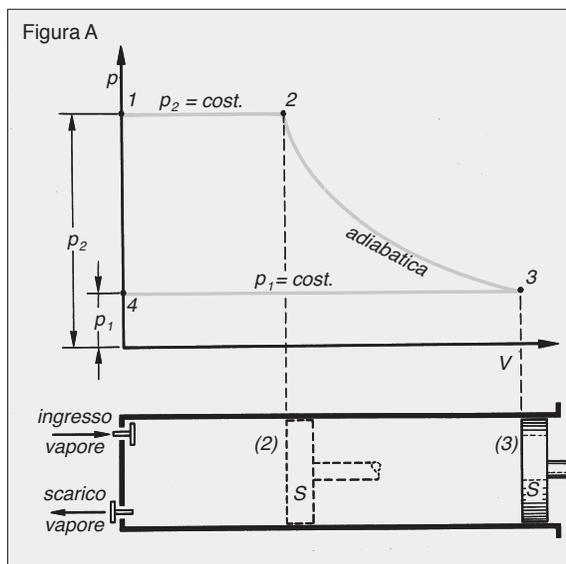


Capitolo 27

Le macchine alternative a vapore trasformano in lavoro meccanico l'energia potenziale di pressione posseduta dal vapore prodotto nel generatore; sono paragonabili ai motori idraulici a stantuffo a semplice effetto (figura A). In un ciclo termico ideale:

- 1→2 (**a pressione costante** p_2): il vapore penetra nel cilindro a p_2 e sposta lo stantuffo verso destra;
- 2→3 (**espansione adiabatica**): il vapore spinge sullo stantuffo con intensità decrescente fino ad arrivare alla pressione di scarico p_1 ;
- 3→4 (**a pressione costante** p_1): la motrice viene posta in comunicazione con lo scarico (ambiente esterno o condensatore) e il vapore effluisce spinto dallo stantuffo che ha invertito il suo moto;
- 4→1 (**isometrica di compressione**): coincide con l'asse stesso.



Nella pratica, fra il cilindro e lo stantuffo, rimane uno **spazio nocivo** in cui rimane una parte del fluido operante e quindi l'isometrica è spostata dall'asse delle ordinate. La fase di espansione non arriva alla pressione p_1 dello scarico (ma a $p_0 > p_1$) perché la corsa dello stantuffo risulterebbe troppo lunga e l'uguaglianza di pressione fra l'interno e l'esterno del cilindro impedirebbe l'espulsione del vapore. Il ciclo reale (figura B) è:

- 1→2 è sostituita da 1→2' che tiene conto della fase di introduzione a pressione decrescente;
- 2'→3': la fase di espansione non può essere una adiabatica ma è una politropica;
- 3'→4': l'isometrica presuppone un'estrema rapidità di esecuzione non realizzabile; l'apertura della luce di scarico avviene prima che lo stantuffo giunga al punto morto inferiore (*anticipo allo scarico*);

- 4'→5: la pressione decresce gradualmente;
- 5→6: poco prima che la corsa di ritorno si concluda (punto 5) si chiude la luce di scarico e il vapore, restando nel cilindro, crea un cuscinetto elastico capace di assorbire l'inevitabile urto dovuto alle variazioni delle forze di inerzia;
- l'apertura viene anticipata al punto 6 per ottenere in 1 la massima ampiezza della luce di ammissione.

Il ciclo reale di una motrice alternativa a vapore (**ciclo o diagramma indicato**) viene rilevato mediante l'applicazione al cilindro della motrice di un **indicatore** che riporta gli spostamenti dello stantuffo e i valori della pressione nel cilindro.

Vediamo alcune definizioni sulla motrice alternativa:

- la **cilindrata** della macchina è il volume generato dal movimento dell'organo mobile:

$$V_c = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot s$$

dove s è la corsa dello stantuffo e d il suo diametro;

- il **coefficiente di spazio nocivo** ($0,02 \div 0,20$) è:

$$m = \frac{V_n}{V_c} \quad (27.1)$$

dove V_n è il volume residuo (dello spazio nocivo);

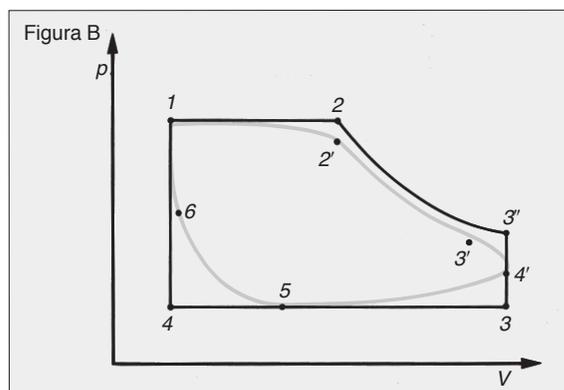
- il **grado di ammissione nominale** ($0,4 \div 1$) è:

$$e = \frac{V_a}{V_c} \quad (27.1)$$

dove V_a è il volume di fluido che entra nel cilindro durante la fase di introduzione; per $e = 1$ si ha un funzionamento ad ammissione totale: il vapore viene introdotto per tutta la durata della corsa e scaricato alla stessa pressione p_2 , a scapito del rendimento;

