

Centrali di pompaggio

Alberto Berizzi,
Dipartimento di Elettrotecnica
Politecnico di Milano

1

Pompaggio

- Accumulo in serbatoio dell'acqua prelevata da un bacino a quota inferiore
- Produzione di energia pregiata nelle ore di punta consumando energia a basso costo nelle ore notturne
 - “rendimento economico” superiore a 1
 - possibilità di non spegnere impianti nucleari o termici durante la notte

2

Rendimento

$$\eta = \eta_p \quad \eta_g = 0.87 \quad 0.89 = 0.77$$

$$\eta_p = \eta_{tr} \eta_m \eta_{po} \eta_{cp}$$

$$\eta_g = \eta_{cg} \eta_t \eta_a \eta_{tr}$$

$$\eta_{tr} = 0.995$$

$$\eta_m = 0.98$$

$$\eta_{po} = 0.90$$

$$\eta_{cp} = 0.99$$

$$\eta_{cg} = 0.98$$

$$\eta_t = 0.92$$

3

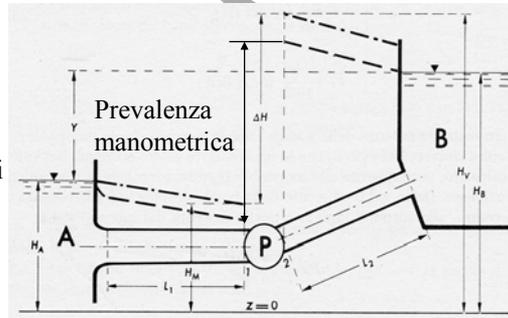
Sdoppiamento condotta gruppo di pompaggio 125 MW



4

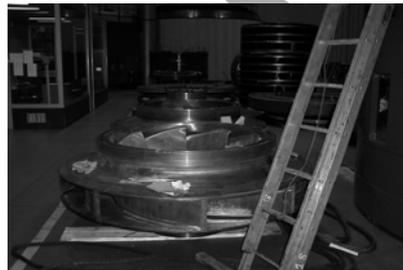
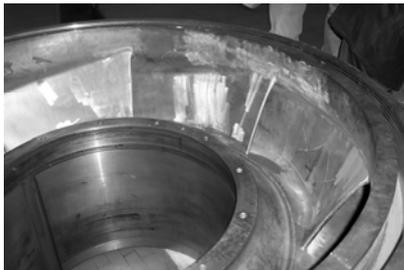
Pompe

- Si tratta di pompe centrifughe, di costruzione analoga alle turbine a reazione, nelle quali il moto del fluido è invertito: ogni stadio della pompa è simile a una turbina a reazione lenta
- L'azione centrifuga determina in uscita uno stato di pressione e imprime una velocità ai filetti fluidi
- Data l'inversione del moto, nel funzionamento in pompaggio c'è maggior pericolo di cavitazione (a causa delle perdite di carico)
- Tenute critiche (acqua in contropressione)
- Difficili da controllare



5

Pompa da 100 MW



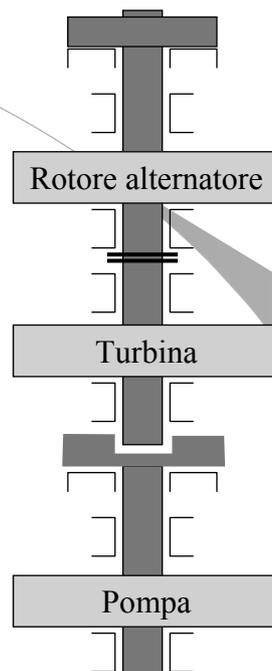
6

Definizioni per il pompaggio

- Prevalenza manometrica: differenza tra le indicazioni di due manometri posti a monte e a valle di una pompa
- In base al numero di giri caratteristico, le pompe si dividono in
 - centrifughe lente (200-120 m)
 - centrifughe normali (120-40 m)
 - centrifughe veloci (40-20 m)
- Se il salto è rilevante, si utilizzano le pompe a più stadi in serie e per ciascuno stadio si valuta il numero di giri caratteristico
- Se la portata è rilevante, si possono utilizzare più pompe in parallelo per frazionarla

7

Disposizione gruppo ternario



8

Sviluppo dell'albero



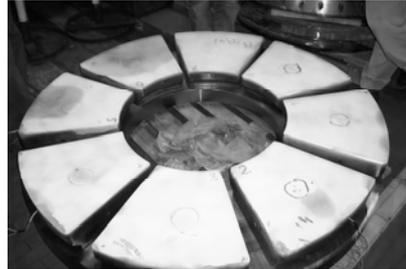
9

Aspirazione pompa



10

Michell



11

Michell pompa e tenute



12

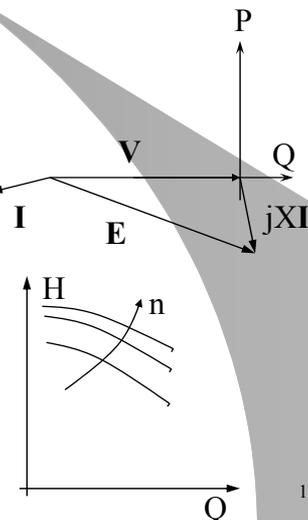
Gruppi ternari

- Necessità di sdoppiare la condotta
- Verticali: grande sviluppo verticale
 - dall'alto al basso si ha:
 - alternatore
 - turbina
 - giunto (funziona a albero fermo)
 - pompa (di solito 10 m sotto l'acqua allo scarico)
 - Supporti:
 - alternatore: due guida e un Michell sopra
 - turbina: due guida
 - pompa due guida e un Michell (sopra o sotto)
- Orizzontali: quasi in disuso
 - possono essere installati sopra o sotto il livello allo scarico: nel primo caso, per adescare il pompaggio si può avere una pompa ausiliaria
 - la turbina e la pompa sono calettate alle due estremità dell'albero
 - due supporti per ogni macchina e due giunti in tutto
- Durante il pompaggio, la turbina a azione è svuotata dell'acqua ed è sede solo di perdite di ventilazione; nella turbina a reazione si inietta aria in pressione e la si svuota dell'acqua (si deve mantenere l'irrorazione alle tenute)
- Durante la generazione, la pompa deve al contrario essere disinserita mediante il giunto perché non adatta a essere svuotata

