

# La Bibbia di Frigo

Riassunti delle dispense di Frigo elaborati al netto di:

- Circa 25 orali sbobinati
- Studio approfondito delle dispense
- Ricevimenti sostenuti con il professore

Il riassunto è scritto sotto forma di domande: molte di queste sono le stesse domande poste dal professore in sede di orale.

CAPITOLO 1: MACCHINE & EULERO-----	2
CAPITOLO 2: RENDIMENTI MACCHINA A FLUIDO-----	9
CAPITOLO 3: CICLO RANKINE & HIRN-----	11
CAPITOLO 4: GENERATORI DI VAPORE-----	18
CAPITOLO 5: CICLO JOULE-----	25
CAPITOLO 6: MOTORI ALTERNATIVI A COMBUSTIONE INTERNA-----	34
CAPITOLO 7: CICLI COGENERATIVI E CICLI COMBINATI-----	58
CAPITOLO 8: ECO-COMPATIBILITA' DELLE MACCHINE TERMICHE-----	64
CAPITOLO 9: MACCHINE MOTRICI IDRAULICHE-----	74
CAPITOLI 10 & 11: COMPRESSORI DINAMICI E VOLUMETRICI-----	80
CAPITOLO 12: POMPE IDRAULICHE-----	83

# CAPITOLO 1: MACCHINE & EULERO

Mi definisca la Macchina a Fluido e varie classificazioni legate ad essa

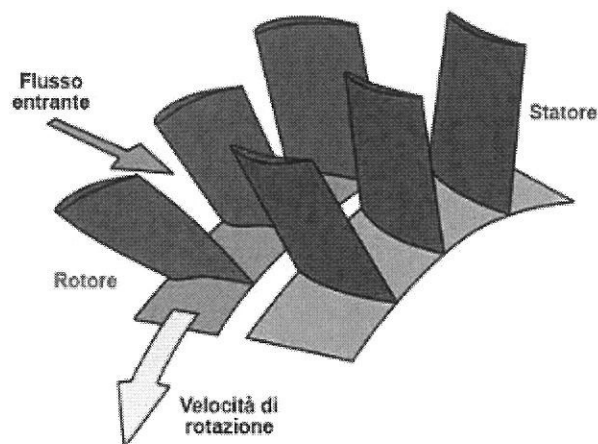
Definiamo la macchina a fluido come un apparato composto da elementi fissi e mobili, che converte energia primaria in energia meccanica o viceversa. Nello specifico abbiamo definito alcune classificazioni:

- Motrice / Operatrice: secondo il modo in cui si scambia energia. Nella prima il fluido cede energia e la macchina eroga energia meccanica. Nel secondo avviene il contrario.
- Idraulica / Termica: secondo l'incomprimibilità del fluido utilizzato.
- Volumetrica / Dinamica o Turbomacchina: a seconda del modo in cui viene scambiata energia. La prima lavora su volumi di fluido successivi rinnovati periodicamente in cui la portata varia linearmente con la velocità di rotazione. Mentre la seconda su un flusso continuo. Nelle macchine dinamiche le trasformazioni sono sempre adiabatiche.
- Alternativa / Rotativa: a seconda del moto delle sue parti mobili.
- Assiale / Radiale: a seconda del percorso del fluido nella macchina (parallelo o perpendicolare all'asse di rotazione).

Quale crede sia un limite delle macchine volumetriche alternative?

Il loro funzionamento è caratterizzato da un'accentuata caratteristica di irregolarità nel momento motore essendo il momento motore definito come  $M_m = Fr \sin \theta$ . A questo si somma il problema che nei motori MCI, ad esempio, anche la forza  $F$  non è costante, queste irregolarità del momento motore comporta non lievi problemi di bilanciamento delle forze e regolarità del moto.

Definisca il funzionamento di una macchina dinamica (Turbomacchina)



Essa è composta da una palettatura rotante (girante o rotore) e una fissa (statore). Lo statore precede il rotore nelle macchine motrici (trasformazione energia di pressione in cinetica) e le segue per le macchine operatrici (trasformazione inversa). Uno stadio è la composizione di due parti, una fissa e una mobile. Uno statore ha il compito di trasformare energia di pressione in energia cinetica, mentre il rotore (essendo la parte mobile) ha il compito di trasferire energia meccanica all'esterno

Lo scambio di lavoro è dato dalle forze che si generano tra fluido e la palettatura. Generalmente supponiamo il funzionamento di queste macchine come adiabatico, e nel caso reversibile (isoentropico).

