

Idraulica e macchine idrauliche

Idrostatica

Pressione nei fluidi

- 1 La pressione esercitata su un punto del contorno si trasmette uguale in tutta la massa fluida.
- 2 In un punto della massa fluida la pressione si esercita ugualmente in tutte le direzioni.
- 3 La pressione del fluido agisce in direzione perpendicolare alla parete.

Pressione idrostatica

La pressione idrostatica è quella esercitata da un liquido (massa volumica ρ) per effetto del suo peso; a una profondità H è data da:

$$p_{idr} = \rho \cdot g \cdot H$$

$$Pa = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m}$$

La pressione idrostatica non dipende dalla forma del recipiente.

In un liquido, la cui superficie è in equilibrio con un gas a pressione p_g , la **pressione assoluta** all'interno del liquido alla profondità H è data da:

$$p_{ass} = p_g + \rho \cdot g \cdot H$$

Se è in equilibrio con l'atmosfera si ha:

$$p_{ass} = p_{atm} + \rho \cdot g \cdot H$$

La **pressione assoluta** è riferita al vuoto.

La **pressione effettiva** o **relativa** è riferita alla pressione atmosferica, quindi è:

$$p_{eff} = p_{ass} - p_{atm}$$

Spinte idrostatiche

Spinta esercitata da un liquido contro la parete a contatto, di area A :

$$S_{idr} = p_{med} \cdot A$$

$$N = Pa \cdot \text{m}^2$$

La spinta è sempre perpendicolare alla parete.

La retta d'applicazione passa all'altezza del baricentro del diagramma di carico.

Se la parete, di altezza H , arriva fino al pelo libero si ha: $p_{med} = \frac{\rho \cdot g \cdot H}{2}$.

Principio di Archimede

Un corpo di volume V immerso in un fluido di massa volumica ρ_o riceve una spinta verso l'alto pari al peso del fluido spostato:

$$S = \rho_o \cdot g \cdot H$$

Se il corpo immerso ha un peso G , la condizione di *galleggiamento* è: $G \leq S$.

Idrodinamica

Portata

Rapporto tra la quantità di fluido che attraversa una sezione e il tempo impiegato nell'attraversamento.

- portata volumetrica $Q_v = \frac{V}{t} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$
- portata massica $Q_m = \frac{m}{t} = \frac{V \cdot \rho}{t} \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)$
- portata ponderale $Q_g = \frac{G}{t} = \frac{V \cdot \rho \cdot g}{t} \left(\frac{\text{N}}{\text{s}} \right)$

Velocità media della corrente

$$c = \frac{Q_v}{A}$$

Regime permanente (stazionario)

Le caratteristiche della corrente rimangono costanti nel tempo anche se possono variare da sezione a sezione.

Le fasi di *regime transitorio* sono invece quelle durante le quali avvengono variazioni nel tempo.

Regime uniforme

Regime permanente in cui la velocità è costante lungo il percorso.

Tra due sezioni successive della tubazione si conserva la massa fluida e vale l'**equazione di continuità della portata**:

- per i fluidi (liquidi o aeriformi) $\rho \cdot c \cdot A = \text{costante}$
- per i liquidi ($\rho = \text{costante}$) $c \cdot A = \text{costante}$

A una sezione minore si accompagna una velocità maggiore.

A una sezione maggiore si accompagna una velocità minore.

Se la sezione è costante la velocità è costante (regime uniforme), anche se la tubazione non è orizzontale.

Per una corrente in regime permanente con tubazione rigida, in assenza di perdite di carico tra due sezioni 1 e 2, vale l'**equazione di Bernoulli in regime ideale**:

$$z_1 + \frac{c_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho \cdot g} = z_2 + \frac{c_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho \cdot g}$$

Il carico totale, potenziale gravitazionale + cinetico + piezometrico, è costante lungo il percorso.

I carichi indicano il contenuto di energia e sono espressi in $m = J/N$.

Potenza di una corrente

Indicato con $H = z + c^2/2g + p/\rho \cdot g$ ($m = J/N$) il carico totale della corrente in una sezione e con Q_m la portata massica, la potenza si esprime con il prodotto:

$$Q_m \cdot g \cdot H$$

$$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{J}}{\text{N}} = \text{W}$$

Perdite di carico

Energia dissipata lungo il percorso a causa delle turbolenze interne al liquido e degli attriti tra liquido e parete.

perdite continue
• distribuite sull'intero percorso
perdite localizzate
• in particolari tratti o sezioni (deviazioni, curve, diramazioni, valvole, variazioni di diametro ecc.)

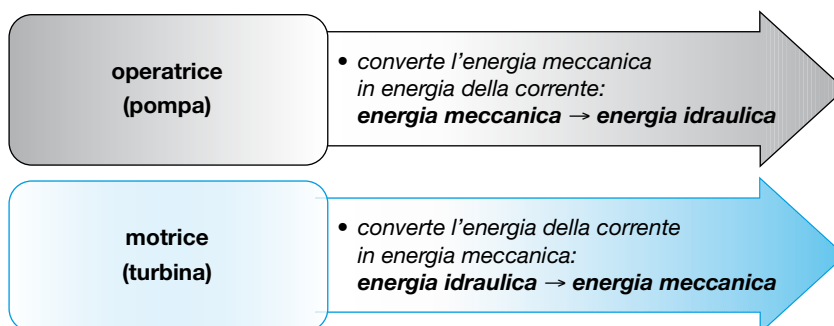
Le perdite di carico sono proporzionali al carico cinetico; si calcolano nel modo seguente:

- distribuite **formula di Darcy:** $Y_d = \beta \cdot \frac{Q^2}{D^5} \cdot L$;
- localizzate $y = \xi \cdot \frac{c^2}{2g}$ il coefficiente dipende dal tipo di accidentalità (valvola, curva ecc.).
Possono essere conteggiate come perdite distribuite introducendo una lunghezza equivalente.

