

L'idroelettrico

Corso: Sistemi di conversione dell'energia da fonti rinnovabili
 Anno accademico: 2018/2019
 Docente: Mirko Morini

Il ciclo dell'acqua



La stima di produzione mondiale

L'entità delle precipitazioni sulla terraferma è di circa 800 mm, le terre emerse sono 149 milioni di km

$$800 * 10^{-3} * 149 * 10^{12} = 119 * 10^{12} \text{ m}^3/\text{anno di precipitazioni}$$

$$70 * 10^{12} \text{ m}^3/\text{anno evaporano}$$

49 * 10¹² m³/anno defluiscono con un salto medio di 400-500 m mettendo a disposizione un'energia pari a

$$49 * 10^{12} \text{ m}^3/\text{anno} * 500 \text{ m} * 1000 \text{ kg/m}^3 * 9.81 \text{ kg/s}^2 = 240 * 10^{18} \text{ J/anno}$$

Da questi potenziali 66 666 TWh/anno considerando i rendimenti degli impianti pari a 75-85 % si potrebbero ottenere

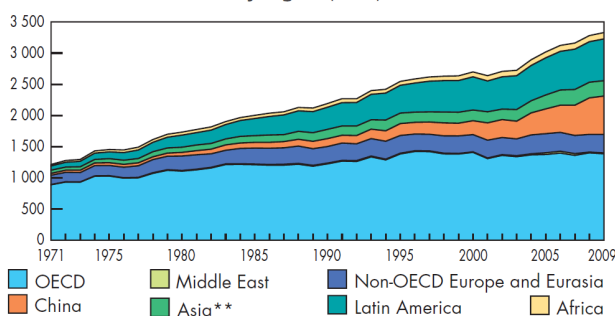
$$66\,666 \text{ TWh/anno} * 85 \% = 56\,666 \text{ TWh/anno}$$

di questo solo il 30-40 % è **tecnicamente** sfruttabile e un 40-50 % di questa frazione è **economicamente** utilizzabile. L'energia elettrica effettivamente producibile da fonte idraulica si riduce a 6000-12000 TWh/anno

L'idroelettrico nel mondo

Installed capacity	GW
People's Rep. of China	168
United States	100
Brazil	78
Canada	75
Japan	47
Russian Federation	47
India	37
Norway	30
France	25
Italy	21
Rest of the world	324
World	952

Hydro* production from 1971 to 2009 by region (TWh)

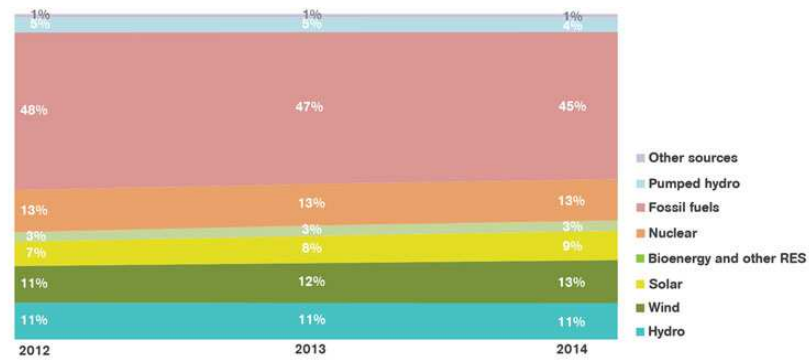


Nel mondo la produzione si attesta a circa 3250 TWh/anno, con una potenza installata di circa 1 TW.

Paesi come la Norvegia producono quasi tutta l'elettricità da fonte idrica.

Country (top-ten producers)	% of hydro in total domestic electricity generation
Norway	95.7
Brazil	83.8
Venezuela	72.8

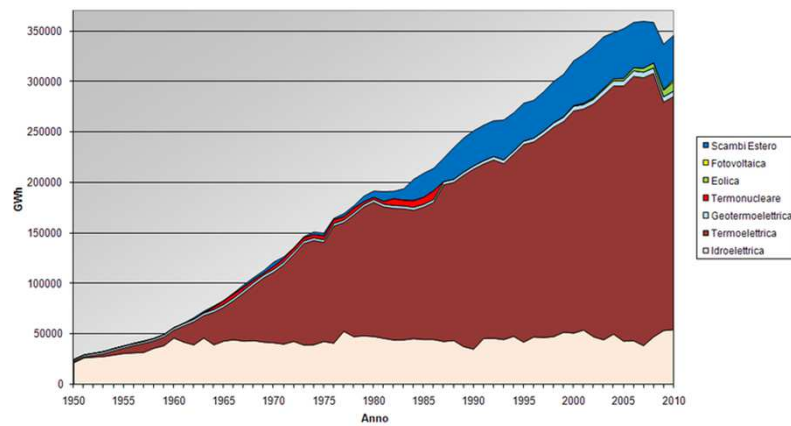
L'idroelettrico in Europa



Source: EURELECTRIC. Other RES: Geothermal, renewable waste, wave, tidal. Other sources: peat, shale oil, non-renewable waste and unspecified.

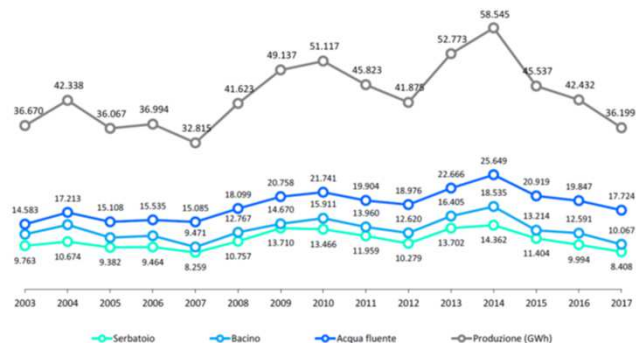
Mix energetico della capacità installata (Fonte: Eurelectric)

L'idroelettrico in Italia



Fino alla seconda metà degli anni '60 è stata la prima fonte di produzione dell'energia elettrica, ma da quel momento la produzione è rimasta pressoché costante.

L'idroelettrico in Italia



Fonte: Rapporto statistico GSE 2017

Classi di potenza (MW)	2016		2017		2017 / 2016 Variazione %	
	n°	MW	n°	MW	n°	MW
P ≤ 1 MW	2.536	722,8	3.074	841,1	21,2	16,4
1 MW < P ≤ 10 MW	854	2.575,3	886	2.640,8	3,7	2,5
P > 10 MW	303	15.245,1	308	15.381,1	1,7	0,9
Totale	3.693	18.543,3	4.268	18.862,9	15,6	1,7

Totale impianti installati in Italia per classi di potenza (inclusi gli impianti di pompaggio dei quali viene considerata solo la quota rinnovabile dell'energia prodotta)

Gli impianti

Per gli impianti idroelettrici possono essere utilizzate diverse classificazioni.