- il **grado di ammissione effettivo** e' è il rapporto:

$$e' = \frac{V_a + V_n}{V_c + V_n} \quad (27.3)$$



$$e' = \frac{e + m}{1 + m} \quad (27.4)$$

- il **grado di compressione** C è il rapporto:

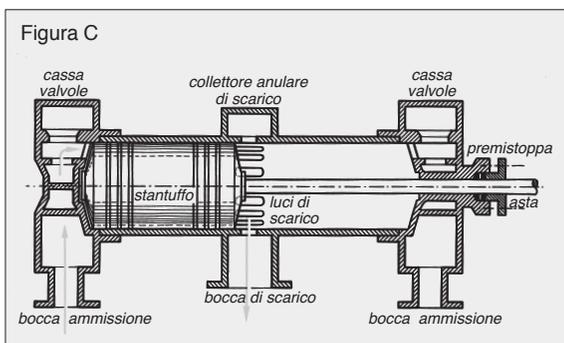
$$C = \frac{V_r}{V_c} \quad (27.5)$$

dove V_r è il volume rimasto nel cilindro per effetto della chiusura anticipata della luce; C varia fra 0,05 e 0,5 (dalle macchine lente a quelle veloci).

Le macchine alternative a vapore sono quasi sempre a **doppio effetto** con il cilindro chiuso all'estremità inferiore e correato da un premistoppa attraverso il quale scorre l'asta dello stantuffo che separa l'interno del cilindro in due camere a volume variabile entro le quali il vapore agisce alternativamente (in una avviene la fase di introduzione e di espansione e nell'altra la fase di scarico). Ciò avviene tramite un **dispositivo di distribuzione** che ha il compito di inviare il vapore alle due camere del cilindro nell'istante dovuto e permetterne l'efflusso quando richiesto; essi sono: a **cassetto piano** (meno costoso), a **cassetto cilindrico** e a **valvole** (di precisione).

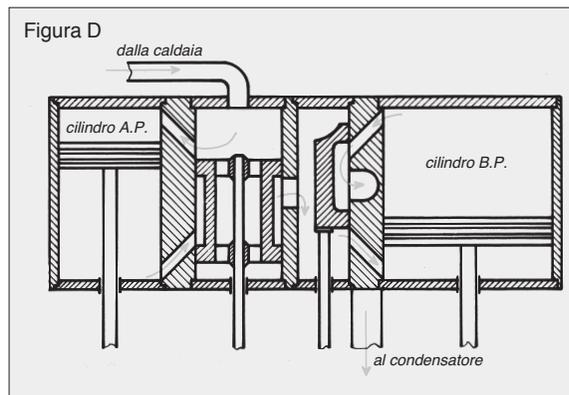
Riferendoci a una macchina con distribuzione a cassetto, la luce di ammissione viene attraversata alternativamente da vapore quasi secco (fase di ammissione) e da vapore molto umido (fase di scarico) subendo continui sbalzi termici che trasmette al vapore operante nei cicli seguenti. Il vapore che penetra nel cilindro, a contatto con le pareti relativamente fredde subisce una parziale condensazione con riduzione di volume e quindi di lavoro utile, mentre nella fase di espansione assorbe calore dalle pareti raffreddandole. Questa continua alternanza di condensazioni e di evaporazioni, oltre a ridurre il rendimento, può provocare gravi danni se, in seguito a una condensazione molto spinta, rimane nel cilindro una piccola parte di liquido (**effetto di parete o effetto Hirn**) che è tanto più preoccupante quanto maggiore è il salto di pressione fra ammissione e scarico; non potendo rinunciare al salto di pressione notevole (si ridurrebbe il lavoro prodotto), la soluzione del problema si ebbe con:

- **macchine equicorrenti** (figura C): motrici basate sul principio di far seguire al fluido sempre lo stesso



percorso nell'interno del cilindro; funzionano con alto grado di compressione e con espansione e incompleta onde creare un sufficiente sbalzo di pressione fra interno ed esterno per permettere un rapido deflusso del fluido;

