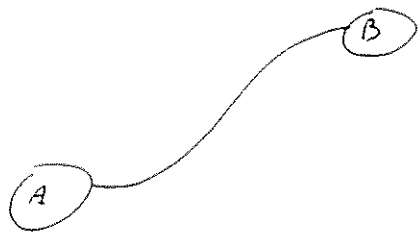
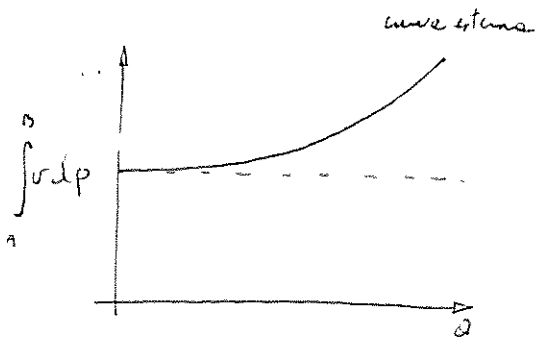


Inserimento di una pompa o di un compressore in un circuito

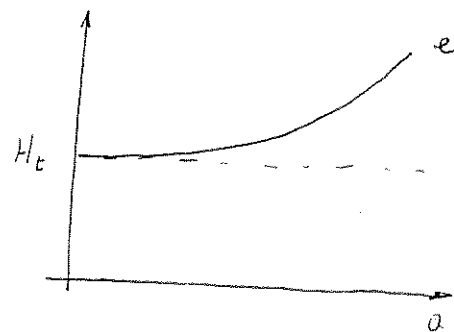
Supponiamo che la pompa o il compressore debba trasportare un fluido tra due recipienti in pressione A, B



La curva caratteristica del circuito è quella mostrata in figura



COMPRESSORE

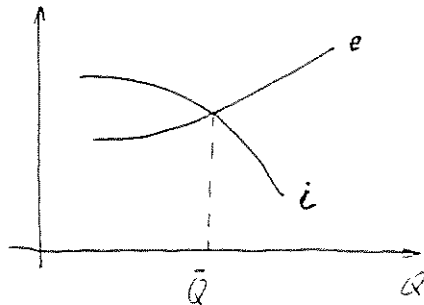


POMPA

$$H_t = z_B - z_A + \frac{C_B^2}{2g} - \frac{C_A^2}{2g} + \frac{P_B - P_A}{\gamma}$$

Nel grafico si tiene conto che le perdite di carico nel circuito (sia distribuite che concentrate) sono proporzionali

al quadrato della portata.



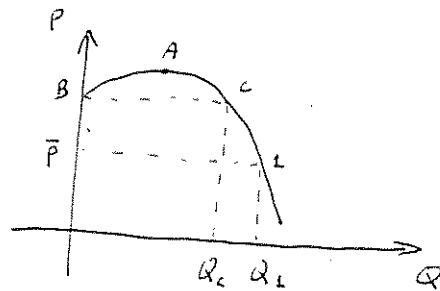
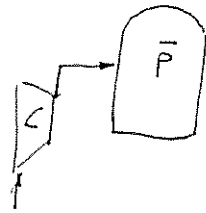
\bar{Q} = portata della
macchina a regime.

Se la curva interna è decrescente il punto di equilibrio è stabile infatti se la portata aumenta la curva esterna diventa superiore a quella interna con relativa dissimulazione di portata e ritorna al punto di equilibrio.

Se la curva interna è crescente il punto di equilibrio può essere sia stabile che instabile.

Limitazioni della curva caratteristica fenomeno di pompaggio e di choking.

Considero un compressore collegato ad un serbatoio a pressione iniziale \bar{P}



Il punto L è il punto iniziale di funzionamento, man mano che il serbatoio si riempie la pressione aumenta e il serbatoio fornisce una portata inferiore.

Giunti al punto A l'aumento della pressione del serbatoio non può essere bilanciata dal compressore, c'è un ritorno di portata finché la pressione non ritorna al valore P_c , a questo punto il compressore torna a pompare fluido nel serbatoio incominciando un ciclo continuo.

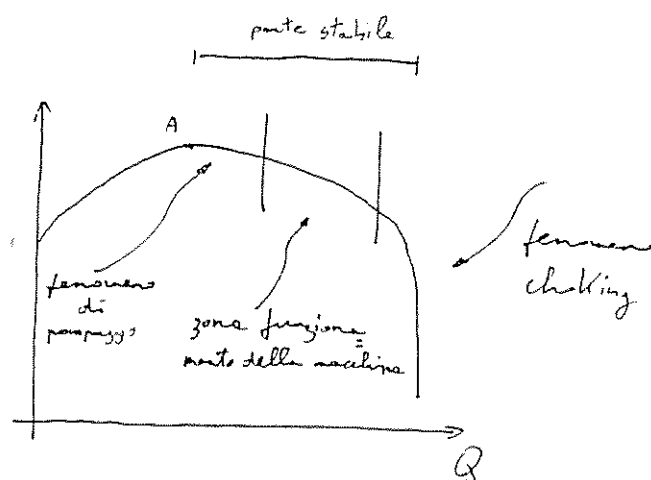
Tale fenomeno detto di pompaggio è da evitare per le notevoli sollecitazioni che subisce la macchina.

Per evitare il fenomeno di pompaggio occorre lavorare lontano dal punto di massimo A della curva.

Fenomeno di choking o di bloccaggio.

Per portate elevate si possono raggiungere velocità soniche con relativo bloccaggio della portata.

In queste condizioni la curva caratteristica è praticamente verticale.



Fenomeno di cavitazione nelle pompe

Se la pressione in un punto qualunque del circuito risulta inferiore alla pressione di saturazione relativa alla temperatura di esercizio del liquido pompato, si ha, in quel punto, evaporazione con formazione di cavità o sacche di vapore, cioè cavitazione.

La regione a più alto rischio nei confronti della cavitazione è evidentemente quella nella quale si raggiungono i valori più bassi della pressione e tale regione è quella all'ingresso della girante. Una volta entrato nella girante il fluido riceve da questa energia meccanica, parte della quale concorre ad incrementare l'energia di pressione del fluido con conseguente allontanamento di qualunque pericolo di cavitazione.

Il primo effetto della cavitazione è una repentina e forte riduzione di portata con relativa caduta di prevalenza e rendimento.

Un secondo effetto più dannoso è costituito da una serie di urti che si susseguono con una frequenza più o meno elevata, sollecitando la girante a fatica e producendo vibrazioni e notevole corrosione.

Sia A un punto del circuito a monte della pompa e L un punto della regione d'ingresso della pompa.

Per il teorema di Bernoulli:

$$Z_A + \frac{P_A}{\gamma} + \frac{C_A^2}{2g} = Z_L + \frac{P_L}{\gamma} + \frac{C_L^2}{2g} + \Delta P_c + \frac{\lambda \psi_1^2}{2g}$$

Poiché $\frac{P_L}{\gamma} > \frac{P_S}{\gamma}$

perdite
di carico
distribuite

perdite di
carico
concentrate

affinché non avvenga cavitazione

$$z_A + \frac{p_A}{\rho} + \frac{c_A^2}{2g} - \frac{p_S}{\rho} > z_1 + \frac{c_1^2}{2g} + \Delta P_c + \lambda \frac{w_1^2}{2g}$$

$$NPSH_A > NPSH_R$$

$NPSH_A$ è una caratteristica del fluido e dell'energia da esso posseduta

$NPSH_R$ è una caratteristica della pompa e della sua posizione nel circuito.

Accorgimenti per evitare cavitazione

- 1) Far lavorare la pompa sotto battente il che è possibile quando la pompa preleva il liquido da un serbatoio che può essere posto in posizione più elevata rispetto alla pompa.
- 2) Abbassare la posizione della pompa
- 3) Ridurre le perdite di carico nelle tubazioni che collegano la pompa al serbatoio da cui aspira.

4) Raffreddare il liquido in modo da ridurre la pressione di saturazione P_s .

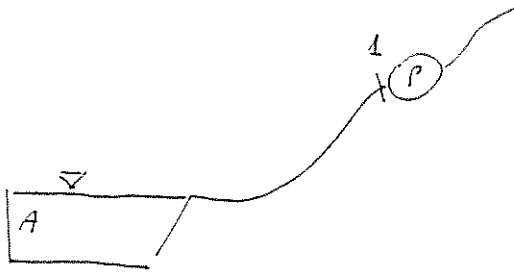
5) Selezionare pompe a bassa velocità di rotazione per ridurre le perdite di carico concentrate

$$\frac{\lambda u_1^2}{2g}$$

6) Usare una girante a doppia aspirazione in modo da ridurre la velocità del fluido nella pompa

7) Usare l'inducer che montato sullo stesso albero della girante centrifuga riduce $h'_{NPSH,R}$ della stessa.

*) Massima altezza a cui può essere posta la pompa senza cavitazione.



$$Z_A + \frac{P_A}{\rho} + \frac{C_A^2}{2g} - \frac{P_S}{\rho} > Z_1 + \frac{C_1^2}{2g} + \Delta P_S + \lambda \frac{U_1^2}{2g}$$

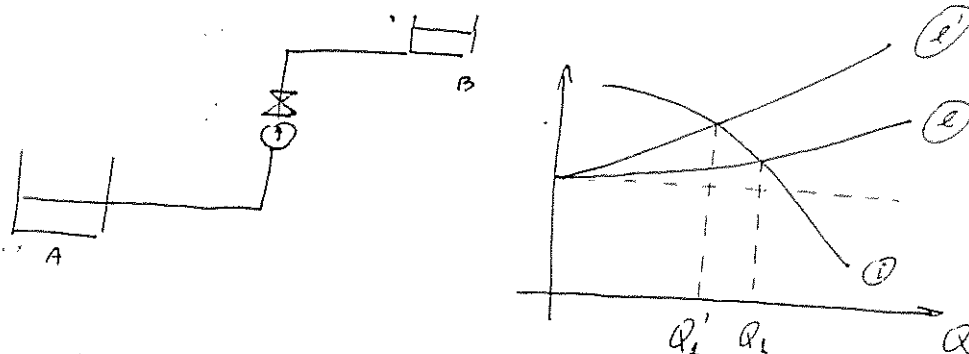
$$Z_1 < \frac{P_A}{\rho} - \frac{P_S}{\rho} - \Delta P_S - \frac{\lambda U_1^2}{2g} = 10.33 - 4.83 - P.C.$$

La massima altezza di aspirazione è sempre inferiore a 10.33 m e dipende dalle perdite di carico del circuito.

Regolazione di una pompa.

