

www.unidocs.it

www.unidocs.it

www



www.unidocs.it

www.unidocs.it



www.unidocs.it

www.unidocs.it



www.unidocs.it

www.unidocs.it

## MACCHINE E SISTEMI ENERGETICI - PARTE C

## Domanda 1

## Impianti idroelettrici:

1. Definire il salto motore e spiegare la ragione per cui esso è inferiore a quello geodetico ed è indipendente dalla quota di installazione della macchina
2. Discutere i vantaggi e le problematiche legate all'utilizzo del diffusore negli impianti idroelettrici.
3. Spiegare come viene regolata la portata in una turbina Francis e come la regolazione influisce sull'efficienza della turbina.

1. Il salto motore quantifica l'energia meccanica della corrente fluida, messa a disposizione dalla macchina

$$H_m = (T_M - T_V) - y_{CF} - y_S = (z_M - z_V) + \frac{p_M - p_V}{\rho g} + \frac{v_M^2 - v_V^2}{2} - y_{CF} - y_S$$

$$\left. \begin{array}{l} p_M = p_V \\ v_M = v_V = 0 \end{array} \right\}$$

$$= z_M - z_V - y_{CF} - y_S = z_M - z_V - y_{CF} - \frac{v_S^2}{2g} \quad (\text{considerando anche il termine di efflusso})$$

È inferiore al salto geodetico a causa delle perdite nella condotta forzata e dalle perdite di efflusso dovute alla velocità allo scarico della girante.

È indipendente dalla quota di installazione della macchina, che non compare nella sua espressione (sarebbe  $z_T = z_{\text{TURBINA}}$ ); infatti, dipende solo dal salto geodetico tra monte e valle e dalle perdite.

2. Il diffusore viene usato, a valle della girante, per ridurre le perdite di efflusso, riducendo il termine  $\frac{v_S^2}{2g}$ , ovvero la velocità allo scarico, grazie a gradualità aumenti della sezione di passaggio che permettono di recuperare l'en. cinetica e trasformarla in en. di pressione.

Il vantaggio principale del suo utilizzo è, per l'appunto, quello di diminuire il termine di efflusso, infatti:  $y_{S,C} = \frac{v_{S,C}^2}{2g} > y_{S,DR} = \frac{v_{S,DR}^2}{2g}$  perché  $A_{S,DR} > A_{S,C}$  con  $C =$  condotta semplice  
 $DR =$  diffusore reale

(nel caso ideale, poiché  $A_{S,DI} \rightarrow \infty \Rightarrow y_{S,DI} = \frac{v_{S,DI}^2}{2g} = 0$ )

Lo svantaggio principale, invece, è legato all'aumento della possibilità di insorgenza di cavitazioni

$$p_2 - \Delta p_f > p_v + p_{sol} \quad \text{con } \frac{p_c}{\rho g} = \frac{p_v}{\rho g} - (z_2 - z_1) - \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + y_{CF, D}$$

$$\Rightarrow \frac{P_v}{\rho g} - \left( (z_2 - z_1) + \frac{P_v + P_{sol}}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \eta_{CF,D} \right) > \frac{v_2^2}{2g} + \frac{\Delta P_T}{\rho g}$$

Poiché il diffusore riduce le perdite di efflusso, il rischio di cavitazione aumenta perché il termine a sinistra della disuguaglianza ( $NPSH_D$ ) si riduce (al contrario di quanto avviene per le pompe).

3. In una turbina Francis, la portata viene regolata attraverso la modifica, tramite meccanismi, dell'angolo di incidenza delle pale del distributore (statore). Chiudendo il distributore, si ha che  $\alpha_1$  aumenta, quindi la componente meridiana diminuisce (di conseguenza, aumenta la componente tangenziale perché la  $v_1$  rimane costante in modulo).  $\beta_1$  non sarà più concorde col profilo palare e  $\alpha_2$  non sarà più ottimizzato, quindi  $v_{2T} \neq 0$ .

Il rendimento peggiora perché, aumentando  $\beta_1$ , il flusso entra nel rotore con maggiore deflessione e quindi, aumentando il carico palare, aumentano anche le perdite sul profilo (perdita localizzata in ingresso rotore). Inoltre, peggiora poiché  $v_{2T}$  non è più nulla, come in condizioni ottimizzate, quindi neanche il triangolo sarà più ottimizzato.

