

Energia idroelettrica

Prof. Carmine Napoli

INTRODUZIONE

L'energia potenziale posseduta dall'acqua è detta energia idraulica ed è sfruttata dall'uomo, da millenni, come energia meccanica.

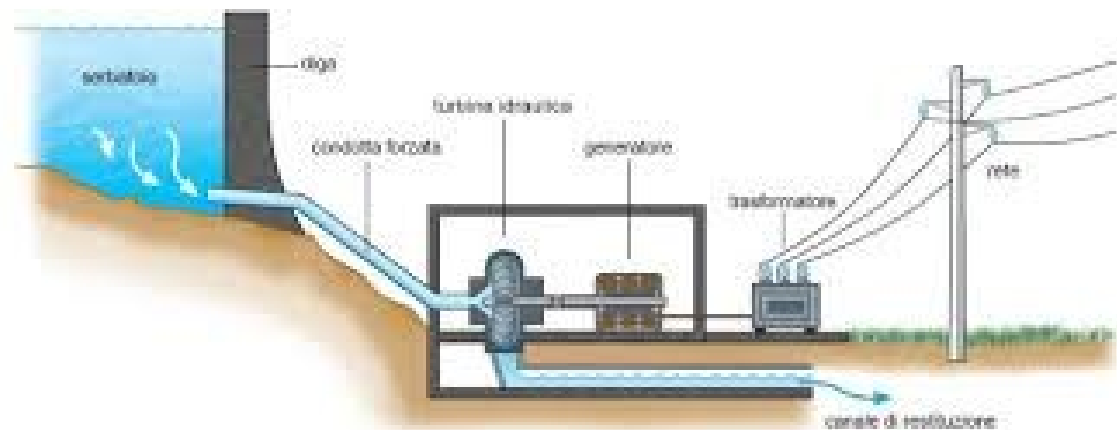
Fino a pochi anni fa era facile trovare qualche vecchio mulino che sfruttava l'energia dell'acqua per macinare il grano



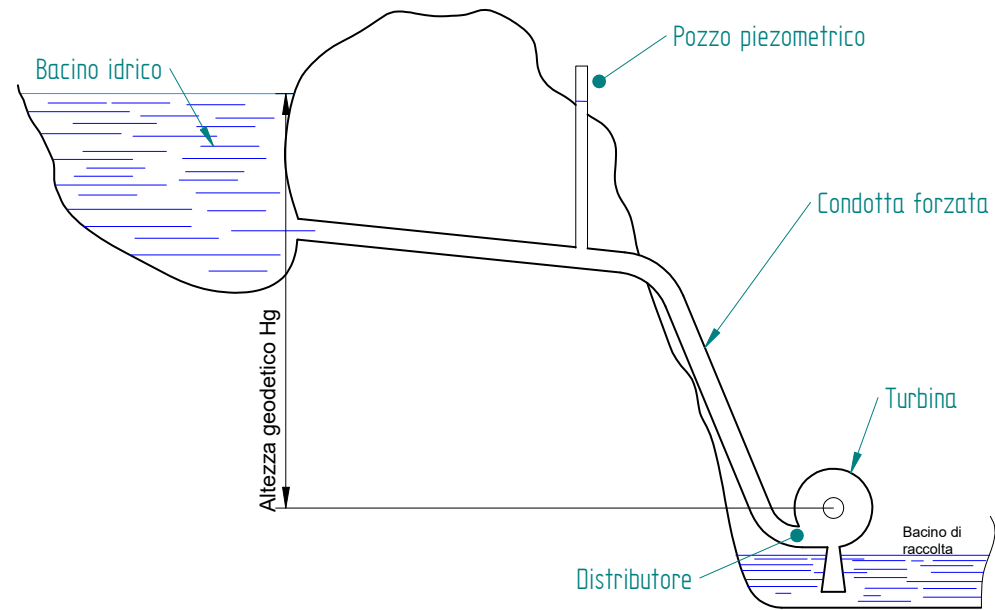
Oggi l'energia idraulica, viene utilizzata quasi esclusivamente per produrre energia elettrica.

L'energia potenziale, con l'ausilio di una turbina idraulica si trasforma in energia meccanica che a sua volta mediante un alternatore si trasforma in energia elettrica.

Una centrale idroelettrica è un impianto in cui la energia potenziale dell'acqua viene trasformata in energia elettrica, che viene definita energia idroelettrica



In un impianto idroelettrico troveremo sempre



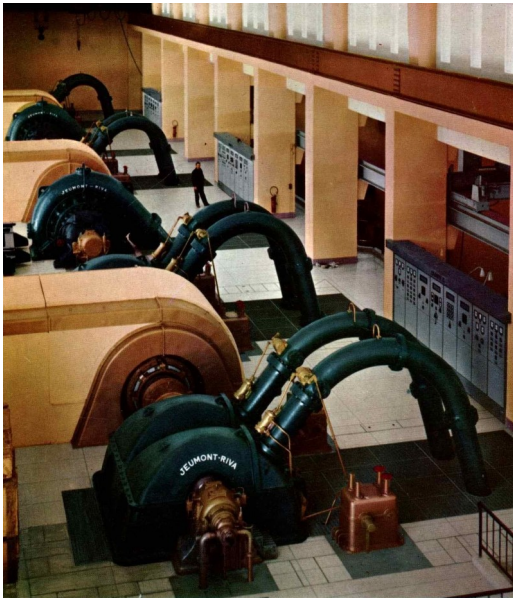
- un bacino di raccolta, situato ad una altezza geodetica H_g , all'interno del quale è accumulata una certa massa d'acqua
- una condotta forzata che porta l'acqua dal bacino fino alla turbina, posta ad una quota inferiore, nella condotta l'energia potenziale si trasforma in energia piezometrica (della pressione) e cinetica
- un distributore che serve ad indirizzare opportunamente l'acqua dalla condotta fino alla turbina
- la turbina che può essere di varie tipologia e forma con la quale l'energia diventa energia meccanica
- infine l'alternatore per avere energia elettrica.

