3 Conversione dell'energia nelle macchine e impianti idraulici

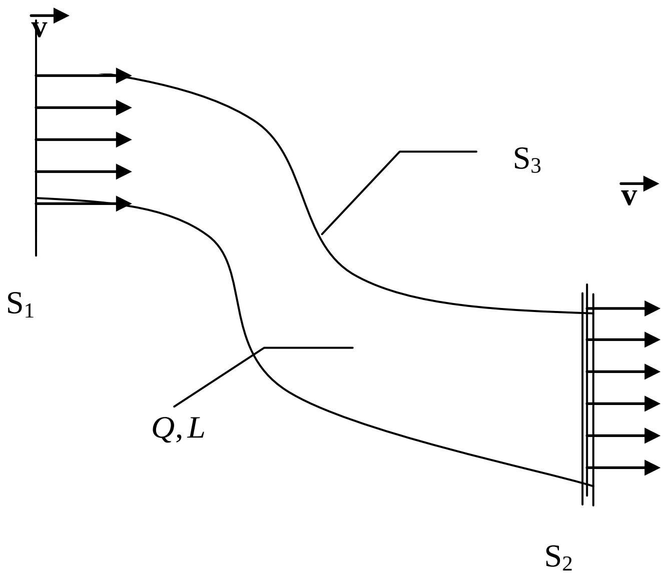
Nonostante le macchine a fluido incomprimibile possano essere studiate utilizzando le relazioni generali ricavate per i fluidi comprimibili, risulta conveniente adottare una trattazione separata in virtù delle semplificazioni che conseguono introducendo nelle equazioni viste la relazione

$$\rho = \text{costante}$$

che caratterizza il comportamento dei fluidi incomprimibili. Un esempio di applicazione è già stato visto al paragrafo XXX, e l'applicazione della precedente legge alla equazione di conservazione dell'energia verrà trattata nel prossimo paragrafo.

3.1 Conservazione dell'energia per i fluidi incomprimibili

Riprendiamo l'equazione di conservazione dell'energia per un sistema aperto con flusso stazionario monodimensionale entro un condotto, nel caso in cui l'unico campo di forze conservative agente sul fluido sia il campo gravitazionale:



$$h_1 + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot z_1 + \mathrm{L} + \mathrm{Q} = h_2 + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot z_2$$

Osservando che

$$h = u + pv = u + \frac{p}{\rho}$$

possiamo riscrivere l'equazione portando a destra i temini "termici" come:

$$\frac{p_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot z_1 + \mathrm{L} = \frac{p_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot z_2 + \left[u_2 - u_1 - Q\right]$$

Ponendo allora $y = [(u_2 - u_1) - Q]$ e ricordando che $\rho_1 = \rho_2 = \rho$ la conservazione dell'energia equivale all'insieme delle due seguenti equazioni:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot z_1 + \mathrm{L} = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot z_2 + y$$
$$y = [u_2 - u_1 - Q]$$

che nel caso di fluido incomprimibile possono essere risolte indipendentemente.

Nella prima relazione, talvolta chiamata equazione dell'energia meccanica[1] compare la somma dei termini

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \qquad [J/kg]$$

che prende il nome di trinomio di BERNOULLI, e che rappresenta l'energia meccanica per unità di massa associata al flusso (nell'ordine i termini rappresentano rispettivamente il lavoro di pulsione, l'energia cinetica e l'energia potenziale). Si osserva inoltre che la prima relazione vale indipendentemente da Q, ovvero per un fluido incomprimibile la "storia" meccanica e la "storia" termica sono totalmente separate.

Il termine y, come sarà chiarito a breve, ha un significato fisico importante, e rappresenta la dissipazione di lavoro meccanico per unità di massa $\left[\frac{J}{kg}\right]$ a causa degli attriti.

Per chiarire il significato del termine y consideriamo ora una trasformazione reale irreversibile infinitesima; per tale trasformazione dalla relazione fondamentale si ha

$$T \cdot ds = du + p \cdot dv$$

mentre la variazione di entropia della trasformazione è esprimibile come

$$ds = \frac{\delta Q}{T} + ds_{irr}$$

dove il primo termine a destra dell'uguale $\frac{\delta Q}{T}$ rappresenta la variazione dell'entropia connessa con il calore scambiato con l'esterno durante la trasformazione mentre il secondo termine a destra dell'uguale corrisponde ad una generazione interna di entropia a causa delle irreversibilità. Moltiplicando entrambi i membri della precedente relazione per T si ha:

$$Tds = \delta Q + Tds_{irr}$$

[1] Vedi Mora net al. Fisica Tecnica per l'ingegneria, Mc Graw Hill, pag. 222

In un sistema fluido $T \cdot ds_{irr}$ non è altro che il lavoro meccanico dissipato dagli attriti viscosi e *si comporta* come un calore introdotto *dall'intermo* a causa delle irreversibilità

$$T \cdot ds_{irr} = \delta L_w = \text{Lavoro degli attriti viscosi}$$

In virtù di questa considerazione è possibile dunque scrivere

$$T \cdot dS = \delta Q + \delta L_W$$

che sostituita nella relazione fondamentale fornisce

$$\delta Q + \delta L_W = du + pdv$$

e nel caso incomprimibile (dv=0)