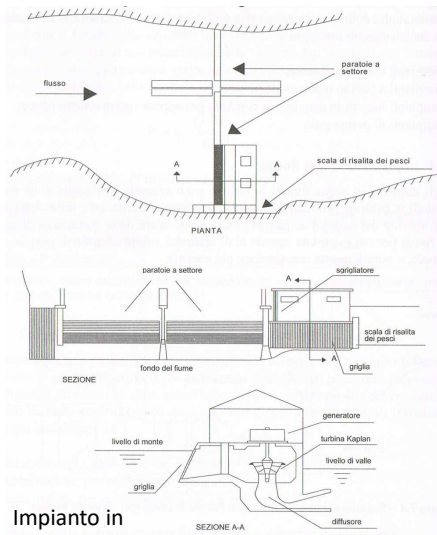
In base alla taglia

	Piccola taglia	Media taglia	Grande taglia
Portata d'acqua	< 10 m ³ /s	10-100 m ³ /s	> 100 m ³ /s
Salto lordo	< 50 m	50-250 m	> 250 m
Potenza netta	< 5 MW	5-200 MW	> 200 MW

In base alla configurazione dell'impianto

- impianti idroelettrici ad acqua fluente
- impianti idroelettrici a serbatoio o bacino
- impianti idroelettrici inseriti in canale o in condotta per approvvigionamento idrico
- impianti di pompaggio

Impianti ad acqua fluente



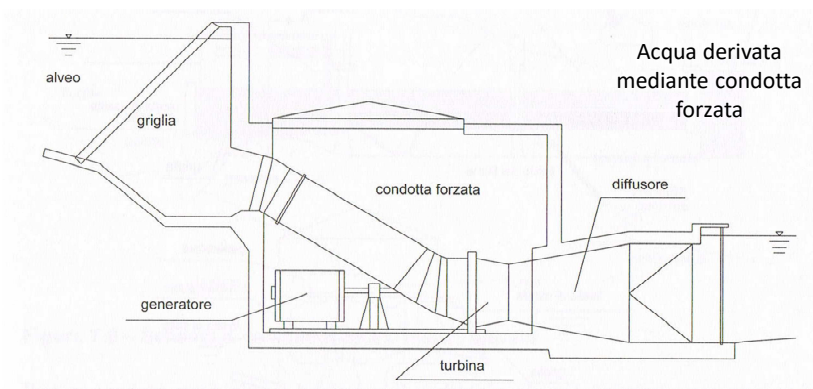
Impianto in alveo con sbarramento

Vengono realizzati lungo il corso di un fiume dal quale, attraverso uno sbarramento provvisto di opere di presa, viene derivata parte della portata.

Questi impianti operano con una portata d'acqua strettamente legata a quella del corso d'acqua e quindi variabile durante l'anno. Possono erogare quindi un servizio "di base" e non "di punta".

Per ragioni economiche l'impianto non viene dimensionato né per la portata massima annua (disponibile solo per pochi giorni) né per la portata minima (si perderebbe troppo potenziale). Il problema di dimensionamento è un problema di ottimizzazione vincolata che trova la soluzione generalmente per portate prossime alla portata media.

Impianti ad acqua fluente



Tipicamente si tratta di impianti a medio-bassa caduta (15-20 m), ma con portate che possono raggiungere valori molto elevati.

Impianti ad acqua fluente



Impianti a bacino

In questi impianti lo sbarramento viene sostituito da una diga che consente l'accumulo di grandi volumi d'acqua e il successivo prelievo differito nel tempo, anche in accordo con il diagramma di carico della rete elettrica.

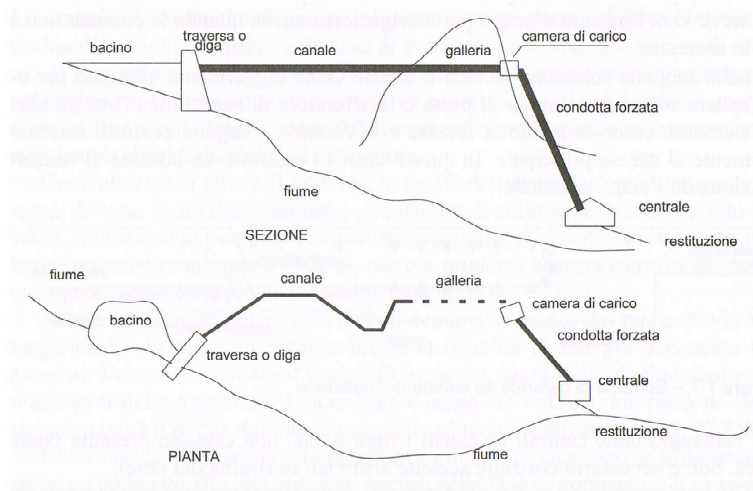
Secondo una classificazione normalmente utilizzata si parla di bacino se la durata di invaso (cioè il tempo necessario per fornire all'invaso un volume d'acqua pari alla sua capacità utile) è compresa tra 2 e 400 ore, si parla, invece, di serbatoio quando la durata di invaso è superiore alle 400 ore.

Dimensionando opportunamente il bacino l'impianto idroelettrico può funzionare tutto l'anno a portata costante e quindi in condizioni nominali di progetto.

Questi impianti sono molto flessibili e possono essere messi in funzione nelle ore di punta (più remunerative) dato che il bacino consente uno sfasamento tra la disponibilità di acqua e la produzione elettrica.

Questi impianti che sono generalmente di taglia medio-grande, possono essere costruiti solo se l'orografia del territorio lo consente e a fronte di investimenti molto elevati. Può succedere che il bacino o il serbatoio sia già stato costruito per altri scopi (controllo delle piene, irrigazione, approvvigionamento acqua potabile, etc.), in questo caso anche piccoli impianti possono essere convenienti.

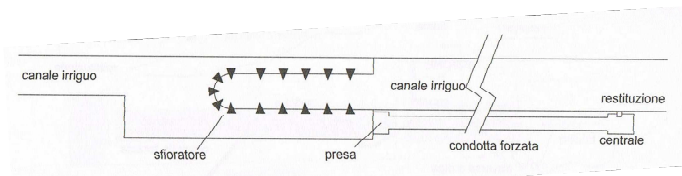
Impianti a bacino



Impianti a bacino



Impianti in canale o condotta



Questi impianti sfruttano i salti esistenti nei canali di adduzione di acque o in condotte già create per altri scopi (per esempio gli acquedotti montani nei quali l'energia di pressione dovuta al grande dislivello è normalmente dissipata mediante valvole).

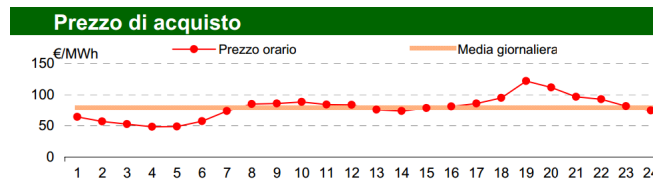
In genere, essendo questi impianti inseriti in canali o condotte costruite per scopi precisi, è necessario che l'impianto per la produzione di energia sia installato in by-pass per consentire la continuità della fornitura d'acqua anche quando la centrale non è in esercizio.

Impianti in canale o condotta



Impianti di pompaggio

Sono impianti che prevedono la presenza di due serbatoi, uno a monte e uno a valle. Non sono propriamente impianti di produzione di energia da fonte rinnovabile, in quanto in realtà consumano energia, ma svolgono una preziosa funzione nella gestione della rete di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica. Risultano economicamente sostenibili in quanto il prezzo dell'energia non è costante durante l'arco delle ventiquattro ore.



Durante i periodi nei quali la disponibilità di energia elettrica è in eccesso rispetto alla domanda (di notte in genere) questi impianti accumulano l'eccesso ripompando l'acqua al bacino di monte. Durante i picchi diurni l'acqua viene fatta fluire a valle producendo energia.

Impianti di pompaggio

La caratteristica di questi impianti è pertanto quella di essere dotati sia di macchine idrauliche motrici (turbine), sia di macchine idrauliche operatrici (pompe). Spesso entrambe le funzioni sono esercitate dalla stessa macchina che è quindi una macchina idraulica reversibile.

