

## Capitolo 15

Si definiscono **motrici endotermiche** (o **macchine a combustione interna**), quelle macchine termiche nelle quali il calore, necessario per ottenere il lavoro meccanico, si sviluppa nell'interno della motrice stessa come i **motori alternativi ad accensione comandata** (detti a **scoppio**), quelli **ad accensione per compressione** o **a combustione graduale** (detti **diesel**), il **motore rotativo Wankel** (a pistone rotante) e le **turbine a gas** (motori endotermici rotanti a flusso continuo).

Schematicamente un motore alternativo è costituito da un cilindro entro il quale scorre a tenuta uno stantuffo, il cui moto rettilineo alternato è trasformato in moto rotatorio e da un meccanismo biella-manovella. L'uniformità del regime di rotazione, si consegue sia con l'aumento del numero dei cilindri, sia con l'installazione di un opportuno **volano** che immagazzina energia cinetica nella corsa utile per restituirla nelle seguenti corse passive dello stantuffo. Il ciclo può essere completato in quattro corse dello stantuffo (**motore a quattro tempi**) o in due sole corse (**motore a due tempi**); inoltre può essere attiva la camera superiore del cilindro (**motore a semplice effetto**, generalmente piccoli motori) o anche quella sottostante (**motore a doppio effetto**, generalmente di grande potenza). La parte inferiore del manovellismo e l'albero principale ruotano entro un **carter** (generalmente chiuso). Il fluido operante assorbe il calore entro il motore stesso e vengono alimentate con una miscela aria-combustibile che si incendia: i gas prodotti cedono la loro energia allo stantuffo prima di scaricarsi all'esterno.

Per il **calcolo della potenza**, supponiamo di poter disporre del ciclo reale di un motore endotermico (a scoppio o diesel); definiamo la **pressione media indicata**  $p_{mi}$  come quella pressione che, supposta costante per tutta la corsa, produrrebbe un lavoro uguale a quello che si ottiene dal ciclo indicato. Se il motore è a quattro tempi, il lavoro compiuto in due giri completi dal fluido operante in un cilindro e la potenza indicata valgono rispettivamente:

$$L'_i = p_{mi} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot s \quad (15.1)$$

$$P'_i = p_{mi} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot s \cdot \frac{n}{2 \cdot 60} \quad (15.2)$$

dove  $d$  è il diametro del cilindro,  $s$  è la corsa dello stantuffo e  $n$  il numero di giri/min del motore.

Per il calcolo esatto della potenza di un motore policilindrico occorre rilevare separatamente il ciclo indicato relativo a ogni cilindro e **sommare le potenze parziali**; in prima approssimazione si moltiplica la (15.2) per il numero dei cilindri  $z$ :

$$P_i = p_{mi} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot s \cdot \frac{n}{2 \cdot 60} \cdot z \quad (15.3)$$

$$P_i = p_{mi} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot s \cdot \frac{n}{2 \cdot 60} \cdot z \quad (15.4)$$

la (15.4) vale per un motore a due tempi tenendo conto però che varia sensibilmente il valore della  $p_{mi}$  per le maggiori perdite del motore a due tempi. Se  $\tau$  è il numero dei tempi e  $V$  il **volume complessivo** di tutti i cilindri del motore (cilindrata totale):

$$P_i = \frac{p_{mi} \cdot V \cdot n}{30 \cdot \tau} \quad (15.6)$$

Il **rendimento meccanico**, definito come rapporto fra la potenza effettiva resa all'albero del motore e quella indicata (o fra i corrispondenti lavori) è:

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} \quad (15.7)$$

Indicando con  $p_{me} = \eta_m \cdot p_{mi}$  la **pressione media effettiva**, si ottiene una relazione generale:

$$P_e = \frac{p_{me} \cdot V \cdot n}{30 \cdot \tau} \quad (15.8)$$

Il rendimento meccanico è solo l'ultimo anello di una catena di **rendimenti** parziali; indicando con  $\eta_i$  il **rendimento indicato** (rapporto fra lavoro indicato  $L_i$  e lavoro teorico  $L_t$ ),  $\eta_{id}$  il **rendimento termico ideale** e  $Q_1$  il **calore speso**, il lavoro effettivamente reso è:

$$L_e = \eta_m \cdot \eta_i \cdot \eta_{id} \cdot Q_1 \quad (15.12)$$

Ponendo il rendimento totale del motore  $\eta = \eta_m \cdot \eta_i \cdot \eta_{id}$  (15.13), può essere inteso come rapporto fra il lavoro effettivamente reso all'albero della motrice e il calore speso:  $\eta = L_e / Q_1$  (15.15). In termini di potenza, se il motore sviluppa una potenza  $P_u$  consumando  $q_{mc}$  di combustibile, avente potere calorifico  $P_{ci}$ , la potenza termica disponibile è  $P_1 = q_{mc} \cdot P_{ci}$  mentre quella resa è  $P_u$ , per cui:

$$\eta = \frac{P_u}{q_{mc} \cdot P_{ci}} \quad (15.16)$$

Definendo il **consumo specifico di combustibile**  $c_s = q_{mc} \cdot 3600 / P_u$  (15.17), possiamo anche scrivere:

$$\eta = \frac{3600}{q_{mc} \cdot P_{ci}} \quad (15.18)$$

Il consumo specifico di combustibile varia con il tipo di motore (scoppio o diesel), con la sua potenza (diminuisce con il crescere delle dimensioni del motore) e del sistema di alimentazione.

Il **rendimento meccanico**  $\eta_m$  tiene conto delle perdite di energia per effetto degli attriti fra le singole coppie cinematiche in moto relativo: nelle fasce elastiche, tra pistone e pareti del cilindro, tra piede di biella e spinotto, tra bottone di manovella e testa di biella, nei perni di banco ... Le ultime quattro perdi-

te (e quindi il  $\eta_m$ ) **variano in funzione della pressione massima sviluppata entro il cilindro, ma non con legge lineare.** Il **rendimento indicato**  $\eta_i$  tiene conto di tutte le varie perdite che deformano il ciclo termico teorico (laminazione subita dal fluido nelle valvole, perdite di carico nei condotti interni, raffreddamento operato sul cilindro, imperfetta combustione, incompleto riempimento del cilindro ecc).

La conoscenza dei vari rendimenti parziali, permette di effettuare un consuntivo (**bilancio termico**) delle perdite e del lavoro utile relativo a ogni motore realizzato; tale consuntivo è efficace se vengono messe in evidenza la perdita dovuta al raffreddamento e quella connessa ai gas di scarico che disperdono l'energia calorica in loro possesso.