Macchina idraulica

Macchina a fluido che scambia energia con una corrente liquida (solitamente acqua).

La conversione di energia dipende dal tipo di macchina:



Equazione di Bernoulli

Tra due sezioni 1-2 in presenza di perdite di carico e di una macchina idraulica:

Y_{1-2} = perdite totali tra le sezioni 1-2;

H_1 e H_2 = carichi totali nelle due sezioni;

L = lavoro scambiato tra la corrente e la macchina (+ nel caso della pompa; – nel caso della turbina).

$$H_1 - Y_{1-2} \pm L = H_2$$

Impianti motori idraulici

Salto geodetico H_g

Differenza di quota tra il bacino di alimentazione e quello di scarico.

Salto utile (netto) $H_u = H_g - Y$ (perdite di carico nella condotta).

Potenza effettiva della turbina

$$N_e = Q_m \cdot g \cdot H_u \cdot \eta_t$$

$$W = \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m}$$

η_t = rendimento della turbina.

Impianti ad alta caduta

salto elevato – portata limitata

Impianti ad acqua fluente

salto ridotto – grande portata

Impianti di pompaggio (accumulo)

la portata utilizzata di giorno viene rimandata di notte nel bacino di alimentazione con un pompaggio

Impianti mini-idraulici

di potenza limitata (< 1 MW); spesso impiegati per il recupero energetico nei sistemi idrici (acquedotti, canali irrigui ecc.)

Turbine idrauliche

Macchine idrauliche motrici costituite da:

- **distributore:** parte fissa in cui si realizza la conversione, totale o parziale, dell'energia di pressione della corrente in energia cinetica;
- **girante:** parte mobile in cui si realizza la conversione in energia meccanica di rotazione.

Grado di reazione: quota dell'energia utile della corrente trasformata in energia cinetica all'interno della girante.

$$r = \frac{H_u - \frac{c_1^2}{2g}}{H_u}$$

c_1 = velocità del getto all'uscita dal distributore.

Turbina ad azione: con grado di reazione $r = 0$ (tutta l'energia della corrente è trasformata in energia cinetica nel distributore).

Turbina a reazione: la trasformazione in energia cinetica avviene parzialmente nella girante ($0 < r < 1$).

Numero di giri specifico n_s : frequenza di rotazione di un modello geometricamente simile alla turbina reale e funzionante con salto unitario e portata unitaria.

$$n_s = \frac{n \cdot \sqrt{N_e}}{H_u^{1,25}}$$

n = frequenza di rotazione della turbina reale.

Tipi principali di turbine e loro campo d'impiego:

Pelton	$n_s < 50$	lenta	Azione ($r = 0$)	Salto elevato – portata ridotta
Francis	$n_s = 50-350$		Reazione (r vicino a 0,5)	Ampio campo di situazioni intermedie
Kaplan	$n_s = 350-850$	veloce	Reazione ($r = 0,5$)	Salto limitato – grande portata

Impianti di pompaggio

Pompa

Macchina idraulica operatrice che fornisce la potenza utile al trasferimento di un liquido.

TIPI DI POMPE			
Volumetriche alternative	Volumetriche rotative	Centrifughe	Assiali
Per prevalenze elevate, basse velocità e portate limitate	A lobi, a ingranaggi, a vite	Girante-diffusore; multistadio per prevalenze elevate	A elica
Portata variabile pulsante	Costanza della portata	Portata proporzionale a n Prevalenza proporzionale a n^2 Potenza proporzionale a n^3	Per grandi portate

Le due caratteristiche fondamentali sono:

- **portata;**
- **prevalenza:** incremento di energia necessario per pompare il liquido da una sezione 1 a una sezione 2, superando il dislivello, la differenza di pressione e le perdite di carico. Di solito il trasferimento è tra due serbatoi, in cui la velocità è trascurabile.

$$H = \Delta z + \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} + Y \left(m = \frac{J}{N} \right)$$

Potenza utile della pompa:

$$N_u = Q_v \cdot \rho \cdot g \cdot H$$

$$W = \frac{m^3}{s} \cdot \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m$$

Potenza che la pompa assorbe dal motore:

$$N_{ass} = \frac{N_u}{\eta_p}$$

η_p = rendimento della pompa.

Prevalenza manometrica della pompa:

$$H_m = \frac{p_M - p_V}{\rho \cdot g}$$

p_M, p_V = pressioni misurate sulla mandata e sull'aspirazione della pompa.

Curve caratteristiche

Descrivono l'andamento della potenza, della prevalenza e del rendimento della pompa al variare della portata.

All'intersezione tra curva di prevalenza della pompa e curva dell'impianto (dislivello piezometrico + perdite di carico) si trova il *punto di funzionamento*, caratterizzato da una coppia di dati portata-prevalenza.