

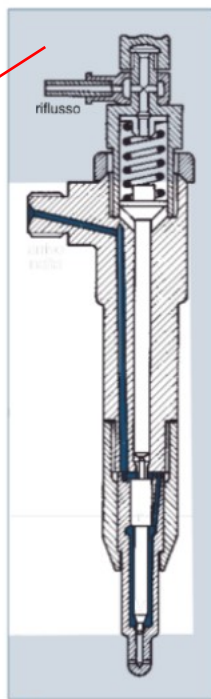
nella camera (C) la cui parte inferiore è chiusa da una valvola ad ago (V), comandata dall'esterno mediante una camma calettata sull'albero della distribuzione, convergono due tubicini; il primo adduce l'aria compressa, mentre l'altro convoglia il combustibile liquido, spinto (a bassa pressione) da una pompa e talvolta preventivamente riscaldato per aumentarne la fluidità.

La nafta viene immessa nell'interno del polverizzatore sopra una serie di piastrine bucherellate, seguite da un cono metallico munito di solchi ricavati lungo le generatrici. Quando la camma, tramite il bilanciante, apre la valvola ad ago (V) vincendo l'azione della molla antagonista, il combustibile, spinto dall'aria compressa sovrastante, attraversa le piastrine, si fraziona, si mescola con l'aria e penetra nell'interno del cilindro attraverso il forellino calibrato e sagomato a diffusore formando un getto conico che a contatto con l'aria calda brucia progressivamente. Il sistema di iniezione pneumatica crea nella camera di combustione un ottimo grado di turbolenza in quanto i due fluidi subiscono un preventivo rimescolamento durante la fase di efflusso dall'ugello; ciò consente una buona polverizzazione della nafta, una combustione regolare e realizza nel cilindro una pressione massima inferiore a quella ottenuta con l'iniezione meccanica. La presenza del compressore, però, riduce il rapporto potenza/peso della macchina, aumenta l'ingombro e la rende inadatta ad alcune applicazioni (ad es. alla trazione ferroviaria); inoltre, l'espansione dell'aria attraverso l'ugello diminuisce la temperatura della camera di combustione e ciò è un inconveniente tanto più sensibile quanto minore è il carico del motore e il suo regime di rotazione.

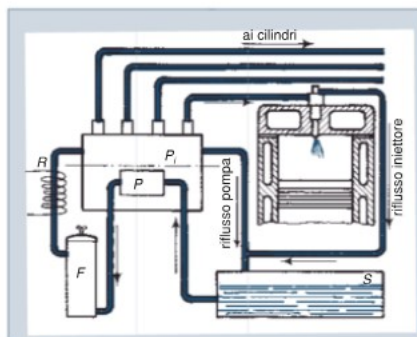
Iniezione meccanica

Coincide concettualmente con il sistema adottato per i combustibili liquidi nelle caldaie a vapore. La differenza sostanziale riguarda il valore della pressione che nei motori a combustione graduale è molto più elevato; infatti, il combustibile viene iniettato nella camera di combustione di una caldaia alla pressione di $15 \div 20$ bar, pari cioè a $15 \div 20$ volte quella esistente nell'interno della camera stessa, e la polverizzazione è assicurata in virtù del rapporto fra le due pressioni; in modo analogo lo stesso rapporto deve sussistere fra la pressione di iniezione e quella esistente nell'interno del cilindro di un motore diesel. Poiché in quest'ultimo, al termine della fase di compressione si raggiungono pressioni di $30 \div 35$ bar, la nafta deve esservi immessa a una pressione intorno a $500 \div 700$ bar, valore elevatissimo conseguibile solo con pompe adatte. Nell'iniettore (FIGURA 17.14) la valvola ad ago (V) porta un ringrosso (r) su cui agisce la spinta (verso l'alto) del combustibile inviato dalla pompa di iniezione; quest'ultimo fornisce una portata pulsante e invia la nafta ai singoli cilindri nell'istante dovuto, in modo da provocare l'apertura automatica della valvola eliminando ogni dispositivo esterno.

