

Capitolo 32

Le turbine a reazione vengono impiegate quando si dispone di salti medi e bassi (fino a pochi metri) e sono progettate per elaborare grandi portate di acqua.

Il loro funzionamento è basato sull'azione combinata della forza centrifuga e della forza d'inerzia che si sviluppa quando il liquido, nell'attraversare un condotto a sezione decrescente, è soggetto a una accelerazione conseguente all'incremento di velocità.

Nel mulinello idraulico il liquido è soggetto a una forza centrifuga F_c diretta verso l'esterno e a una forza d'inerzia ($m \cdot a$) conseguente all'accelerazione che esso acquista per effetto del restringimento di sezione nella parte terminale. La composizione vettoriale di queste due forze dà luogo a una risultante R che produce la rotazione dell'insieme. Il moto del liquido avviene con introduzione assiale e scarico tangenziale-centrifugo. Il funzionamento delle turbine a reazione è basato sul principio ora descritto.

Una **turbina Francis** ha un distributore fisso a forma di corona circolare suddiviso mediante una serie di palette in tanti condotti la cui sezione va gradualmente decrescendo; l'acqua percorrendo questi condotti, acquista una certa velocità convertendo parte della sua energia potenziale in cinetica. Anche la girante è suddivisa in condotti a sezione decrescente e completa la trasformazione da **lavoro per azione a lavoro per reazione**. Nel caso di piccole cadute, la turbina può essere **in camera libera** altrimenti **la turbina è in camera a spirale**.

Allo sbocco della girante, l'acqua imbecca un tubo di forma tronco-conica (**tubo diffusore**) e fluisce in esso fino al canale di scarico. **La presenza del tubo diffusore permette di recuperare la quota perduta H_p , cioè di utilizzare, agli effetti della potenza fornita, l'intero salto netto H** . L'estremità del tubo è immersa nel canale di scarico; questa massa di liquido, che vi fluisce dentro con notevole velocità, provoca una depressione allo sbocco della girante e richiama il fluido operante nella macchina, **facendo sì che la sua velocità aumenti fino al valore massimo consentito dal salto netto H** . La depressione prodotta dal diffusore è tanto più alta quanto maggiore è la lunghezza del tubo (al massimo 7 m di lunghezza).

La progettazione di una turbina Francis deve soddisfare i due aforismi idraulici: la palettatura della girante dovrà essere conformata in modo che il bordo esterno di ogni singola pala risulti tangente al vettore v_1 (velocità relativa di ingresso). Costruito il triangolo delle velocità all'uscita, si determina la velocità assoluta c_2 che dovrà essere minima per ridurre le perdite di energia cinetica allo scarico (c_2 con direzione radiale). **La velocità periferica di massimo rendimento** di una turbina a reazione è:

$$u_1 = k_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (32.4)$$

cioè è funzione di una costante k_0 **uguale per tutte le turbine geometricamente simili a quella data** e della velocità torricelliana. Per aumentare la velocità periferica u_1 (quando è piccolo il salto netto H) si deve necessariamente aumentare k_0 , cioè occorre agire sul grado di reazione G (30.15) che varia fra 0,3 e 0,7 e sull'angolo α_1 (angolo formato dalla velocità c_1 con la tangente alla circonferenza esterna della girante) contenuto fra 20° e 35° .

Per il dimensionamento di massima di una turbina a reazione, in sede di progetto sono noti: il **salto netto H** o il dislivello geodetico H_g , la **potenza P** che la turbina dovrà erogare e il **regime di rotazione** della motrice (in funzione del numero di giri al minuto n).

Nel caso delle centrali idroelettriche, sono note le caratteristiche funzionali dell'alternatore, dalle quali si risale al numero di giri con la relazione:

$$n = 60 \cdot f / p$$

in cui f rappresenta la frequenza della corrente prodotta e p il numero delle coppie di poli dell'alternatore. Si procede al calcolo del numero di giri caratteristico (30.17) deducendo il tipo di turbina da installare e il suo grado di reazione G . Da quest'ultimo si ricava la velocità assoluta di efflusso dal distributore

$$c_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \eta_i \cdot H \cdot (1 - G)}$$

e poi la velocità periferica che assicura il massimo rendimento della turbina prefissando η_i ($0,82 \div 0,92$) e $1(20^\circ \div 35^\circ)$:

$$u_1 = \frac{\eta_i \cdot H \cdot g}{c_1 \cdot \cos \alpha_1}$$

Da ciò si ricava il **diametro nominale D** della girante ($u_1 \cdot 60 / \pi \cdot n$). Il numero delle pale del distributore z_0 e della girante z è limitato esclusivamente da fattori economici, purché sia sempre soddisfatta la condizione di creare condotti a sezione gradualmente convergente, tali da assicurare una velocità di efflusso pari a quella precedentemente calcolata.