Si consideri l'energia necessaria a pompare un volume V di acqua

$$E_{E,notte} = V \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot \frac{1}{\eta_{pompa}}$$

E' l'energia ricavata dal fluire dello stesso volume di acqua

$$E_{E,giorno} = V \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot \eta_{turbina}$$

Si ottiene il rendimento dell'impianto di pompaggio

$$\eta_{pompaggio} = \frac{E_{E,giorno}}{E_{E,notte}} = \eta_{turbina} \cdot \eta_{pompa}$$

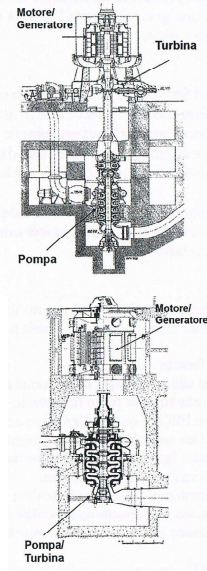
Impianti di pompaggio

Le soluzioni impiantistiche che si possono adottare sono diverse:

- un gruppo motore-pompa e un gruppo turbina-generatore;
- un gruppo turbina-pompa-generatore/motore (gruppo “ternario”);
- un gruppo pompa/turbina-generatore/motore (gruppo “binario”).

Nei gruppi ternari le macchine sono disposte sullo stesso asse in posizione verticale in modo da installare turbina e alternatore al di sopra della quota di scarico e pompa al di sotto. Per salti elevati si usa una turbina Pelton e una pompa multistadio, mentre per salti medi una turbina Francis e una pompa radiale monostadio.

Nei gruppi binari la macchina idraulica è di tipo reversibile: si ha quindi una riduzione del numero delle macchine, una semplificazione dell’impianto e una diminuzione dei costi a scapito di un abbassamento delle prestazioni della macchina reversibile rispetto alle due che sostituisce. Per piccoli salti si usa la turbina Francis, mentre per elevati salti si usa una pompa multistadio.



I componenti degli impianti

Un impianto idroelettrico risulta costituito da un insieme di opere idrauliche, civili o elettromeccaniche, che comprendono

- lo sbarramento: traversa nel caso di impianti ad acqua fluente, diga nel caso di impianti a bacino;
- le opere di presa: manufatti realizzati al fine di derivare dal fiume la portata d’acqua richiesta. Nel caso di impianti ad acqua fluente consistono in una griglia e in una vasca di calma con dissabbiatore e sghiaiatore. Nel caso di impianti a bacino si riducono alla sola griglia. La griglia rappresenta una perdita di carico, quindi la sezione di passaggio della stessa deve essere valutata correttamente;
- la canalizzazione che trasporta l’acqua fino alla turbina: può consistere in un canale a pelo libero e/o in una condotta in pressione. In genere il canale a pelo libero viene utilizzato per portare l’acqua con basse perdite di carico (proporzionali alla lunghezza e alla pendenza dello stesso) fino alla condotta forzata. Le condotte forzate sono tubazioni in acciaio o PVC che trasportano l’acqua fino alla turbina. Il diametro della condotta (che può essere interrata o fuori terra) è determinato in relazione alla massima perdita di carico accettabile (3-4 % del salto).

I componenti degli impianti

Un impianto idroelettrico risulta costituito da un insieme di opere idrauliche, civili o elettromeccaniche, che comprendono

- il pozzo piezometrico con l'eventuale vasca di scarico: ha la funzione di proteggere le turbine poste a valle dal colpo d'ariete;
- l'edificio della centrale che ospita la turbina, il moltiplicatore di giri, il generatore elettrico, i quadri di controllo, etc.
- le opere di restituzione dell'acqua: una volta passata in turbina l'acqua deve tornare nel corso d'acqua generalmente mediante un canale. Nel caso di turbine ad azione, in cui l'acqua può uscire a velocità molto elevata, il canale va dimensionato in modo da garantire la stabilità dell'impianto (massi antierosione, livello dell'acqua tale da non interferire con la turbina). Nelle turbine a reazione il livello della restituzione e la progettazione della stessa influenzano il funzionamento della turbina.

Lo sbarramento

Lo sbarramento assume forma molto diversa nel caso in cui si tratti di un impianto ad acqua fluente o di un impianto a bacino.

Nel caso di impianto ad acqua fluente lo sbarramento prende il nome di traversa (in roccia, terra o calcestruzzo) e ha l'unica funzione di alzare il livello dell'acqua.

Negli impianti a bacino lo sbarramento è costituito da una vera e propria diga. Le dighe possono essere realizzate in terra o, più frequentemente, in calcestruzzo.

Le dighe possono essere classificate nel tipo a gravità (la sezione è triangolare e molto spessa e la diga resiste alla spinta dell'acqua mediante il suo peso), nel tipo ad arco (la sezione è più sottile, la diga è a forma di arco con convessità rivolta verso il bacino, ciò le consente di resistere alla spinta dell'acqua che viene scaricata sui fianchi della montagna) o nel tipo arco-gravità (la spinta viene contrastata in entrambi i modi).

La diga dello Yangtze in Cina che è al servizio di un impianto della potenza di 18 GW ha un'altezza di 185 m, è lunga 2.3 km e ha un invaso di 40 miliardi di metri cubi d'acqua.

Le turbine

Nei moderni impianti idroelettrici la maggior parte delle turbine installate ricade nelle tre tipologie

- turbina Pelton
- turbina Francis
- turbina ad elica (turbina Kaplan)

Le turbine sopra citate hanno caratteristiche costruttive e funzionalità molto diverse tra loro e risultano quindi adatte a condizioni di salto geodetico e portata disponibile differenti.

In linea di massima le turbine Pelton vengono utilizzate per salti geodetici elevati (maggiori di 100 m, fino anche a 1300 m) e portate limitate ($< 1 \text{ m}^3/\text{s}$).

Le turbine ad elica trovano impiego per salti bassi ($< 10 \text{ m}$) ed elevate portate (oltre 5-10 m^3/s)

Le turbine Francis sono adatte a situazioni intermedie e riescono a coprire un ampio campo di salti e portate.

Turbina Pelton

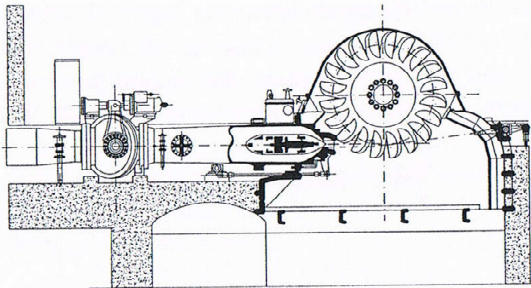


E' una turbina ad azione in quanto l'energia potenziale posseduta dall'acqua all'uscita della condotta forzata (disponibile come pressione) viene convertita interamente in energia cinetica mediante un ugello. L'acqua ad alta velocità colpisce le pale della girante che converte l'energia cinetica in energia meccanica.

Le pale hanno la caratteristica forma a doppio cucchiaino. Il getto investe la pala in corrispondenza della zona centrale, si divide in due metà per effetto della presenza del coltello e abbandona ciascuna semipala con un direzione di velocità relativa che è quasi opposta alla direzione di ingresso.

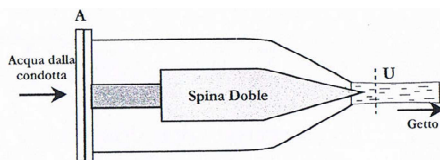
La parte anteriore della pala presenta un apposito intaglio per evitare che il getto incida sulla pala prima che abbia abbandonato completamente la pala precedente.

Turbina Pelton



Le pale (20-30) sono calettate su una ruota ad asse orizzontale o verticale sulla quale possono operare uno o più getti.

L'intera ruota è chiusa all'interno di una cassa, opera a pressione atmosferica e deve essere installata al di sopra della quota di scarico per permettere all'acqua di abbandonare la turbina.



L'ugello realizza la conversione dell'energia di pressione in energia cinetica con la minima perdita, e regola la sezione di passaggio grazie al movimento longitudinale della spina.

Il rendimento di una Pelton arriva al 90-92 %.

Turbina Turgo



Sono turbine ad azione che lavorano con salti tra i 15 e i 300 m.