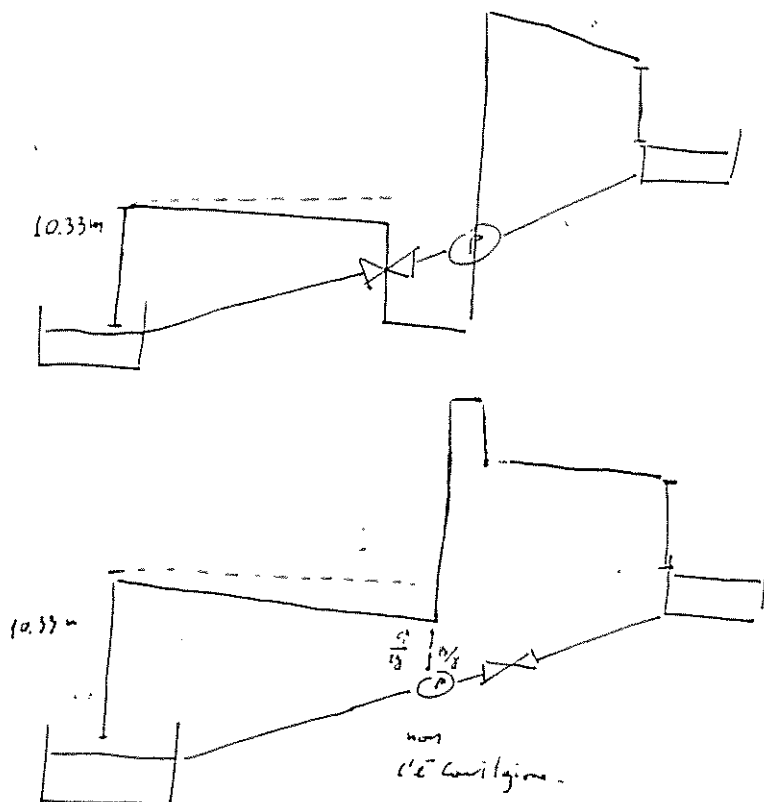
1) Variazione della caratteristica esterna

Prendendo una valvola di laminazione dopo la pompa aumentiamo le perdite di carico con una relativa variazione della curva caratteristica esterna.



Q_1' = portata ridotta dopo aver introdotto la valvola.

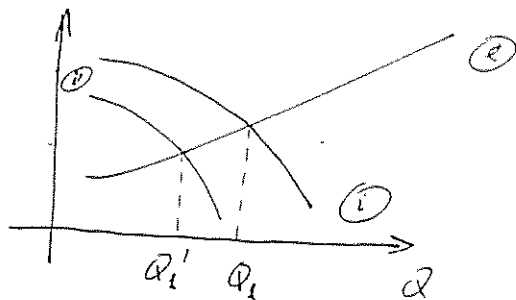
Per evitare la cavitazione è preferibile porre la valvola di laminazione dopo la pompa.



L'inserimento della valvola di laminazione determina una riduzione del rendimento dell'impianto a causa degli effetti dissipativi della valvola.

2) Variazione della caratteristica interna.

Variando il numero di giri della pompa varia la curva caratteristica interna con relativa variazione della portata.

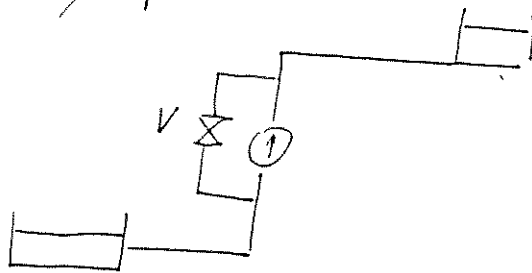


Q_1' = portata risultante con una variazione del numero di giri della pompa.

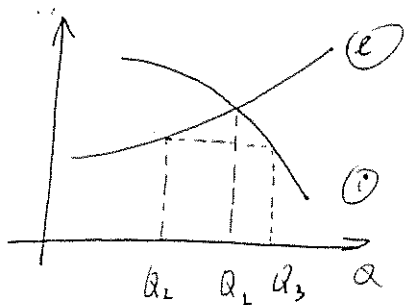
La variazione della caratteristica interna della pompa non prevede dissipazioni come la variazione delle caratteristiche esterne tuttarie, essendo spesso le pompe alimentate da un motore elettrico il cui numero di giri è fissato dalle espressioni

polari, si può variare il solo con appositi meccanismi che creano una perdita di rendimento.

3) By-pass



Se la valvola V è chiusa il punto di funzionamento è il punto 1 e la portata trasferita Q_1 .



Aperto la valvola
la portata trasferita sarà
 $Q_2 < Q_1$.

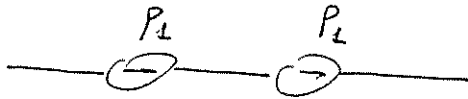
In queste condizioni le perdite di carico del circuito esterno sono $H_{p,3}$ e la portata elaborata dalla pompa sarà Q_3 .

La portata che defluisce dalle cascate è dunque $Q_3 - Q_2$.

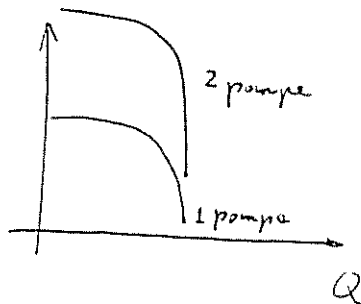
Anche questo metodo è di tipo dissipativo e le perdite che si accompagnano a tale sistema sono addirittura superiori al sistema di stragamento che risulta il più diffuso.

Pompe in serie e in parallelo

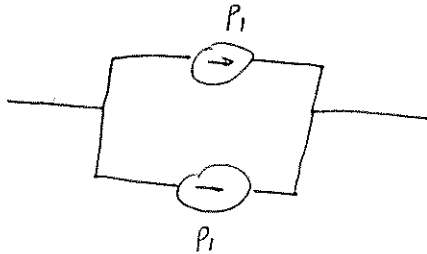
1) serie



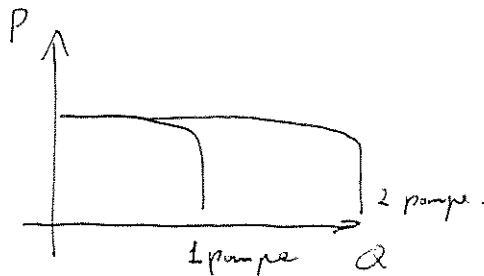
raddoppio di potenza a parità di portata



2) parallelo



raddoppio la portata a parità di potenza



COMPRESSORE VOLUMETRICO

ALTERNATIVO

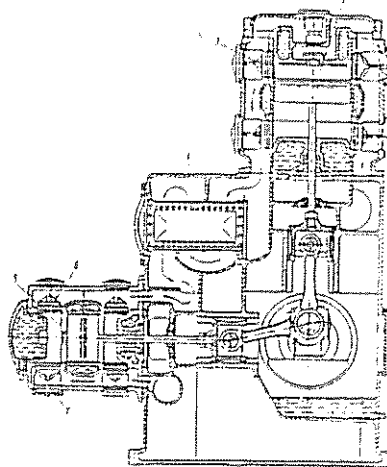
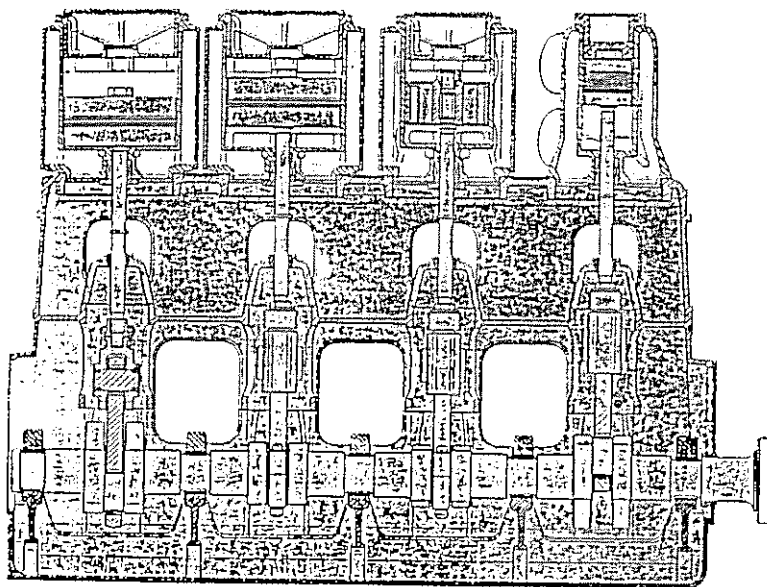


Fig. XI.3 (2) — Compressore d'aria alternativo con due cilindri a l. con refrigerazione intermedia della INGERSOLL-RAND. $Q \approx 32 \text{ m}^3/\text{min}$; $P = 200 \text{ kW}$; $p_2/p_1 \approx 10$.
1. Cilindro verticale; 2. Valvola di aspirazione; 3. Valvola di mandata; 4. Refrigeratore intermedio; 5. Cilindro orizzontale; 6. Valvola di aspirazione; 7. Valvola di mandata.



Tav. XIX — Compressore alternativo a quattro cilindri verticali (DEMAG).
 $Q \approx 10\,000 \text{ m}^3/\text{h}$, $p_2 / p_1 \approx 50$.

COMPRESSORE VOLU METRICO ROTATIVO

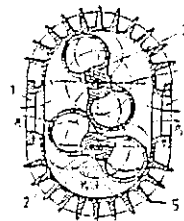


Fig. XI.13 (II) — Compressore rotativo Roots a lobi refrigerato ad aria.
1. Luce di aspirazione; 2. Rotore; 3. Ingrenaggi di accoppiamento esterni; 4. Luce di mandata;
5. Carcasa oleata; V_c Cilindrata.

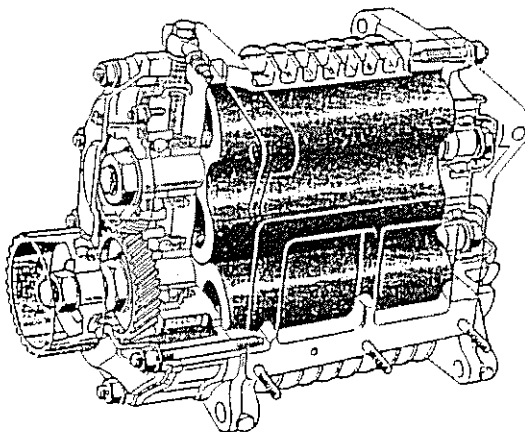


Fig. XI.14 (S) — Compressore rotativo a lobi refrigerato ad aria utilizzato per la sovralimentazione dei motori alternativi a c.i.