$$\delta Q + \delta L_W = du$$

che integrata lungo una trasformazione finita fornisce:

$$Q + L_W = u_2 - u_1$$

e si riconosce quindi

$$(u_2 - u_1) - Q = L_W = y$$

<u>Osservazione</u> Ipotizzando che l'organo meccanico che scambia lavoro con l'esterno sia libero di muoversi senza attrito, il termine di generazione di entropia ds_{irr} può essere calcolato esprimendo il lavoro effettivamente scambiato con l'esterno come prodotto della pressione esterna per la variazione di volume del sistema. Il lavoro dissipato nella trasformazione irreversibile è la differenza fra il lavoro interno della trasformazione **(**pdv) e il lavoro scambiato con l'ambiente esterno (p_{est}dv). Tale differenza si trasformerà, in generale, in energia cinetica delle particelle; ciò in accordo col fatto che la trasformazione irreversibile comporta velocità finite nelle varie parti del sistema. L'energia cinetica decade quindi in energia interna. La dissipazione comporta un aumento di entropia dato da:

$$ds_{irr} = \frac{-p_{est}dv - (-pdv)}{T} = \frac{\delta L_W}{T}$$

<u>Nota 1:</u>
Le perdite *y* sono dovute alle dissipazioni *all'interno* del fluido: sulle superfici del condotto gli attriti non compiono lavoro poiché $\int_S \tau \cdot \vec{t} \cdot \vec{v} \cdot dS = 0$

<u>Nota 2:</u>
Se $\rho =$ costante, essendo in questo caso u=u(T), ipotizzando anche calore specifico c costante si ha $\Delta u = c \cdot \Delta T$ e più in particolare:

$$\Delta u = c \cdot \Delta T = Q + L_W = c \cdot \Delta T_Q + c \cdot \Delta T_{L_w}$$

$$\Delta T = \Delta T_{Q_e} + \Delta T_{L_w}$$

in cui il primo termine è generato dall' introduzione di calore e il secondo dalle dissipazioni per attrito.

Per il caso importante di flusso adiabatico ($Q=0$) risulta:

$$\Delta u = L_w = y = c \cdot \Delta T_{L_w} \Rightarrow \Delta T_{L_w} = \frac{y}{c}$$

$$\Delta T_{L_w} = \frac{1}{c}\left\{ L - \left[\frac{p_2 - p_1}{\rho} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g \cdot (z_2 - z_1) \right] \right\}$$

ΔT_{L_w} è quindi una misura di "inefficienza" del conferimento di lavoro al fluido. L è il lavoro reale (totale) conferito al fluido mentre il termine tra parentesi quadrate indica il lavoro conferito sotto forma di energia meccanica "ordinata" e prende il nome di "energia ideale"

Osservazione: in alcuni casi (soprattutto in ambito idraulico e soprattutto nel passato) si suole dividere tutti i termini dell'equazione per g, facendo così riferimento all'unità di peso anziché di massa*:*

$$\frac{p_1}{\rho\, g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + \frac{\mathrm{L}}{g} = \frac{p_2}{\rho\, g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + \frac{y}{g} \qquad [\mathrm{m}]$$

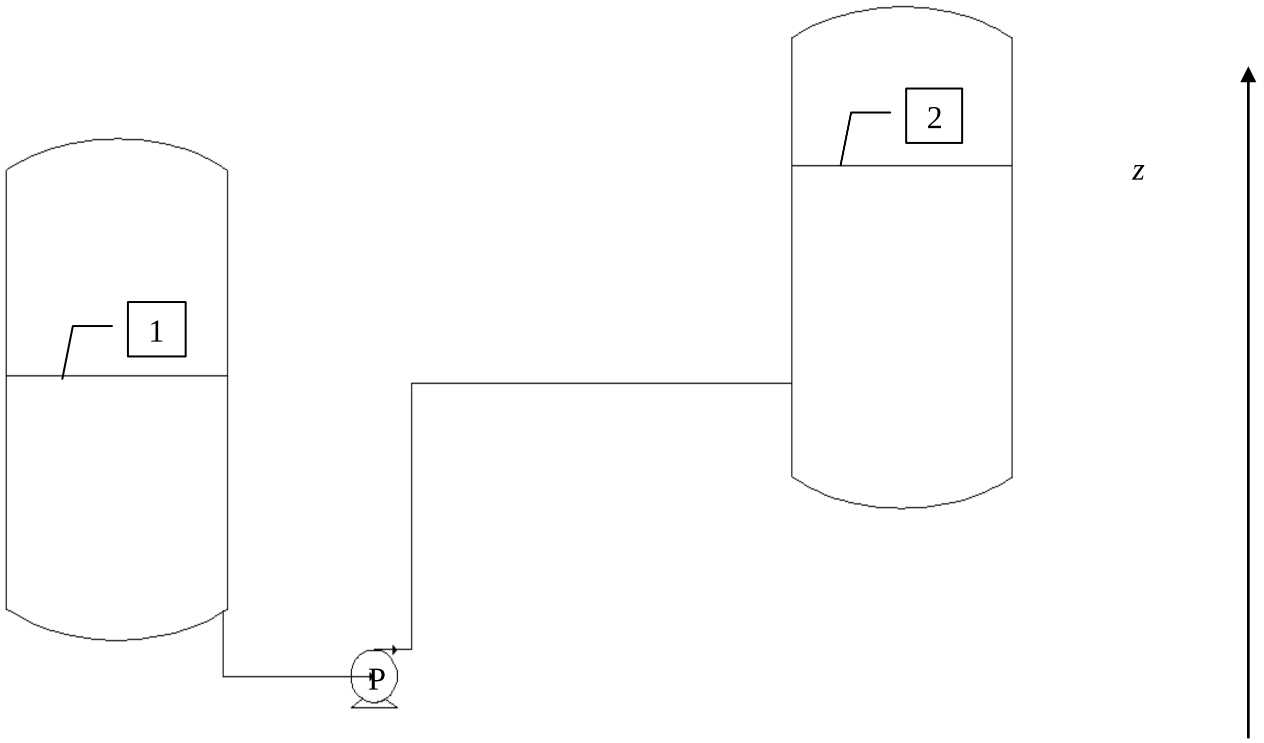
dove:

