

Capitolo 18

Nei cicli termici dei motori a scoppio o a combustione graduale a quattro tempi, una sola delle quattro corse compiute dallo stantuffo è una fase utile (espansione) mentre le altre sono passive e si svolgono sfruttando l'inerzia residua degli organi mobili del motore. Tale inerzia sarebbe insufficiente ad assicurare il regolare svolgimento del ciclo se non si provvedesse a installare sull'albero motore un **volano**, le cui dimensioni aumentano con l'inerzia che esso deve accumulare. Mentre un motore monocilindrico riceve un impulso ogni quattro corse dello stantuffo, aumentando il numero dei cilindri e variando opportunamente l'angolazione delle relative manovelle sull'albero a gomito, quest'ultimo riceve un maggior numero di impulsi ogni due giri e la massa del volano può essere ridotta. All'aumento del numero dei cilindri concorre anche il valore della potenza erogata dal motore che dipende dalla cilindrata e dal regime di rotazione della macchina, per cui motrici di media e alta potenza possono essere realizzate solo ricorrendo a un certo numero di cilindri operanti sullo stesso asse. Per difficoltà di raffreddamento, il diametro dei motori a scoppio viene normalmente contenuto entro i $200 \div 250$ mm, mentre nei motori diesel, provvisti di un efficace sistema di raffreddamento che coinvolge anche gli stantuffi, il limite all'aumento del diametro dipende principalmente dallo spessore da assegnare alle pareti dei cilindri che cresce con il valore della pressione interna e con quello del diametro stesso. Non mancano esempi di motori policilindrici nel campo delle basse potenze: ciò è per conseguire alti regimi di rotazione contenendo il peso degli organi del motore entro limiti molto ristretti. Volendo aumentare la potenza di un piccolo motore monocilindrico operando sul regime di rotazione, occorre suddividerne la cilindrata in un certo numero di cilindri che, risultando più piccoli di quello originario, avranno una minore massa in movimento e quindi un'inerzia minore o uguale a quelle del motore monocilindrico (essendo aumentati i valori delle velocità e delle accelerazioni).

Il motore endotermico soggetto a una (o tre) corse passive, deve essere avviato con un intervento esterno sufficiente a provocare le prime accensioni. Nei motori di autoveicoli si ricorre all'**avviamento** elettrico mediante un ingranaggio calettato sull'albero di un motorino, che viene inserito sulla corona dentata del volano. Nei grandi motori la spinta deve risultare molto forte per riuscire a muovere le enormi masse (stantuffi e organi a esse collegati) e perciò si ricorre all'aria compressa che viene immessa in uno o due cilindri attraverso una speciale valvola; i cilindri devono trovarsi all'**inizio della fase di espansione** per ricevere la spinta (a ciò provvede un dispositivo di distribuzione dell'aria). Il problema principale del meccanismo di avvia-

mento ad aria compressa è rendere inattivo il polverizzatore di un motore diesel (qualora sia del tipo ad apertura comandata) durante la fase di avviamento, poi disattivare la valvola ad aria e rimettere in funzione l'organo di iniezione per il regolare funzionamento della motrice; poiché la valvola di avviamento si apre con un dispositivo camma-bilanciere, per escludere tale valvola durante il normale funzionamento del motore si ricorre a uno dei due seguenti artifici: **si distacca il bilanciere dalla camma che ne provoca lo spostamento o si distacca l'estremo del bilanciere dalla sommità dell'asta della valvola**. In ambedue i casi la camma non trasmette alcun movimento alla valvola di avviamento che rimane perciò aderente al proprio seggio.

In un motore a quattro tempi tetracilindrico uno almeno dei cilindri si trova senz'altro in fase di espansione, ma l'avviamento può risultare difettoso a causa dell'ampliamento delle fasi stesse con anticipi e ritardi al moto delle valvole: la fase di espansione non riflette un'intera corsa dello stantuffo ma ha un'ampiezza minore. Considerando che il ciclo si compie in due giri dell'albero motore (720° di rotazione), affinché sia assicurato l'avviamento, **essa dovrebbe avere un numero minimo di cilindri $z = 720/140 \cong 6$** (3 per un motore a due tempi).