Il getto colpisce le pale con un angolo di 20° rispetto al piano mediano della girante entrando da un lato e uscendo dall'altro.

Il getto colpisce più pale contemporaneamente e per questo il diametro della girante è ridotto rispetto alle Pelton, ciò consente a parità di velocità periferica di ottenere velocità angolari maggiori che permettono un accoppiamento diretto con l'alternatore.

Turbina cross-flow



Sono turbine ad azione che lavorano con salti tra i 5 e i 200 m.

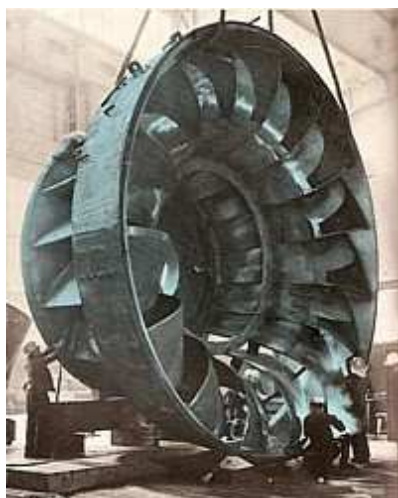
L'acqua entra attraverso un distributore e passa nel primo stadio della girante (quasi completamente sommersa) che funziona con un leggero grado di reazione.

Dal primo stadio il flusso passa al secondo che è completamente ad azione.

La girante è costituita da due o più dischi paralleli sui quali vengono montate le pale formate da semplici lamiere piegate.

Il rendimento massimo è inferiore all'87 %, però si mantiene quasi costante quando la portata discende fino al 16 % di quella nominale e può raggiungere una portata minima teorica inferiore al 10 % della portata di progetto.

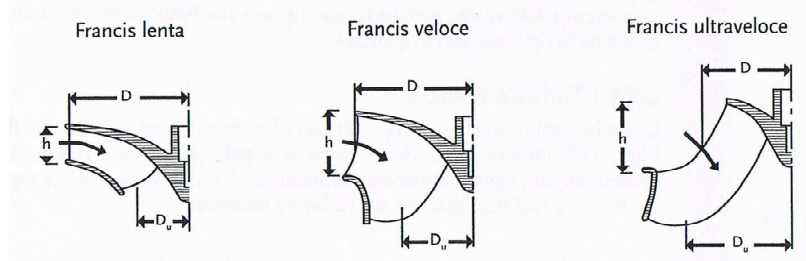
Turbina Francis



Le turbine Francis sono turbine a reazione a flusso radiale con distributore a pale regolabili e girante a pale fisse e vengono molto utilizzate per i medi salti, compresi nell'intervallo 10-350 m.

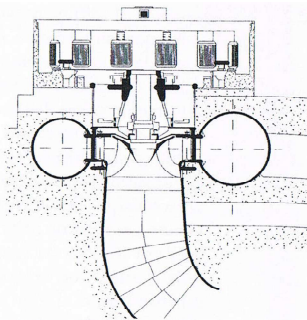
Le turbine Francis avendo la possibilità di funzionamento reversibile possono essere utilizzate in impianti di pompaggio.

Turbina Francis



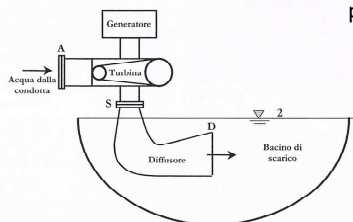
Nelle turbine Francis veloci, l'alimentazione è sempre radiale, mentre lo scarico dell'acqua è solitamente assiale; in queste turbine l'acqua si muove come in una condotta in pressione: attraverso il distributore (organo fisso) perviene alla ruota (organo mobile) alla quale cede la sua energia, senza entrare in nessun momento in contatto con l'atmosfera. In essa l'acqua subisce una deviazione complessiva di 90° , come in una pompa centrifuga, solo che in questo caso il flusso è centripeto anziché centrifugo.

Turbine Francis



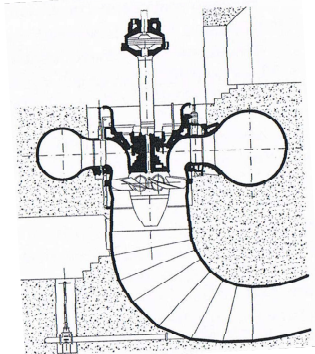
L'acqua in arrivo dalla condotta forzata viene convogliata al distributore mediante una cassa a spirale. Il distributore è provvisto di pale installate all'interno di un condotto circonferenziale rispetto alla girante. Le pale (10-20) sono conformate in modo da convertire parzialmente l'energia di pressione in energia cinetica in accordo con il grado di reazione della turbina. Le pale sono dotate di un sistema di regolazione del calettamento che consente di variare la portata elaborata.

La girante effettua la conversione dell'energia cinetica e dell'energia potenziale in energia meccanica attraverso la palettatura rotorica (10-20 pale).



Al fine di recuperare l'energia cinetica residua e la differenza di quota tra la girante e il pelo libero le Francis (così come le Kaplan) sono provviste di diffusore allo scarico. Condotto divergente che permette alla turbina di espandere fino a pressioni minori di quella atmosferica.

Turbina Kaplan



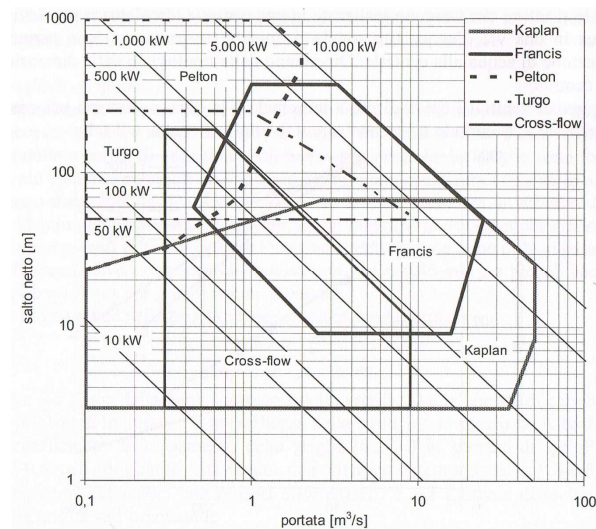
Sono macchine a reazione a flusso completamente assiale.

Il flusso viene convogliato mediante un condotto a spirale, attraversa il distributore a pale orientabili, la girante e il diffusore.

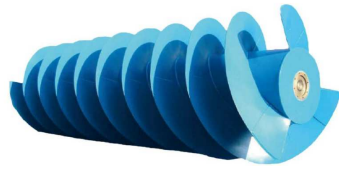
La girante è dotata di poche pale, conformate ad elica, e provviste di sistema di regolazione del calettamento.

Il rendimento è alto (90-92 %) e grazie alla regolazione del calettamento si mantiene elevato fino a portate pari al 50 % della portata nominale)

Le turbine

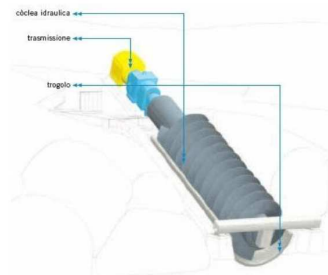


Micro hydro



La coclea idraulica: sfrutta in maniera inversa il principio della ruota a chiocciola di Archimede.

L'acqua entra nel punto superiore del trogolo della coclea. I diversi compartimenti tra la coclea e il trogolo formano singole camere in cui l'acqua spinge grazie alla forza di gravità sulla vite ponendola in rotazione.



Il generatore è posto sopra il livello dell'acqua, ed è costituito da un alternatore asincrono senza inverter in quanto la coclea ruota a velocità di rotazione fissa (per portate basse significa che la coppia si riduce).

