

## Capitolo 17

Lo scopo che ispirò le prime realizzazioni di un motore a combustione graduale fu quello di utilizzare combustibili poveri, secondo un ciclo termico nel quale fossero ammissibili forti rapporti di compressione per aumentarne il rendimento. **Il combustibile doveva essere iniettato entro il cilindro e ridotto in goccioline minutissime per permettere l'intima miscelazione con l'aria comburente, in modo analogo a quanto avviene nei focolari delle caldaie.** Per riuscire a elevare il rapporto di compressione del motore senza incorrere nell'eventualità di accensioni anticipate, si ricorse all'aspirazione di aria pura (gas inerte che può essere sottoposta a pressioni notevolissime); l'aria aspirata nella prima corsa dello stantuffo e poi compressa nel cilindro **aumenta sensibilmente di temperatura tanto da poter provocare l'accensione del combustibile se esso viene introdotto finemente polverizzato al termine della fase di compressione.** Una macchina monocilindrica, se può essere ammissibile per i motori a scoppio, non lo è per i motori diesel, tendenzialmente lenti e più adatti all'impiego quando sono richieste potenze medie e alte. I motori a combustione graduale dominano incontrastati il campo delle alte potenze, sia per l'economia di esercizio, sia per la maggior sicurezza (il combustibile impiegato è molto meno volatile della benzina). L'impiego dei motori diesel è comune nei trasporti, in piccole centrali elettriche a funzionamento intermittente, per l'azionamento di moto-compressori o di pompe a basso regime di rotazione. Anche il motore diesel può seguire un ciclo a quattro o a due tempi e può essere del tipo a semplice o a doppio effetto.

Le fasi del ciclo teorico di un **motore diesel a quattro tempi** (i volumi sono quelli generati dallo stantuffo, vedi figura A) sono:

