sup> Miscele ricche detonano meno facilmente di quelle povere

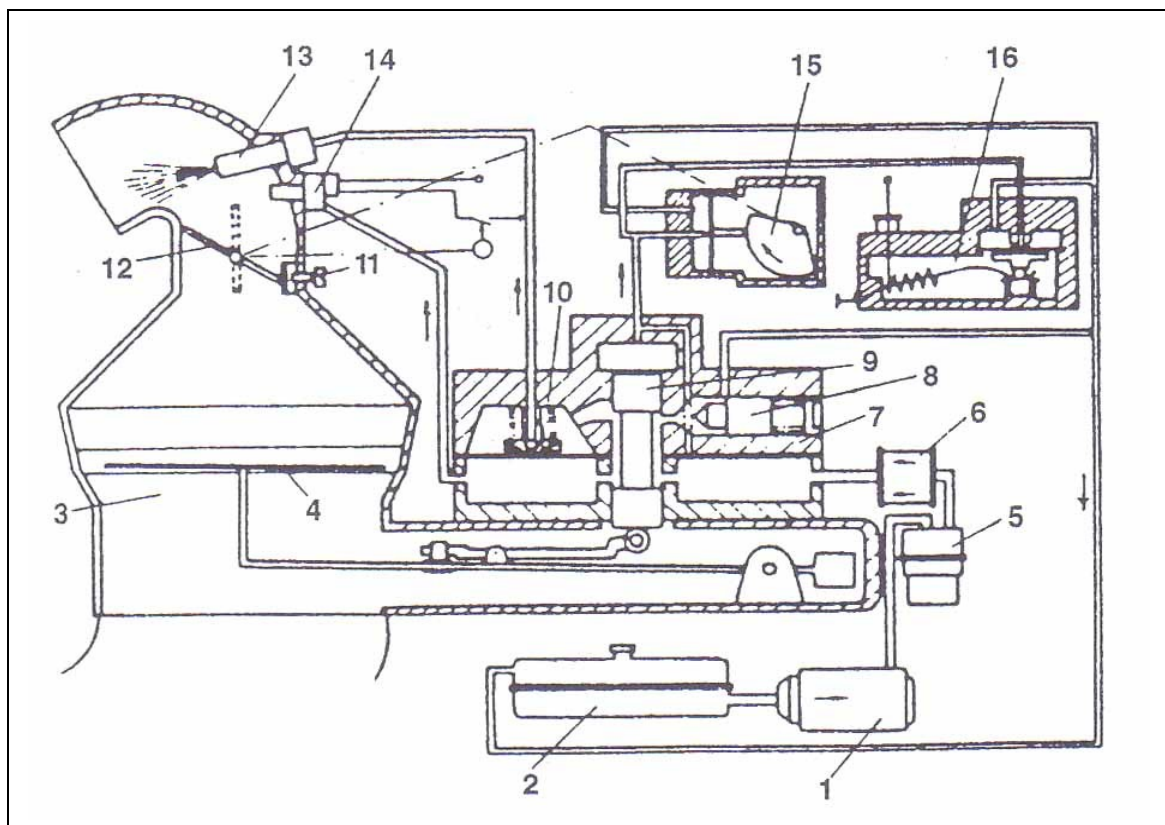
quindi forti perdite di carico. Naturalmente anche tale tipo di carburatore necessita di una serie di dispositivi correttivi come visti per il carburatore a galleggiante (in questo caso manca la vaschetta e tutte le problematiche connesse al mantenimento del livello in condizioni di volo acrobatico).

## INIEZIONE INDIRETTA

Al fine di sopperire ai numerosi difetti del carburatore, gli attuali motori ad accensione comandata, tranne quelli di taglia piccolissima, vengono alimentati per iniezione del combustibile durante la fase di aspirazione o impegnando la prima parte di quella di compressione. Tale operazione, gradita per i suoi aspetti positivi già da diverso tempo, ha trovato pieni consensi da quando con l'avvento dell'elettronica è stata corredata da una fondamentale componente sia di regolazione, sia di comando. Il sistema ad iniezione indiretta può considerarsi come una evoluzione del carburatore a iniezione, essendo anch'esso costituito da una valvola a farfalla, con cui viene dosata l'aria richiesta dal motore, e da un dispositivo che, in funzione dell'aria aspirata, dosa la quantità di benzina da spruzzarvi mediante una pompa. L'iniezione di carburante a monte del condotto di aspirazione, essendo unica per l'intero motore è denominata "single point". Questa soluzione che consente un ottimo controllo globale della portata di carburante nelle varie condizioni di esercizio, ha costituito un enorme passo in avanti rispetto al carburatore, ma non ha risolto il più delicato problema della distribuzione esatta del carburante nei diversi cilindri, in funzione della loro temperatura media e delle vicende fluidodinamiche nel condotto di aspirazione.



a) Iniezione indiretta





Perciò il sistema è stato esteso a tutti i cilindri del motore (iniezione “*multi point*”) con semplice controllo meccanico o elettronico di modo che a monte della valvola di aspirazione di ogni cilindro v’è un iniettore che introduce, in fase di aspirazione, il combustibile necessario. La differenza consiste nel fatto che nel sistema ad iniezione la miscelazione avviene nel condotto di aspirazione di ogni cilindro, dove si trova l’ugello attraverso il quale viene iniettata l’opportuna quantità di benzina.