Il problema dell'**inversione di marcia** nelle motrici endotermiche, ricalca quello che si presenta nelle macchine a vapore; poiché nessuno spostamento angolare del profilo delle camme che azionano le valvole di aspirazione e di scarico può metterle in condizione di esplicare le stesse funzioni con senso di rotazione invertito, viene calettata sull'albero a camme una **doppia serie di camme**: la prima (aspirazione, scarico, iniettore) sistemata in posizione tale da consentire il funzionamento del motore in marcia avanti e la seconda, con le stesse camme, poste simmetricamente alle prime, in modo da realizzare la marcia indietro; occorre, inoltre, un dispositivo capace di sollevare dapprima le punterie dalle camme su cui appoggiano, spostare in seguito l'albero a camme in senso assiale, fino a portare le altre camme sotto le punterie e infine riabbassare queste ultime ripristinando il contatto a marcia invertita. Per quanto concerne i movimenti dell'albero di inversione (rotazione) e dell'albero a camme (spostamento assiale), essi debbono avvenire in perfetto sincronismo e con manovra unica per non complicare troppo le operazioni di inversione.

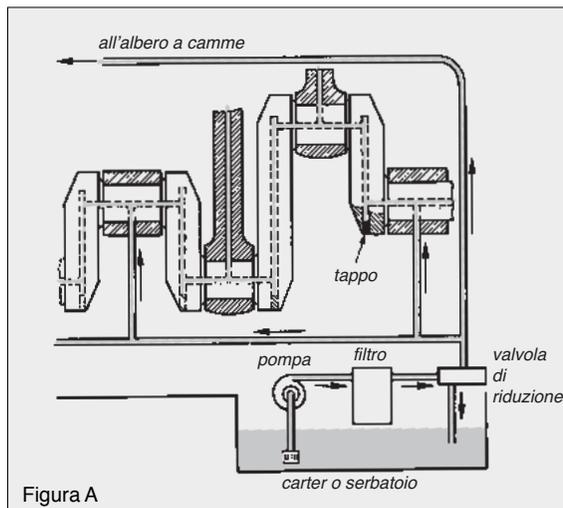
Nei motori a due tempi, l'assenza delle valvole di aspirazione e di scarico semplifica notevolmente le operazioni di inversione.

Nelle motrici endotermiche, la **lubrificazione** dei vari organi meccanici a contatto è fondamentale per le resistenze di attrito che si sviluppano e per le alte

temperature di esercizio; il lubrificante, oltre a ridurre al minimo gli effetti degli attriti di strisciamento:

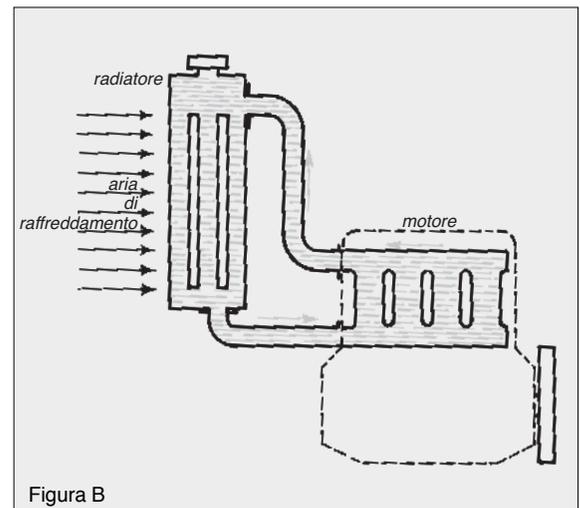
- aumenta la tenuta fra due elementi a contatto;
- protegge, nei periodi di sosta, le superfici metalliche da eventuali ossidazioni e corrosioni;
- asporta una piccola parte del calore sviluppato.