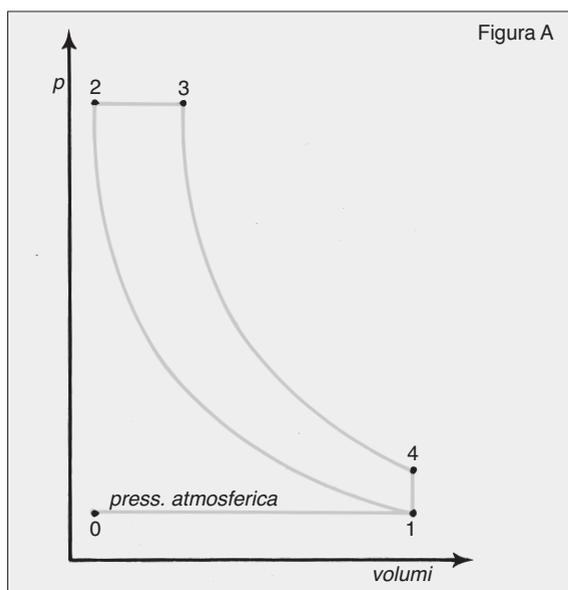


Figura A

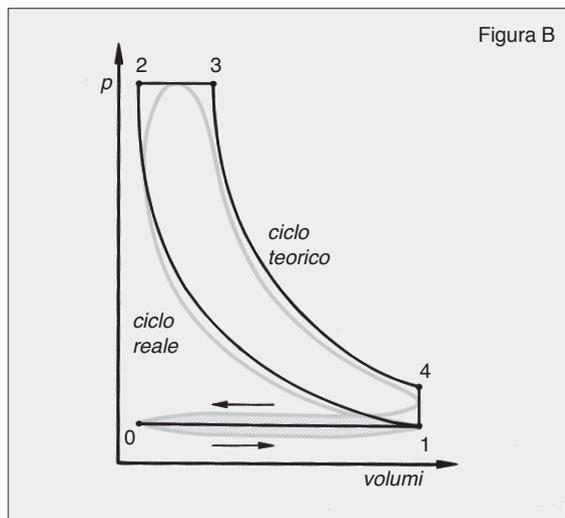


Figura B

- (0→1): **fase di aspirazione a pressione costante;**
- (1→2): **compressione adiabatica** in cui lo stantuffo comprime l'aria a  $\cong 30$  bar entro il cilindro alzando la temperatura fino a  $800 \div 900$  °C;
- (2→3): **combustione a pressione costante** che **non è istantanea come nel motore a scoppio, sia perché il combustibile polverizzato non si è ancora miscelato completamente con l'aria calda, sia perché l'iniezione continua per un certo tempo durante il quale lo stantuffo comincia la fase discendente.** Ciò costituisce la differenza fra il ciclo diesel e il motore a scoppio;
- (3→4): **espansione adiabatica;**
- (4→1): **fase di scarico a volume costante;**
- (1→0): **fase di scarico a pressione costante.**

Il ciclo teorico del motore a combustione graduale a quattro tempi, a meno delle due isobariche (0→1) e (1→0), coincide con il ciclo diesel (Vol. 2, Cap. 19, Par. 5). Ne consegue che è sempre valida la formula:

$$\eta_{id} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \cdot \frac{(C^\gamma - 1)}{\gamma \cdot (C - 1)}$$

funzione del rapporto di compressione  $r$  (valori largamente superiori a quelli del motore a scoppio) e del rapporto di combustione  $C$ . È bene rimarcare che il motore diesel non solo può, ma **deve** avere un forte  $r$  per consentire la combustione della nafta tramite l'alta temperatura. Le discordanze fra il ciclo teorico e quello reale (figura B) non differiscono da quelle relative al motore a scoppio. L'iniezione anticipata altera il ciclo termico che assume una configurazione simile a quella del ciclo Sabathé anziché quella classica del diesel e la discordanza è tanto più sentita quanto più veloce è il regime di rotazione del motore.

Il ciclo teorico di **un motore diesel a due tempi** si deduce da quello del quattro tempi con le stesse varianti esposte per i motori a scoppio.

Nei motori a combustione graduale, la fase di **lavaggio** riveste una importanza maggiore rispetto ai motori a scoppio: essendo effettuata con aria pura, tale fase può essere resa più efficace, anche a scapito di una piccola perdita, inviando nel cilindro il fluido in eccesso; inoltre, nelle motrici policilindriche di notevole potenza, si ricorre quasi sempre a una pompa di lavaggio separata per incrementare l'effetto della corrente di aria pura immessa nel cilindro. Per mantenere l'aria di ricarica alla stessa pressione conferitale dalla pompa di lavaggio (0,2 ÷ 0,3 bar) si usa il sistema di lavaggio (*unidirezionale*) adottato nei motori marini Burmeister o il sistema **con luci addizionali** adottata nei motori Sulzer. Questi dispositivi comportano una complicazione costruttiva per l'azionamento delle valvole ma essa **risulta meno complessa se si sostituiscono le valvole comandate con altre di tipo automatico**, la cui apertura avviene per semplice differenza di pressione fra i due ambienti che esse separano. Inoltre, l'assenza di meccanismi accessori evita i rimescolamenti fra l'aria di lavaggio e i prodotti della combustione, rende più efficace il lavaggio e consente cariche più complete migliorando il rendimento volumetrico del motore.

Per i meccanismi di **distribuzione** in un motore diesel a quattro tempi, si possono ripetere le considerazioni già esposte per i motori a scoppio. **Per i motori diesel a due tempi senza luci addizionali di lavaggio l'albero a camme non ha motivo di esistere essendo la distribuzione affidata al movimento dello stantuffo**; esiste soltanto se vi sono le luci addizionali per migliorare la fase di lavaggio con apertura a valvole non automatiche.

**Il complesso di operazioni che permettono l'introduzione del combustibile nel cilindro e la sua conseguente polverizzazione, va sotto il nome di iniezione.** Osserviamo, inoltre, che:

- l'organo infiammatore è superfluo;
- il carburatore non è necessario poiché combustibile e comburente si mescolano nel cilindro;
- non variano concettualmente i sistemi di distribuzione.

