

## Capitolo 22

Si definiscono **macchine termiche operatrici** (o **pneumofore**), quelle che utilizzano l'energia meccanica trasmessa da un'opportuna motrice, a loro collegata, per conferire al fluido (aeriforme) che le attraversa energia di pressione o energia cinetica.

In base alla pressione di mandata e al principio di funzionamento su cui è basata la compressione del fluido, abbiamo rispettivamente:

- **ventilatori:** con pressioni effettive di mandata non superiori a  $900 \div 1000$  mm c.a.;
- **soffianti:** atte a conferire pressioni di mandata comprese fra 0,5 e 3 bar effettivi;
- **compressori:** le cui pressioni di mandata sono teoricamente illimitate;

e **macchine:**

- **alternative:** adottate per le alte pressioni;
- **rotative** (assiali, centrifughe, elicoidali): caratterizzate da un alto valore della portata;
- **volumetriche:** basate sul principio di creare vani interni a volume variabile; si adottano per portate medie con limitate pressioni di mandata.

Nella categoria delle macchine termiche operatrici possiamo includere le **macchine frigorifere** anche se è più esatto parlare di *impianti per la produzione del freddo*. Dallo studio della termodinamica sappiamo che quando un fluido subisce una serie di trasformazioni descrivendo un ciclo termico chiuso percorso in senso orario, esso è in condizione di sviluppare un certo lavoro. **Se il fluido percorre il ciclo termico in senso antiorario, esso assorbe calore dal refrigerante e lo cede alla sorgente** (a temperatura più alta) **utilizzando lavoro meccanico fornito a esso dall'esterno**. Conclusione che è in accordo con il **principio di Clausius** secondo il quale il calore può essere trasmesso da un corpo a bassa temperatura a uno avente temperatura maggiore solamente spendendo una certa quantità di lavoro.

Le grandezze che caratterizzano l'impiego di una macchina pneumofora sono: **portata** e **prevalenza**. Si definisce **portata massica**  $q_m$  di una macchina termica operatrice la massa di fluido che l'attraversa nell'unità di tempo; la **portata volumetrica**  $q_v$  aspirata è il volume di fluido che attraversa la macchina nell'unità di tempo riferita alle condizioni di aspirazione. Allo scopo di effettuare confronti fra le varie macchine, la portata aspirata viene ridotta alle condizioni medie ambientali ( $p = 101\,325$  Pa e  $t = 0$  °C) e un metro cubo di aria viene definito **normale** «Nm<sup>3</sup>»; **la portata volumetrica viene perciò misurata in Nm<sup>3</sup>/s o in Nm<sup>3</sup>/h**. Si definisce la **prevalenza** come l'energia comunicata dalla macchina all'unità di peso di fluido che l'attraversa.

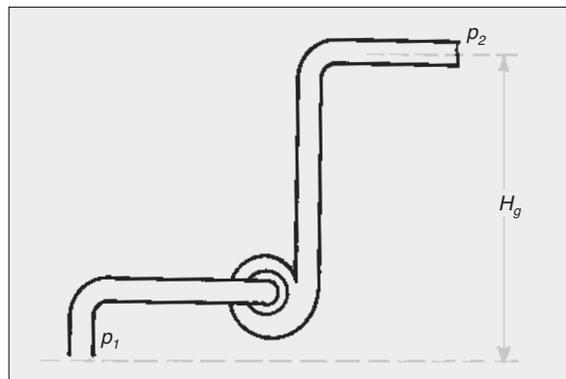
Lo studio dei ventilatori risulta notevolmente semplificato se si considera che la lievissima differenza fra la pressione di mandata e di aspirazione, ciò consente di trascurare le piccole variazioni di densità del fluido operante che **potrà perciò essere considerato incompressibile a somiglianza di un liquido**. Di conseguenza saranno valide l'equazione della portata, l'equazione di continuità e il teorema di Bernoulli. Definiremo **circuito di ventilazione** un complesso di tubazioni in cui circola l'aria aspirata dall'ambiente, tramite il ventilatore e nello stesso ambiente ritorna dopo un percorso più o meno breve. Con riferimento alla figura, si definisce **prevalenza manometrica**  $H_m$  del ventilatore:

$$H_m = H_g + \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} \quad (22.1)$$