Gli impianti di iniezione impiegati nei motori aeronautici sono a flusso continuo in quanto la benzina è fatta uscire ininterrottamente dagli ugelli. Un impianto tipico ad iniezione indiretta è costituito da: una pompa meccanica azionata dal motore, che mette in pressione il circuito del carburante; un apparato di controllo della quantità di aria e di benzina da inviare al motore; un dispositivo, noto con il nome di divisore di flusso, in grado di suddividere in parti uguali la benzina da inviare ad ogni singolo cilindro; tanti ugelli di iniezione quanti sono i cilindri da alimentare. Nella figura a pagina precedente è riportato lo schema di funzionamento di un *sistema di iniezione continua multipoint K-Jetronic* a controllo meccanico (Bosch). Si elencano di seguito i principali componenti: (1) pompa elettrica del combustibile, (2) serbatoio del combustibile, (3) misuratore della portata massima d’aria, (4) disco, (5) valvola di non ritorno, (6) filtro combustibile, (7) distributore della portata di combustibile, (8) limitatore di pressione, (9) pistone dosatore, (10) valvola a membrana, (11) vite di regolazione minimo, (12) valvola a farfalla, (13) iniettore, (14) arricchitore avviamento a freddo, (15) arricchitore comandato dalla valvola a farfalla, (16) arricchitore marcia a freddo.

La manetta del gas, con cui il pilota regola la potenza, è collegata alla valvola a farfalla posta nel condotto di aspirazione principale. La posizione della valvola a farfalla determina la quantità di aria aspirata. Oltre a dosare la quantità d’aria, la posizione della manetta del gas determina la quantità di benzina da inviare agli ugelli. Il sistema di dosaggio è collegato meccanicamente con il correttore di miscela e porta in derivazione uno strumento che indica la quantità di benzina che fluisce verso il motore (flussometro)<sup>3</sup>. Il correttore consente di variare la quantità di benzina ai getti per mantenere la miscela al titolo appropriato durante le varie condizioni di funzionamento, nonché di spegnere il motore interrompendo l’afflusso di benzina ai cilindri. Dopo il passaggio nel divisore, dove viene ripartita in quantità uguali per ogni cilindro, la benzina arriva agli iniettori, attraverso i quali viene spruzzata nel flusso d’aria del collettore, direttamente nella luce di aspirazione del cilindro di competenza.

Si elencano di seguito una serie di vantaggi dell’alimentazione a iniezione.

1. La formazione di ghiaccio a valle del filtro della presa di alimentazione è scongiurata perché l’evaporazione della benzina avviene nei condotti in prossimità delle valvole di aspirazione, in parti, cioè, molte calde del motore.
2. Il motore è più elastico in quanto risponde più prontamente alle richieste repentine di potenza, perché la benzina, invece di dover essere trasportata dal flusso d’aria, arriva nei cilindri nel momento stesso in cui serve.
3. La distribuzione della miscela ai vari cilindri è più uniforme, in quanto a tutti gli ugelli arriva la stessa quantità di benzina con la conseguenza che il motore funziona con più regolarità, si evita il surriscaldamento dei cilindri che ricevono la miscela meno ricca e si riduce globalmente il consumo di carburante.

Di contro il sistema ad iniezione, in quanto più complesso, è più delicato in termini manutentivi e a volte può creare problemi d’avviamento a caldo.

---

<sup>3</sup> Manometro che rileva la pressione esistente nel condotto della benzina, fra il regolatore ed il divisore.

## L'INIEZIONE DIRETTA

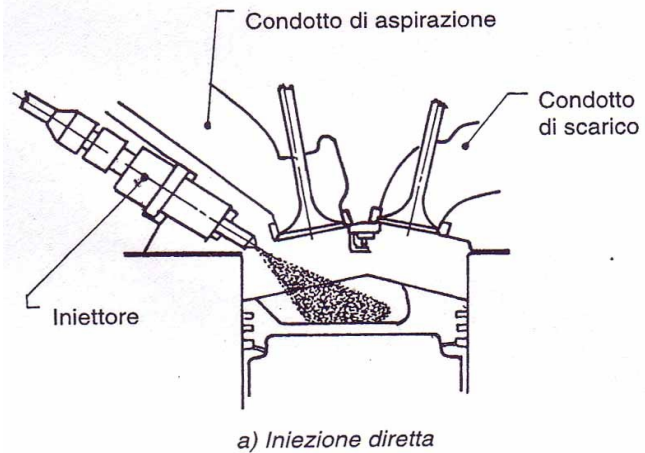
Nel caso della iniezione diretta di benzina, denominata GDI (Gasoline Direct Injection), è presente un serbatoio in cui viene pompata la benzina, con pressioni dell'ordine dei 100-120 bar, valori molto più alti di quelli che si hanno nel caso di motori ad iniezione indiretta (3,5 bar).