I bacini artificiali possono avere dimensioni molto diversificate, i laghi artificiali di maggiore dimensione per superficie o per volume d'acqua raccolto sono riportati nella tabella che segue.

Laghi artificiali			
Nome	Stato	Superficie km ²	Volume km ³
Lago Nasser	Egitto	6000	157
Lago Volta	Ghana	8502	148
Lago Kariba	Zimbabwe e Zambia	5500	180
Bacino di Bratsk	Russia	5400	169
Lago Guri	Venezuela	4250	135
Lago Manicouagan	Canada	1900	142

In Italia ci sono più di 4800 impianti idroelettrici, distribuiti principalmente lungo le zone alpine. Il numero di centrali idroelettriche è in costante aumento: nel 2022 erano 4.702, e nel 2024 sono ben 158 in più

Osservando gli ultimi dati disponibili relativi al 2022, complessivamente l'Italia è stata in grado di produrre annualmente circa 30.291 GWh di energia, cioè circa il 50% dell'intera produzione da fonti rinnovabili di quell'anno.



Gruppo turbine ed alternatore



Condotta forzata

CLASSIFICAZIONE

Ci sono varie modalità di classificazione.

In base alla potenza P erogata

- pico - impianti $P < 100 \text{ kW}$
- mini -impianti $P = 100 \div 1000 \text{ kW}$
- piccoli – impianti $P = 1000 \div 10000 \text{ kW}$
- grandi - impianti $P > 10000 \text{ kW}$

Il salto H è la differenza di quota tra il punto di prelievo dell'acqua e quello di restituzione

Una classificazione in base al salto è:

- a bassa caduta $H < 50 \text{ m}$
- a media caduta $H = 50 \div 250 \text{ m}$
- ad alta caduta $H = 250 \div 1000 \text{ m}$
- ad altissima caduta $H = > 1000 \text{ m}$

La portata q è la quantità di fluido che attraversa la condotta (ed arriva alla turbina) nella unità di tempo

Una classificazione in base alla portata è:

- piccola portata $q < 10 \text{ m}^3/s$
- a media caduta $q = 10 \div 100 \text{ m}^3/s$
- grande portata $q = 100 \div 1000 \text{ m}^3/s$
- altissima portata $q = > 1000 \text{ m}^3/s$

In base alla modalità di presa ed accumulo dell'acqua

- ad acqua fluente
- a bacino o ad accumulazione
- ad accumulo mediante pompaggio

In un impianto ad acqua fluente le turbine sono azionate direttamente dal moto dell'acqua di un fiume

In un impianto a bacino l'acqua di un fiume viene raccolta in un bacino artificiale posto ad una certa altezza, dopo avere azionato le turbine l'acqua fluisce nel fiume e va via.

Nelle centrali a pompaggio sono previsti due bacini di accumulo uno inferiore ed uno superiore.

L'acqua cade dal bacino superiore fino alla turbina e produce energia, viene accumulata nel bacino inferiore, questo durante il giorno, nella notte essa viene pompata da bacino inferiore a quello superiore.

Una ulteriore divisione si ha in base alla modalità con cui le turbine ricevono l'energia dell'acqua.

Si hanno:

- turbine ad azione (turbine pelton)
- turbine a reazione (francis, kaplan ed elica)

Ricordato che la potenza fornita dalla turbina è direttamente proporzionale al

- salto geodetico
- alla quantità d'acqua che arriva alla turbina,

Le turbine ad azione si utilizzeranno nel caso di salti molto elevati e portate relativamente basse, le turbine a reazione Francis e Kaplan per salti e portate medie, le turbine ad elica per portate molto alte e salti relativamente bassi anche dell'ordine di poche decine di metri.