Di contro, occorre tener presente che il miscelarsi tra aria e combustibile è possibile solo se quest'ultimo viene introdotto nel cilindro finemente polverizzato e spinto da un opportuno organo propulsore di tipo a:

- **iniezione pneumatica**: il fluido propulsore è costituito da aria compressa, elaborata da un compressore di tipo multistadio, inviata sotto una pressione di 60 ÷ 70 bar al polverizzatore sulla testata del cilindro. 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. Il combustibile 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. Tale sistema 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 entro il cilindro una pressione massima inferiore a quella ottenuta con l'iniezione meccanica. Di contro, la presenza del compressore riduce il rapporto potenza/peso della macchina, aumenta l'ingombro e diminuisce la temperatura della camera di combustione per effetto dell'espansione dell'aria attraverso l'ugello (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 ma il valore della pressione nei motori a combustione graduale è molto più elevato. La pompa di iniezione è in genere del tipo a stantuffo, a semplice effetto, azionata dal motore stesso e la portata che deve fornire è modestissima anche per grandi motori. Si installa una pompetta per ogni cilindro e **per evitare le loro ridottissime dimensioni, queste vengono progettate per erogare una portata maggiore di quella indispensabile** e poi un opportuno dispositivo di regolazione provvede a eliminare l'eccesso di nafta pompata. La regolazione della portata si realizza: **mantenendo sollevata la valvola di aspirazione** della pompetta, 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 (impiegato nei motori di piccola e media potenza). Allo scopo di realizzare le migliori condizioni per la miscelazione del combustibile con l'aria calda contenuta nel cilindro, si utilizza una **camera: di combustione aperta o iniezione diretta** (per macchine lente), **di precombustione** (che innalza la temperatura e la pressione del fluido), **di combustione a turbolenza** (il foro di comunicazione con il cilindro crea un moto vorticoso fra l'aria e il getto del combustibile effluente dal polverizzatore).

Il sistema di iniezione **common rail** (condotto comune) è basato sul controllo elettronico della quantità di gasolio iniettato, del numero di iniezioni, e dell'istante di iniezione. A differenza dei sistemi di iniezione tradizionali, prevede una pressione elevatissima (300 ÷ 1800 bar) del combustibile al-

l'interno del condotto che alimenta gli iniettori; la centralina elettronica (ECU) comanda gli elettroiniettori a valle del condotto di alimentazione. L'iniettore a comando elettronico permette anche una iniezione multipla in sequenza del carburante (tecnologia Multijet) che rispetto al sistema Unijet consente una riduzione dei consumi, di CO<sub>2</sub>, della rumorosità, migliore elasticità del motore ai bassi regimi e abbattimento del 50% del particolato.

Altri tipi di motori sono:

- **motori Hesselman** (adottati in alcuni trattori, imbarcazioni e veicoli industriali): sono a metà strada fra i motori a scoppio e quelli a combustione graduale, dei quali seguono il ciclo termico: aspira aria pura come i diesel ma usa un organo infiammatore (basso rapporto di compressione);
- **motori a testa calda** (*semidiesel*: adottati su alcuni tipi di trattori, su natanti di mole modesta e per l'azionamento di macchinari ausiliari): sono spesso a due tempi e si differenziano dai motori diesel per il rapporto di compressione meno elevato; **la camera di combustione comunica, attraverso una luce ristretta, con un bulbo, le cui pareti sono prive di raffreddamento per mantenerne elevata la temperatura** (sistema di accensione a pre-camera separata, con innesco facilitato);
- **motori a benzina-petrolio** (adottati su alcune macchine agricole e su piccoli motoscafi): in fase di avviamento il motore aspira una miscela aria-benzina e l'accensione avviene per intervento di una candela, mentre a regime normale il motore aspira una miscela di aria e vapori di petrolio;
- **motori a doppio combustibile** (adottati nel campo industriale delle piccole e medie potenze): seguono un ciclo a pressione costante con combustione contemporanea dei due fluidi impiegati (gasolio o nafta e metano o altro gas naturale).