La temperatura di alcune parti del motore (cilindri, stantuffi, valvole, ecc.) assume valori abbastanza elevati che richiedono l'uso di lubrificanti speciali, le cui caratteristiche non siano sensibilmente alterate dal calore a essi trasmesso. Altri organi del motore invece (cuscinetti, teste di biella, albero a camme) hanno temperature di esercizio notevolmente minori e possono essere lubrificate con oli più comuni; ciò giustifica l'uso di due diversi tipi di lubrificanti (nelle macchine di potenze elevate). La maggior parte dei motori endotermici fa ricorso a sistemi di lubrificazione forzata (eccetto i piccoli motori monocilindrici che impiegano il sistema **a sbattimento** o **a miscelazione**). Per motori a 4 tempi di piccola e media potenza il circuito è unico (figura A) e provvede alla lubrificazione di tutti gli organi in moto, iniziando dai supporti di banco, dalle teste di biella, per finire al piede di biella e alle pareti dei cilindri ove il lubrificante perviene risalendo lungo l'interno della biella stessa. L'olio, compiuta la sua azione, ricade nel carter e, dopo filtraggio e raffreddamento, viene rimesso in ciclo dalla pompa. Nei grandi motori si adotta il sistema **a caduta** o quello **a pressione** con pompa per la lubrificazione dei supporti; per la lubrificazione dei cilindri si impiegano oli più adatti alle alte temperature di esercizio; il lubrificante viene iniettato in pressione attraverso apposite cannule il cui numero varia notevolmente a seconda del tipo di motore (semplice o doppio effetto), della sua cilindrata unitaria e della forma dello stantuffo. **Nei grandi motori a doppio effetto, anche l'interno dello stantuffo è interessato da una cospicua circolazione di olio** proveniente



dal circuito di lubrificazione dei supporti. I consumi dell'olio destinato alla lubrificazione sono più bassi nei motori diesel che in quelli a scoppio; in prima approssimazione si assume un consumo di olio pari a circa 1/10 del consumo di combustibile.

Le temperature che si raggiungono alla fine della fase di combustione nell'interno di un motore alternativo sono talmente elevate da richiedere una notevole sottrazione di calore dall'esterno per non dar luogo a dilatazioni inconciliabili con l'esiguità dei giochi fra parti fisse e parti mobili. La refrigerazione si consegue facendo circolare un fluido entro apposite intercapedini ricavate nelle superfici più sollecitate termicamente; il fluido asporta, nell'unità di tempo, un flusso termico $\Phi = q_m \cdot c_m \cdot (t_u - t_e)$ (18.1) dove q_m è la portata in massa del fluido refrigerante, c_m il calore specifico medio del fluido, t_e e t_u le temperature di entrata e di uscita del mezzo. Come fluido refrigerante si impiega l'aria o l'acqua. Qualora il fluido refrigerante sia disponibile in grande quantità, l'impianto di raffreddamento funziona **a circuito aperto** (motori di autoveicoli raffreddati ad aria che prelevano il fluido dall'esterno e lo inviano, per mezzo di un ventilatore, intorno al cilindro e agli elementi della distribuzione, per poi espellerlo all'esterno). Nei sistemi **a circuito chiuso**, (figura B) viene affidato il raffreddamento della motrice ad acqua dolce che, dopo aver esplicato la propria azione nelle intercapedini dei cilindri, viene refrigerata in uno scambiatore di calore. La circolazione dell'acqua di raffreddamento può essere ottenuta per semplice differenza di densità o a circolazione forzata con pompa (più diffuso). Quando lo scambiatore è raffreddato con aria, viene definito **radiatore** e può essere **a fascio tubiero** o **a nido d'api**. Nei sistemi di refrigerazione con **circolazione forzata** la pompa è inserita nel circuito in posizione molto bassa in modo da lavorare *sotto battente* e il senso di circolazione da essa conferito al liquido coincide con quello che si svilupperebbe naturalmente per effetto della differenza di peso specifico.



La portata di acqua necessaria per il raffreddamento è approssimativamente il 30% circa del calore disponibile; la massa di acqua necessaria per ogni kWh fornito dal motore è:

$$q_{mH_2O} = \frac{0,3 \cdot P_{ci} \cdot c_s}{c_m \cdot (t_u - t_e)}$$

Poiché **la potenza del motore si incrementa aumentando la massa di miscela introdotta nel cilindro durante la fase di aspirazione** e poiché nelle realizzazioni pratiche, difficilmente si riesce a conseguire il riempimento completo del cilindro (per le perdite

di carico continue e accidentali), si utilizza una **sovralimentazione** immettendo nel cilindro la miscela (o l'aria) sotto una leggera pressione. Alcuni sistemi di sovralimentazione sono: **sistema Büchi** (l'aria in pressione viene inviata al motore da una soffiante centrifuga azionata da una turbina alimentata con i gas di scarico del motore), **sistema Burmeister** (adottano un soffiante tipo Roots azionata direttamente dal motore stesso), **sistema Sulzer** (deriva dal sistema di lavaggio con luci addizionali dei grandi motori a due tempi) e **sistema Werkspoor** (è uno dei più semplici non richiedendo costose apparecchiature accessorie).