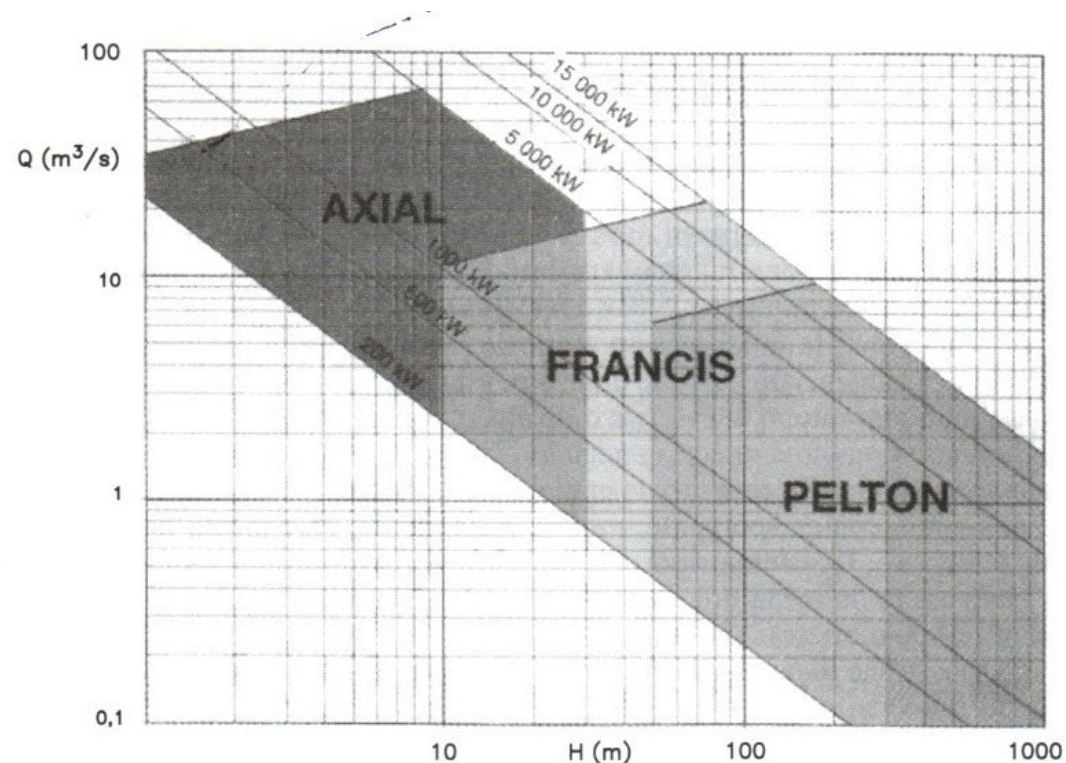
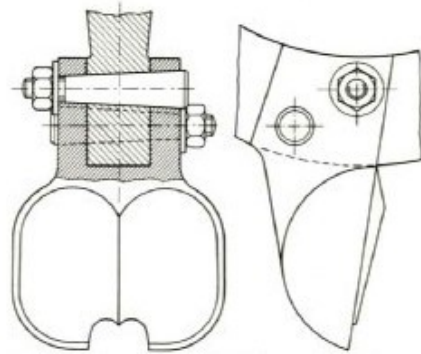


Figura R.23 Campi di impiego delle turbine Pelton Francis e Kaplan

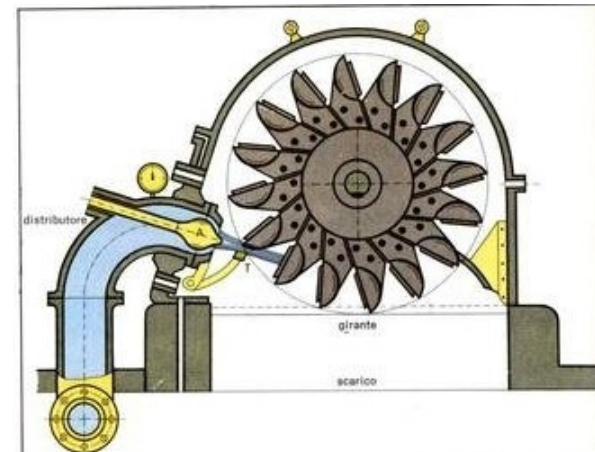
Turbine ad azione (Pelton)

La turbina ad azione è formata da un disco centrale che porta calettate un certo numero di pale 'Pelton'



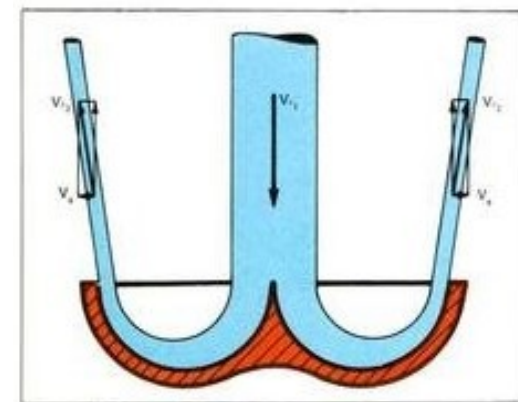
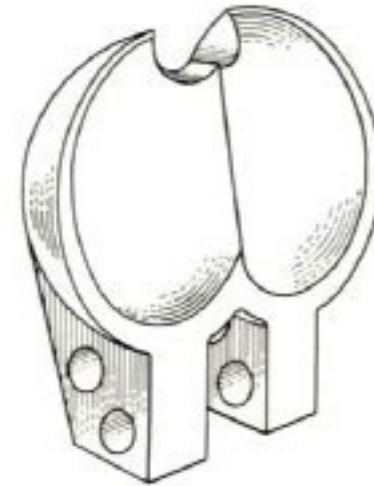
L'acqua che arriva dal bacino, per mezzo della condotta forzata, entra in un organo detto distributore nel quale la sua energia piezometrica si trasforma tutta in energia cinetica. L'acqua esce dal distributore con un getto ben definito ed indirizzato sulle pale mettendole in rotazione, cede la sua energia.

La pala è costruita in modo che con la rotazione una nuova pala viene a contatto con il getto in una azione continua.



