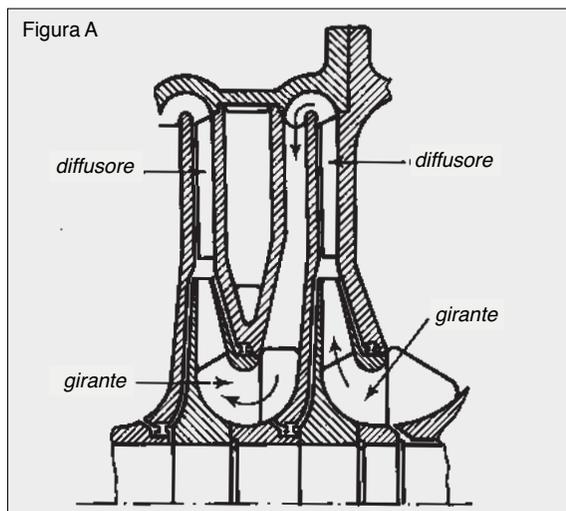


Capitolo 24

I compressori rotativi consentono portate talvolta enormi con pressioni di mandata sufficientemente elevate se pur non altissime come quelle conseguite dalle macchine a stantuffo. Essi sono basati sul principio di ottenere la compressione in base a variazioni continue di velocità. Possono essere a:

- **flusso radiale** (compressori centrifughi): non differiscono dalle pompe omonime, salvo che per la differente natura del fluido elaborato. Il principio di funzionamento (figura A) è: l'aria viene aspirata attraverso l'apertura centrale e immessa nella girante ove acquista una forte velocità, per effetto della forza centrifuga; penetra poi nel diffusore (che circonda la girante) entro il quale sono disposte delle palette che creano dei canali a sezione crescente; **l'aria perde velocità e acquista pressione** (principio di Bernoulli) e giunta alla periferia estrema, imbecca altri canali che la riconducono, in senso radiale-centripeto a imboccare una seconda girante, dalla quale acquisterà altra velocità che poi convertirà in pressione nel successivo diffusore. **La pressione di mandata conseguibile dipende dalla velocità periferica della girante (fino a 500 m/s); con l'installazione di una sola girante difficilmente si supera un rapporto di compressione intorno a 4; per i compressori aeronautici si può arrivare a 8, a scapito di un minor rendimento.** Per pressioni di mandata superiori la macchina centrifuga deve essere del tipo multistadio, fino a 12÷15 giranti calettate su un albero e racchiuse in una carcassa nella quale sono ricavati i canali diffusori che presentano dimensioni sempre minori (minore è il volume specifico assunto dal fluido in seguito alla compressione parziale) e lo stesso per le giranti (lo spessore diminuisce dall'aspirazione alla mandata del compressore). Il raffreddamento intermedio del fluido si può ottenere:
 - **tramite intercapedini prossime ai diffusori e ai**

Figura A



canali di ritorno nell'interno della carcassa;

- **iniettando nel fluido compresso liquidi evaporabili** atti ad asportare una parte del calore;
- **tramite scambiatori di calore a fascio tubiero.**

Con gli stadi multipli è possibile una compressione del fluido fino a $\cong 300$ bar e una portata di $50 \div 3500 \text{ Nm}^3/\text{min}$ (senza refrigerazione) o $150 \div 1700 \text{ Nm}^3/\text{min}$ (con refrigerazione).

Richiamiamo alcuni concetti utili per gli esercizi. Un compressore è un sistema aperto e il primo principio della termodinamica (riferito all'unità di massa) è: $q - l = \Delta h$ dove q è il calore massico fornito al sistema, l è il lavoro massico e Δh è la differenza di entalpia specifica. Per una compressione isentropica il calore scambiato è nullo ($-l = \Delta h$), la potenza assorbita dal compressore, il lavoro e il rendimento isentropico sono rispettivamente:

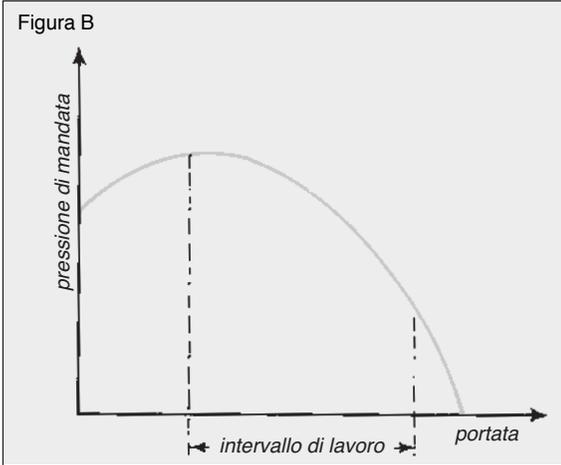
$$P = q_m \cdot l$$

$$l_{is} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot p_1 \cdot v_1 \cdot \left(\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right)$$

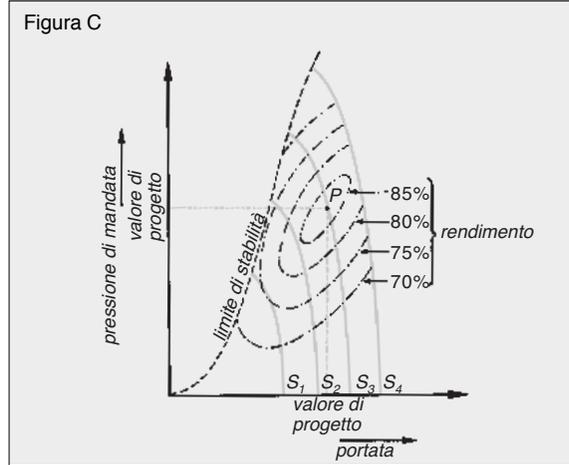
$$\eta_{is} = \frac{l_{is}}{l}$$

dove q_m è la portata massica. **Nei compressori centrifughi, portata e pressione di mandata sono direttamente legate fra loro (ad un aumento dell'una corrisponde una riduzione dell'altra);** per ogni regime di rotazione si può tracciare una **curva caratteristica** della macchina (figura B) ognuna delle quali ha un massimo rendimento. Dalle curve caratteristiche e di isorendimento (figura C) si nota che il campo di funzionamento è delimitato a sinistra da una linea limite, al di là della quale il funzionamento del compressore non è più regolare (a causa del *pompaggio* e dello *stallo rotante*). L'azionamento dei compressori centrifughi avviene con turbine a vapore o a gas, oppure con motori elettrici accoppiati direttamente o con l'inserzione di opportuni moltiplicatori a ruote dentate. Se la motrice lo consente, si regola la portata riducendo il regime di rotazione, altrimenti si strozza l'aspirazione del compressore;

- **flusso longitudinale** (compressori assiali): in genere a più stadi e spesso con refrigerazione intermedia. Sostituiscono efficacemente i precedenti nel campo delle alte e altissime portate perché la macchina centrifuga risulterebbe molto ingombrante e il rendimento è minore; mentre per quanto concerne le pressioni di mandata, praticamente si equivalgono. Nel campo delle basse portate, il compressore centrifugo risulta più conveniente di quello assiale. Le macchine pneumofore



di tipo assiale (figura D) sono concettualmente simili alle turbine a reazione; constano di un numero notevole di stadi di compressione ciascuno dei quali è realizzato mediante due serie di corone palettate, una fissa alla carcassa e l'altra mobile con il rotore calettato sull'albero. In figura E vi è il principio di funzionamento relativamente a un singolo stadio intermedio: sia c_1 la velocità assolu-