Il valore della pressione  $H_p$  che il ventilatore deve comunicare al fluido aspirato (**prevalenza totale**) è:

$$H_p = p_2 - p_1 + \rho \cdot \frac{V_2^2}{2} \quad (22.5)$$

dove  $p_2 - p_1$  è detto **prevalenza statica** (energia necessaria affinché il fluido possa vincere le resistenze passive (perdite di carico) incontrate lungo il circuito) e  $\rho \cdot V_2^2/2$  è la **prevalenza dinamica** (energia impressa al fluido affinché esso possa effluire nell'ambiente esterno con la velocità  $V_2$ ).



Note le caratteristiche funzionali di un ventilatore (portata e prevalenza) è possibile valutare la **potenza effettiva** della macchina  $P_e$  dalle seguenti:

$$\rho \cdot g \cdot q_v \cdot H_m \quad (22.6)$$

$$g \cdot q_m \cdot H_m \quad (22.7)$$

$$q_v \cdot H_p \quad (22.8)$$

La **potenza assorbita** è maggiore della potenza effettiva a causa delle dissipazioni di energia nell'interno della macchina pneumofora; definiremo:

- il **rendimento fluidodinamico**  $\eta_f$  che tiene conto del-

le perdite dovute a urti, deviazioni della vena, occlusioni, moti vorticosi ecc. (corrisponde al rendimento idraulico delle pompe). Anche il ventilatore dovrà essere conformato in modo da soddisfare i due noti aforismi idraulici;

- il **rendimento volumetrico**  $\eta_v$  dovuto alle perdite di fluido all'esterno o attraverso i giochi esistenti fra parti fisse e mobili della macchina;
- il **rendimento meccanico**  $\eta_m$  dovuto alle dissipazioni di energia per attriti fra le varie parti meccaniche.

Il rendimento totale del ventilatore è:  $\eta = \eta_f \cdot \eta_v \cdot \eta_m$  (22.9) e la potenza assorbita dalla macchina risulta:

$$P_a = \frac{\rho \cdot g \cdot q_v \cdot H_m}{\eta} \quad (22.10)$$

$$P_a = \frac{q_v \cdot H_p}{\eta} \quad (22.11)$$

I **ventilatori** più comuni sono di due tipi:

- **centrifughi**: si adattano facilmente a impieghi svariati in relazione all'ampia gamma di prestazioni che possono fornire ricorrendo, come per le pompe, alle giranti in serie. Il principio di funzionamento è come per le pompe: una girante palettata ruota entro una cassa spiraleiforme spingendo, per effetto della forza centrifuga, il fluido verso la periferia e costringendolo a imboccare la chiocciola attraverso la quale perviene poi all'utilizzazione dotato di una certa energia (potenziale di pressione, oppure cinetica) che dipende dalla conformazione assegnata alle palette della girante (**ventilatori a marcia retrograda e a marcia diretta**). Se il ventilatore deve essere atto a conferire energia sotto **forma potenziale di pressione**, il vettore che rappresenta la velocità assoluta di uscita deve essere il **più piccolo possibile** (si incurvano le palette all'indietro rispetto al senso di rotazione della girante). Nei casi in cui sia richiesta una **forte velocità** del fluido elaborato, si ricorre a un criterio costruttivo opposto. Comunque le palette dovranno sempre soddisfare la condizione di tangenza nella sezione di ingresso e dovranno essere conformate in modo che la **velocità assoluta di uscita** del fluido **assuma il valore massimo** (incurvando le palette in avanti nel senso del moto);
- **elicoidali**: concettualmente simili alle pompe omonime, sono normalmente impiegati per la ventilazione e il ricambio d'aria di ambienti chiusi. Essi constano di un mozzo alla cui periferia sono fissate 4 ÷ 10 pale elicoidali; il complesso ruota in una cassa cilindrica connessa alla tubazione di mandata o direttamente nell'ambiente da ventilare. Hanno un rendimento basso a causa dei moti vorticosi che l'aria assume perché trascinata dal moto rotatorio della girante, ma hanno il vantaggio del-

l'inversione del moto (estrattori dell'aria interna). Si migliora il rendimento inserendo dopo la girante una corona di pale fisse raddrizzatrici.