#### Domanda 2

##### Pompa centrifuga:

1. Si descriva il contributo dei vari termini che compaiono nella formulazione generalizzata per il calcolo del lavoro (formulazione indiretta del lavoro di Eulero).
2. Si illustri i triangoli di velocità all'uscita della girante al variare dell'angolo di scarico della palettatura.
3. Si derivi l'espressione del lavoro di Eulero e si discuta il suo andamento in funzione della portata. Si argomenta circa il rendimento della macchina e si descrivano le tipiche curve di prevalenza.

$$1. \text{ Per una macchina operatrice: } l_{eu} = \underbrace{\frac{v_2^2 - v_1^2}{2}}_1 + \underbrace{\frac{u_2^2 - u_1^2}{2}}_2 - \underbrace{\frac{w_2^2 - w_1^2}{2}}_3$$

- Il termine 1 indica la variazione di energia cinetica nel moto assoluto

- Il termine 2 indica la variazione di potenziale centrifugo

- Il termine 3 indica la variazione di energia cinetica nel moto relativo, chiamato anche effetto di reazione

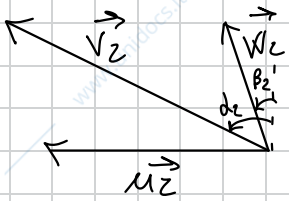
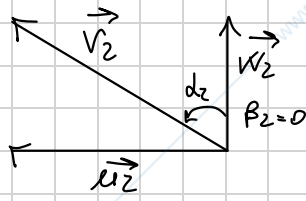
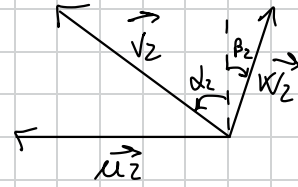
Per favorire gli scambi di energia tra fluido e macchina, si deve avere:

-  $v_2 > v_1 \rightarrow$  accelerazione nel moto assoluto

-  $u_2 > u_1 \rightarrow$  configurazione centrifuga

-  $w_1 > w_2 \rightarrow$  rallentamento nel moto relativo

2.

 $\beta_2 > 0$  (pale in avanti) $\beta_2 = 0$  (pale radiali) $\beta_2 < 0$  (pale all'indietro)

3.  $\ell_{eu} = u_2 v_{2t} - u_1 v_{1t}$  considerando ingresso radiale ( $v_{1t} = 0$ )

$$\Rightarrow \ell_{eu} = u_2 v_{2t} = u_2 (u_2 + w_{2t}) = u_2 (u_2 + w_2 \sin \beta_2)$$

considerando che  $Q = w_{2,m} \cdot A_2 = w_2 \cdot \cos \beta_2 \cdot A_2 \Rightarrow w_2 = \frac{Q}{A_2} \cdot \frac{1}{\cos \beta_2}$

$$\Rightarrow \ell_{eu} = u_2 \left( u_2 + \frac{Q}{A_2} \cdot \frac{1}{\cos \beta_2} \cdot \sin \beta_2 \right) = u_2 \left( u_2 + \frac{Q}{A_2} \tan \beta_2 \right)$$

esprimendo la prevalenza come:  $\eta_4 = \frac{gH}{\ell} \Rightarrow H = \eta_4 \frac{\ell}{g} \Rightarrow \ell = \frac{gH}{\eta_4}$

$$\Rightarrow \frac{gH}{\eta_4} = u_2 \left( u_2 + \frac{Q}{A_2} \tan \beta_2 \right) \Rightarrow H = \frac{\eta_4}{g} u_2 \left( u_2 + \frac{Q}{A_2} \tan \beta_2 \right)$$

$$\Rightarrow \ell_{eu} = u_2 \left( u_2 + \frac{Q}{A_2} \tan \beta_2 \right) \text{ ha un andamento lineare con la portata}$$

$$\eta(Q) = gH \frac{1}{u_2 \left( u_2 + \frac{Q}{A_2} \tan \beta_2 \right)} = \frac{gH}{\ell} \text{ il rendimento si riduce all'aumentare della portata,}$$

perché aumentano le perdite di carico e  $\eta_a + \eta_d \propto Q^2$

Di conseguenza, nel caso reale, le curve di prevalenza, poiché le perdite