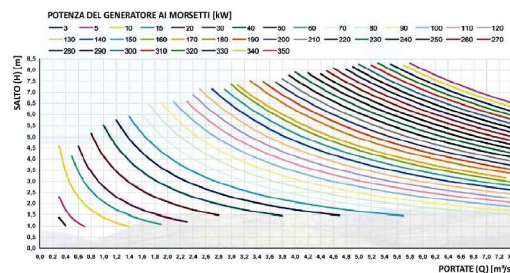
Non necessita di grigliatura fine in quanto non ci sono organi delicati a contatto con l'acqua.

Micro hydro

La coclea idraulica: è utilizzata nello scarico di acqua pulita da impianti di depurazione, sfruttamento di acqua residua eccedente in opera di presa già esistente e sfruttamento della forza idrica in canali di irrigazione.

Si presta per bassi salti (1-10 m) e discrete portate (fino a 5.5 m³/s). L'angolo tra la coclea e il piano orizzontale è circa 20°.

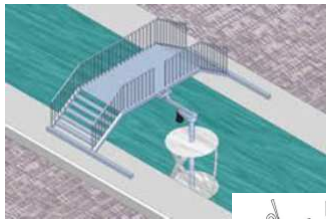
La potenza massima è circa 30 kW per motivi di ingombro. Il rendimento a pieno carico è circa 84 % e a carico parziale del 40 % arriva a 79 %.



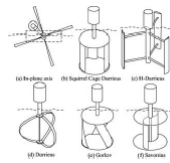
Micro hydro



Turbina Peace: sono progettate per funzionare in correnti d'acqua senza la necessità di usufruire del salto. Possono essere montate in serie o in parallelo. La potenza massima è di circa 10 kW.

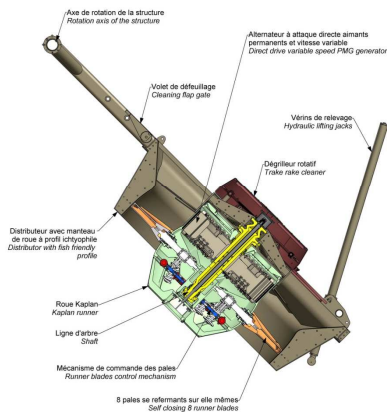


Turbina River Wheel: vengono utilizzate per velocità del fluido comprese tra 1 m/s e 15 m/s e raggiungono potenze di 5-40 kW. Possono essere utilizzate in parallelo e alzate dall'acqua per la manutenzione.



Micro hydro

VLH DN 4000



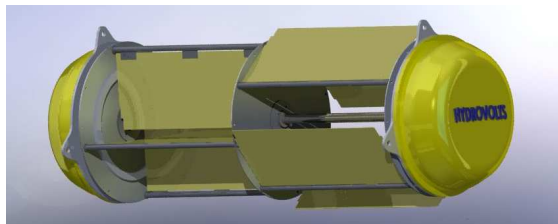
Turbina Very Low Head: sono costruite con diametri che vanno da 3 a 6 metri. Possono usufruire di un salto compreso tra 1.5 e 3 m e portate tra 6 e 30 m³/s ottenendo potenze tra i 100 e i 500 kW. Il distributore è utilizzato come griglia di protezione. Il rendimento è di circa 85 %.



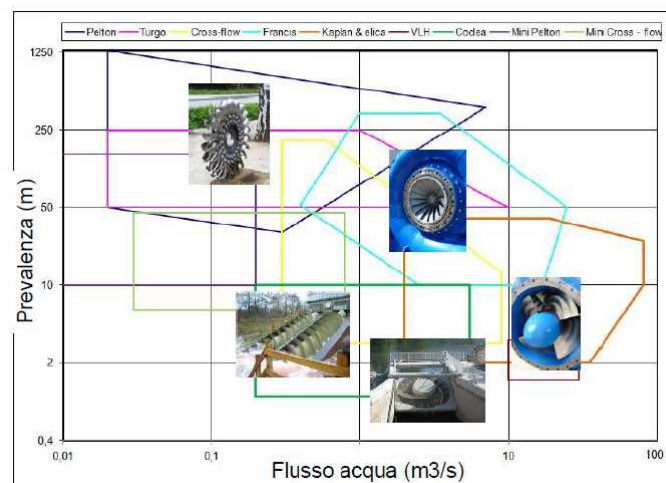
Micro hydro



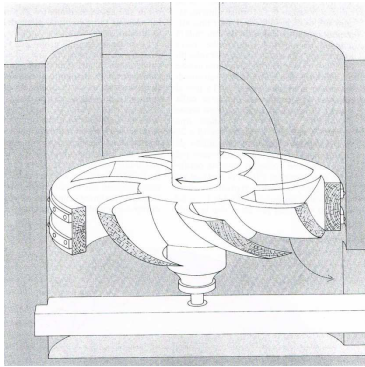
Turbina Flipwing: sono dette anche turbine galleggianti in quanto non vengono allocate su di una struttura fissa ma fatte galleggiare sull'acqua e trattenute da cavi da ormeggio. Le turbine più piccole generano potenza tra i 100 W e 1.5 kW, quelle medie tra 1.5 kW e 10 kW (dimensioni di 1.5 m x 3 m), mentre quelle grandi generano da 10 kW a 15 kW con dimensioni di 2 m x 6 m.



Micro hydro



La storia



Lo sfruttamento della fonte idrica è stato scelto nell'ottocento come alternativo all'utilizzo massiccio del carbone dalla Francia.

Nel 1826 la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale indisse un concorso per idee per applicare su larga scala le ruote idrauliche con palette curve descritte da Belidor nella sua opera "L'ARCHITECTURE HYDRAULIQUE ou L'art de conduire, d'élever et de ménager les eaux pour les différents besoins de la vie".

Le ruote a tinozza (roues à cuve) erano ruote orizzontali alloggiati sul fondo di una camera cilindrica del diametro di un metro circa.

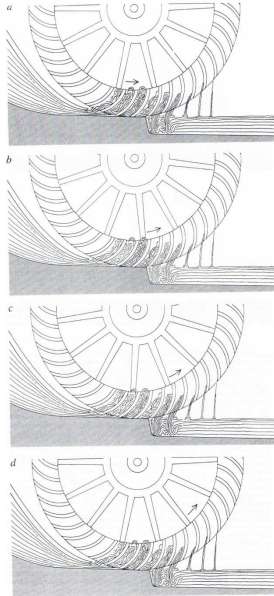
Un condotto conico forniva grandi quantità d'acqua in direzione tangenziale alla camera.

Il peso dell'acqua congiuntamente al flusso sulle palette ricurve faceva ruotare la ruota attraverso una combinazione di pressione e di energia cinetica. Il rendimento tipico era del 15 %, con punte del 20 %.

Roues à cuve



La storia



Contrapposte alle ruote orizzontali vi era già dall'antichità le ruote verticali (ruota vitruviana).

J. V. Poncelet (1788-1867) studio queste ruote e le perfezionò, raggiungendo rendimenti del 60-70 %.

Due criteri guidarono questo miglioramento:

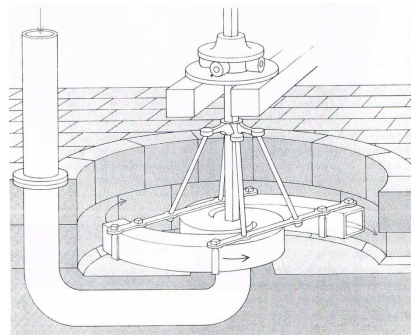
- l'acqua deve entrare nel motore senza disperdere energia in un impatto turbolento;
- quando l'acqua esce dal motore deve aver perduto tutta la sua velocità iniziale.