Anche per le turbine Francis, come per le Pelton, si possono tracciare opportuni diagrammi, in funzione del grado di apertura del distributore, che mettono in evidenza le variazioni della potenza P e della portata q_v (analoghi a quelle delle turbine Pelton) e del rendimento η ($0,78 \div 0,90$) che è tanto più incurvato quanto maggiore è il numero di giri caratteristico.

La turbina Francis è una motrice che offre scarsa elasticità di esercizio; il suo impiego è preferibile ove il carico utile possa mantenersi pressoché costante o comunque variabile entro limiti poco estesi.

Per quanto riguarda la regolazione della potenza fornita, si riduce (o si aumenta) la portata di liquido che lavora entro la turbina modificando la sezione di passaggio del liquido attraverso i vari condotti tramite una rotazione delle palette mediante un **comando con catena interna** o un **comando con catena esterna** o un **comando ad anello esterno**.

L'arresto graduale di una turbina Francis, si può ottenere interrompendo il deflusso dell'acqua estendendo la rotazione delle pale del distributore fino a conseguire il mutuo contatto fra loro. Per l'arresto immediato, negli impianti che utilizzano dislivelli modesti, è sufficiente installare a monte della turbina un pozzo piezometrico che nel caso di un arresto brusco, il liquido, compresso dalla forza d'inerzia, risale lungo il tubo piezometrico e tracima all'esterno, evitando sollecitazioni anormali nelle condotte. Nel caso di forti dislivelli si ricorre ad uno scarico sincrono installato sulla condotta forzata a monte della turbina che permette, in caso di arresti improvvisi, di scaricare l'acqua direttamente nel canale sottostante.

La necessità di costruire motrici idrauliche atte a erogare potenze sempre più elevate, porta inevitabilmente a un aumento del numero di giri caratteristico (30.17) ricorrendo alle turbine a elica formate da:

- distributore: a forma di corona circolare con introduzione radiale del fluido operante;
- girante: ruota entro una camera cilindrica ed è costituita da un mozzo di grande diametro che porta un numero di pale molto limitato;

- pale: hanno profilo aerodinamico e sviluppo ridotto, per diminuire le resistenze di attrito che si oppongono al moto del fluido scorrente con notevole velocità;
- tubo diffusore: con la sua forma tronco-conica permette di recuperare parte dell'energia cinetica posseduta dal fluido che risulterebbe altrimenti perduta.

Le turbine a elica vengono progettate in modo che l'inclinazione delle pale soddisfi, nel migliore dei modi, il primo aforisma idraulico per un certo valore della portata e del regime di rotazione; hanno un rendimento notevole, purché se ne limiti opportunamente il campo di regolazione.

Le turbine Kaplan sono sostanzialmente identiche a quelle già descritte con l'unica variante del sistema di attacco delle pale al mozzo della girante: ogni pala è munita di un attacco a snodo in modo da poter variare la propria inclinazione soddisfacendo, in ogni condizione di carico, il primo aforisma idraulico; con questo accorgimento, il rendimento idraulico della motrice è soggetto a variazioni piccolissime dipendenti esclusivamente dall'entità della velocità di scarico mentre, per quanto concerne l'ingresso del fluido nella girante, esso si manifesta sempre nelle migliori condizioni. Una Kaplan offre un rendimento prossimo al valore massimo entro un campo di regolazione compreso fra il 20% e il 90% dell'apertura completa del distributore.

Dalla turbina Kaplan è derivata la turbina a bulbo (o sommersa) che ritroveremo nel secondo volume quando parleremo più in dettaglio dello sfruttamento dell'energia delle maree.