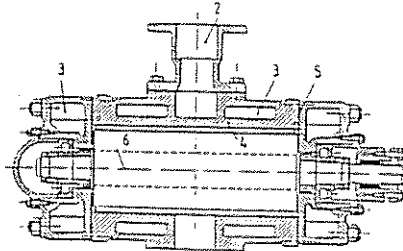
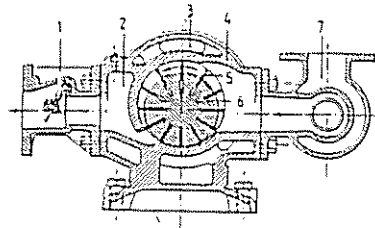


Fig. XI.11 [1] — Compressore rotativo a palette refrigerato ad acqua.
1. Valvola di ritenuta sulla mandata; 2. Mandata; 3. Camicia per l'acqua di refrigerazione; 4. Carcassa o statore; 5. Palette; 6. Rotore; 7. Aspirazione.

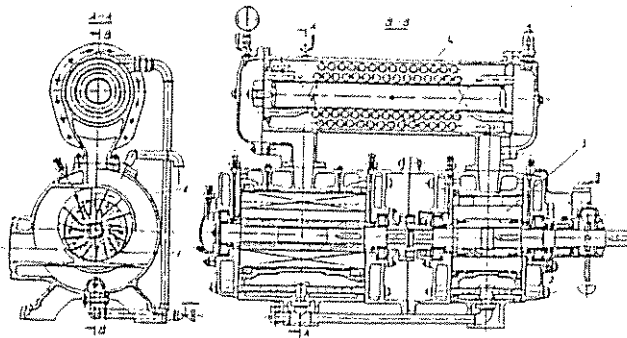


Fig. XI.12 [4] — Compressore rotativo bistadio a palette con refrigerazione intermedia.
1. Rotore primo stadio; 2. Carcassa; 3. Rotore secondo stadio; 4. Refrigeratore intermedio.

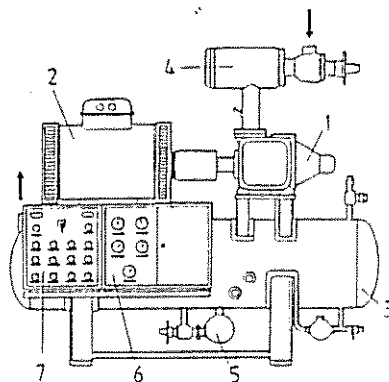


Fig. XI.10 (3) — Compressore rotativo a vite con separatore orizzontale.
 1. Compressore a vite; 2. Motore elettrico di azionamento; 3. Separatore-serbatoio olio; 4. Filtro sull'aspirazione; 5. Circuito di lubrificazione; 6. Quadro di controllo e comando; 7. Quadro elettrico.

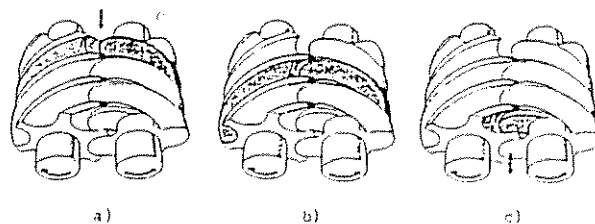


Fig. XI.9 (3) — Principio di funzionamento di un compressore rotativo a vite
 a) Aspirazione; b) Compressione; c) Scarica.

COMPRESSORI CENTRIFUGHI

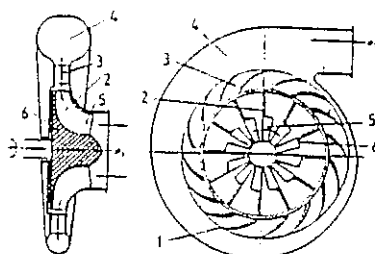


Fig. XI.16 (1) — Elementi principali che costituiscono un compressore centrifugo.
1. Pale del diffusore; 2. Pale della girante; 3. Diffusore; 4. Chiocciola di raccolta; 5. Pre-girante; 6. Girante.

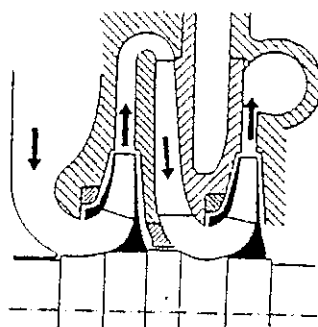


Fig. XI.17 (7) — Canali di ritorno in un compressore centrifugo multistadio.

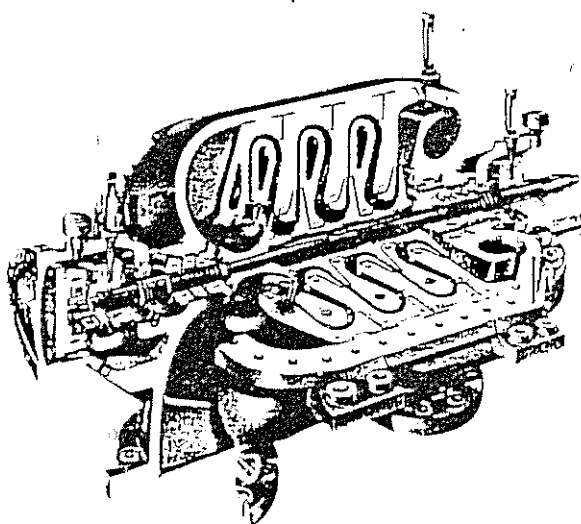


Fig. XI.18 — Spaccato di un compressore centrifugo a quattro stadi (NUOVO PIGNONE).

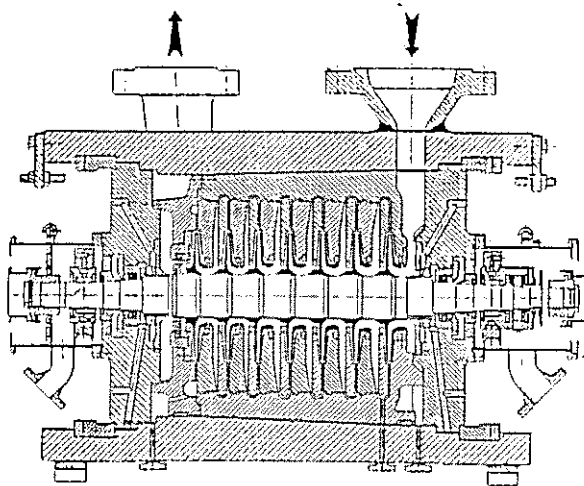


Fig. XI.19 — Sezione longitudinale di un compressore centrifugo *barrel* a sette stadi con cassa aperta verticalmente (DELAG).

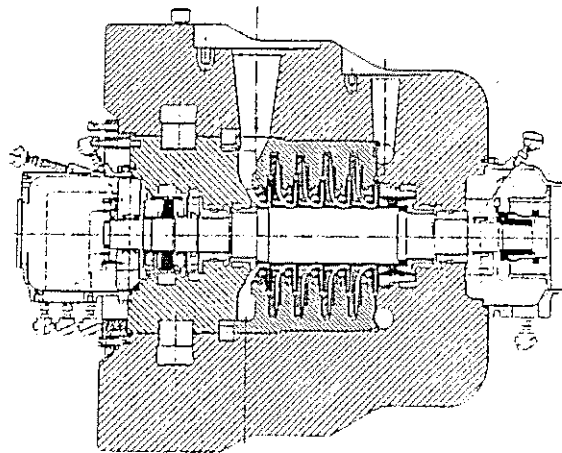
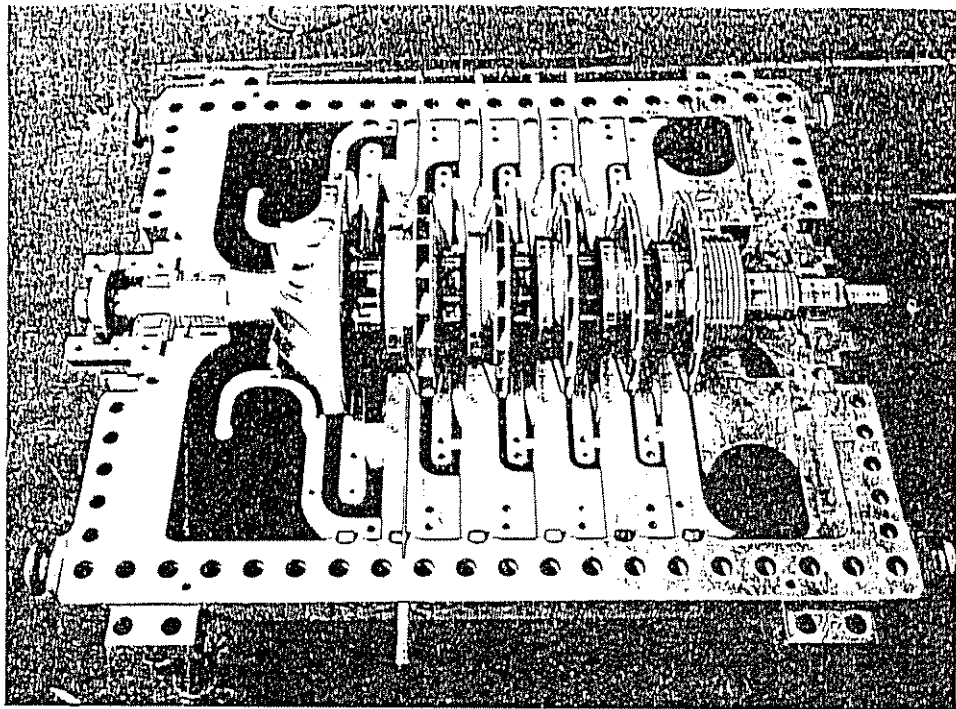


Fig. XI.20 — Sezione longitudinale di un compressore centrifugo a cinque stadi per alte pressioni (NUOVO PIGNONE).



Tav. XX — Compressore centrifugo con cassa aperta orizzontalmente adatto per vari tipi di gas a pressioni modeste (≤ 40 bar) (NUOVO PIGNONE).
 Si noti a sinistra la girante del primo stadio di tipo aperto e di maggior diametro rispetto alle altre caratterizzata quindi da un più elevato valore della velocità periferica e in grado pertanto di trasferire maggior lavoro al fluido elaborato con conseguente maggior incremento di pressione.

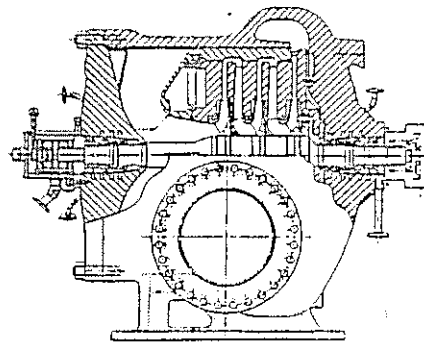


Fig. XI.22 (9) — Compressore centrifugo a tre stadi per una stazione di compressione lungo un gasdotto.
 Si noti la grossa flangia di collegamento alla tubazione del gasdotto ortogonale all'asse della macchina.