La storia

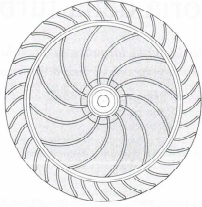
Un altro motore in voga nell'ottocento era la ruota a reazione: getti d'acqua vengono fatti uscire con forza dall'estremità di due o più bracci e l'acqua, sotto pressione, viene immessa nella parte centrale del rotore tramite un albero a tenuta stagna. I bracci ruotano per il principio della reazione.

Questa macchina fu perfezionata da Francois de Mannoury d'Ectot nel 1807.

Il suo problema principale rimase irrisolto e fu la tenuta stagna della connessione tra il condotto di alimentazione e il rotore a due bracci.



La storia



La prima turbina idraulica sperimentale di Benoit Fourneyron (discepolo di Claude Burdin che conì il termine turbina) fu sviluppata fra il 1823 e il 1827. Era una piccola macchina azionata da una caduta d'acqua di 1.4 m e poteva funzionare sommersa o meno.

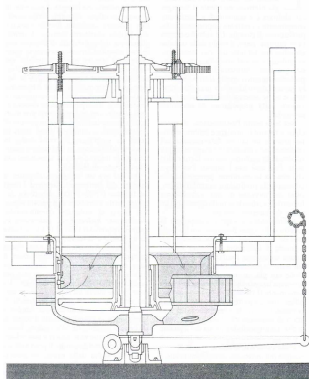
Erogava 6 CV (circa 4.5 kW) a 60 rpm con un rendimento di circa 80 %.

Il flusso dell'acqua era radiale centrifugo ad ammissione completa.

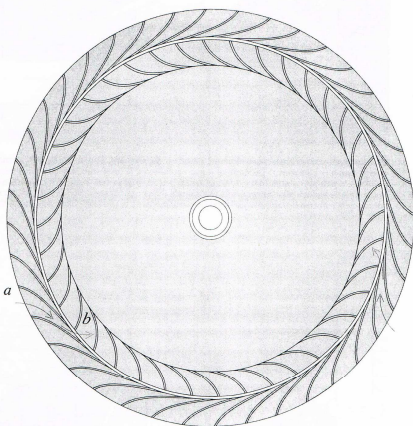
Nel 1833 Benoit Fourneyron vinse il premio della Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale istituito 7 anni prima.

Nei 30 anni successivi installò più di 100 turbine in Francia, in Europa e negli Stati Uniti.

La macchina di taglia più grande erogava 220 CV.



La storia

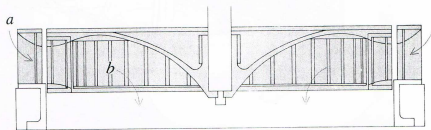


La configurazione centrifuga fu prontamente abbandonata.

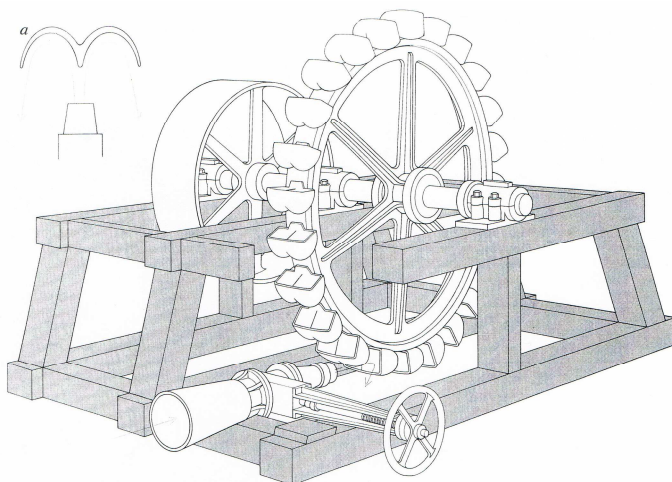
Un'alternativa furono le turbine assiali studiate in Europa e che portarono alle eliche e alle turbine Kaplan.

Una seconda alternativa fu portata avanti negli Stati Uniti da Howd and Boyden e finalizzata da James B. Francis.

Francis portò al successo il motore a flusso centripeto (costruita per la prima volta nel 1849 e installata a Lowell nel Massachussets) e successivamente quello a flusso misto.



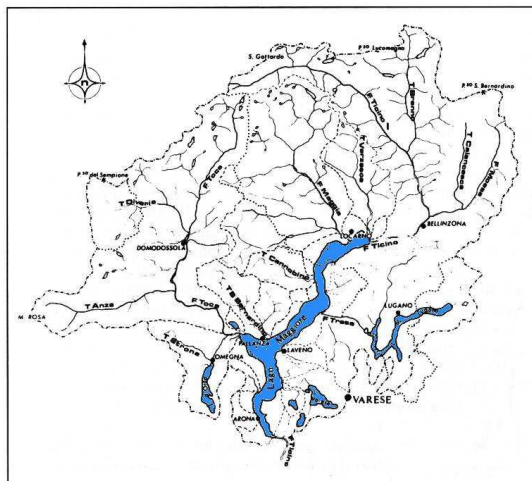
La storia



Una terza linea tornò al concetto di ruota verticale e portò alla turbina sviluppata tra gli altri da Lester A. Pelton tra il 1880 e il 1890.

Una ruota Pelton da 100 kg (quindi trasportabile) poteva erogare 125 CV (circa 92 kW) e veniva usata nelle miniere d'oro.

La quantificazione delle risorse



La possibilità di produrre energia da fonte idraulica dipende fondamentalmente dalle risorse disponibili all'interno del bacino idrografico in esame.

Il bacino idrografico (o bacino imbrifero) è la superficie territoriale interessata alla raccolta delle acque meteoriche che confluiscono in un corso d'acqua.

Si individua unendo le creste di tutti i rilievi montuosi che si trovano nella zona interessata.

La quantificazione delle risorse

Attraverso la conoscenza della superficie S del bacino idrografico e dell'entità delle precipitazioni medie annue p (esprese generalmente in mm di pioggia) è possibile valutare il volume di acqua affluito nel bacino

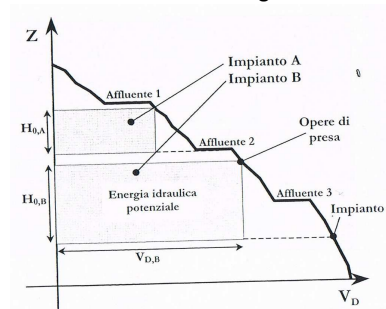
$$V_A = S p$$

Il volume che defluisce sarà minore a causa di fenomeni quali l'evaporazione, le perdite attraverso il terreno, il ripristino delle falde sotterranee e risulterà

$$V_D = V_A - V_P = K_D V_A$$

K_D è il coefficiente di deflusso che in funzione delle caratteristiche del bacino idrografico può assumere valore compresi tra 0.4 e 0.9.

Associando ad ogni volume la relativa quota geodetica si può ottenere l'energia a disposizione nel bacino idrografico.



La quantificazione delle risorse

Una volta individuata la posizione più adatta per l'impianto e per le opere di presa, per un corretto dimensionamento è necessario studiare l'evoluzione delle portate.

La produzione di un impianto idroelettrico dipende dalla disponibilità di acqua defluente in un corso d'acqua naturale od artificiale avente un determinato dislivello.

È fondamentale quindi essere in grado di valutare la quantità di risorsa idroelettrica disponibile in termini di portata.

Se disponibili si utilizzano stazioni di misura, altrimenti si ricorre all'idrologia, allo studio del regime delle piogge e dei deflussi, al calcolo dei bacini imbriferi, del drenaggio e della geologia superficiale.

Ovviamente, le caratteristiche di portata non sono necessariamente costanti durante l'anno e quindi è necessario sapere la distribuzione della portata nel tempo e il suo salto lordo disponibile.

