

## 16.10. Le turbine idrauliche a reazione



### 16.10.1. Caratteristiche geometriche e di funzionamento delle turbine a reazione: la turbina Francis

#### Il diffusore

Il diffusore (o «tubo di aspirazione») (Figura 1), ha la funzione di recuperare la maggior parte dell'energia cinetica allo scarico della girante, oltre che di consentire alla turbina di sfruttare il salto netto  $H_n$  pressoché per intero, recuperando l'altezza ( $h$ ) del tubo aspirante. La forma tronco-conica del tubo diffusore determina alla sua sommità (in corrispondenza cioè della sezione minima, posta in vicinanza dello scarico della girante, sezione 2 di Figura 1) una depressione ( $-\Delta p_2$ ): ciò significa che il salto di pressione disponibile nella girante è stato (virtualmente) accresciuto (di  $+\Delta p_2$ ) in quanto, se non vi fosse stato il diffusore, la pressione nella sezione 2 sarebbe stata quella atmosferica.

Applicando il teorema di Bernoulli tra le sezioni 2 (di imbocco del diffusore) e 3 (di sbocco nel canale di scarico) (Figura 1) si ottiene:

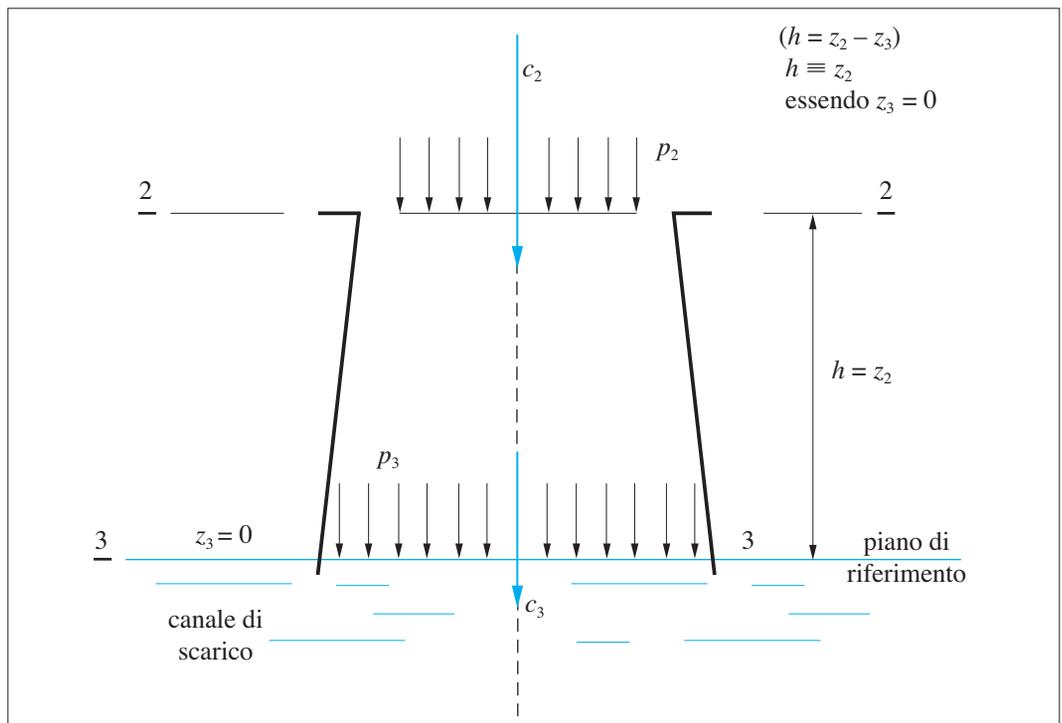
$$z_2 + \frac{c_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\rho \cdot g} = z_3 + \frac{c_3^2}{2 \cdot g} + \frac{p_3}{\rho \cdot g} + Y_{\text{diff}} \quad (1)$$

ove con  $Y_{\text{diff}}$  si sono indicate le perdite di carico lungo il diffusore.