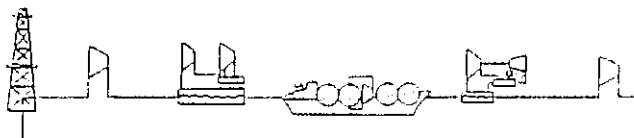


Fig. XI.23 — Estrazione, liquefazione, trasporto, gasificazione e distribuzione del gas naturale.

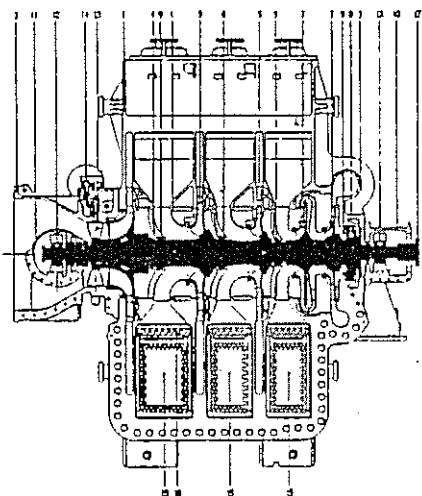
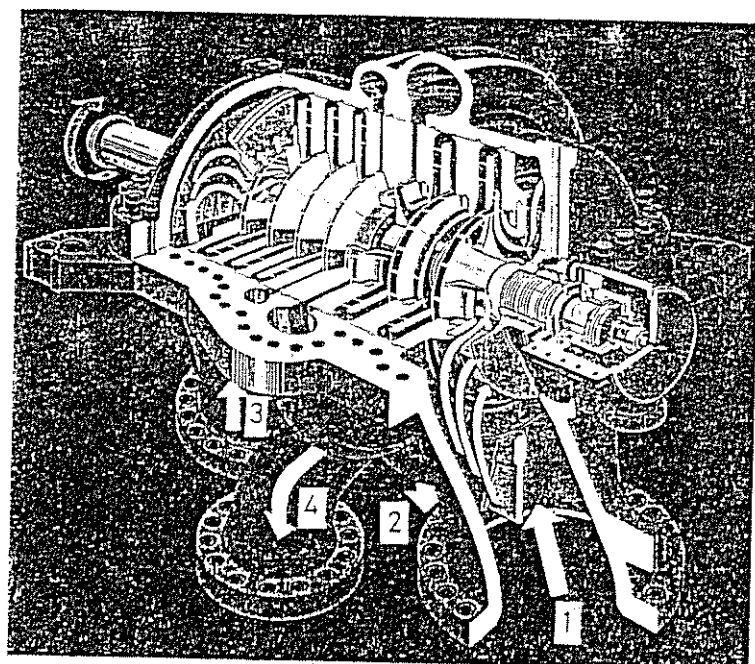


Fig. XI.21 (8) — Sezione verticale (in alto) e sezione orizzontale (in basso) di un compressore centrifugo isoterma per la compressione dell'aria.
 1. Cassa; 2. Tubazione ingresso aria; 3. Voluta di scarico; 4. Setti divisorii; 5. Diffusore; 6. Albero; 7. Girante; 8. Pistone equilibratore della spina; 9. Tenute sull'albero; 10. Alloggiamento cuscinetto lato scarico; 11. Alloggiamento cuscinetto lato aspirazione; 12. Cuscinetti portanti; 13. Pale direttrici del flusso in ingresso; 14. Meccanismo di orientamento delle pale direttrici; 15. Refrigeratore posto all'interno della macchina a valle dello stadio; 16. Separatore d'acqua; 17. Flangia di accoppiamento.



Tav. XXI — Spaccato di compressore centrifugo con cassa aperta orizzontalmente e refrigerazione intermedia (DEMAG).
 1. Ingresso gas corpo bassa pressione; 2. Uscita gas corpo bassa pressione ed invio al refrigeratore; 3. Ingresso gas, dopo la refrigerazione, al corpo di alta pressione; 4. Uscita gas corpo alta pressione verso l'ulteriore compressione.

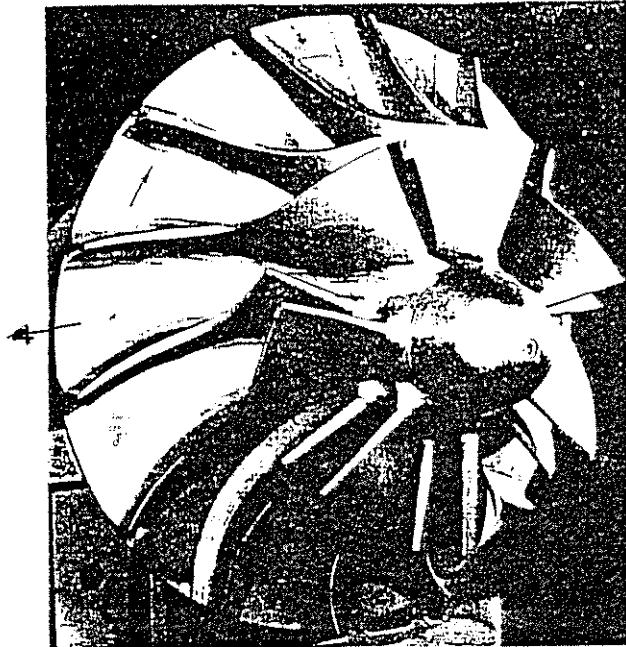


Fig. XI.38 — Girante con pale rivolte all'indietro rispetto al verso di rotazione.

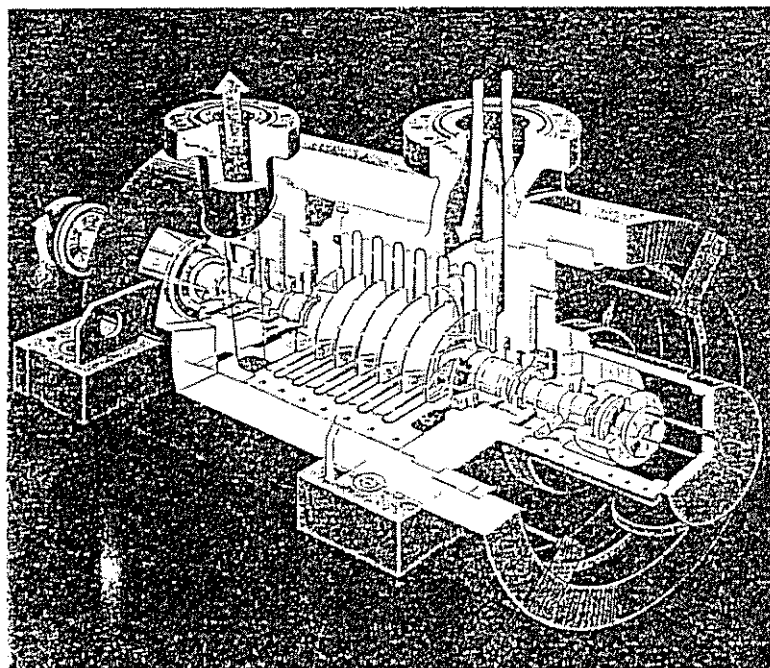


Fig. XI.39 — Spazzatore di compressore centrifugo *barrel* con cassa aperta verticalmente
DEVELO

COMPRESSORI

ASSIALI

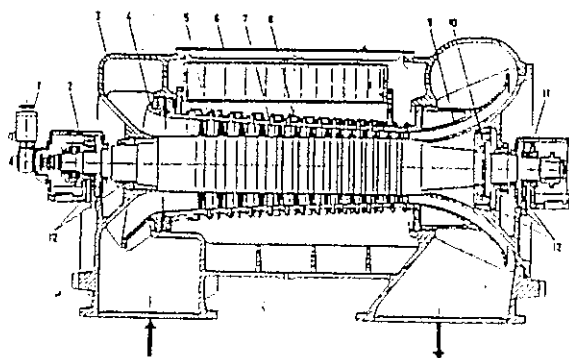
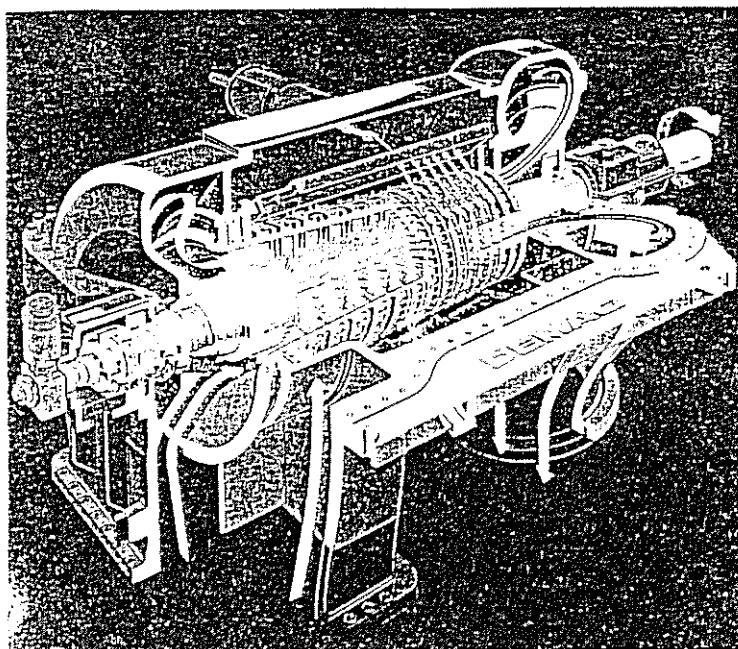
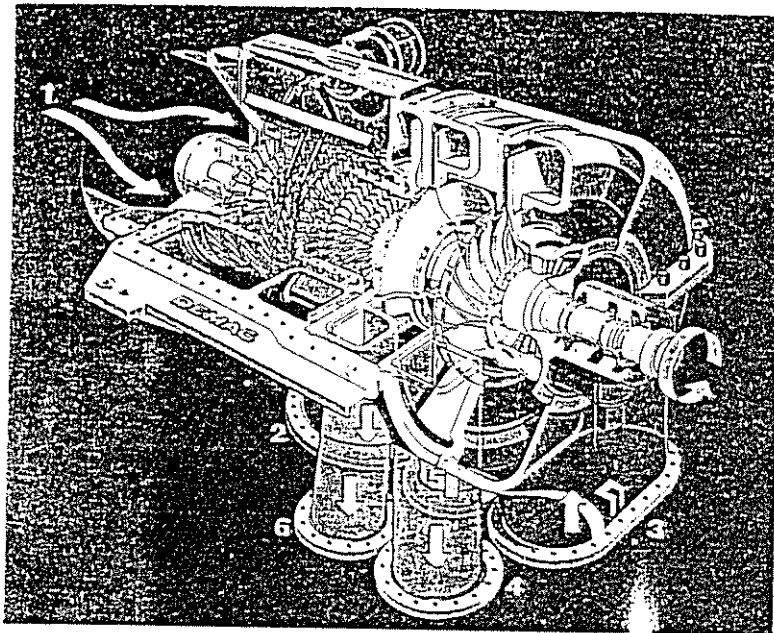


Fig. XI.45 — Sezione longitudinale del compressore assiale il cui spaccato è riportato nella Tav. XXIII (DEMAO).