- **macchine a espansione multipla** (figura D): l'espansione viene frazionata in più cilindri per **elevare la pressione di esercizio, adottare gradi di surriscaldamento elevato e distribuire lo sforzo motore su più bielle con maggior regolarità del regime di rotazione**. Tale espansione non può essere troppo frazionata per la complicazione costruttiva e perché l'ultimo della serie assumerebbe dimensioni enormi (il vapore espandendosi aumenta il proprio volume specifico e deve quindi trovare spazi sempre più grandi per la costanza della portata). La disposizione più frequente, per la macchina a duplice espansione (figura D), è quella a **cilindri affiancati** con manovelle non sfasate, sfasate di 90° o di 180° (motrici Woolf: consente una maggior uniformità del regime di rotazione). La disposizione con **cilindri in tandem** realizza una semplificazione costruttiva (unica biella e unica asta di comando del cassetto) ma il movimento risulta meno regolare non verificandosi la distribuzione dello sforzo motore su più bielle.



Una motrice con distribuzione a cassetto, correato da un unico eccentrico, può funzionare solo in un **determinato senso di rotazione. Poiché l'inversione del moto è impartata, è necessaria l'installazione di un secondo eccentrico, avente la stessa eccentricità del primo, ma calettato in modo simmetrico rispetto a quello di marcia avanti**. Il problema del collegamento dei due eccentrici alla piastra mobile fu risolto con l'inserimento di un glifo a forma di settore circolare (**settore di Stephenson**) alle cui estremità vi sono le aste degli eccentrici.

Riassumiamo i vari tipi di perdite:

- **perdite esterne:** dovute agli attriti, urti, dissipazioni della vena e scambi termici con l'esterno che producono riduzione di pressione e di temperatura (se il vapore è surriscaldato) o riduzione di pressione e di titolo (se il vapore è saturo). Si riducono con tu-

bazioni ampie e diritte, riducendo il numero dei gomiti e delle diramazioni e coibentando tutto il collegamento con materiali dotati di scarsa conducibilità termica;

- **perdite interne:** influiscono sull'energia posseduta dal vapore nell'attraversamento della motrice per laminazione, per spazio nocivo, per effetto di parete o per incompleta espansione.

Il **rendimento indicato** η_i è dato da:

$$\eta_i = \frac{L_i}{L_t} \quad (27.6) \quad \eta_i = \frac{A_i}{A_t} \quad (27.7)$$

dove L_i è il lavoro indicato e L_t quello teorico, analogamente per le aree del ciclo indicato e teorico. Il fluido operante nella camera superiore del cilindro sviluppa in un giro (2 corse) un lavoro indicato:

$$L_i = p_{mi} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot s \quad (27.8)$$

dove d è il diametro del cilindro, s la corsa dello stantuffo, p_{mi} la **pressione media indicata**. La **potenza indicata** P_i è data da:

$$P_i = p_{mi} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot s \cdot \frac{n}{60} \quad (27.9)$$

$$P_i = p_{mi} \cdot A \cdot V_m \quad (27.12)$$

dove A rappresenta l'area dello stantuffo, V_m la velocità media con cui lo stantuffo si muove entro il cilindro considerando che in una motrice a doppio effetto la P_i vale approssimativamente il doppio della (27.9) che non coincide con quella effettivamente resa P_u all'albero della motrice (per gli attriti meccani-

ci). I rendimenti sono:

- meccanico $\eta_m = P_u / P_i$;
- totale della macchina: $\eta = \eta_i \cdot \eta_m$;
- globale dell'impianto: $\eta_I = \eta_i \cdot \eta_{id} \cdot \eta_m \cdot \eta_g$ trascurando l'energia assorbita dai meccanismi ausiliari.

Le operazioni preliminari per l'avviamento dell'impianto a vapore sono:

- riempito parzialmente di acqua il collettore del generatore si procede alle prime accensioni;
- raggiunta la pressione di esercizio si apre un po' la valvola di intercettazione per riscaldare le tubazioni di collegamento con la motrice;
- si aprono le valvoline di spurgo sui cilindri motori per scaricare il liquido residuo e preriscaldare;
- si apre un po' la valvola di manovra facendo contemporaneamente ruotare (in modo lentissimo) la motrice mediante un piccolo motore (viradore);
- si forma il vuoto nell'eventuale condensatore;
- si chiudono gli spurghi e si disinserisce il viradore;
- si apre gradualmente la valvola di efflusso del vapore dal generatore, si avvia la motrice e poi si mette in moto la pompa di estrazione del condensatore e degli altri meccanismi ausiliari.

La condotta di queste motrici consiste nella lubrificazione manuale dei vari organi mentre la regolazione del moto può avvenire **riducendo la pressione del vapore all'introduzione** o **riducendo la quantità di vapore introdotta nei cilindri**.