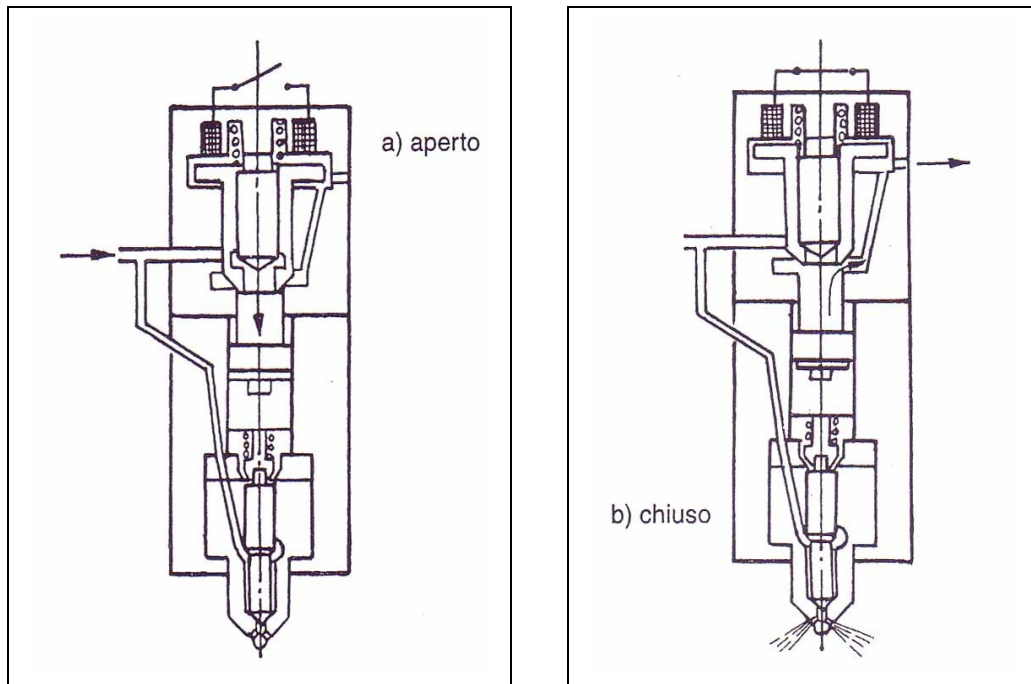
Si ricorre alla iniezione diretta per avere la cosiddetta "carica stratificata", cioè avere una miscela di aria e combustibile stechiometrica vicino alla candela e poi sempre più magra, allontanandosi da essa: in questo modo si riesce comunque ad accendere la miscela in maniera ottimale. Quando è richiesta poca

potenza, il motore funziona con la carica stratificata, garantendo consumi ridotti, mentre quando si dà gas il motore funziona con carica stechiometrica, fornendo tutta la potenza di cui si ha bisogno. Per ottenere questo comportamento, però, non è sufficiente posizionare semplicemente gli iniettori all'interno del cilindro, ma servono dei pistoni di forma speciale e condotti di immissione ben posizionati per poter generare un flusso di aria verso la candela, dove, come visto, è necessario avere una miscela più ricca di benzina. Molto schematicamente, l'aria entra nel cilindro attraverso dei condotti di aspirazione molto verticali, poi viene deviata verso l'alto da una concavità presente sul cielo del pistone. Tale moto d'aria, dal caratteristico andamento dal basso verso l'alto, è denominato "tumble".

I motori GDI presentano una caratteristica tipica dei motori Diesel: possono lavorare, soprattutto ai bassi carichi, con la farfalla completamente aperta riducendo le perdite di "pompaggio", cioè la "fatica" che fa il motore ad aspirare aria, la quale può attraversare i condotti di aspirazione incontrando minori ostacoli. Inoltre non si perde carburante nei condotti di aspirazione e lo si brucia completamente nella camera di scoppio, favorendo così la versatilità e la prontezza del motore. Anche i motori GDI possono avere più iniezioni successive: in alcuni di essi, durante la fase di aspirazione, si immette una miscela omogenea e magra d'aria e benzina; durante la fase di compressione una seconda fase d'iniezione genera una miscela più ricca, cosicché attorno alla candela vi sia una miscela di aria e benzina in rapporto stechiometrico (da qui la denominazione JTS), pronta ad essere accesa, nonostante ai margini della camera sia molto più magra. Un'ultima peculiarità dei motori GDI è l'elevato "rapporto di compressione", che favorisce il rendimento e le prestazioni del motore. I propulsori JTS, forti anche del doppio variatore di fase, hanno valori di potenza specifica superiori a 80 CV/l).