Differenze tra stato di azione e stato di reazione? Conseguenti considerazioni su grado di reazione (R)

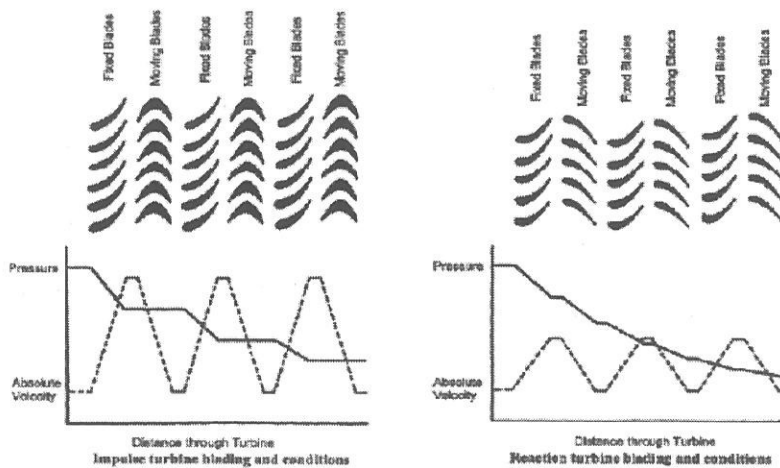
Definiamo come "stadio ad azione" uno stadio in cui il salto di pressione avviene solo a cavallo dello statore. Al contrario definiamo come "stadio di reazione" uno stadio caratterizzato dal frazionamento dell'espansione in due fasi. Ricordiamo che il contenuto di energia del fluido iniziale è lo stesso, con la differenza che dopo uno stadio a reazione avrà ancora un po' di energia di pressione.

$$R = \frac{\int_{p_1}^{p_2} v \cdot dp}{\int_{p_0}^{p_2} v \cdot dp} = \frac{(h_1 - h_2)}{(h_0 - h_2)}$$



In particolare definito il grado di reazione (R) avremo R=0 per turbina ad azione e un valore di 0<R<1 per le turbine a reazione (di solito valori fino a 0,6).

In particolare diciamo che la fase statorica trasforma l'energia di pressione in energia cinetica mentre il rotore trasferisce verso l'esterno lavoro meccanico.



Negli stadi a reazione mi aspetto diminuzioni di velocità meno drastiche e diminuzioni di pressioni più gradual. In generale ho velocità assolute più basse, meno perdite di carico, per questo a parità di salto entalpico hanno rendimento migliore. A fronte di questo si notifica la maggiore costosità e difficoltà in fase di progettazione.

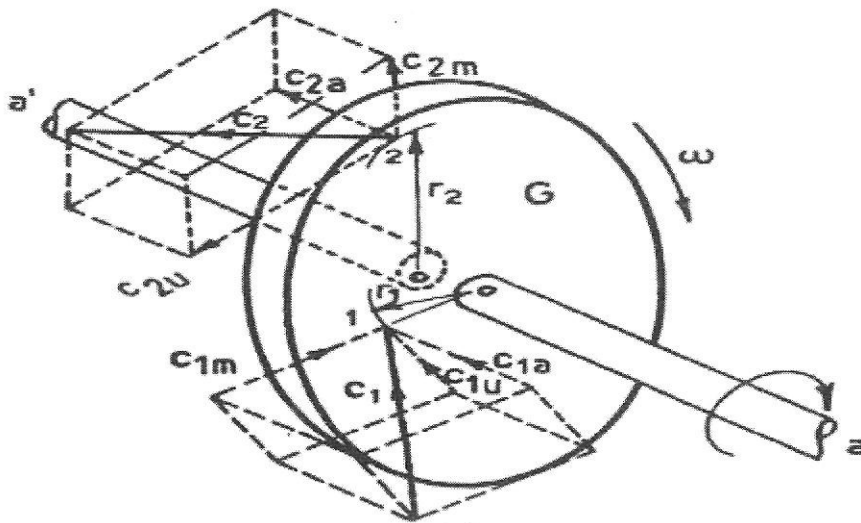
---

Cosa differenzia una macchina volumetrica da una dinamica?