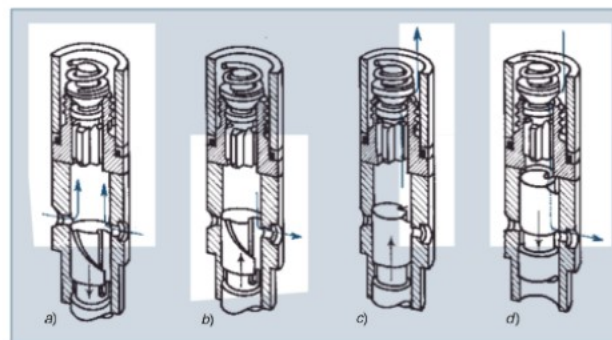
La pompa di iniezione è in genere del tipo a stantuffo, a semplice effetto, azionata dal motore stesso, con una modestissima portata (anche nei motori di grandi dimensioni). Perciò, i primi diesel adottarono un unico corpo-pompa per l'alimentazione di tutti i cilindri ottenendo una maggior semplicità costruttiva ma un dosaggio non uniforme nei vari cilindri; in seguito si preferì installare una pompetta per ogni cilindro o un'unica pompa suddivisa in tanti corpi separati (uno per ogni relativo cilindro). Per evitare le ridottissime dimensioni delle singole pompette, queste vengono progettate per erogare una portata maggiore di quella indispensabile; un opportuno dispositivo di regolazione provvede a eliminare l'eccesso di nafta pompata, rinviandolo sull'aspirazione della pompa attraverso una tubazione di ritorno (FIGURA 17.15): la nafta aspi-



17.14 Iniettore per iniezione meccanica ad apertura automatica (schema).



17.15 Schema del circuito di iniezione.



17.16 Fasi di una pompetta di iniezione alternativa.

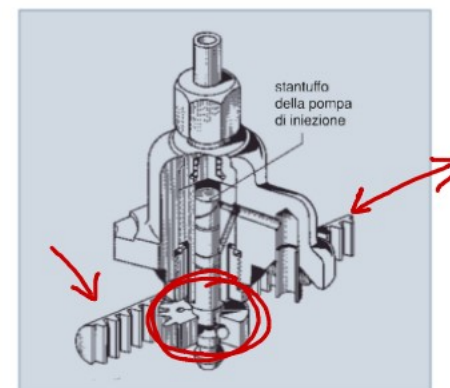
rata dal serbatoio (S) con una pompa ausiliaria (P) viene inviata a bassa pressione prima ai filtri (F), e in seguito all'eventuale riscaldatore (R), che (nel caso si tratti di nafta pesante) aumenta la sua temperatura fino a $80 \div 90$ °C; passa poi alla pompa di iniezione (P_i) distribuendosi nei vari cilindretti dai quali viene inviata ai cilindri motori sotto forte pressione. La regolazione della portata si realizza:

- mantenendo sollevata la valvola di aspirazione della pompetta per un certo tratto della corsa premente, in modo che parte del liquido venga respinto nella tubazione di arrivo;
- aprendo una valvoletta che metta in comunicazione il tubo di mandata con quello di aspirazione (sistema by-pass);
- variando opportunamente la corsa dello stantuffo della pompetta.

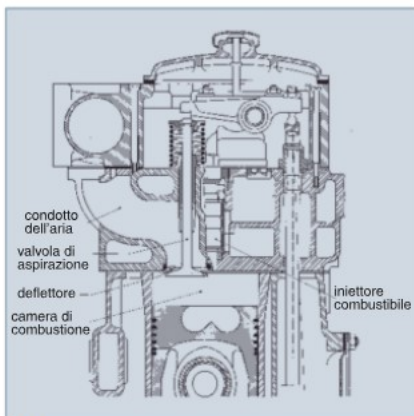
L'ultimo sistema è il più impiegato nei motori di piccola e media potenza (FIGURA 17.16): lo stantuffo porta una scanalatura elicoidale lungo la quale la nafta può rifluire sull'aspirazione in quantità variabile a seconda della posizione dell'elica rispetto al foro (f). La posizione dell'elica viene modificata facendo ruotare lo stantuffo intorno al proprio asse mediante un accoppiamento ruota dentata-cremagliera, quest'ultima azionata dal regolatore centrifugo. Nei motori di bassa e media potenza, la pompa di iniezione è generalmente costituita da un monoblocco nel quale sono ricavati tanti cilindretti quanti sono i cilindri motori da alimentare; gli stantuffi sono mossi da un piccolo albero a camme (che prende il moto dall'albero principale) e la regolazione della portata è assicurata dallo spostamento della cremagliera, che consente la rotazione simultanea di tutti gli stantuffi.