1. Viratore; 2. Cuscinetto misto portante e di spinta; 3. Carcassa esterna; 4. Voluta di ingresso; 5. Portapalette statoriche; 6. Plastra per orientamento palette statoriche; 7. Palette statoriche; 8. Palette rotoriche; 9. Diffusore di scarico; 10. Pistone equilibratore di spinta; 11. Cuscinetto portante; 12. Tenute a labirinto.



Tav. XXIII — Spaccato del compressore assiale con ingresso radiale del fluido rigettato in sezione in fig. XI.45 (DEMAO).



Tav. XXIV — Spaccato del compressore a due stadi assiale-centrifugo con ingresso assiale del fluido riportato in sezione in fig. XI.49 (ZEMAG).
 1. Ingresso assiale del fluido; 2. Uscita dallo stadio assiale verso il primo refrigeratore; 3. Ingresso gas, dopo la prima refrigerazione, allo stadio centrifugo di bassa pressione; 4. Uscita dallo stadio centrifugo di bassa pressione verso il secondo refrigeratore; 5. Ingresso gas, dopo la seconda refrigerazione, allo stadio centrifugo di alta pressione; 6. Uscita dallo stadio centrifugo di alta pressione verso il compressore.

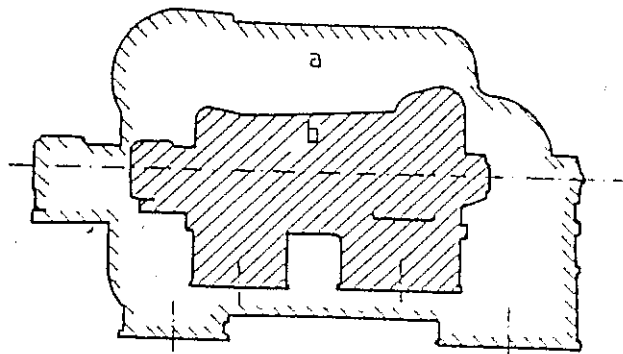


Fig. XI.52 (10) — Contorno tra gli ingombri di un compressore centrifugo e di uno assiale.
 a) Centrifugo, b) Assiale.

POMPE

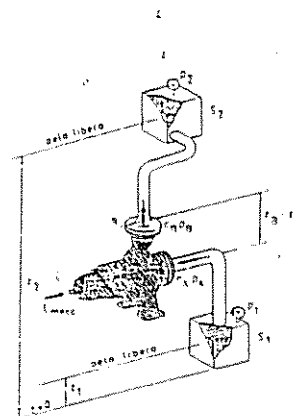


Fig. XII.1 — Schema semplificato di un impianto di sollevamento acqua.

POMPA VOLUMETRICA ALTERNATIVA

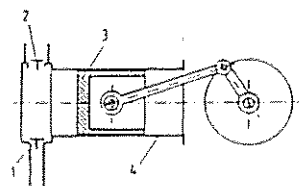


Fig. XII.3 — Schema di pompa volumetrica alternativa a semplice effetto.
1. Valvola di aspirazione; 2. Valvola di mandata; 3. Stantuffo; 4. Cilindro.

POMPA VOLUMETRICA ROTATIVA

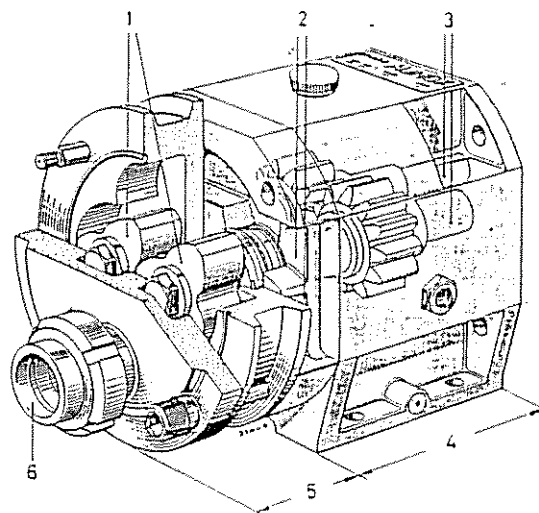


Fig. XII.14 [3] — Spaccato di una pompa volumetrica rotativa a lobi.
1. Rotore a tre lobi; 2. Apertura di controllo; 3. Alberi di trasmissione; 4. Scatola di trasmissione; 5. Camera di lavoro; 6. Raccordo di collegamento.

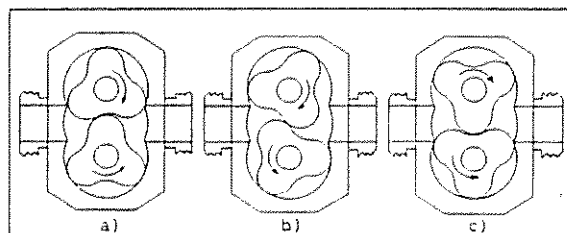


Fig. XII.15 — Principio di funzionamento di una pompa volumetrica rotativa a lobi.
a) Aspirazione; b) Trasferimento con incremento di pressione; c) Mandata.

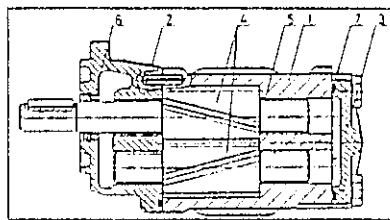


Fig. XII.17 — Sezione longitudinale di una pompa volumetrica rotativa ad ingranaggi.
1. Corpo pompa; 2. Coperchio lato motore di azionamento; 3. Coperchio di chiusura; 4. Rotori dentati; 5. Roccia; 6. Anello di tenuta; 7. Guarnizione.

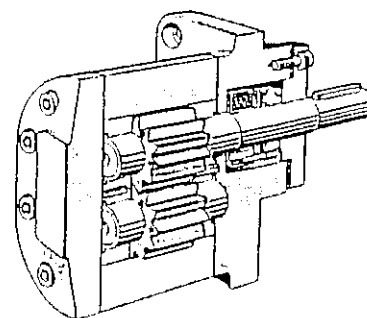


Fig. XII.16 (V) — Spaccato di una pompa volumetrica rotativa ad ingranaggi (M.F.)

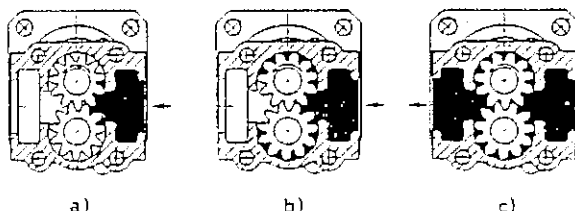


Fig. XII.18 — Principio di funzionamento di una pompa volumetrica rotativa ad ingranaggi.
a) Aspirazione; b) Trasferimento con incremento di pressione; c) Mandata.

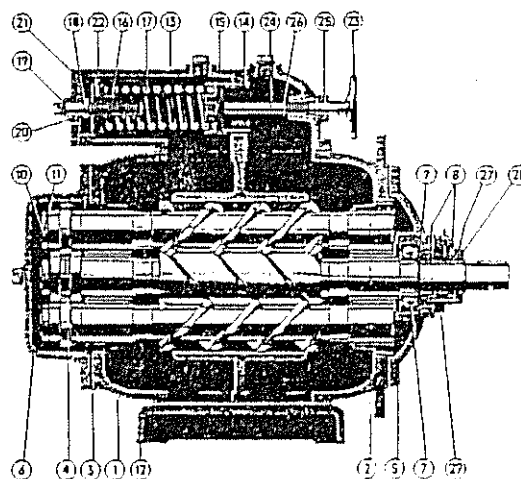


Fig. XII.22 — Spaccato di una pompa volumetrica rotativa a vite a tre rotori.
1. Corpo pompa; 2. Serie di viti; 3. Cuscinetti a strisciamento; 4. Anelli di centratura; 5. Coperchio anteriore; 6. Coperchio posteriore; 7. Cuscinetto radiale a sfere; 8. Anello di tenuta strisciante; 9. Anello Serger; 10. Dado scanalato; 11. Rondella di sicurezza; 12. Base pompa; 13. Corpo valvola; 14. Sede valvola; 15. Tampone valvola; 16. Piatto portamolle; 17. Molla valvola; 18. Vite di taratura; 19. Anello Serger; 20. Anello di tenuta; 21. Coperchio di chiusura; 22. Spina di fissaggio; 23. Volantino; 24. Albero di regolazione; 25. Anello di tenuta; 26. Collare di contatto.

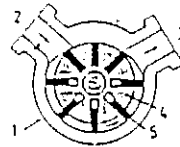


Fig. XII.19 [2] — Schema di una pompa volumetrica rotativa a palette mobili.
1. Statore; 2. Luce di aspirazione; 3. Luce di mandata; 4. Rotore; 5. Palette.

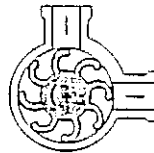


Fig. XII.20 [2] — Schema di una pompa volumetrica rotativa a rotore flessibile.

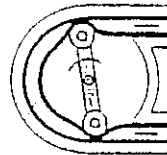


Fig. XII.21 [2] — Schema di una pompa volumetrica rotativa peristaltica.

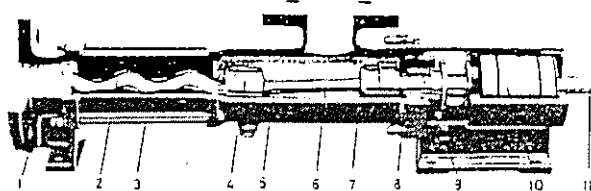


Fig. XII.24 — Spaccato di una pompa volumetrica rotativa Molino.
1. Corpo terminale; 2. Rotore; 3. Statore; 4. Snodi; 5. Corpo pompa; 6. Asa di accoppiamento; 7. Coperchio di ispezione; 8. Tenuta meccanica; 9. Treccia preimstoppa; 10. Corpo portacavalletti; 11. Albero di comando.

