

LE TURBINE IDRAULICHE E IL LORO IMPATTO AMBIENTALE

Una turbina è una macchina che converte l'energia cinetica e/o potenziale di un fluido in energia meccanica.

Il tipo più semplice di turbina prevede un complesso chiamato stadio, formato da una parte fissa, detta distributore o statore, ed una parte mobile, detta girante o rotore.

Il fluido in movimento agisce sulla palettatura della parte rotorica, mettendola in rotazione e quindi cedendo energia meccanica al rotore.

Le turbine idrauliche sono inserite in un impianto che prevede un serbatoio di monte e uno di valle, solitamente a pressione atmosferica.

Esse, nella maggior parte dei casi, sfruttano la caduta disponibile, la quale tuttavia non è interamente utilizzabile dalla turbina.

LA RUOTA IDRAULICA

La più semplice turbina idraulica è la *ruota idraulica*.

Le sue prime applicazioni sono antichissime e sono state probabilmente legate alla macinazione di cereali; divennero poi di gran uso a partire dal XVII secolo in concomitanza del passaggio dalla fase artigianale a quella industriale.



Vi sono essenzialmente quattro tipi: *la ruota di fianco, la ruota dall'alto, la ruota dal basso e la ruota cinetica*.

L'applicazione di un tipo piuttosto che un altro è legata alle differenti configurazioni di corsi d'acqua.

Nella *ruota di fianco* (3) l'acqua entra nella ruota da monte ed agisce sulle palette per peso.

Per poter sfruttare anche la forza di impatto, ossia l'energia cinetica della corrente, è necessario progettare il profilo della palette in maniera ottimale, e scegliere una velocità di rotazione opportuna.

Le palette sono solidali all'albero di trasmissione mediante opportuna struttura.

Le *ruote dal basso* (1) si differenziano da quelle di fianco per tale motivo: in quelle di fianco l'acqua entra circa a metà ruota, o nel terzo medio della ruota,

in quelle dal basso, invece, l'acqua entra molto al di sotto dell'asse di rotazione, e sono quindi utilizzate in siti con salti molto più bassi.

Le ruote dal fianco possono essere utilizzate fino a salti di circa 4 m, mentre al di sotto di 1.5 m si utilizzano le ruote dal basso. Le massime portate smaltibili sono circa $1 \text{ m}^3/\text{s}$ per metro di larghezza.

Per quanto riguarda le ruote dal basso, è possibile individuare le ruote di tipo Sagebien, con palette piatte e ottimizzate per ridurre le perdite di energia a monte e quelle di tipo Zuppinger, con pale curve e ottimizzate per ridurre le perdite di energia a valle, in uscita dall'acqua.

Nei modelli più recenti le pale hanno un profilo curvilineo, per ridurre le perdite dovute alla resistenza dell'acqua all'uscita e all'entrata della pala stessa dall'immersione.

Le massime efficienze idrauliche calcolate mediante esperimenti di laboratorio al Politecnico di Torino sono dell'ordine del 70-85%. Le efficienze rimangono ottimali per un ampio campo di portate.

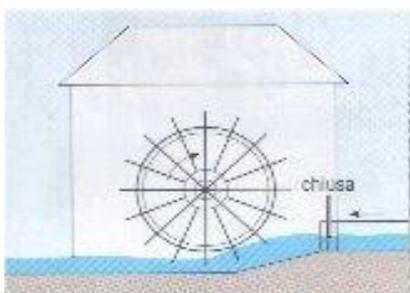
Nella **ruota dall'alto** (2) vi sono delle camere che vengono riempite d'acqua nella parte superiore della ruota. L'acqua tende a cadere per azione della gravità. L'acqua nei vani agisce per peso creando quindi una coppia che mette in rotazione la ruota.