La pala Pelton ha una forma particolare: è formata da due cucchiaini uniti assieme. Al centro è presente una lama che serve a dividere il getto in due parti, il getto scorre sulle pale, cede in tal modo la sua energia cinetica e poi lascia le pale cadendo in un bacino di raccolta

Per evitare che il getto d'acqua colpisca il dorso della pala essa è tagliata alla sua estremità



Il distributore

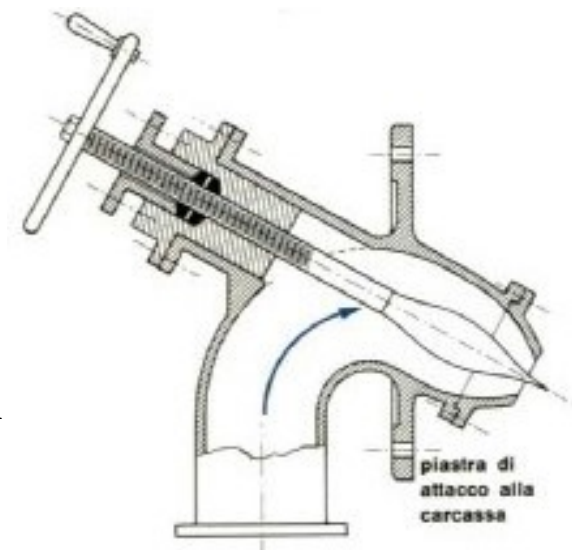
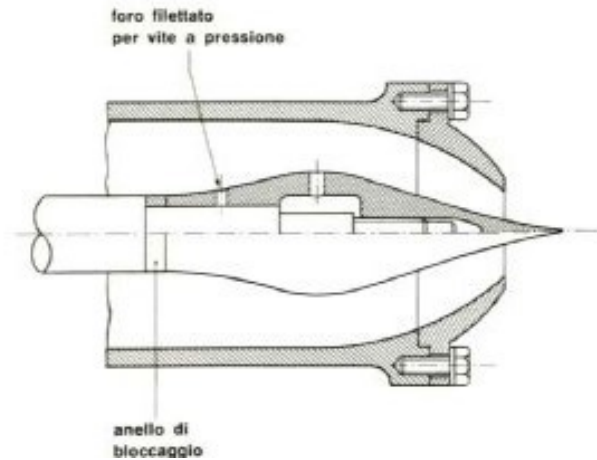
Il distributore serve ad indirizzare opportunamente il getto, esso ha una forma conica per fare in modo che il getto sia il più concentrato evitando lo sfarallamento del getto.

Esso può anche regolare la portata d'acqua infatti al suo interno è presente un'asta che termina con una punta a cono della spina double.

Spostando avanti ed indietro la spina è possibile variare la sezione di uscita dell'acqua fino a chiuderla del tutto.

La chiusura deve avvenire con molta cautela e lentamente per evitare il cosiddetto colpo d'ariete.

In caso di necessità è presente un tegolo deviatore che ponendosi davanti al getto tronca il contatto del getto con la pala e permette la chiusura lenta del flusso.



Numero di getti

Per evitare che l'acqua che lascia la pala di problemi la girante è in genere sistemata ad asse verticale, ed in questo caso è possibile indirizzare il flusso d'acqua media più distributori, aumentando in tal modo la potenza erogata dalla pala.

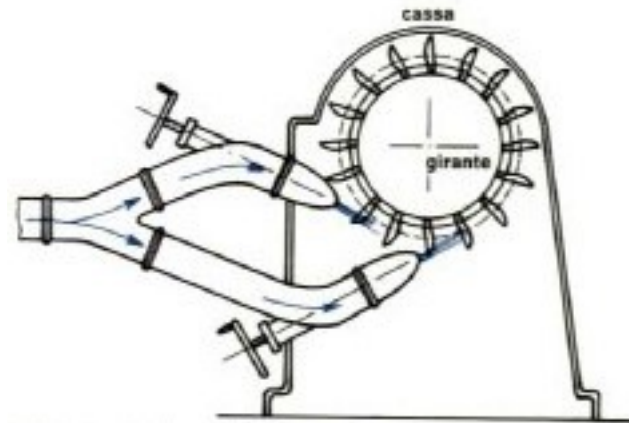
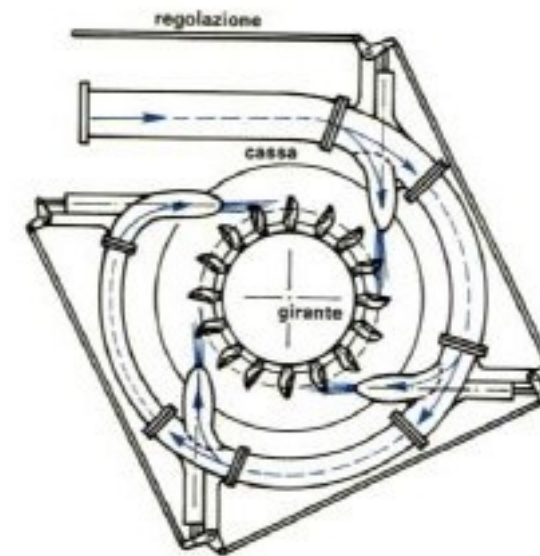


Fig. 197. Turbina Pelton a due getti con asse orizzontale (schema)