13

Avviamento in pompaggio (gruppo ternario)

- Accoppiamento del giunto
- Riempimento della pompa, se non è già piena (con valvola condotta chiusa)
- Avviamento del gruppo con la stessa sequenza dell'avviamento in generazione: il distributore è più aperto per vincere la coppia resistente della pompa
- Parallelo con la rete
- Chiusura del distributore di turbina e della valvola e funzionamento come motore: $\delta < 0$, $\cos\varphi \approx 1$ (l'acqua nella pompa si riscalda, è un corto circuito idraulico, $P = 0.3-0.5 P_{MAX}$)
- Apertura della valvola della pompa
- Regolazione dell'eccitazione in funzione delle esigenze di potenza reattiva
- La regolazione della portata avviene con una valvola dissipatrice oppure variando in qualche modo la velocità (di solito tutto o niente)



14

Cessazione del pompaggio

- Chiusura della valvola a monte della pompa
- Apertura del motore e fermata del gruppo (eventualmente con frenatura esterna)
- Distacco del giunto

15

Gruppi binari

- Gruppi binari: la turbina è reversibile e invertendo il moto si ottengono i due tipi di funzionamento
- Dimensioni ridotte della centrale: sensibile economia sulle opere civili
- Non c'è più il giunto
- Non ci sono perdite di ventilazione in turbina durante il pompaggio
- Il rendimento è inferiore in entrambi i tipi di servizio
- Maggiore tempo per passare da un servizio all'altro
- Salti piccoli: la Francis è come una pompa a uno stadio
- Salti più elevati: si utilizza la pompa multistadio come turbina. Le prime macchine avevano la regolazione sul distributore, oggi (Edolo) le macchine non regolano più e sono più compatte: in questo caso, la regolazione di portata si potrebbe ottenere direttamente con la valvola rotativa

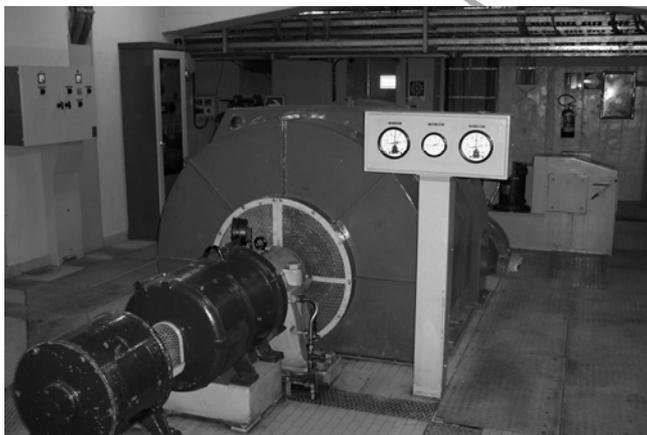
16

Gruppi binari

- Il gruppo funziona con due sensi di rotazione: si deve invertire il senso di rotazione mediante un gioco di sezionatori
- Avviamento in generazione: poiché non esiste il distributore, si apre direttamente la rotativa che parzializza
- In fase di pompaggio, non si può avviare come turbina; bisogna portare al sincronismo il gruppo
 - avviando l'alternatore come asincrono (a piena tensione-correnti elevate o con autotrasformatore-bassa coppia di spunto)
 - con turbina ausiliaria (la sua potenza sarebbe 15 MW a Edolo!):
 - ingombro
 - difficoltà in caso di manutenzione
 - aumento del tempo di avviamento
 - perdite di ventilazione
 - vibrazioni
 - con motore asincrono di lancio
 - avviamento sincrono a f variabile (con rete a f variabile, con variatore statico – molto potente -, *back to back* con gruppo gemello)

17

Turbina ausiliaria



18

Avviamento *back-to-back*

- E' un avviamento sincrono a f crescente con un gruppo gemello, della stessa o di un'altra centrale
- E' un sistema molto rapido
- Due gruppi: uno funziona come generatore e trascina l'altro che funziona come motore sincrono con il primo; la rete è separata
- L'eccitazione controlla inizialmente la corrente di eccitazione, senza regolatore di tensione, che tenderebbe a forzarla per la V bassa; quando la f sale al valore nominale, si effettua il parallelo con la rete e entra in funzione il regolatore di tensione
- A questo punto, si ferma il gruppo-turbina, chiudendo il distributore, e si apre la valvola del gruppo-pompa
- Si possono avviare contemporaneamente la metà dei gruppi della centrale
- E' necessaria una sorgente indipendente per l'eccitazione
- La pompa è piena di acqua: ciò evita vibrazioni

19

Protezioni particolari

- Se manca tensione durante il pompaggio, quando la velocità dell'acqua scende sotto una soglia, per evitare che il moto in condotta si inverta, si chiude la mandata con
 - una valvola a fuso (tipo spina Pelton), intrinsecamente sicura, e se questa fallisce oppure non è presente
 - una valvola rotativa di riserva

20