$\rho\, g =$ peso specifico del fluido $= \gamma \quad \left[\frac{N}{m^3} \right]$

$\frac{L}{g} =$ lavoro per unità di peso [m]

$\frac{y}{g} = Y =$ perdite per unità di peso [m]

3.2 Impianto idraulico operatore



Si consideri l'impianto idraulico rappresentato in figura, e siano 1 e 2 rispettivamente un punto sul pelo libero del bacino aspirazione e di mandata; scrivendo la conservazione dell'energia tra i punti 1 e 2 si ha

$$\frac{p_1}{\rho}+\frac{v_1^2}{2}+g\cdot z_1+L=\frac{p_2}{\rho}+\frac{v_2^2}{2}+g\cdot z_2+y$$

da cui è possibile ricavare il lavoro L compiuto dalla macchina a fluido (in questo caso la pompa) sul fluido come:

$$L=\frac{p_2-p_1}{\rho}+\frac{v_2^2-v_1^2}{2}+g(z_2-z_1)+y$$

dall'analisi dei termini presenti nella precedente espressione si evidenziano rispettivamente:

- il termine relativo alla pressurizzazione del fluido $\frac{p_2-p_1}{\rho}$

- il termine relativo all'accelerazione del fluido $\frac{v_2^2-v_1^2}{2}$

- il termine relativo al sollevamento del fluido $g(z_2-z_1)$

e le perdite *y*, presenti sia nel circuito, sia nella macchina.

La relazione per il calcolo del lavoro si può esprimere come

$$L = E_{id} + y\,,$$

dove si definisce energia ideale la quantità

$$E_{id} = \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)$$

L'energia ideale ha il significato di energia scambiata nel caso ideale con perdite nulle; essa corrisponde all'energia meccanica conferita al fluido.

Le perdite y si verificano, come già evidenziato, sia nell'impianto, sia nella macchina a fluido

$$y = y_{IMPIANTO} + y_{POMPA}$$

Non tutti i termini che compaiono nell'espressione per il calcolo del lavoro sono necessariamente sempre significativi, come si evince dai seguenti esempi:

Esempi

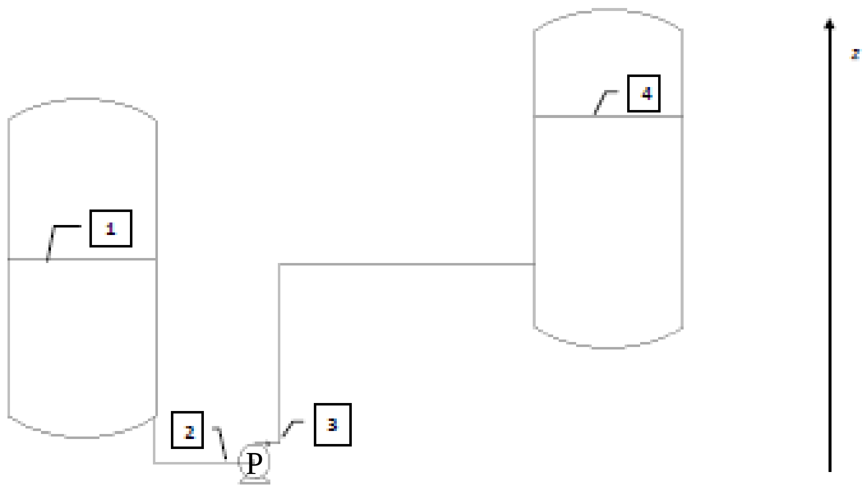
Pompa alimentazione caldaia: $L \cong \frac{p_2 - p_1}{\rho} + y$

Impianto sollevamento: $L \cong g(z_2 - z_1) + y$

Idrogetto: $L = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + y$

Pompa di circolazione: $L \cong y$

3.2.1 Definizione di prevalenza



Si applichi la conservazione dell'energia con riferimento alla figura, in cui sono evidenziati:

- il pelo libero del bacino di aspirazione, indicato con 1
- la sezione di ingresso della pompa, indicata con 2
- la sezione di uscita dalla pompa, indicata con 3

- il pelo libero del bacino di scarico, indicato con 4

tra 1 e 2 $$\frac{p_1}{\rho}+\frac{v_1^2}{2}+g\cdot z_1=\frac{p_2}{\rho}+\frac{v_2^2}{2}+g\cdot z_2+y_{1\to 2}$$

tra 2 e 3 $$\frac{p_2}{\rho}+\frac{v_2^2}{2}+g\cdot z_2+L=\frac{p_3}{\rho}+\frac{v_3^2}{2}+g\cdot z_3+y_p$$

tra 3 e 4 $$\frac{p_3}{\rho}+\frac{v_3^2}{2}+g\cdot z_3=\frac{p_4}{\rho}+\frac{v_4^2}{2}+g\cdot z_4+y_{3\to 4}$$

sommando si ottiene

$$\frac{p_1}{\rho}+\frac{v_1^2}{2}+g\cdot z_1+L=\frac{p_4}{\rho}+\frac{v_4^2}{2}+g\cdot z_4+y_{1\to 2}+y_p+y_{3\to 4}$$

che corrisponde alla conservazione dell'energia tra 1 e 4, da cui

$$L=\frac{p_4-p_1}{\rho}+\frac{v_4^2-v_1^2}{2}+g\left(z_4-z_1\right)+y_{1\to 2}+y_p+y_{3\to 4}$$

indicando con y_{IMP} la somma $y_{1\to 2}+y_{3\to 4}$ si ha

$$L=\frac{p_4-p_1}{\rho}+\frac{v_4^2-v_1^2}{2}+g\left(z_4-z_1\right)+y_{IMP}+y_p$$

Il termine L può essere otteuto direttamente anche dalla conservazione dell'energia tra ingresso e uscita dalla macchina:

$$L=\frac{p_3-p_2}{\rho}+\frac{v_3^2-v_2^2}{2}+g\left(z_3-z_2\right)+y_P$$

Per un impianto operatore, il termine prevalenza indica l'energia ideale (o lavoro ideale) per unità di peso di fluido. Per essa si usa il simbolo H; la prevalenza è dunque espressa in "m di colonna di fluido".

Ricordando la definizione di energia ideale precedentemente introdotta si ha dunque con riferimento alla pompa

$H_p=\frac{E_{id,p}}{g}=\frac{L-y_p}{g}$ <u>prevalenza della pompa</u>[2] (fornita dalla pompa)

Con riferimento all'impianto si definiscono:

---

2 La prevalenza, così come è stata definita, si dice anche prevalenza *manometrica*, perché la differenza di pressione può essere facilmente misurata mediante lettura di due manometri posti in 2 e in 3.

$H_g = (z_4 - z_1) =$ prevalenza geodetica

$H_{netta} = \frac{E_{id,netta}}{g} =$ prevalenza netta richiesta[3]

essendo $E_{id,netta} = L - y_P - y_{IMP} = \frac{P_4 - P_1}{\rho} + \frac{v_4^2 - v_1^2}{2} + gH_g$

Introducendo infine

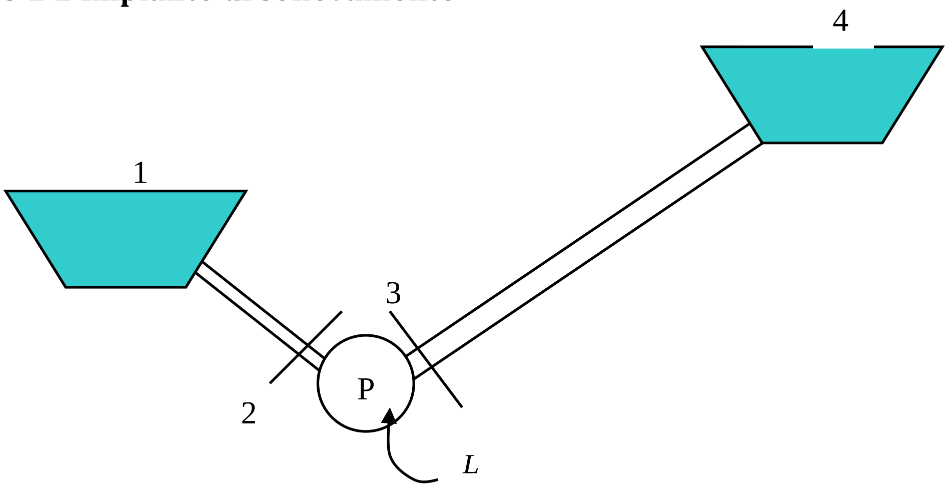
H_{imp} prevalenza dell'impianto (richiesta dall'impianto alla pompa),

ed essendo nel caso in esame $H_{imp} = H_P$ la conservazione dell'energia è esprimibile in termini di prevalenza, con la notazione $Y_{imp} = y_{imp}/g$ come:

$$H_{imp} = H_{netta} + Y_{imp}$$

(infatti $E_{id,p} = gH_{IMP} = E_{id,netta} + y_{IMP}$)