Nei motori di grandi dimensioni si preferisce installare su ogni cilindro motore una pompetta separata (FIGURA 17.17), che è movimentata da un albero a camme che corre parallelamente alle testate. Tale albero, pur costituendo un maggior onere costruttivo, assolve anche l'importante compito di provvedere all'avviamento della motrice, quando tale operazione è realizzata mediante aria compressa.

Per realizzare le migliori condizioni per la miscelazione del combustibile con l'aria calda contenuta nel cilindro, la conformazione della camera di combustione deve creare quella turbolenza che con il sistema di iniezione pneumatica era assicurata dalla premiscelazione nella fase di efflusso. Le soluzioni più comuni usate dai progettisti sono:



17.17 Pompetta di iniezione separata (da una monografia della Mobiloil italiana).

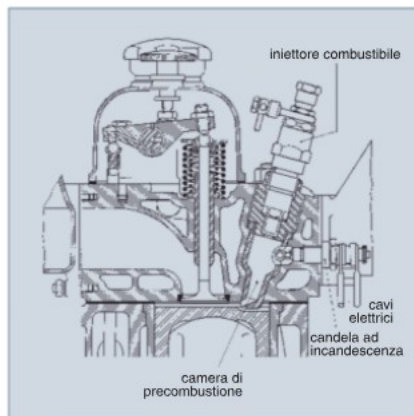


17.18 Camera di combustione aperta (da una pubblicazione della Shell Italiana).

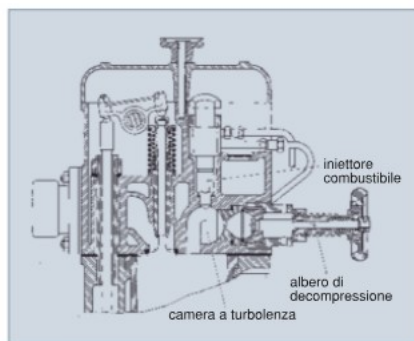
- camera di combustione aperta;
- camera di precombustione;
- camera di combustione a turbolenza.

In FIGURA 17.18 è rappresentata la testata di un motore diesel con **camera di combustione aperta**, soluzione tipica delle macchine tendenzialmente lente; questo sistema viene comunemente designato anche come **iniezione diretta**, ed è caratterizzato da una apposita cavità, ricavata nella testata, o più frequentemente nel cielo dello stantuffo, costituente la vera camera di combustione. Il combustibile viene iniettato attraverso uno o più ugelli, sistemati in modo che esso venga equamente distribuito in tutte le zone della camera; la pressione di iniezione è in genere molto elevata. La turbolenza necessaria è ottenuta mediante un deflettore ricavato nella parte superiore della valvola di aspirazione come è facile rilevare nella figura citata. In altri tipi di motori (particolarmente quelli veloci) si realizzano delle cavità accessorie comunicanti con la camera di combustione attraverso varchi ristretti, in modo che la combustione iniziata nella camera supplementare provochi un veloce efflusso dei gas prodotti atti a rimescolare il fluido presente nella camera principale. Nella FIGURA 17.19 è rappresentato un motore con **camera di precombustione** (o pre-camera) atta a contenere circa 1/3 dell'aria comburente; nella pre-camera avviene una parziale combustione che, innalzando sensibilmente la temperatura e la pressione del fluido, genera un violento efflusso verso l'interno del cilindro propagando rapidamente la combustione a tutta la massa gassosa. Nella fase di avviamento, questi motori richiedono una sorgente di calore per innescare le prime accensioni.