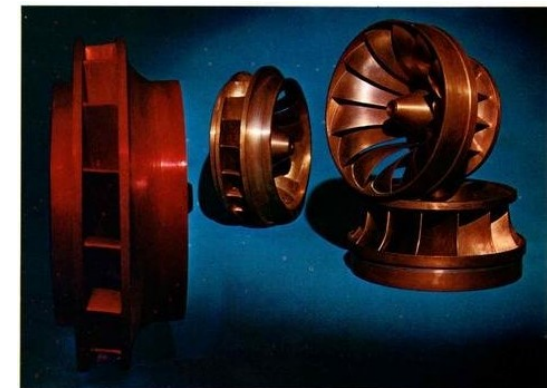
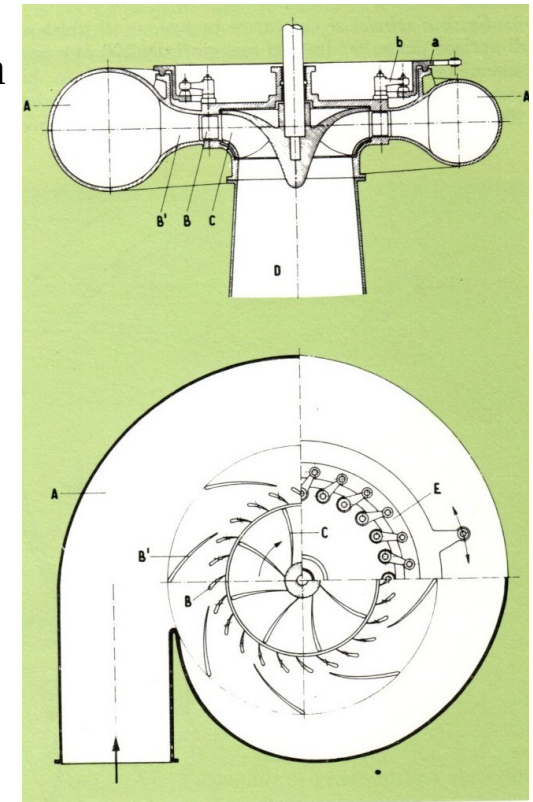
Turbine a reazione

Nelle turbine a reazione, nel distributore l'energia piezometrica si trasforma solo in parte in energia cinetica.

L'acqua che entra in turbina avrà quindi sia energia cinetica che energia piezometrica (di pressione).

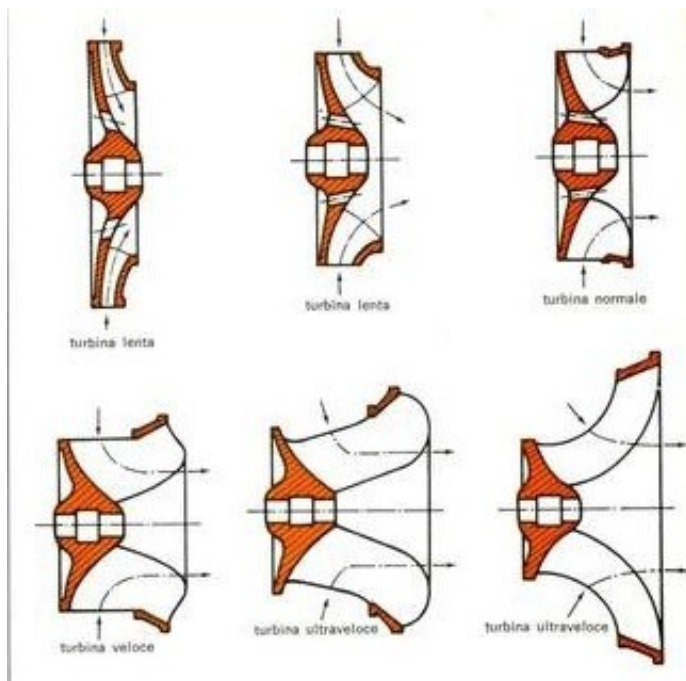
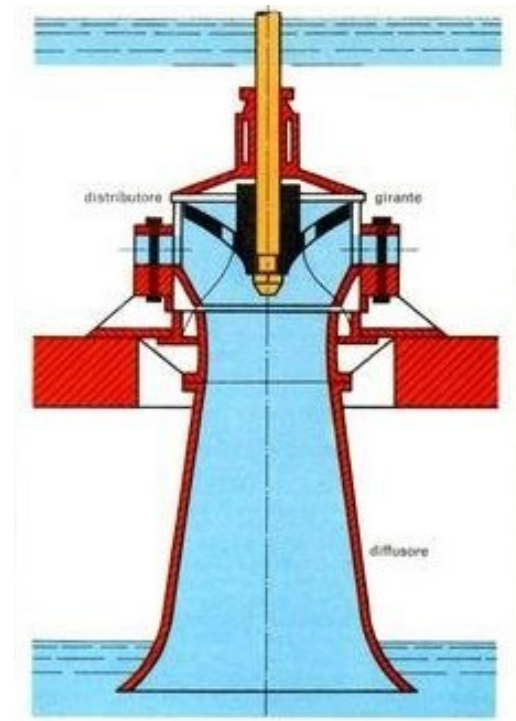
La condotta forzata termina con una voluta chiamata chiocciola, che ha una sezione decrescente in quanto l'acqua attraversandola viene spinta nel distributore che a sua volta la indirizza sulla turbina.

La turbina è formata da due cilindri collegati mediante pale che formano i condotti che l'acqua attraversa ha un moto che va dall'esterno verso l'interno.



All'uscita della turbina l'acqua entra in un diffusore che ha una forma di cono che ha la funzione di aumentare il salto utile.