3.2.2 Impianto di sollevamento



I concetti precedentemente esposti sono facilmente applicabili al caso dell'impianto di sollevamento, rappresentato in figura. Richiamando la conservazione dell'energia si ha

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot z_1 + L = \frac{p_4}{\rho} + \frac{v_4^2}{2} + g \cdot z_4 + y_{1\to2} + y_p + y_{3\to4}$$

Osserviamo che, per il caso rappresentato in figura, con entrambi i bacini di aspirazione e mandata a pressione atmosferica,

$$p_1 = p_4 = p_{atm}$$

[3] Il termine di energia cinetica presente nell'energia ideale netta è solitamente trascurabile

ed essendo i bacini di grandi dimensioni la velocità di abbassamento/innalzamento del pelo libero è trascurabile, e dunque si ha:

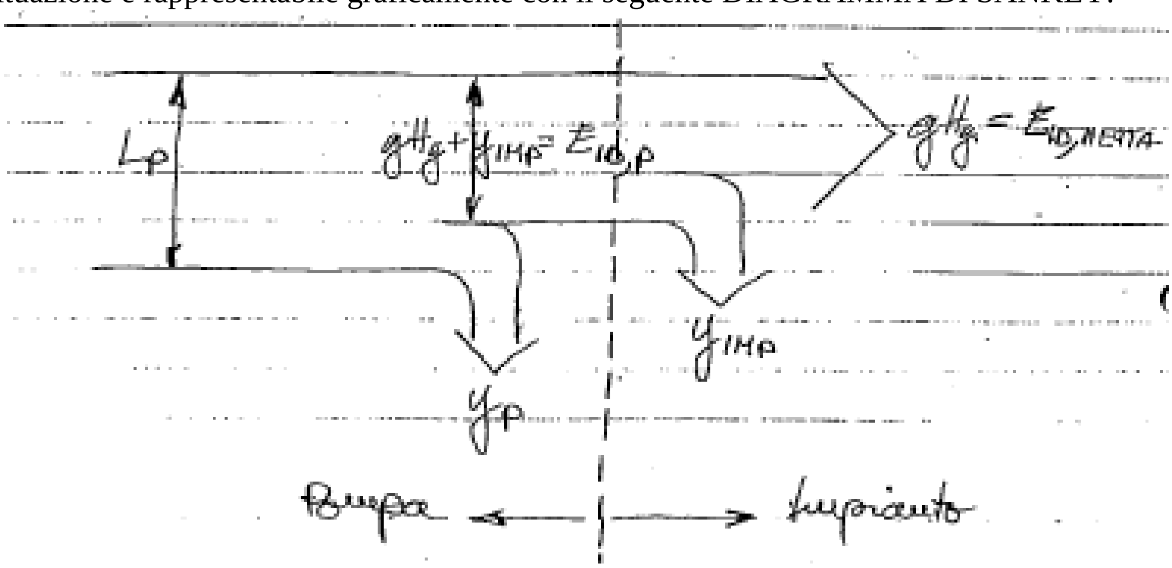
$$v_1 \cong v_4 \cong 0$$

la conservazione dell'energia si semplifica come:

$$L_p = g(z_4 - z_1) + y_{imp} + y_p = gH_g + y_{imp} + y_p$$

e si riconosce dunque che per l'impianto di sollevamento $H_{imp} = H_g + Y_{imp} =$ prevalenza richiesta dall'impianto.

La situazione è rappresentabile graficamente con il seguente DIAGRAMMA DI SANKEY:



dove <u>per l'impianto:</u>

$E_{id,netta} = gH_g =$ Energia meccanica effettivamente conferita al fluido *<u>da tutto l'impianto</u>* tra 1 e 4; (nel caso l'impianto alimenti un serbatoio pressurizzato, cioè se i punti 1 e 4 (serbatoio di valle e di monte) sono a pressione diversa allora: $E_{id,netta} = \frac{p_4 - p_1}{\rho} + gH_g$ ma il diagramma di Sankey rimane qualitativamente inalterato). Come già anticipato nel paragrafo 3.2 si osserva che l'energia ideale netta coincide con il lavoro richiesto da un sistema ideale, con $y_p = y_{imp} = 0$

<u>per la pompa:</u>

$E_{id,P} = g \cdot H_P = \frac{p_3 - p_2}{\rho} + \frac{v_3^2 - v_2^2}{2} + g(z_3 - z_2) =$ Energia meccanica conferita al fluido *<u>dalla pompa;</u>* coincide con il lavoro richiesto da una pompa ideale senza perdite, cioè con $y_P = 0$, inserita in un impianto reale, con $y_{IMP} > 0$.

3.2.3 Definizione di rendimento idraulico di una pompa

$$\eta_{idr,P} = \frac{E_{id,P}}{L_P} = \frac{H_P}{L_P/g} =$$ rendimento idraulico della pompa

Essendo:

$$L_p = E_{id,p} + y_p$$

$$\eta_{idr,p} = 1 - \frac{y_p}{L_p} \quad \text{e} \quad y_p = E_{id,p}\left(\frac{1}{\eta_{idr,p}} - 1\right) \quad \text{o anche} \quad Y_p = H_p\left(\frac{1}{\eta_{idr,p}} - 1\right)$$

$\eta_{idr,p}$ è un indice della qualità della trasformazione di energia tra organi meccanici e fluido che avviene nella pompa.