POMPE CENTRIFUGHE

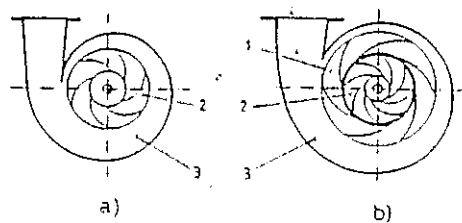
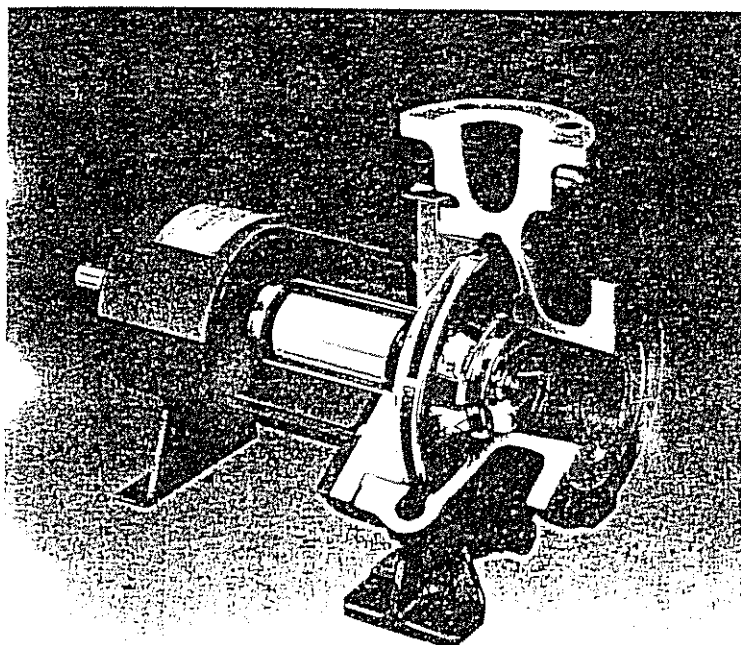


Fig. XII.25 — Rappresentazione schematica di una pompa centrifuga senza diffusore (a) e con diffusore (b).

1. Diffusore; 2. Girante; 3. Voluta di scarico.



Tav. XXV — Pompa centrifuga monostadio di tipo *ermeta* a trascinamento magnetico (CIPV).

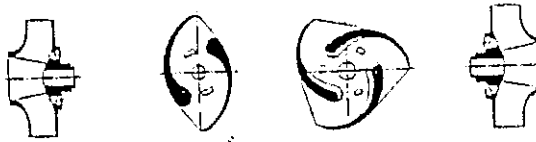


Fig. XII.32 [3] — Giranti a due e a tre canali.

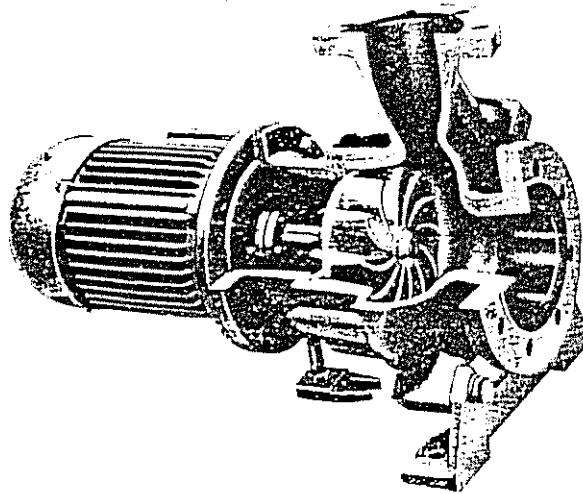


Fig. XII.33 — Spaccato di pompa centrifuga con girante arretrata a vortice (TURO).

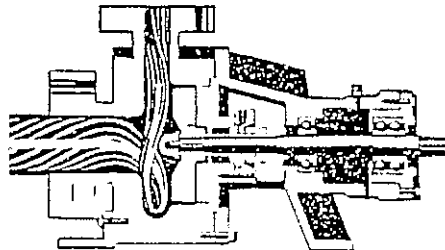


Fig. XII.34 [2] — Schema semplificato di funzionamento di una girante arretrata a vortice.

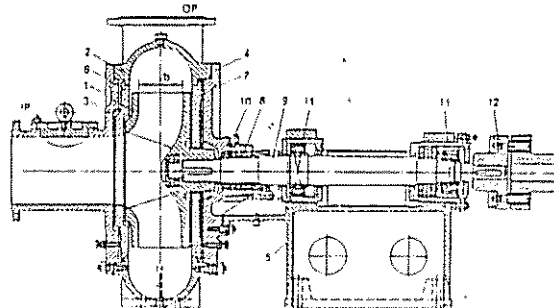


Fig. XII.79 [7] — Sezione longitudinale di pompa centrifuga da dragaggio.
1. Girante; 2. Corpo pompa; 3. Coperchio; 4. Piastra; 5. Basamento; 6. Disco di protezione;
7. Disco di protezione; 8. Pressareccie; 9. Albero; 10. Tubazione; 11. Cuscinetto a rulli; 12.
Giunta elastica; IP. Tubazione di aspirazione; DP. Tubazione di mandata.

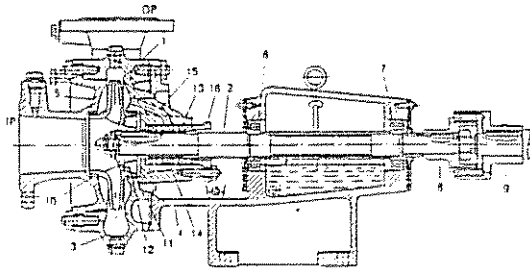


Fig. XII.68 [7] — Sezione longitudinale di pompa centrifuga monostadio.
1. Girante; 2. Albero; 3. Casto a spirale; 4. Invasellatura; 5. Coperchio; 6. Cuscinetto a
sfere; 7. Cuscinetto a sfere; 8. Semigiunta lato pompa; 9. Semigiunta lato motore elettrico;
10. Tenuta lato aspirazione; 11. Tenuta lato mandata; 12. Fori di bilanciamento; 13. Pressa-
treccie; 14. Anello distanziatore; 15. Condotti in pressione; 16. Coperchio; IP. Inlet Pipe
(Tubazione di aspirazione); DP. Delivery Pipe (Tubazione di mandata).

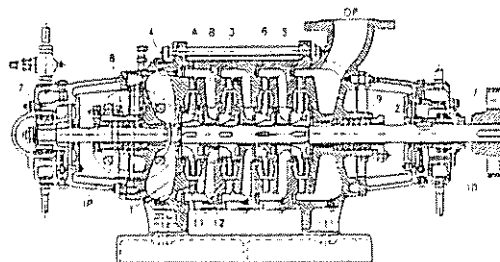


Fig. XII.73 [7] — Sezione longitudinale di pompa centrifuga multistadio munita di tiranti.
1. Girante; 2. Albero; 3. Elemento modulare a stadio; 4. Elemento di ingresso; 5. Elemento
di uscita; 6. Tirante; 7. Cuscinetto; 8. Pressareccie lato aspirazione; 9. Pressareccie lato
mandata; 10. Semigiunta; 11. Diffusore; 12. Canali di ritorno; IP. Tubazione di aspirazione;
DP. Tubazione di mandata.

POMPA ASSIALE

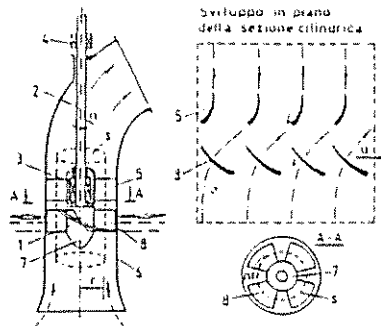


Fig. XII.37. [7] — Pompa assiale e percorso del fluido.
1. Girante; 2. Albero; 3. Cuscinetto di guida inferiore; 4. Cuscinetto di guida superiore; 5. Pale statoriche; 6. Tubazione; 7. Bulbo; 8. Pale rotatorie.

POMPE PER POZZI PROFONDI

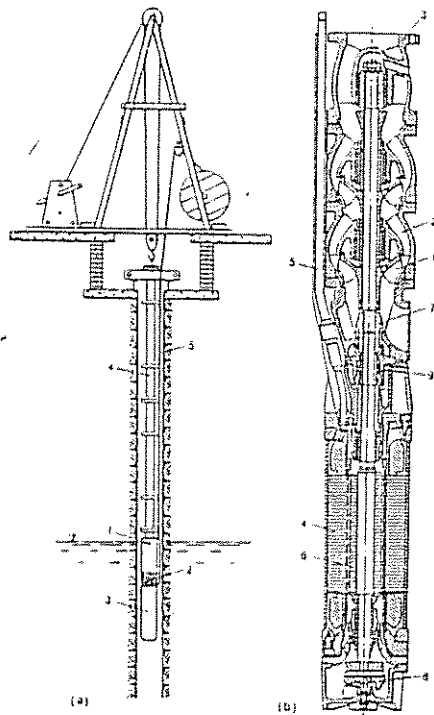
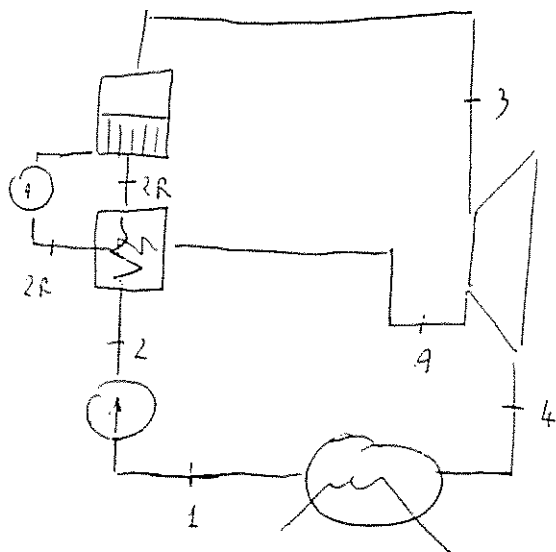
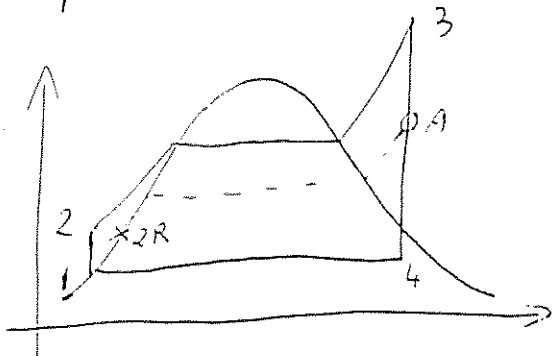


Fig. XII.36a [7] — Vista d'insieme di un impianto di pompaggio acqua da pozzi profondi con motore immerso.
1. Pompa centrifuga multistadio; 2. Filtro; 3. Motore elettrico immerso; 4. Tubazione di mandata; 5. Cavo elettrico.