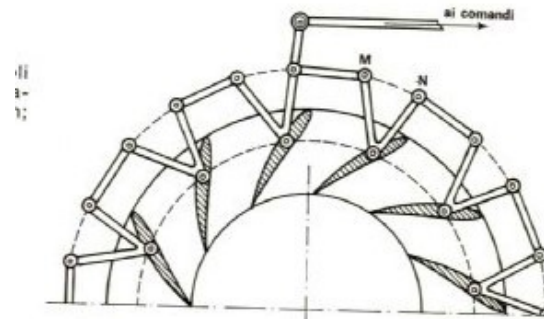
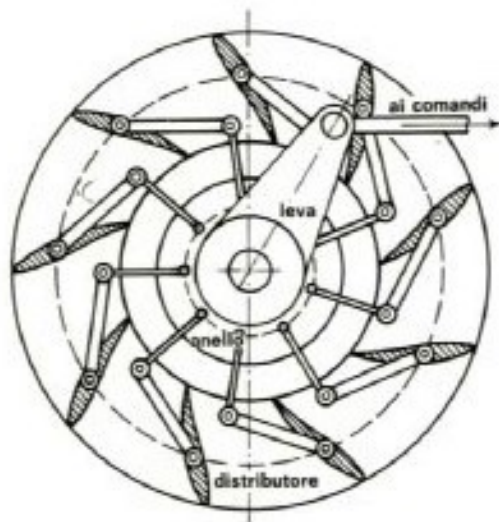
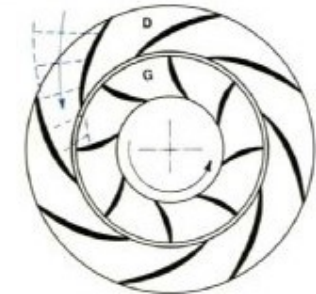
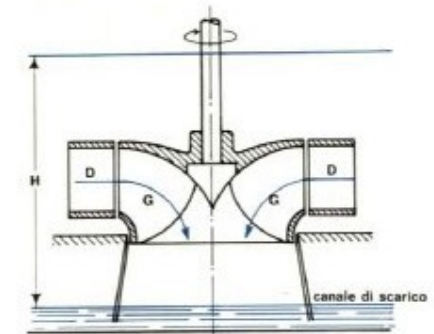
La turbina francis può avere varie forma e dimensioni a seconda della portata d'acqua che la deve attraversare



Nel grafico sono rappresentate varie tipologie di turbina andando da sinistra a destra e dall'alto in basso le turbine lavorano su portate in aumento

La regolazione delle portate avviene mediante il distributore che ha pale mobili,

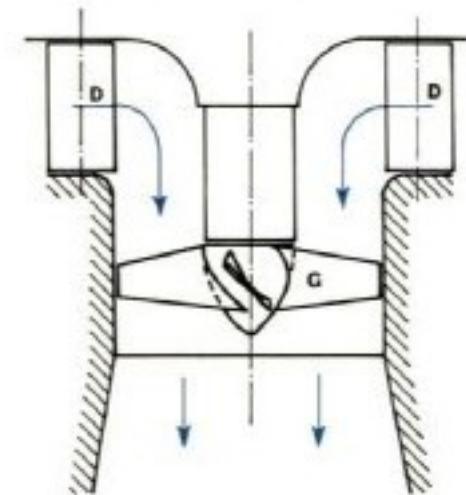
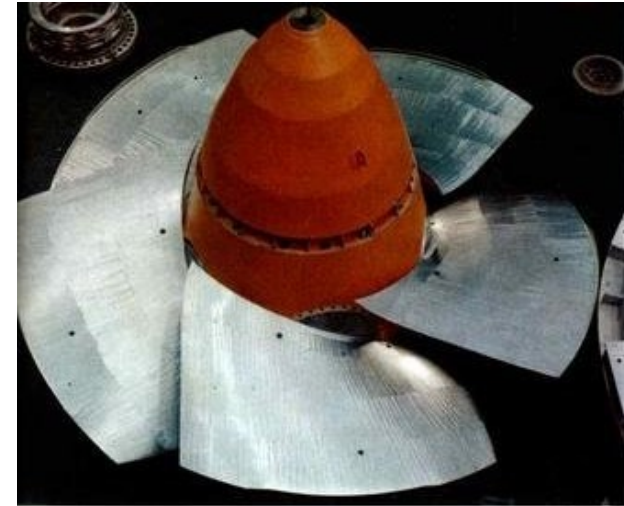
Esse infatti sono incernierate al loro centro, per cui mediante opportune leve e meccanismi possono ruotare riducendo o aumentando la sezione del condotto presente tra due pale adiacenti, fino a chiuderlo



Le turbine ad elica

Questo tipo di turbina è a reazione, essa è utilizzato nel caso di salti piccoli anche d'ordine della decina di metri, ma con portate molto elevate.

La regolazione avviene con la rotazione delle pale che può aumentare o diminuire la sezione del condotto.

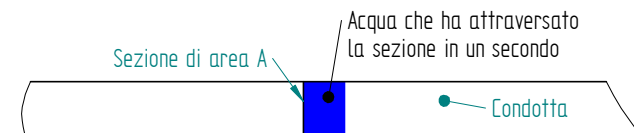


CALCOLO DELLA POTENZA

Per il calcolo della potenza erogata da una turbina, sia ad azione che a reazione, è necessario definire alcune grandezze fisiche.

PORTATA VOLUMETRICA

Considerando una condotta di sezione attraversata da un fluido (per ipotesi acqua) si definisce portata il volume V di fluido che attraversa la sezione nella unità di tempo.



La si indica con q_v l'unità di misura è il $\frac{m^3}{s}$ anche $\frac{litri}{min}$ anche $\frac{m^3}{h}$

PORTATA MASSICA

Considerando una condotta di sezione attraversata da un fluido (per ipotesi acqua) si definisce portata la massa m di fluido che attraversa la sezione nella unità di tempo.