Nei motori policilindrici di una certa taglia, l'iniezione di benzina viene praticata con *iniettori-pompa*, dei quali la figura successiva mostra lo schema (Bendix). Tali iniettori comprendono in unico blocco anche la pompa del carburante, la quale poco differisce da quella per i motori Diesel (Bosch), salvo le notevoli semplificazioni connesse con le pressioni da elaborare, decisamente minori, e con il diverso sistema di regolazione. L'iniettore-pompa, oltre a fornire compattezza al sistema di iniezione, riduce drasticamente le oscillazioni di pressione che si instaurano tra la pompa e l'iniettore.





## CONDOTTI DI IMMISSIONE

I condotti di immissione servono a convogliare la miscela dal carburatore ai cilindri, mantenendola omogenea e stabile in tutte le ramificazioni del percorso.

Negli impianti di alimentazione a carburatore, non essendo possibile installarne uno per ogni cilindro, il comportamento del fluido nel collettore di aspirazione risente fortemente dell'effetto delle aspirazioni dei vari cilindri, che dipende dal loro sfasamento, definito dall'ordine di accensione. L'effetto pulsante è notevolmente ridotto quando i cilindri sono in numero superiore a quattro, perché la sovrapposizione delle singole aspirazioni tende ad effettuare una sorta di regolarizzazione. Nei motori a molti cilindri non è facile distribuire la miscela fra di essi in modo ottimale, perché nel carburatore non si raggiunge una completa polverizzazione ed evaporazione della benzina in quanto la miscela che passa nei condotti di aspirazione contiene una certa quantità di benzina liquida sotto forma di minutissime goccioline. Queste hanno una inerzia maggiore della miscela gassosa per cui, quando la direzione della corrente varia bruscamente, tendono a mantenere la traiettoria del loro moto, causando differenze di dosatura nelle varie zone del condotto. L'effetto di ciò è che si vengono a creare variazioni, anche significative, nel rapporto di miscela dei vari cilindri, in relazione alla forma delle canalizzazioni e alla loro posizione. Quando il collettore è freddo, si forma un sottile strato di benzina aderente alla parete interna. Ciò contribuisce a creare una non ottimale distribuzione della miscela. Tale inconveniente può essere evitato con il riscaldamento, a mezzo dei gas di scarico o dell'acqua di alimentazione, dei condotti, che, però, provocando l'espansione del fluido, e quindi riducendo il peso della carica, comporta un inevitabile calo di potenza.

## CONDOTTI DI SCARICO E MARMITTA

Il sistema di scarico ha un'influenza determinante sull'efficienza dell'alimentazione e perciò sul coefficiente di riempimento. La maggiore o minore libertà con cui i gas della combustione possono uscire dalle luci di scarico determina infatti il volume lasciato libero all'interno del cilindro per l'ingresso della carica fresca entrante. Quanto più volume di gas combusti è riuscito ad

abbandonare il cilindro, tanta più miscela fresca può entrare e tanta maggiore sarà la potenza prodotta dal motore.

I collettori di scarico sono costituiti da tubi d'acciaio resistente alla corrosione, saldati alle teste dei cilindri in corrispondenza alle luci delle valvole di scarico. Un sistema di scarico deve essere realizzato con l'intento di ridurre al minimo le contropressioni che si generano rendendo tortuoso il percorso dei gas della combustione<sup>4</sup>.

La marmitta funge da silenziatore permettendo a parte dell'energia, prodotta dai gas di scarico che escono dai cilindri, di essere dissipata al suo interno. I moti di efflusso sono sempre accompagnati da onde sonore che sono tanto più intense quanto maggiore è la velocità e la quantità dei gas. Pertanto, ovunque funzioni una macchina che ha un gas come fluido operatore, si rende necessaria l'adozione di un apposito dispositivo capace di limitare la produzione di energia sonora, ovvero di smorzare le onde sonore durante la loro propagazione. Ciò deve essere ottenuto senza ostacolare il movimento dei gas entranti o uscenti, al fine di non diminuire il rendimento del motore. I rumori prodotti dallo scarico dei motori dipendono dal superamento della velocità del suono durante l'espansione dei gas espulsi: si formano cioè onde sonore di ogni frequenza con prevalenza dell'onda corrispondente alla frequenza di apertura delle valvole di scarico.

---

<sup>4</sup> Quanto maggiore è la contropressione allo scarico, tanto minore è il coefficiente di riempimento