In genere si ricercano serie storiche dell'asta in esame o, se non disponibili, serie storiche di altri tratti dello stesso fiume o di corsi d'acqua adiacenti e simili.

Misure della portata

Se non sono disponibili serie storiche, la portata può essere misurata direttamente per almeno un anno, per percepire le variazioni della stessa al variare delle stagioni.

Si utilizzano diversi metodi:

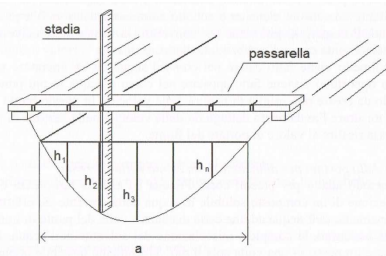
- Metodo velocità-area
- Misura della portata per diluizione di un soluto nella corrente
- Misura mediante stramazzo
- Metodo pendenza-area
- Misura mediante l'altezza d'asta

Quando il monitoraggio non è possibile si fa ricorso ad una valutazione per via indiretta valutando

- l'estensione del bacino imbrifero
- la precipitazione media annua
- l'evaporazione effettiva
- la permeabilità del terreno circostante.

Metodo velocità-area

Questo metodo è applicato generalmente nella misura della portata in fiumi medi e grandi. Si basa sulla misura della sezione trasversale del corso d'acqua e della velocità media dello stesso.



Si identifica nel fiume una sezione uniforme e caratterizzata da deflusso regolare in un tratto rettilineo del corso d'acqua.

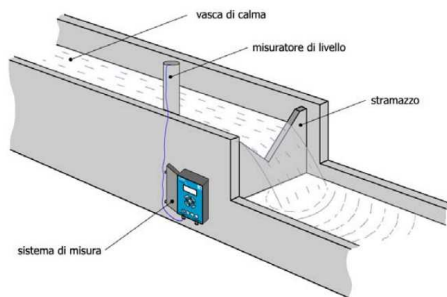
Mediante una stadia si misura il livello dell'acqua in ognuno degli n trapezi ideali in cui è stata suddivisa la sezione.

In corrispondenza di ogni sezione è misurata la velocità dell'acqua mediante

- galleggiante (si misura il tempo che il galleggiante impiega a percorrere una determinata distanza)

- mulinello (uno strumento costituito da una piccola elica che ruota intorno ad un asse orizzontale che è mantenuto parallelo sia alle linee di corrente sia alla superficie dell'acqua per mezzo di una deriva di coda e una zavorra).

Misura mediante stramazzo



E' utilizzabile quando il corso d'acqua è sufficientemente piccolo e permette la realizzazione di una piccola traversa o sbarramento posto trasversalmente alla corrente e dotato di uno stramazzo centrale attraverso il quale convogliare tutta la portata.

La misura della differenza di quota tra il pelo d'acqua a monte dello stramazzo e il ciglio dello stramazzo è sufficiente per conoscere la portata transitante.

La misura del livello deve essere fatta ad una distanza adeguata dallo stramazzo (almeno quattro volte il livello dell'acqua nel punto più basso dello stramazzo) e in una zona libera da sedimenti. Lo stramazzo deve essere realizzato con pareti sottili per favorire il distacco della vena fluida.

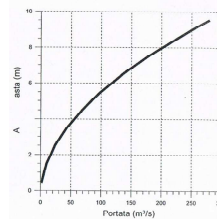
Gli stramazzi triangolari sono più accurati per basse portate, mentre quelli rettangolari e trapezoidali sono più adatti in condizioni di portate variabili.

Misure della portata

Misura per diluizione di un soluto E' un metodo adatto per piccoli corsi d'acqua caratterizzati da elevata turbolenza. Si basa sull'iniezione di una portata nota Q_s di un composto solubile in acqua nella corrente.

Si campiona poi l'acqua ad una distanza sufficiente a garantire il completo miscelamento e si misura la concentrazione di soluto C_s . Per il bilancio di conservazione della sostanza iniettata si ha $Q_s = C_s \times Q$

Misura mediante l'altezza d'asta La portata del fiume può essere valutata a partire dalla sua profondità, misurando l'altezza d'asta. La correlazione tra l'altezza d'asta e la portata è rappresentata dalla cosiddetta scala delle portate.



Metodo pendenza-area E' un metodo utile per valori molto alti delle portate.

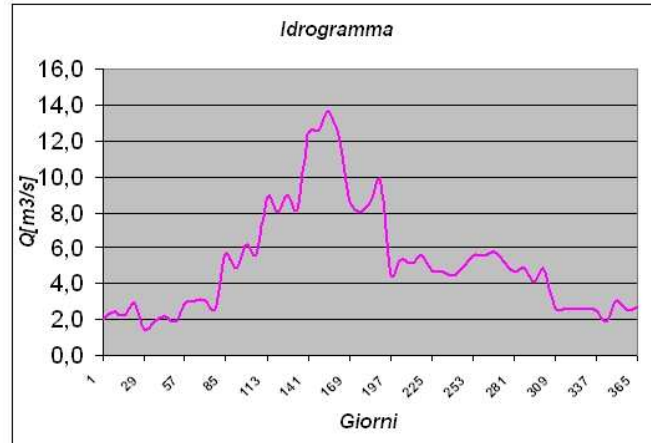
Presuppone che sia possibile misurare il livello di profondità dell'acqua a monte e a valle del punto di misura. Con i due livelli si calcola la pendenza del pelo libero S , mentre altre misure forniscono l'area A e il raggio idraulico della sezione trasversale del corso d'acqua.

Con la formula di Manning $Q = (A \times R^{2/3} \times S^{1/2}) / n$ si calcola la portata. Il coefficiente n dipende dalla tipologia di corso d'acqua.

Idrogramma

A seguito del monitoraggio o mediante la raccolta dei dati storici è possibile rappresentare le portate in funzione del tempo.

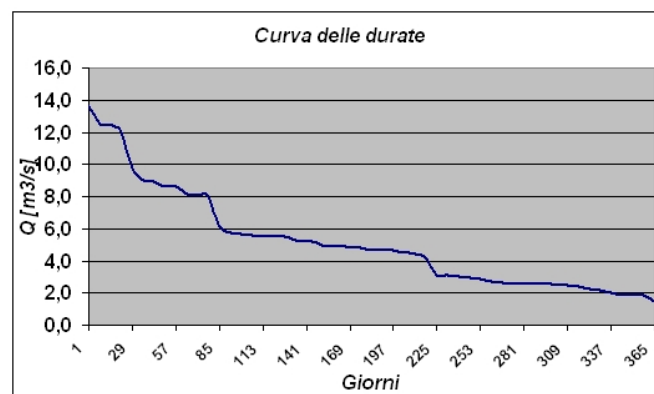
Rappresentando i dati in ordine cronologico si ottiene l'idrogramma



Curva delle durate

Gli stessi dati possono essere riorganizzati in modo da mostrare il periodo di tempo durante il quale la portata è uguale o superiore ad un certo valore.

E' sufficiente ordinare in maniera decrescente i valori di portata. In questo modo si ottiene la curva delle durate.



Il deflusso minimo vitale

E' la quantità minima di acqua che serve a garantire la sopravvivenza della flora e della fauna del fiume.

Per il calcolo ci si può basare su

- metodi teorici
 - correlazioni tra area del bacino e portata minima
 - percentuale fissa della portata media
 - utilizzo di curve di durata
- metodi sperimentali
 - metodi che usano variabili idrauliche e strutturali non trasformate
 - metodi che usano variabili idrauliche e strutturali trasformate in criteri biologici
 - metodi con un largo numero di variabili trasformate con criteri biologici
- metodi ibridi

Comunque il metodo di calcolo del DMV viene definito nella normativa regolante il rilascio delle concessioni di derivazione d'acqua ad uso idroelettrico.