La si indica con q_m l'unità di misura è il $\frac{kg}{s}$ o anche $\frac{kg}{min}$

MASSA VOLUMICA (CHIAMATA, IN PRECEDENZA, DENSITÀ)

Considerando un corpo di massa m e di volume V ,

si chiama massa volumica la quantità $\rho = \frac{m}{V}$

L'unità di misura è il $\frac{kg}{m^3}$, nella pratica si usa anche il $\frac{kg}{dm^3}$

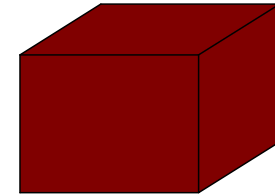
la massa di un corpo è dato dalla relazione $m = \rho \cdot V$

Il peso è $P = \rho \cdot V \cdot g$, il lavoro: $l = F \cdot s = \rho \cdot V \cdot g \cdot s$

La massa volumica dell'acqua vale $\rho_{H_2O} = 1000 \frac{kg}{m^3}$, quella dell'acciaio è $\rho = 7500 \frac{kg}{m^3}$,

per il legno si ha circa $\rho = 800 \frac{kg}{m^3}$

Per ogni corpo fisico avente massa e volume ci sarà massa volumica, esistono delle tabelle dove sono riportate la ρ dei vari materiali sia allo stato solido che come liquido.



ENERGIA POTENZIALE

Per energia potenziale si intende l'energia posseduta da una massa che si trova ad una certa altezza rispetto ad un piano preso come riferimento.

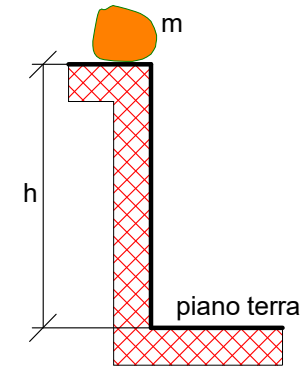
Considerando un corpo di massa m il suo peso è pari a: $P = m \cdot g$

Se questa massa si trova ad una altezza h e viene lasciata cadere, naturalmente si sposta verso il basso fino al piano terra, la sua forza peso si è spostata di una distanza h per cui ha compiuto un lavoro che è possibile calcolare e: $l = P \cdot h = m \cdot g \cdot h$

L'energia potenziale posseduta dalla massa posta all'altezza h è uguale al lavoro che può compiere cadendo e che è stato appena calcolato appena calcolato. $E_p = m \cdot g \cdot h$

Se adesso si fa riferimento al bacino idrico disegnato in precedenza, supponendo presenti 1.000.000 di metri cubi d'acqua, che l'altezza h è 200 m, tutta l'acqua possiede una energia pari a

$$E_p = m \cdot g \cdot h = \rho \cdot V \cdot g \cdot h = 1000 \cdot 1000.000 \cdot 9,81 \cdot 200 = 1,962 \cdot 10^{12} J = 1962 GJ.$$



PRESSIONE

Si consideri una superficie S sulla quale agisce una forza F ad essa perpendicolare

Si definisce pressione la quantità $p = \frac{F}{S}$ l'unità di misura della pressione è il pascal(Pa) che corrisponde alla pressione che c'è su una superficie quando su di essa agisce una forza di un newton

$Pa = \frac{N}{m^2}$ questa unità di misura è molto piccola per si possono utilizzare i kPa ed anche iMPa.

Un altra unità di misura utilizzata è il bar che corrisponde a 1000000 Pa ovvero $bar = 100000 Pa$

Considerando una colonna d'acqua avente una superficie di 1 metro quadro ed una altezza di 10 m si ha

Il volume della colonna è di $V = S \cdot h = 1 \cdot 10 = 10 m^3$

Il peso dell'acqua è : $P = \rho \cdot V \cdot g = 1000 \cdot 10 \cdot 9,81 = 98100 N$

La pressione sulla superficie è $p = \frac{F}{S} = \frac{98100}{1} = 98100 Pa = 98,1 kPa$

con opportuni passaggi si ha $p = \frac{\rho \cdot S \cdot h \cdot g}{S} = \rho \cdot g \cdot h$

Per conoscere quindi la pressione a 100 metri di profondità basta fare =

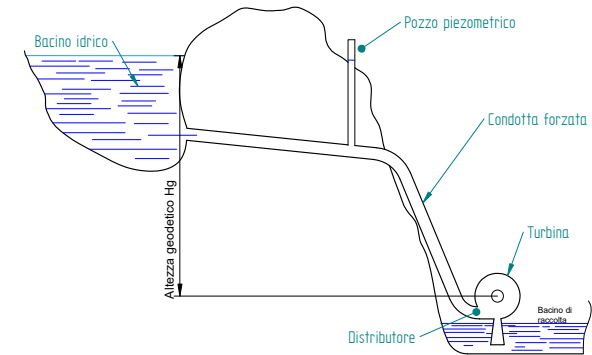
$$p = \rho \cdot g \cdot h = 1000 \cdot 9,81 \cdot 100 = 981\,000 \text{ Pa} = 9,81 \text{ bar}$$

Si è soliti usare ancora come misura della pressione l'atmosfera, vale la relazione $1 \text{ atm} = 1,013 \text{ bar}$ per cui a 100 metri di profondità la pressione è di 9,81 atmosfere.

POTENZA DI TURBINA

Considerando l'impianto riportato a lato la potenza che l'acqua cede alla turbina è data dalla relazione

$$P = \rho \cdot g \cdot h_u \cdot q_v$$



utilizzando le unità di misura del S.I. il risultato è W per avere il risultato in kW

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot h_u \cdot q_v}{1000}$$

dove h_u è il salto utile di valore inferiore all'altezza geodetica.

Per tenere conto delle perdite di energia nella tubazione, vale la relazione

$$h_u = \eta_c \cdot h_g$$

dove η_c è il rendimento della condotta e vale intorno a 0,95 mentre h_g è la differenza di quota tra il bacino e l'asse della turbina.