E' inoltre talvolta utilizzato

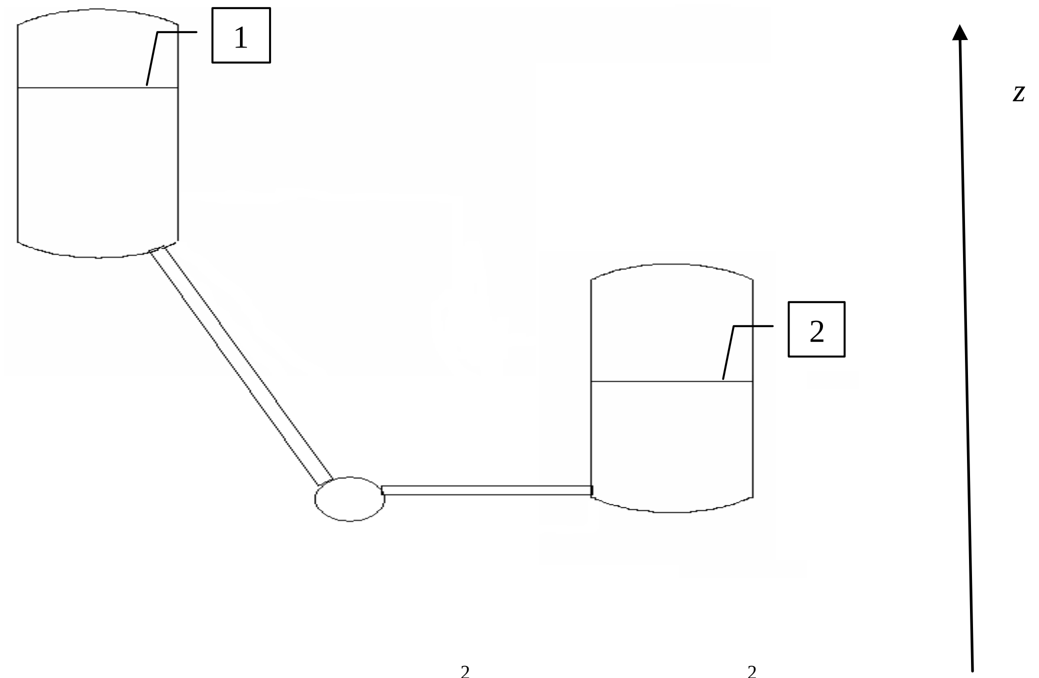
$$\eta_{condotti} = \frac{E_{id,netta}}{E_{id,p}} = \frac{H_{netta}}{H_p} = \frac{H_{netta}}{H_{imp}} = 1 - \frac{Y_{imp}}{H_{imp}} =$$ rendimento dei condotti (1→2) + (3→4)

dove nel nostro caso: $H_p = H_{imp}$

$\eta_{condotti}$ è un indice dell'efficienza con la quale il fluido è trasportato dai condotti. Non trattandosi di un processo di conversione dell'energia, il termine "rendimento", per quanto talvolta usato, è improprio.

3.3 Impianto idraulico motore

Si consideri l'impianto idraulico motore rappresentato in figura, e siano 1 e 2 rispettivamente un punto sul pelo libero del bacino e di monte e di valle; scrivendo la conservazione dell'energia tra i punti 1 e 2, con la convenzione di segno L > 0 uscente, si ha



$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot z_1 = L + \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot z_2 + y$$

da cui è possibile ricavare il lavoro L estratto dal fluido ad opera della macchina (in questo caso la turbina) come:

$$L = \frac{p_1 - p_2}{\rho} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) - y$$

Tra i termini della precedente espressione è possibile evidenziare rispettivamente:

- il termine relativo alla depressurizzazione del fluido $\frac{p_1 - p_2}{\rho}$
- il termine relativo al rallentamento del fluido $\frac{v_1^2 - v_2^2}{2}$
- il termine relativo alla caduta del fluido $g(z_1 - z_2)$

e le perdite *y*, presenti sia nel circuito, sia nella macchina.

La relazione per il calcolo del lavoro si può esprimere come

$$L = E_{id} - y$$

dove si definisce energia ideale E_{id} la quantità

$$E_{id} = \frac{p_1 - p_2}{\rho} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + g(z_1 - z_2)$$

L’energia ideale ha il significato di energia scambiata nel caso ideale con perdite nulle; corrisponde al lavoro prodotto dal fluido nel caso ideale di perdite nulle.

Si sottolinea ancora che le perdite y si verificano sia nell’impianto sia nella macchina a fluido

$$y = y_{IMPIANTO} + y_{TURBINA}$$

Non tutti i termini che compaiono nell’espressione per il calcolo del lavoro sono necessariamente sempre significativi, come si evince dai seguenti esempi:

<u>Esempi</u>
Impianto idroelettrico: $L \cong g(z_1 - z_2) - y$
Turbina eolica: $L = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} - y$

3.3.1 Definizione di salto

Analogamente a quanto fatto per l’impianto operatore, dove è stata definita una grandezza chiamata prevalenza, è d’uso comune definire una grandezza detta salto per un impianto idraulico motore.