Esplicitando  $p_2$ , la (37) può scriversi, essendo  $p_3 = p_{\text{atm}}$  (pressione atmosferica):

$$p_2 = p_{\text{atm}} - \left[ \frac{c_2^2 - c_3^2}{2} \cdot \rho + \rho \cdot g \cdot (z_2 - z_3) \right] + \rho \cdot g \cdot Y_{\text{diff}} \quad (2)$$

Realizzando tubi diffusori a divergenza modesta, (normalmente l'angolo di conicità è di circa  $8^\circ$ ) le perdite di carico  $Y_{\text{diff}}$  risultano molto contenute, per cui la pressione  $p_2$  allo



► FIGURA 1  
 Schema di tubo di aspirazione per turbina a reazione tipo Francis «lenta».

scarico della girante può risultare inferiore a quella atmosferica («scarico in depressione»). Il valore di  $p_2$  non può però raggiungere livelli troppo bassi per il pericolo dell'insorgere, nella sezione di pressione minima, del fenomeno della cavitazione, già visto a proposito delle pompe. (Come si ricorderà, la cavitazione oltre a causare l'interruzione della vena fluida – per effetto del cuscinetto di aria e vapore che si viene a creare, ove la pressione raggiunge i suoi valori minimi, in seguito all'evaporazione del liquido e alla liberazione dell'aria in esso disciolta – produce danni irreparabili agli organi della macchina, danni imputabili alle sovrappressioni derivanti dal collasso delle bollicine di gas formatesi in precedenza nella zona di minima pressione.)

Per evitare l'insorgere della cavitazione, occorre dotare il tubo diffusore di un'altezza ( $h$ ) sufficientemente ridotta. A tale scopo la (38) può scriversi, esplicitando  $z_2 - z_3$ :

$$z_2 - z_3 = \frac{p_{\text{atm}} - p_2}{\rho \cdot g} - \frac{c_2^2 - c_3^2}{2 \cdot g} + Y_{\text{diff}} \quad (3)$$

Posto:  
si ottiene:

$$h = z_2 - z_3 = \frac{p_{\text{atm}} - p_2}{\rho \cdot g} - \frac{c_2^2 - c_3^2}{2 \cdot g} + Y_{\text{diff}} \quad (4)$$

Essendo poi:

$$\frac{p_{\text{atm}}}{\rho \cdot g} = \frac{101\,325 \text{ Pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 10,33 \text{ m (di colonna d'acqua)}$$

si ricava:

$$h = 10,33 - \left( \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{c_2^2 - c_3^2}{2 \cdot g} \right) + Y_{\text{diff}} \quad (5)$$