Ipotizzando quindi una portata $q_v = 5 \frac{m^3}{s}$ ed un salto utile $h_u = 200 \cdot 0,95 = 190 \text{ m}$

nell'esempio riportato in precedenza si ha $P = \frac{\rho \cdot g \cdot h_u \cdot q_v}{1000} \frac{1000 \cdot g \cdot 190 \cdot 5}{1000} = 9319,5 \text{ kW} = 9,32 \text{ MW}$

N.B. La portata ed il salto sono molto vicina a quelli della cascata delle marmore.

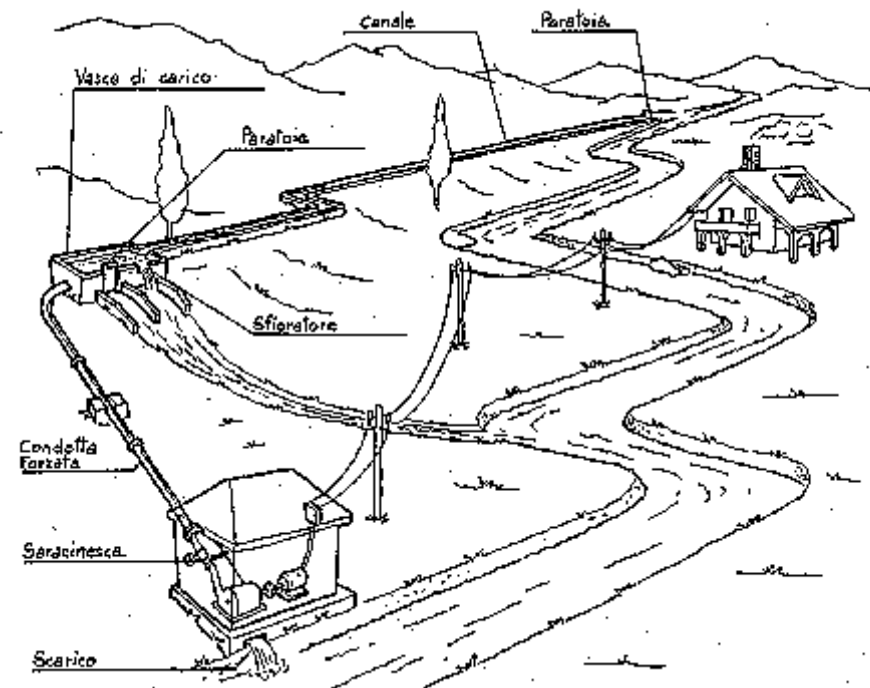
MICRO IDROELETTRICO

Lo sfruttamento dell'energia idraulica per ottenere energia elettrica avviene ormai da più di un secolo, in questo tempo, in Europa, sono stati sfruttati tutti i luoghi ove era possibile installare una centrale.

È possibile però ancora sfruttare la risorsa idroelettrica per piccoli impianti che sfruttano piccoli salti che mediante piccole turbine, e con poco impatto ambientale, forniscono pochi chilowatt di potenza da utilizzare in proprio o da immettere in rete.

In un impianto idroelettrico ci saranno i seguenti componenti.

- opere di presa per captare l'acqua del fiume
- opere di filtraggio per eliminare dal flusso d'acqua i grossi corpi presenti
- opere di convogliamento delle acqua sono i canali o le condotte forzate che convogliano l'acqua alla centrale
- opere elettromeccaniche contenute in edificio e sono la turbina, l'alternatore, trasformatore, quadri elettrici e sistemi di controllo
- opere per la restituzione dell'acqua al fiume



La potenza elettrica ottenibile dall'impianto dipende dal salto, dalla portata e dai vari rendimenti(della condotta, della turbina, dell'alternatore, del trasformatore.

Uno dei problemi da affrontare nel calcolo di un micro-impianto è quello della variazione quantitativa e qualitativa dell'acqua del fiume interessato la cui installazione non deve incidere sui valori ambientali che devono rimanere accettabili

Deflusso Minimo Vitale

Per D.M.V. si intende la quota minima di acqua che occorre garantire nel corso dell'acqua, a valle della presa d'acqua, perché il fiume rimanga vivo e mantenga una continuità tale sostenere flora e fauna

Valutazione di impatto ambientale

La V.I.A. è uno strumento di supporto alle decisioni. Con essa si valuta la compatibilità ambientale di un'opera, analizzando gli effetti che l'opera esercita sull'ambiente fisico e socio economico.

LA NORMATIVA

La normativa italiana relativa ai micro-impianti è il Decreto Legislativo 16 marzo 1999 n 79 che tratta l'utilizzo delle acqua per la produzione di energia elettrica e il Decreto Legislativo 3 agosto 2016 n 166 che contiene dei commi che riguardano le piccole derivazioni.

La produzione di energia da micro-idroelettrico è incentivata, gli incentivi sono definiti nel DM 4 luglio 2019 che tratta le condizioni di applicazione degli incentivi per gli impianti idroelettrici.

Normativa di riferimento

- **Decreto Legislativo 16 marzo 1999, n. 79:** Questo decreto nel comma 6, definisce la distinzione tra “grandi derivazioni idroelettriche” (potenza superiore a 3.000 kW) e “piccole derivazioni” che rientrano nell'ambito dei micro impianti.
- **Decreto Legislativo 3 agosto 2016, n. 166:** Questo decreto recepisce un'importante direttiva europea e regola il processo autorizzativo per la derivazione di acque pubbliche.
- **DM 4 luglio 2019:** Questo decreto introduce incentivi per la produzione di energia elettrica per gli impianti fino ad 1 MW