Per un impianto idraulico motore, il termine salto indica l’energia ideale (o lavoro ideale) per unità di peso di fluido. Per il salto si usa il simbolo H; esso è dunque espresso in “m di colonna di liquido”.

Si definiscono in particolare:

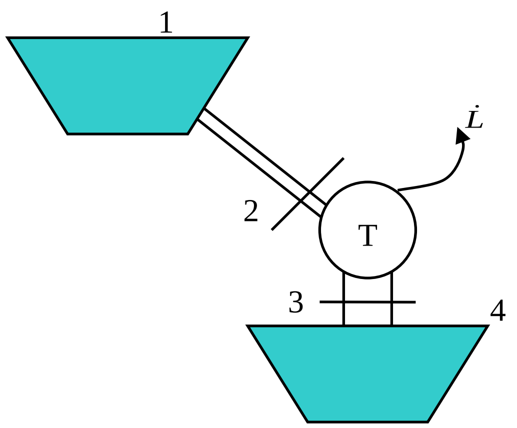
- $H_M = \frac{E_{id,T}}{g} = \frac{L + y_T}{g}$ <u>salto motore</u> elaborato dalla turbina (talvolta chiamato salto utile H_u)

- H_g =differenza di quota tra i peli liberi del bacino di monte e di valle: <u>salto geodetico</u>

Quanto appeno definito sarà esemplificato nel successivo paragrafo dedicato all’impianto idroelettrico.

3.3.2 Impianto idroelettrico

Si consideri l’impianto idroelettrico rappresentato in figura, e siano rispettivamente 1 il punto sul pelo libero del bacino di monte, 2 il punto sulla sezione di ingresso della turbina, 3 il punto sulla sezione di uscita della turbina e 4 il punto sul pelo libero del bacino di valle.



Si applichi la conservazione dell'energia:

tra 1 e 2
$$\frac{p_1}{\rho}+\frac{v_1^2}{2}+g\cdot z_1=\frac{p_2}{\rho}+\frac{v_2^2}{2}+g\cdot z_2+y_{1\to 2}$$

tra 2 e 3
$$\frac{p_2}{\rho}+\frac{v_2^2}{2}+g\cdot z_2=\frac{p_3}{\rho}+\frac{v_3^2}{2}+g\cdot z_3+L_T+y_T$$

tra 3 e 4
$$\frac{p_3}{\rho}+\frac{v_3^2}{2}+g\cdot z_3=\frac{p_4}{\rho}+\frac{v_4^2}{2}+g\cdot z_4+y_{3\to 4}$$

sommando si ottiene

$$\frac{p_1}{\rho}+\frac{v_1^2}{2}+g\cdot z_1=\frac{p_4}{\rho}+\frac{v_4^2}{2}+g\cdot z_4+L_T+y_{1\to 2}+y_T+y_{3\to 4}$$

che corrisponde alla conservazione dell'energia tra 1 e 4, da cui

$$L_T=\frac{p_1-p_4}{\rho}+\frac{v_1^2-v_4^2}{2}+g\left(z_1-z_4\right)-y_{1\to 2}-y_T-y_{3\to 4}$$

e indicando con y_{IMP} la somma $y_{1\to 2}+y_{3\to 4}$

$$L_T=\frac{p_1-p_4}{\rho}+\frac{v_1^2-v_4^2}{2}+g\left(z_1-z_4\right)-y_{IMP}-y_T$$

E' possibile semplificare la precedente espressione osservando che, per il caso rappresentato in figura, con entrambi i bacini di monte e valle a pressione atmosferica,

$$p_1=p_4=p_{atm}$$

ed essendo i bacini di grandi dimensioni si ha:

$$v_1\cong v_4\cong 0$$

dunque

$$L_T=g\left(z_1-z_4\right)-y_{IMP}-y_T$$

L'energia ideale a disposizione della macchina può essere ricavata dalla precedente relazione oppure dalla conservazione dell'energia tra i punti 2 e 3:

$$E_{id,T} = L_T + y_T = g(z_1 - z_4) - y_{IMP}$$

$$E_{id,T} = L_T + y_T = \left(\frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot z_2 \right) - \left(\frac{p_3}{\rho} + \frac{v_3^2}{2} + g \cdot z_3 \right)$$