Fig. XII.36b [7] — Sezione longitudinale dell'elettropompa centrifuga sommersa dell'impianto di fig. XII.36a.
1. Girante primo stadio; 2. Diffusore; 3. Flangia; 4. Statore motore elettrico; 5. Cavo elettrico; 6. Rotore motore elettrico; 7. Giunto; 8. Cuscinetto di spinta; 9. Collare di protezione.

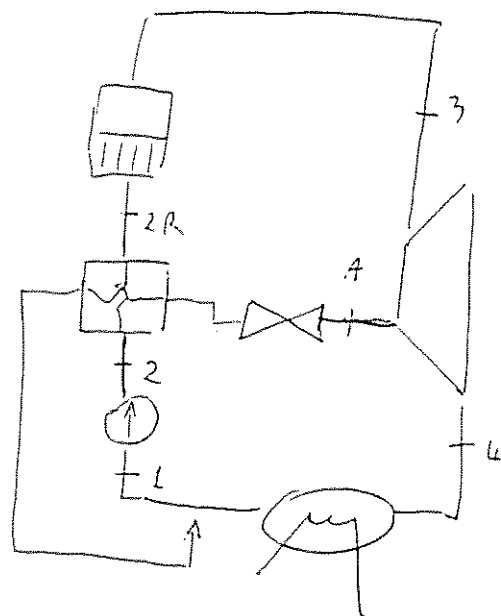
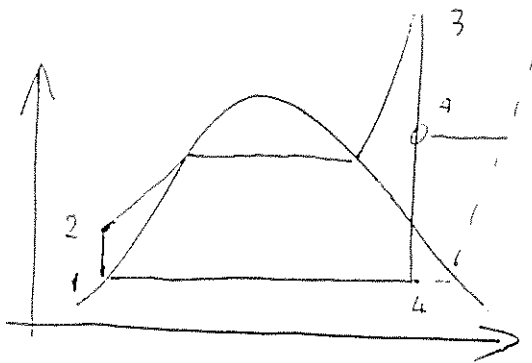
Appendice

Spillamento di un impianto a sopro



dal bilancio nello scambiatore

$$\dot{m}_A (h_A - h_{2R}) = \dot{m}_{CO} (h_{2R} - h_1)$$



$$\dot{m}_A (h_A - h_1) = (\dot{m}_{CO} + \dot{m}_A) (h_{2R} - h_2)$$

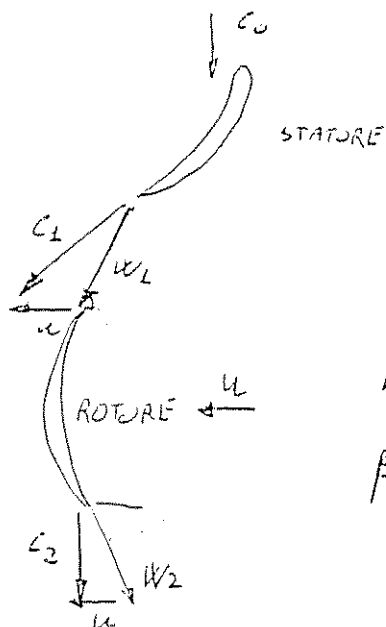
$$\dot{m}_A (h_A - h_{2R}) = \dot{m}_{CO} (h_{2R} - h_1)$$

Macchine motrici

1) Assiali

$$R=0$$

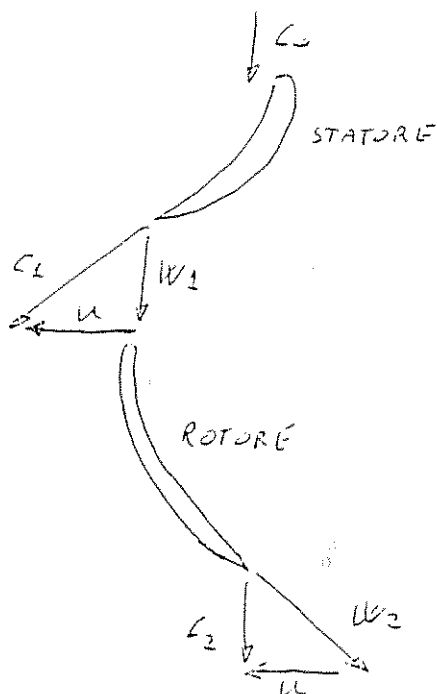
$$R = \frac{W_2^2 - W_1^2}{C_1^2 - C_2^2 + W_2^2 - W_1^2}$$



$$W_1 = W_2$$

$$\beta_1 = \beta_2$$

$$R = 1/2$$



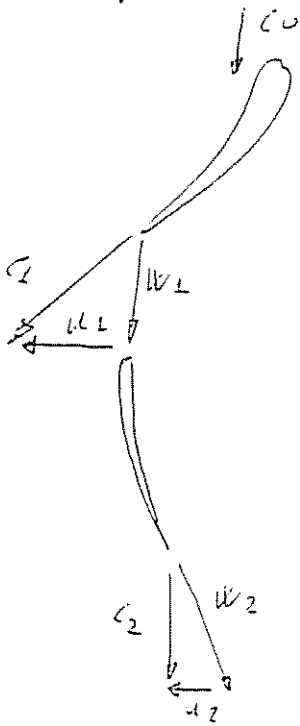
$$\alpha_1 = \beta_2$$

$$\beta_1 = \alpha_2$$

$$W_1 = C_2$$

$$W_2 = C_1$$

Centripete

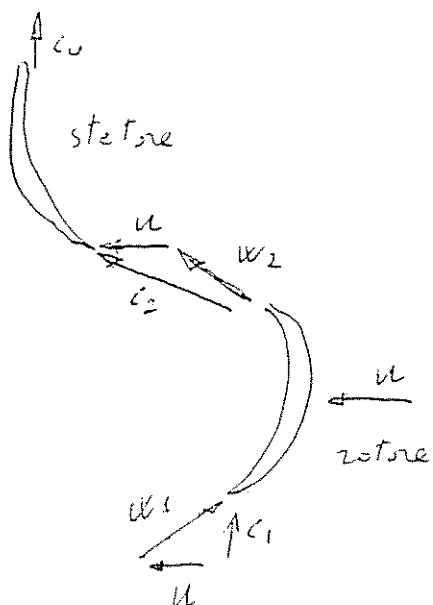


$$u_1 > u_2$$

$$\Delta h_{ent} = \frac{u_2^2}{2} - \frac{u_1^2}{2} + \frac{u_1^2}{2} - \frac{u_2^2}{2}$$

Machine operatrici

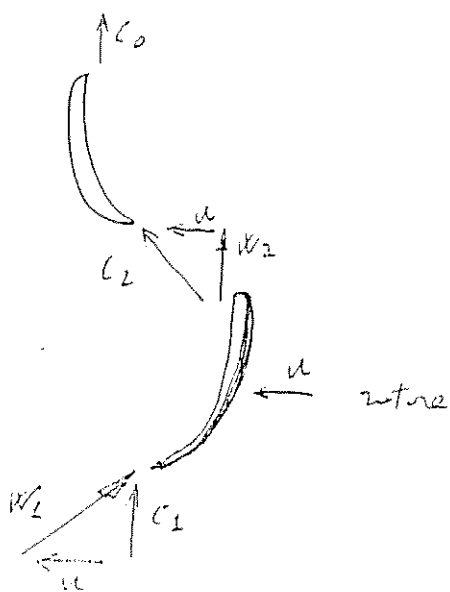
1) Assiali $R = \infty$



$$\alpha_1 = \alpha_2$$

$$\beta_1 = \beta_2$$

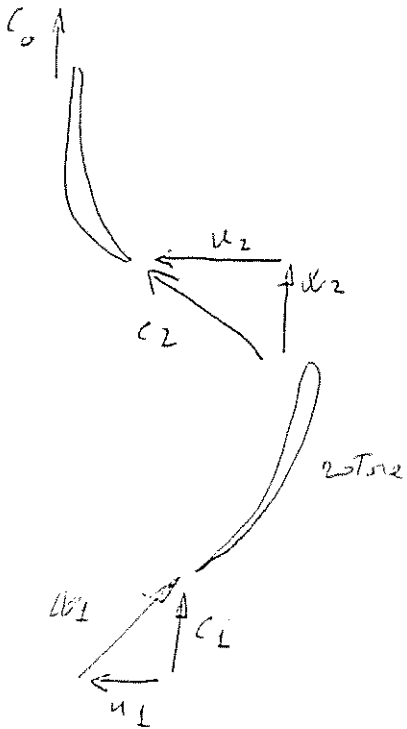
$$R = \frac{1}{2}$$



$$w_2 = c_1$$

$$c_2 = w_1$$

2) centrifugie



$$\Delta h_{rot} = \frac{u_1^2}{2} - \frac{u_2^2}{2} + \frac{u_2^2}{2} - \frac{u_1^2}{2}$$

Teorema di Kutta - Joukowski



$$C_x = C_\infty + C'_x$$

$$C_y = C'_y$$

C'_x C'_y tendono a zero

al tendere delle s.c. all'infinito

$$F_x = \int_0^{2\pi} \rho C_n C_x ds - \int_0^{2\pi} p dy$$

$$F_y = \int_0^{2\pi} \rho C_n C_y ds - \int_0^{2\pi} p dx$$

$$p_\infty + \frac{1}{2} \rho C_\infty^2 = p + \frac{1}{2} \rho C^2$$

$$F_x = \int_0^{2\pi} (C_\infty + C'_x) \left[(C_\infty + C'_x) dy - C'_y dx \right] - \int_0^{2\pi} p_\infty dy$$

$$- \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} (C_\infty^2 - C^2) dy = \int_0^{2\pi} \left[(C_\infty^2 - 2C_\infty C'_x + C'^2_x) dy \right.$$

$$\left. - (C_\infty C'_y - C'_x C'_y) dx - \frac{1}{2} (C_\infty^2 - C_\infty^2 + 2C_\infty C'_x - C'^2_x) dy \right] - \int_0^{2\pi} p_\infty dy$$

trascurando i termini del III ordine e

poiché $\int_0^{2\pi} p_{\infty} dy = 0$

$$F_x = \rho c_{\infty} \int_0^{2\pi} [(c_{\infty} + c_{x'}) dy - c_{y'} dx]$$

enclonamente

$$F_y = \rho c_{\infty} \int_0^{2\pi} (c_{x'} dx + c_{y'} dy) = \rho c_{\infty} \oint \bar{c} d\bar{s} = \rho c_{\infty} \Gamma$$

il termine $\int_0^{2\pi} (c_{\infty} + c_{x'}) dy - c_{y'} dx$ e il

ilencio delle portate attraverso le
superficie di controllo ed è nullo

$$F_x = 0$$

$$F_y = \rho c_{\infty} \Gamma$$

MACCHINE

Cenni di Termodinamica. (1)

Fonti di energia, conversioni di energie e vari tipi di energia esistenti, evoluzione modelli di sviluppo, termodinamica, ambiente, sistema chiuso, aperto, isolato, adiabatico, equilibrio stabile, instabile, termodinamico, proprietà interne, esterne, estensive, specifiche, intensive, trasformazione cicliche, quasi statiche, calore, lavoro, funzioni di stato, equilibrio di stato, trasformazioni reversibili, causa di irreversibilità, trasformazioni internamente reversibili, primo principio della termodinamica per sistemi aperti e chiusi, secondo principio della termodinamica sistemi aperti e chiusi, equazioni dell'energia meccanica.