Nella macchina volumetrica l'energia di pressione viene convertita in lavoro meccanico mentre nella macchina dinamica l'energia di pressione viene trasformata in energia cinetica (nello statore) e successivamente in lavoro trasferito verso l'esterno (nel rotore).

---

Descriva le equazioni di Eulero ed il loro funzionamento



Le equazioni di Eulero valutano nelle turbomacchine la relazione tra fluido e rotore. Considerata:

- una generica rotante G attorno ad un asse aa'
- velocità angolare  $\omega$
- il rispettivo fluido che entra nella girante in r1
- velocità  $c_1$
- che esca dal rotore in r2
- $c_2$ .

Si definisce poi la componente  $c_u$  della velocità del fluido come quella nel piano della girante e tangenziale al cerchio di raggio r1.

variazione del momento della quantità di moto = Momento dell'impulso

Partendo dal teorema dell'impulso:  $dm (r_1 c_{1u} - r_2 c_{2u}) = M dt$

Possiamo in pochi passaggi ottenere l'equazione di Eulero:  $L = u_1 c_{1u} - u_2 c_{2u}$

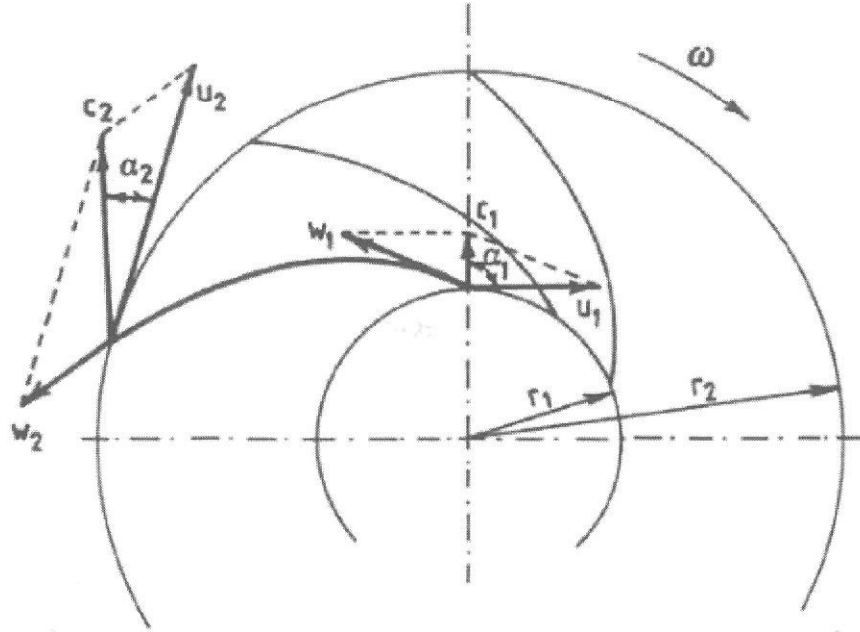
ove L è il lavoro per unità di massa del fluido motore

L'equazione è valida per qualsiasi turbomacchina e chiarisce che il lavoro trasferito dipende solamente dalle caratteristiche geometriche della girante all'ingresso e all'uscita del fluido e

dalla sua velocità di rotazione ( infatti  $u = \omega r$  ), non dal tipo di fluido (sia esso incompressibile o comprimibile, INCREDIBILE!!).

Distinguiamo quindi per le considerazioni successive diverse situazioni:

- **Generica girante centrifuga (macchina radiale)**



Definiti i triangoli di velocità definiamo la seconda forma della equazione di Eulero, anch'essa valida per qualsiasi turbomacchina:

$$P = \dot{m} \left( \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2} \right) [\text{W}]$$

Il primo termine diventerà pressione nel diffusore a valle della girante, secondo e terzo termine determinano incremento della pressione nella girante