Si riconosce dunque che, per l'impianto idroelettrico considerato,

$(z_1 - z_4) = H_g$ è il <u>salto geodetico</u>

e potendosi scrivere

$E_{id,T} = L_T + y_T = g \cdot H_g - y_{IMP}$

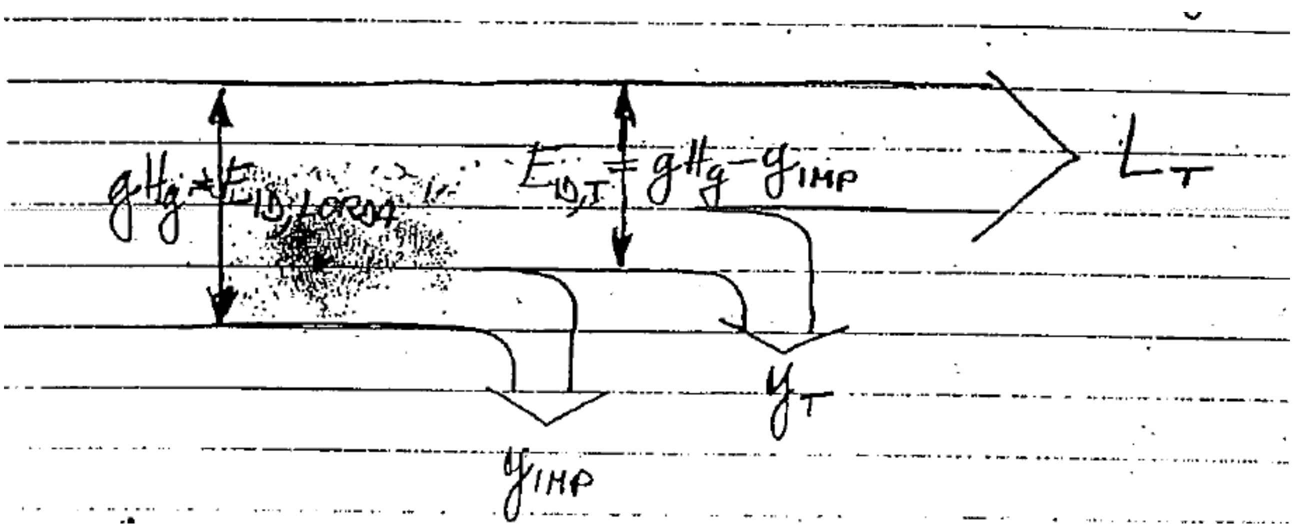
risulta

$H_M = \dfrac{E_{id,T}}{g} = H_g - \dfrac{y_{IMP}}{g} = H_g - Y_{IMP}$ <u>salto motore</u>

Definendo inoltre

$E_{id,lorda} = g \cdot H_g$

è possibile rappresentare la situazione è con il seguente DIAGRAMMA DI SANKEY:



dove *<u>per l'impianto</u>*:

$E_{id,lorda}$ ($E_{id,lorda} = g \cdot H_g$ nel caso dell'impianto idroelettrico in esame) corrisponde all'energia meccanica messa a disposizione dall'impianto, a seguito della differenza tra le condizioni in 1 e 4 (nel caso più generale bisogna aggiungere i termini di pressione ed energia cinetica nell'energia ideale lorda $E_{id,lorda} = \frac{p_1 - p_4}{\rho} + \frac{v_1^2 - v_4^2}{2} + gH_g$ ma il diagramma di Sankey rimane qualitativamente inalterato). L'energia ideale lorda coincide anche con il lavoro producibile da un sistema ideale con perdite ovunque nulle $(y_T = y_{IMP} = 0)$

<u>*per la turbina:*</u>

$E_{id,T} = \frac{p_2 - p_3}{\rho} + \frac{v_2^2 - v_3^2}{2} + g(z_2 - z_3)$ Energia ideale messa a disposizione della turbina dove il primo termine $(\Delta P/\rho)$ è sempre preponderante rispetto agli altri due; essa coincide con il lavoro producibile da una turbina ideale $(y_T = 0)$ inserita in un impianto reale $(y_{IMP} > 0)$

3.3.3 Definizione di rendimento idraulico di una turbina

$\eta_{idr,T} = \frac{L}{E_{id,T}} = 1 - \frac{y_T}{E_{id,T}} =$ rendimento idraulico della turbina

Come già sottolineato nel caso del rendimento idraulico della pompa, anche il rendimento idraulico della turbina è un indice della qualità della trasformazione di energia tra organi meccanici e fluido che avviene nella macchina.

Infatti

$$y_T = E_{id,T} \cdot (1 - \eta_{idr,T})$$

E' inoltre talvolta utilizzato

$$\eta_{condotti} = \frac{E_{id,T}}{E_{id,lorda}} = 1 - \frac{y_{IMP}}{E_{id,lorda}}$$

è un indice dell'efficienza con la quale il fluido è trasportato dai condotti. Si ribadisce che, non trattandosi di un processo di conversione dell'energia, il termine "rendimento", per quanto talvolta usato, è improprio.

3.4 Osservazioni

Sia nell'impianto motore sia nell'impianto operatore la perdite diminuiscono sempre l'effetto utile:

Pompa: $E_{id,netta} = L_P - (y_P + y_{IMP})$

Turbina: $L_T = E_{id,lorda} - (y_{IMP} + y_T)$

In termini di lavoro per unità di peso [m] si ha:

Impianto di sollevamento: $H_g = \left(\frac{L_P}{g} - Y_P\right) - Y_{IMP} = H_P - Y_{IMP}$

Impianto idroelettrico: $H_g = \left(\frac{L_T}{g} + y_T\right) + Y_{IMP} = H_M + Y_{IMP}$