Il **sistema di iniezione a turbolenza** (FIGURA 17.20) non differisce sostanzialmente da quello ora descritto; la pre-camera è più ampia (contiene fino al 90% dell'aria comburente) e il foro di comunicazione con il cilindro è disposto in modo tale da creare un moto vorticoso fra l'aria che penetra dal basso e il getto del combustibile effluente dal polverizzatore; la combu-



17.19 Motore con camera di pre-combustione (da una pubblicazione della Shell Italiana).



17.20 Motore diesel con pre-camera a turbolenza (da una pubblicazione della Shell Italiana).

stione parziale è più nutrita e i gas prodotti passano nel cilindro dove il processo si completa rapidamente. Un opportuno sistema di regolazione consente di variare il rapporto di compressione durante la fase di avviamento.

► La camera di combustione separata trova larga applicazione nei motori veloci dove, a causa del breve periodo di tempo concesso al combustibile per mescolarsi con l'aria comburente, si rende ancor più necessario un intenso rimescolamento della massa gassosa.

La pressione di iniezione è più modesta di quella che si realizza nelle camere aperte; ne segue una minor usura delle pompe e degli ugelli e un minor assorbimento di potenza per l'azionamento dell'organo di iniezione.

Moderni sistemi di iniezione

Il sistema di iniezione più recente è costituito dal sistema **common rail**, che è un sistema di alimentazione a iniezione diretta per motori diesel basato sul controllo elettronico della quantità di gasolio iniettato, del numero di iniezioni, e dell'istante di iniezione.

La prima applicazione su vetture di serie fu fatta nel 1997 dalla FIAT, sulla vettura Alfa Romeo 156.

A differenza dei sistemi di iniezione tradizionali, il common rail prevede una pressione elevatissima (da 300 a 1800 bar) del combustibile all'interno di un unico condotto (il condotto comune o **common rail**, di solito realizzato con un cilindro cavo posto sulla testata del motore) che alimenta gli iniettori.

Il sistema è suddiviso in due sezioni, una a bassa pressione che alimenta il sistema dal serbatoio della vettura, e una ad alta pressione che viene realizzata mediante una pompa elettrica. L'uso di una pompa elettrica permette di svincolare la pressione del sistema di iniezione dal numero di giri del motore, e di avere quindi una pressione costante e ottimizzata a tutti i regimi di rotazione del motore; l'alta pressione costante permette iniezioni di carburante molto polverizzate, grazie alla dimensione ridotta degli ugelli.

La centralina elettronica (ECU) comanda elettronicamente gli iniettori (o per meglio dire gli elettroiniettori) a valle del condotto di alimentazione.

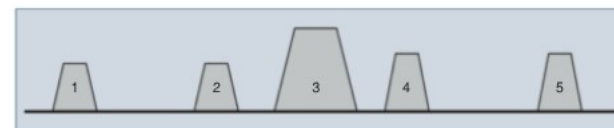
L'iniettore a comando elettronico permette anche una iniezione multipla in sequenza del carburante.

Rispetto alla prima tecnologia utilizzata, denominata Unijet, nella tecnologia attuale (Multijet) vengono effettuate da tre a cinque iniezioni di carburante.

Nel caso di tre iniezioni si ha una pre-iniezione, chiamata Pilot, che viene effettuata prima che il pistone raggiunga il punto morto superiore, seguita dall'iniezione principale e successivamente da una post-iniezione chiamata Post.

Grazie alla preiniezione la pressione nella camera di combustione si innalza in modo più graduale, evitando così la rumorosità di funzionamento una volta tipica dei motori diesel a iniezione diretta.

Nel caso di cinque iniezioni si hanno due preiniezioni e due postiniezioni (FIGURA 17.21).



17.21 Schema iniezioni multijet: 1. iniezione pilota (riduce rumorosità); 2. preiniezione (riduce rumorosità emissioni di CO e CH); 3. iniezione principale (controlla coppia); 4. iniezione after (riduce particolato); 5. postiniezione (rigenera filtro antiparticolato).