La scelta dell'impianto

Una volta individuato il potenziale idraulico disponibile occorre effettuare la scelta del tipo impianto e il suo dimensionamento.

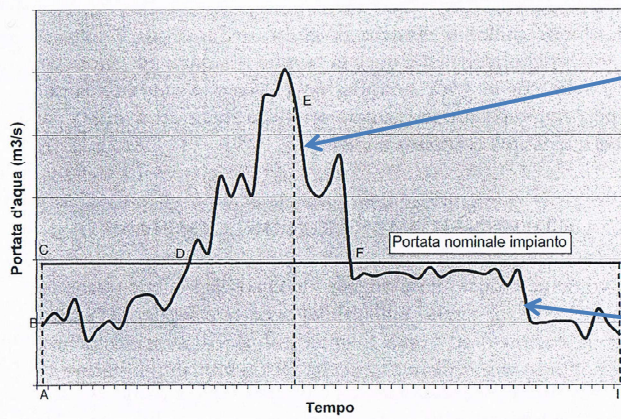
La scelta dell'impianto viene fatta sulla base di fattori quali l'orografia della zona, l'impatto ambientale, l'investimento richiesto, il servizio atteso, etc. piuttosto che sulla base di soli aspetti energetici.

In linea di massima, gli impianti a bacino vengono realizzati laddove le risorse disponibili sono molto elevate o se il bacino risulta utile anche per altri motivi (contenimento piene, accumulo d'acqua per irrigazione o per potabilizzazione) o è esistente per gli stessi motivi.

Altrove si opta per impianti ad acqua fluente.

Se il progetto di un impianto a bacino può non tenere conto strettamente delle portate perché la disponibilità di acqua è garantita dall'invaso, il dimensionamento di impianti ad acqua fluente deve essere attentamente studiato al fine di garantire adeguati margini di redditività.

Dimensionamento i.a.f.

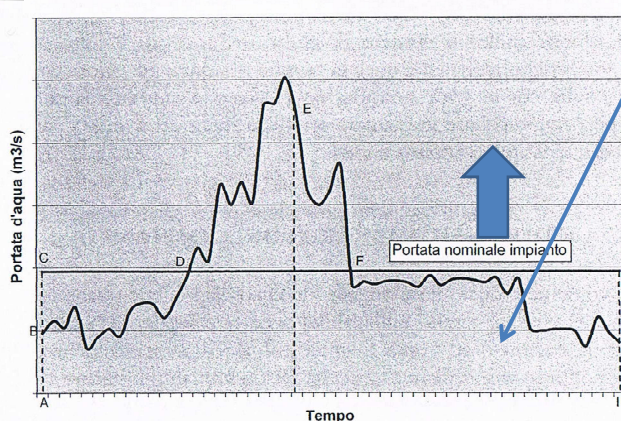


Un impianto ad acqua fluente può operare a potenza nominale solo per portate uguali o superiori alla portata di progetto.

L'eccesso di portata rispetto a quella nominale non è però sfruttato

Per portate inferiori a quella nominale l'impianto opererà a potenza minore.

Dimensionamento i.a.f.



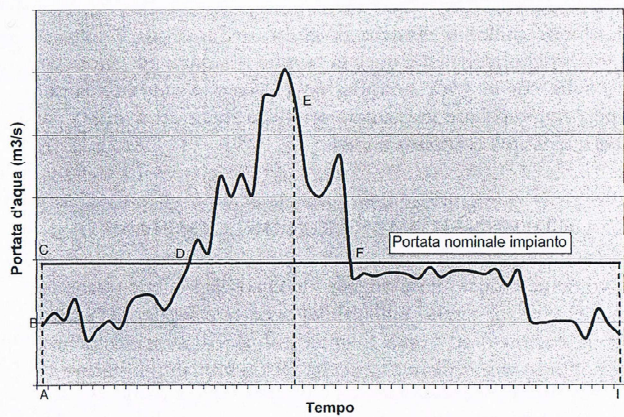
Aumenta il volume d'acqua utilizzabile per la produzione di energia elettrica.

Aumentano i costi di realizzazione e i periodi di funzionamento a carico parziale (il rendimento della turbina cala, ma lo fanno anche le perdite di carico nelle opere di adduzione)

E' un problema di ottimizzazione vincolata.

La funzione obiettivo può essere la produttività o la convenienza economica.

Dimensionamento i. a b.



In questo caso si può ipotizzare che l'impianto utilizzerà nell'anno tutta l'acqua disponibile (tolto il DMV) operando con portata costante pari alla portata media.

Quando la portata del corso d'acqua è maggiore della portata nominale dell'impianto il bacino funziona da accumulo, nel caso contrario fornisce la differenza.

La scelta della turbina

La scelta della turbina viene fatta in fase di progettazione mediante l'utilizzo degli indici caratteristici.

Il parametro caratteristico generalmente utilizzato è il numero di giri specifico

$$n_s = n \cdot \frac{Q^{\frac{1}{2}}}{(gH)^{\frac{3}{4}}}$$

Le macchine sono classificate per numero di giri specifico in condizioni di massimo rendimento.

Per dati valori di portata e salto il numero di giri specifico indica la velocità di rotazione alla quale la turbina deve ruotare per ottenere il maggior rendimento.

In alternativa fissata la velocità di rotazione (per accoppiamento con alternatore) il numero di giri specifico definisce la tipologia di turbina da utilizzare.

L'impatto ambientale

Il funzionamento non determina emissioni gassose o liquide che possano inquinare l'aria o l'acqua. I mini-impianti danno il beneficio del regolamento delle piene a regime torrentizio.

I grandi impianti a bacino comportano cambiamenti dell'ecosistema non solo acquatico: creazione dell'invaso, passaggio dal regime di acque correnti ad acque ferme a monte della diga, a valle modifica del regime delle portate.

Impatto acustico: praticamente trascurabile;

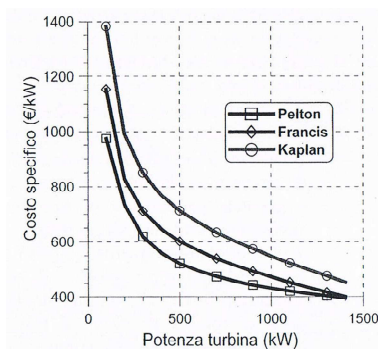
Impatto visivo: la mitigazione di una diga non è possibile, si può operare invece sulle opere di presa, sulla centrale e sulle opere di restituzione (vegetazione, interrimento, etc);

Impatto biologico: è un aspetto fondamentale. La variazione continua del livello nei bacini di accumulo possono mettere in asciutta le uova depositate. Nelle centrali ad acqua fluente la riduzione di portata tra presa e restituzione può avere un effetto negativo su deposito e incubazione delle uova, sulla crescita e sul transito dei pesci (impianti di risalita, scale). Anche gli animali terrestri sono ostacolati dalle opere (interrimento canali e condotte forzate).

Analisi economica

Gli impianti sono molto diversi tra loro, quindi la generalizzazione dei costi è difficile. I costi di installazione si possono stimare 2500-3500 €/kW per impianti di piccola taglia e 1500-2500 €/kW per impianti di grande taglia.

La variabilità è dovuta soprattutto all'incidenza delle opere civili, mentre il costo delle turbine è facilmente quantificabile.



Si può stimare che il costo di un impianto ad acqua fluente (nel caso di impianti a bacino la diga ha un peso preponderante) sia così ripartito

- 40-50 % turbina
- 20-50 % opere civili
- 5-20 % linee elettriche
- 10-30 % progettazione

Le spese di manutenzione annue sono il 2-3 % dell'investimento, al quale aggiungendo assicurazione, amministrazione e canoni di concessione uso acqua si raggiunge il 3-5 %. Gli impianti hanno una vita utile di 25-30 anni.