Efflusso da condotti statici. (21)

Bilancia energetica, entalpia di ristagno, velocità di propagazione dell'onda, numero di Mach, condizioni subsoniche, supersoniche e critiche, temperatura e pressione critica, equazione di Hugoniot, andamento della pressione in un convergente-divergente, onda d'urto, equazione caratteristica dell'onda d'urto $C_1 C_2 = a^2$, portata massica per moti subsonici e supersonici, svuotamento di un serbatoio.

Compressione (35)

Trasformazione reversibile, irreversibile, diagramma TS, diagramma PV, controrecupero, rendimento politropico, rendimento adiabatico.

Espansione (38)

Trasformazione reversibile, irreversibile, diagramma TS, diagramma PV, recupero, rendimento politropico, rendimento adiabatico.

Impianti a gas (41)

Circuito aperto e chiuso, combustione interna, esterna, vantaggi e svantaggi dell'I.C., Ciclo Joule ideale, parametri caratteristici, rendimento del ciclo Joule, caratteristica dei cicli simmetrici, variazione di γ fissato T_1 e T_3 andamento del

lavoro specifico al variare di β , lavoro massimo, rendimento massimo, ciclo Joule reale, lavoro, rendimento reale, metodi per migliorare il rendimento, tecnica della rigenerazione, rendimento per efficienza dello scambiatore ideale e reale, tecnica dell'interrefrigerazione, schema di impianto, diagramma TS, rendimento del ciclo reale con interrefrigerazione, massimizzazione del lavoro utile con un'interrefrigerazione, andamento di un rendimento di un ciclo reale con interrefrigerazione, tecnica della ricombustione, schema dell'impianto, diagramma TS, rendimento di un ciclo con ricombustione, ciclo Erikson.

Camera di combustione (58)

Bilancio energetico, rapporto di miscela, miscele magre e miscele ricche, tipo di combustione, combustioni omogenee ed eterogenee, premiscelate e diffusive, fronte di fiamma, influenza del moto turbolento sulla velocità del fronte di fiamma, proprietà di una camera di combustione, deflettore, tubo di fiamma, caratteristiche dell'iniettore effetto swirl, emissione gas inquinanti, problema delle piogge acide e della riduzione dello strato di ozono.

Turbine a gas (66)

Turbine a gas aeronautiche, schema costruttivo, turboelica e turbogetto, turbina a gas industriale heavy-duty, caratteristiche, ottimizzazione lavoro utile, vantaggi delle turbine a gas.

Impianti a vapore (75)

Parametri caratteristici all'interno della curva a campana, differenza tra il ciclo a vapore e quello di Carnot, descrizione del ciclo Rankine, schema dell'impianto, diagramma TS e PV, impianti aperti e chiusi, andamento delle isobare sotto la curva a campana, scelte di T_{min} e T_{max} , andamento del rendimento al crescere di T_{max} , problemi allo scarico per titoli bassi, descrizione ciclo biphasico dell'impianto, diagramma TS, PV, generatore di vapore di un ciclo Rankine, andamento del rendimento, titolo elevato allo scarico, andamento di T_{max} , metodi per miglio

rare il rendimento, risurriscaldamento, schema dell'impianto, diagramma TS, aumento del titolo allo scarico, aumento del rendimento, aumento del lavoro specifico, turbine ad alta e bassa pressione, tecnica della rigenerazione, spillamento, schema dell'impianto, diagramma TS, bilancio allo scambiatore, scambiatore a miscela e a superficie, aumento del rendimento, convenienza nello spillare a temperature basse.

Generatori di vapore (83)

Caldaie a tubi di fumo, caldaie a tubi d'acqua, schema dell'impianto, economizzatore, surriscaldatori, collettore, preriscaldamento aria e pompa per l'attraversamento forzato, combustibili, solidi, liquidi, gassosi, bruciatore tiraggio.

Cogenerazione (100)

Risparmio energetico dopo la crisi petrolifera, indice di sfruttamento del combustibile, rapporto caratteristico calore/energia, impianti di cogenerazione con turbina a vapore, impianto a contro pressione, andamento di η e Q_u/E al variare di , impianto a derivazione, impianto a condensazione, impianto di cogenerazione con turbina a gas, utilizzo aria per ricombustione, impianti di cogenerazione con motori a combustione interna, impianti combinati.

Impianti nucleari (109)

Processo di fissione, schema reattore nucleare, impianto PWR (presurized Water Reactor), impianto BWR (Boiling Water Reactor) vantaggi e svantaggi dei due tipi di reattore, sistema di sicurezza, sistema di protezione, sistemi di contenimento, reattori a sicurezza intrinseca, elevato grado di affidabilità.

Macchine motrici (115)

Classificazione macchine motrici, scelta delle macchine motrici termiche e idrauliche, numero di giri specifico.

Motori a combustione interna (122)

Classificazione della macchina, breve storia, campo di applicazione, ciclo termodinamico, ricambio carica combustibili, ali-

tatura, turbina assiale a reazione ideale, triangoli di velocità, caratteristica delle pale rotoriche, rendimento di palettatura, rendimento massimo, potenza massima, turbina assiale a reazione ideale con $R = \frac{1}{2}$, triangoli di velocità, rendimento di palettatura, rendimento massimo, potenza massima, funzionamento di una turbina in caso reale, velocità reale di afflusso dal condotto statorico e rotorico, coefficienti correttivi φ e ψ , lavoro reale, funzionamento di una turbina off-design, perdite nella turbina a vapore, perdite fluidodinamiche nei condotti fissi, parametri che influenzano φ , perdite nell'anulus, deviazione del flusso per moti subsonici e supersonici, perdite nei condotti mobili, parametri che influenzano ψ , perdite allo scarico, perdite per umidità del vapore, perdite di natura diversa, per sottoraffreddamento, perdite per fughe di vapore, per effetto ventilante, limite inferiore e superiore della palettatura, perdite meccaniche, elementi e salti di pressione, elementi e salti di velocità, deviatore fisso, triangoli di velocità, lavori euleriano, limitazione del numero degli stadi a 4, potenza di una turbina a vapore, dipendenza della portata massica, metodi per aumentare la portata, limite teorico di una turbina a vapore, sdoppiamento della turbina di B.P., sdoppiamento delle turbine di bassa e media pressione, regolazione di una turbina a vapore, laminazione, schema dell'impianto, diagramma $h-s$, variazione rendimento limite e reale, parzializzazione, non c'è variazione per il rendimento limite, variazione rendimento reale, rendimento della pressione nel G.V., variazione rendimento limite e del rendimento reale.

Teoria bidimensionale (235)

Validità della teoria monodimensionale, moto vario, permanente, uniforme, linea e tubi di flusso, moto a potenziale di velocità o irrotazionale, senso fisico del moto irrotazionale, caratteristiche dei moti inviscidi, potenziale di velocità ϕ , moto rotazionale, condotto a gomito, funzione di corrente, cilindro

immerso in una corrente fluida, equazione di Laplace, metodo dei pozzi e delle sorgenti, potenziale di velocità

$$\phi = c_m \times \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right) ,$$

linea di corrente

$$\psi = c_m y \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) ,$$

campo di velocità

sulla superficie cilindrica, teorema di Bernoulli generalizzato, andamento della pressione intorno al cilindro, paradosso d'Alam-
bert, vortice rotazionale, circuitazione costante Γ , funzione
di corrente $\phi = \frac{\Gamma \theta}{2\pi}$, campo di velocità, teorema di Kutta
Ioukowski, profilo alare, resistenza, portanza, calcolo speri-
mentale della portanza e della resistenza, coefficiente di por-
tanza c_p e di resistenza c_r , variazione di c_p e c_r con
l'angolo di incidenza i , fenomeno di stallo, distacco strato li-
mite, recupero di pressione, modi per evitare distacco, calcolo
teorico del coefficiente di portanza, problema di stallo, rap-
porto di schiera $\frac{t}{l}$, curvatura del profilo alare, diagramma
di Weining, curvatura delle pale nelle turbine e nei compresso-
ri, turbine ad azioni, a reazione, radiali, compressori, com-
pressori radiali.

Turbine idrauliche (2 < 1)

Breve storia, classificazione delle turbine in base al flusso
idrico, scelta delle turbine al variare del numero specifico,
dislivello geotetico, potenza di una turbina idraulica, turbi-
na Pelton, lavoro, rendimento di palettatura, $\beta_2 = 120^\circ$ $u = u_2$,
macchine in fuga, turbine centrifuga Francis, voluta a chioccia
condizione di massimo rendimento, grado di reazione, turbina as-
siale ad elica Kaplan, condizione di massimo rendimento, diffu-
sore, limiti del diffusore, impianti di pompaggio, grado di rea-
zione per macchine operatrici e per macchine motrici.

Macchine operatrici (2 > 4)

Classificazione, numero dei giri specifico e scelta della macchi

ne, diagramma H Q per pompe, compressori, diagramma PV per compressori e pompe alternative, rendimento volumetrico del compressore $\lambda = \frac{V_1 - V_4}{V_1}$, dipendenza dallo spazio morto e dal rapporto di compressione, compressione multistadio, pressione media indicata e potenza indicata di un compressore, compressione con interrefrigerazione, schema compressore alternativo con interrefrigerazione, curve caratteristiche dei compressori dinamici e delle pompe, andamento delle curve caratteristiche rispetto al tipo di pala, curva caratteristica reale, grafico del rendimento politropico, dipendenza da T e m, curva $p \dot{Q}$, portata corretta e numero di giri corretto, scelta delle giranti per pompe e compressori, problema del distacco della vena fluida, grado di reazione, stabilità, inserimento di una pompa o di un compressore in un circuito, curva esterna e interna, stabile e instabile, limitazione della curva caratteristica, fenomeno di pompaggio e di choking, fenomeno di cavitazione delle pompe, NPSH, A, NPSH, R, accorgimenti per evitare la cavitazione, massima altezza a cui può essere posta la pompa, regolazione di una pompa, posizione della valvola di laminazione, pompe in serie e parallelo.