ta con la quale il fluido abbandona la corona di palette fisse poste a monte della girante (G) e u la velocità periferica della girante stessa valutata in corrispondenza del suo diametro medio; componendo i vettori c_1 e $-u$ si ricava il vettore w_1 (velocità relativa di ingresso nella girante) cui le singole palette mobili debbono risultare tangenti per rendere massimo il rendimento fluidodinamico della macchina. **La curvatura conferita alle palette della girante fa sì che la macchina somministri al gas un certo lavoro che si riflette in un aumento della velocità assoluta, mentre quella relativa diminuisce per effetto del graduale aumento della sezione dei condotti.** Il gas esce dalla girante con una velocità relativa $w_2 < w_1$; componendo w_2 e u si determina il vettore c_2 (velocità assoluta di uscita) la cui entità andrà successivamente diminuendo (a favore di un aumento di pressione) nell'attraversamento dei condotti fissi a sezione crescente, ricavati nel diffusore seguente. **Il rendimento fluidodinamico si abbassa sensibilmente non appena il regime di rotazione e la quantità di fluido elaborato si discostano dalle condizioni di progetto.** Portata e pressione di mandata sono strettamente legate fra loro, dando origine a una curva caratteristica (figura F) sensibilmente decrescente

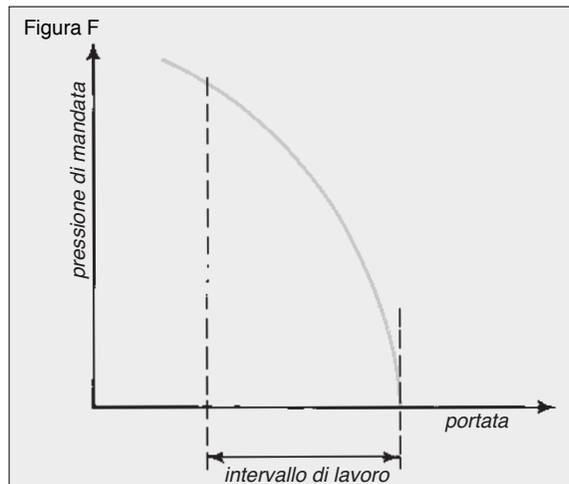
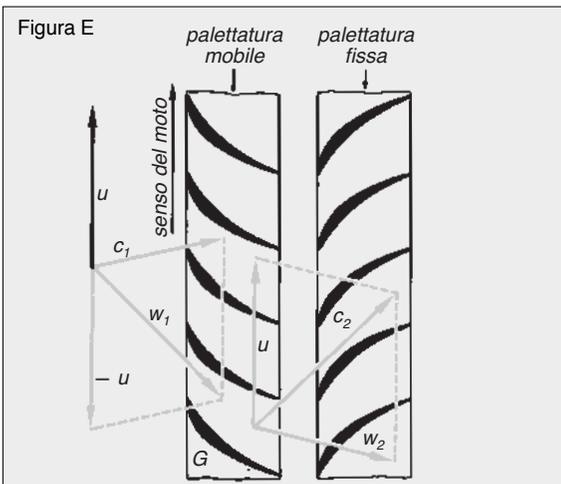
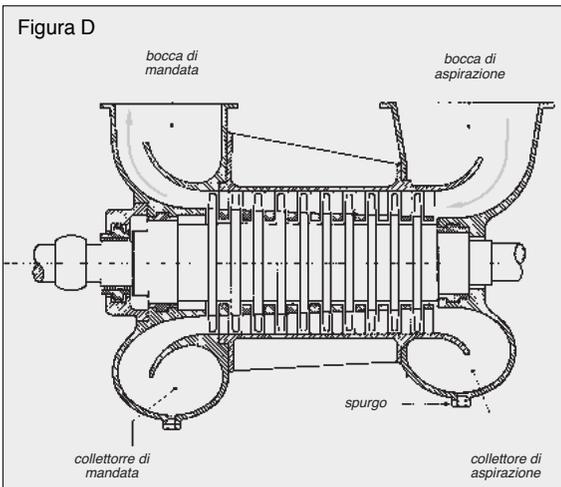
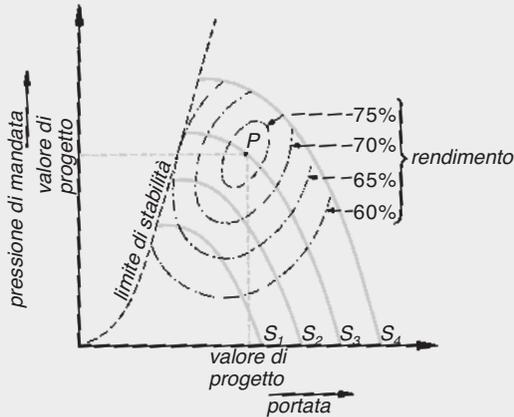