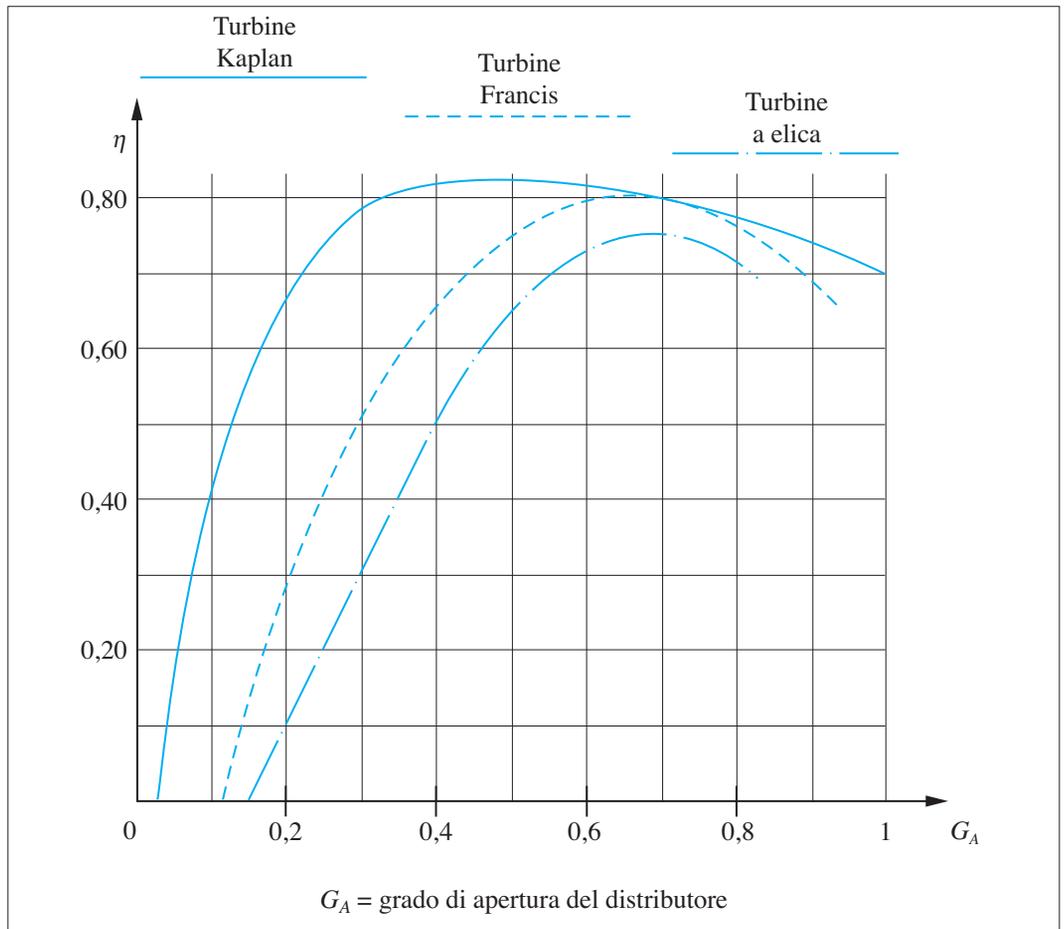
La (41) ci fa capire che, essendo di solito – come s'è detto – il valore di  $Y_{\text{diff}}$  abbastanza ridotto, l'altezza del tubo diffusore ( $h$ ), perché sia evitato il fenomeno della cavitazione, dovrà essere sempre minore di 10,33 m (generalmente infatti s'aggira sui 6 ÷ 7 m).

### 16.10.5. La regolazione delle turbine a reazione

Per quanto riguarda le turbine Francis, la rotazione contemporanea delle pale distributrici comporta anche l'alterazione dei triangoli delle velocità, triangoli che erano stati realizzati in modo da soddisfare i due aforismi idraulici; ne consegue allora che la velocità relativa d'ingresso  $w_1$  del liquido nella girante non è più tangente alle pale della girante stessa, con le conseguenze del caso (urti e dissipazioni di energia). Né sarà più minima la velocità assoluta del fluido in uscita ( $c_2$ ), come veniva richiesto dal secondo aforisma idraulico. In definitiva la turbina Francis raggiunge rendimenti elevati solo per quei valori della portata e del regime di rotazione per cui è stata progettata: se si modificano tali valori, ad esempio con la regolazione, il suo rendimento si può ridurre anche notevolmente.

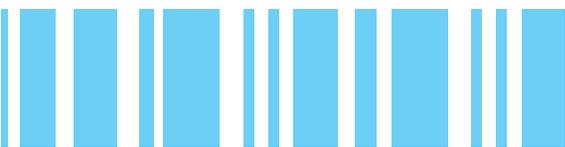
Non è così invece per le turbine Kaplan, nelle quali la regolazione avviene con l'azionamento contemporaneo sia delle pale del distributore (allo scopo di modificare – come accadeva anche per le turbine Francis – il valore della portata), sia delle pale della girante, le quali così possono essere orientate in modo da essere tangenti al vettore  $w_1$  per qualunque valore della portata.

Le turbine Kaplan pertanto sono caratterizzate da un rendimento che, contrariamente a quanto si verifica per le Francis, si mantiene prossimo al valore massimo in un campo di regolazione molto vasto (Figura 2).



► FIGURA 2  
Confronto tra le curve caratteristiche e dei vari tipi di turbine a reazione.

$G_A$  = grado di apertura del distributore



## ESERCIZI

### Quesiti

1. Il tubo diffusore ad asse verticale delle turbine Francis non può mai avere una lunghezza superiore a 10,33 m.  V  F