Le **soffianti** costituiscono l'elemento di passaggio dai ventilatori ai compressori in relazione alla pressione di mandata (0,5 ÷ 3 bar effettivi); la maggior parte delle soffianti è di tipo rotativo volumetrico, sfruttando il principio di comprimere l'aeriforme entro una cavità il cui volume decresce e aumenta periodicamente, per effetto del moto di rotazione dell'organo mobile, posto normalmente in posizione eccentrica rispetto alla carcassa.

La macchina delle **soffianti a palette** è composta da una carcassa cilindrica entro la quale ruota, in posizione eccentrica, un rotore munito di scanalature radiali, ove sono alloggiate delle sottili palette premute contro la parete interna del rotore da piccole molle inserite alla base delle scanalature o dalla forza centrifuga che si sviluppa durante il moto del rotore. Due palette consecutive delimitano una piccola celletta il cui volume varia periodicamente in un giro. L'efficacia della macchina è strettamente legata alla tenuta esercitata dalle palette contro le pareti della carcassa; ciò comporta una notevole usura degli spigoli che è bene ridurre al minimo indispensabile interponendo una coppia di anelli striscianti o un *tamburo di rotolamento*. Tra il tamburo di rotolamento e il cilindro esterno il gioco è ridottissimo e talvolta colmato da un sottile velo di lubrificante per ridurre le perdite volumetriche; quando la macchina è in moto, le palette aderiscono al tamburo e lo trascinano in rotazione.

La macchina delle **soffianti ad anello liquido** è costituita da un rotore cilindrico munito di una serie di palette fisse, diritte o curve, che sporgono radialmente, e da una cassa di profilo tale che il gioco fra ciascuna estremità delle palette e la superficie interna dello statore varia ciclicamente a ogni giro dell'albero. Il cilindro contiene un liquido molto fluido appropriato al gas che deve essere compresso in modo che durante il funzionamento si formi un tampone liquido contro le pareti interne per effetto della forza centrifuga. Lo spessore del tampone liquido dipende dalla distanza fra il centro del rotore e la parete interna della carcassa. Poiché la forma di quest'ultima si approssima a un'ellisse, lo spazio limitato dal tampone varia periodicamente quattro volte in un giro: due valori massimi e due minimi. La pressione di mandata è 1 ÷ 1,5 bar con portate fino a 8500 m<sup>3</sup>/h. Le soffianti volumetriche si prestano al collegamento diretto con motori elettrici.

Nelle **soffianti a doppio rotore** la compressione del fluido è ottenuta mediante compenetrazione reciproca di due superfici coniugate appartenenti a due distinti organi che ruotano intorno a due assi paralleli:

- **soffiante Roots**: è costituita da una cassa ovoidale entro la quale ruotano due rotori a lobi con gene-

ratrici rettilinee calettati su due alberi paralleli. Le superfici esterne dei rotori sfiorano con minimo gioco la parete interna della carcassa in modo da «imprigionare» il fluido trascinandolo dalla bocca di aspirazione a quella di mandata, dove, per la reciproca compenetrazione delle superfici coniugate, esso viene assoggettato a una modesta compressione. Poiché ogni rotore genera una cella il cui volume varia periodicamente (da un minimo a un massimo) due volte ogni giro dell'albero, la macchina dà luogo a quattro impulsi di aria per giro; la portata è pulsante e ciò rende rumorose le soffianti veloci. Per diminuire le pulsazioni della portata si adottano rotori con fianchi elicoidali;

- **soffiante Lysholm:** è una combinazione fra una soffiante Roots e una pompa a vite; è munita di due rotori a lobi con fianchi elicoidali: *maschio* (lobi con fianchi convessi) e *femmina* (lobi con fianchi concavi). Quando la macchina è in moto, fra i due lobi si forma una coppia di celle nelle quali l'aria si introduce attraverso la luce di aspirazione; procedendo la rotazione, il volume delle celle continua ad aumentare fino al riempimento massimo, dopodiché i due elicotidi entrano nuovamente in presa comprimendo il fluido che trova sfogo attraverso la luce di mandata.