Figura F



con l'aumentare della portata (ciò le rende poco adatte a soddisfare utenze variabili). Al variare del regime di rotazione si possono tracciare diverse curve caratteristiche, ciascuna delle quali presenta un punto di massimo rendimento; collegando tutti i punti con lo stesso valore del rendimento (figura G) si ottiene una serie di curve concentriche assimilabili a ellissi dalle quali è facile individuare il campo di utilizzazione del compressore. L'azionamento e la regolazione sono come per i compressori centrifughi; inoltre consentono un ulteriore sistema di regolazione della portata variando l'angolazione delle palette del primo diffusore in modo da strozzare l'aspirazione.

La struttura di un compressore centrifugo non si discosta eccessivamente da quella di una pompa multistadio. L'**involucro** (o **cassa**) può essere: aperta orizzontalmente (consentono una notevole semplicità di montaggio e smontaggio) o verticalmente. I **diaframmi** costituiscono la profilatura fluidodinamica della parte statorica del compressore; si suddividono in: diaframmi di aspirazione, di mandata ed intermedi. L'**organo mobile** del compressore centrifugo è costituito dall'albero, dalle giranti calettate su di esso dagli eventuali distanziatori, dalla ralla mobile del reggisplinta e dallo stantuffo equilibratore. Le **giranti** possono essere aperte o chiuse. Alle due estremità dell'albero sono installati degli organi di tenuta per evitare l'efflusso all'esterno del gas compresso o la rientrata di aria nel compressore; le **tenute a olio** sono formate da due anelli flottanti, ri-

vestiti di metallo antifrizione, fra i quali si crea un piccolo spazio ove perviene l'olio sotto pressione costituendo un tampone liquido che impedisce l'uscita del gas. Parte dell'olio tuttavia sfugge attraverso i giochi esistenti fra anelli ed albero. Le due tenute a labirinto poste ai due lati di quella a olio impediscono che il lubrificante venga a contatto con il gas elaborato.

Per i compressori assiali, cuscinetti, organi di tenuta, e stantuffo equilibratore non differiscono dai precedenti. L'involucro che racchiude il rotore è quasi sempre costituito da due semicorpi uniti (da un bordo flangiato) secondo un piano orizzontale assiale. Il rotore porta le consuete serie di palette (in acciaio legato) i cui codoli sono inseriti nelle scanalature.

Il **vuoto assoluto** è industrialmente irraggiungibile ma si riescono ad ottenere anche pochi decimillesimi di mm di Hg. La misurazione degli alti vuoti si basa su:

- bombardamento molecolare dovuto alla differenza di temperatura (radiometro di Knudsen);
- influenza della viscosità del fluido (vacuometro di Langmuir);
- conducibilità termica del fluido rarefatto (vacuometro di Pirani);
- ionizzazione del fluido.

Con il termine **pompe a vuoto** si intendono quelle macchine pneumofore che aspirano da un contenitore in cui regna una pressione inferiore o uguale a quella atmosferica per espellere poi il fluido aspirato nell'ambiente esterno. Esse **operano con prevalenza variabile nel tempo**, in quanto diminuisce la pressione di aspirazione rimanendo costante quella di mandata variando anche la portata. Rispetto a un compressore tradizionale, il rapporto di compressione di una pompa a vuoto meccanica è enorme; nel caso di un vuoto di 0,01 mm Hg espellendo il gas alla pressione atmosferica (760 mm Hg): $\beta = 760/0,01 = 76000$. **Le pompe a vuoto di tipo meccanico fruiscono di sistemi di tenuta a olio e spesso la mandata della pompa è in serie con l'aspirazione di un comune compressore o di una soffiante Roots.** Per pressioni fra 0,005 e 0,001 mm Hg, si ricorre alle pompe **a diffusione** in serie con una pompa meccanica.