Le efficienze idrauliche massime riscontrate mediante esperimenti di laboratorio al Politecnico di Torino sono comprese tra 80% e 85%. Tali efficienze sono costanti per un ampio range di portate e velocità di rotazione. La massima portata smaltibile è di circa 100-200 l/s per metro di larghezza. L'impiego di queste ruote avviene solitamente in zone montane, dove sono presenti torrenti con basse portate e salti di circa 3-6 metri.

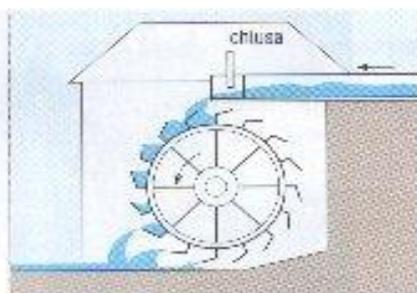
Per quanto invece riguarda la ruota cinetica è utilizzata soltanto la forza cinetica dell'acqua.

L'efficienze idrauliche sono quindi minori, dell'ordine del 30-40%.

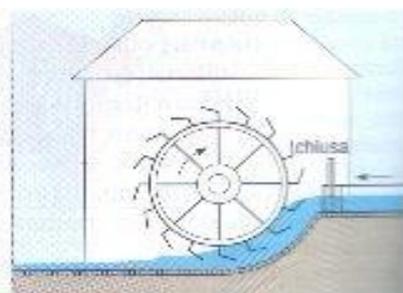
L'efficienza può innalzarsi nei casi in cui l'ostruzione del canale dovuto alla presenza della ruota crea un innalzamento del livello d'acqua a monte della ruota, in modo tale che anche la spinta idrostatica viene sfruttata.



1 (ruota dal basso)



2 (ruota dall'alto)



3 (ruota di fianco)

LA RUOTA IDRAULICA: UNA TECNOLOGIA PER L'AMBIENTE

Negli ultimi anni, grazie alla nuova sensibilità nei confronti delle fonti rinnovabili, l'idroelettrico sta giocando un ruolo di primaria importanza nella produzione di energia pulita. Tuttavia, i siti in cui installare grandi impianti idroelettrici e dighe sono sostanzialmente esauriti in Europa. Di conseguenza, l'idroelettrico in piccola scala, chiamato mini/micro idroelettrico, sta suscitando una notevole attrazione.

Per *mini idroelettrico* si intendono tutti quegli impianti con potenze installate al di sotto dei 1000 kW, mentre per *micro idroelettrico* quegli impianti con potenze al di sotto dei 100 kW, nei quali rientrano le ruote idrauliche.

Il progetto Restor Hydro della European Small Hydropower Association stima che in Europa siano circa 350000 i siti adatti ad impianti di questo tipo, e fra questi, più di 5000 proprio in Italia. Le ruote idrauliche, inoltre, sono di semplice costruzione, necessitano di minori opere civili e generano bassissimi impatti ambientali.

Un impianto a ruota idraulica è generalmente ripagato in 7/12 anni; inoltre, quando recuperate dall'interno di vecchi mulini, le ruote permettono anche di preservare e valorizzare il patrimonio culturale, incrementando l'eco-turismo. Le ruote idrauliche sono inoltre macchine "fish friendly" e test sperimentali effettuati in Germania mostrano che rispetto alle viti idrodinamiche (coclee) arrecano meno danni alla fauna ittica.

L'IMPORTANZA DELLA PROGETTAZIONE

Spesso, il progetto di una ruota idraulica viene sottovalutato, perché la ruota è ritenuto un rotore semplice e di facile installazione. In realtà, invece, anche il progetto di una ruota idraulica deve essere curato: numero e forma delle pale, diametro e larghezza, velocità di rotazione, sagomatura del canale a valle e a monte, sono elementi essenziali, la cui progettazione deve essere ben curata al fine di ottimizzarne il rendimento.

Tuttavia, la maggior parte delle informazioni di tipo ingegneristico sulle ruote idrauliche risale al XIX secolo. In questi ultimi anni, in particolare al Politecnico di Torino, la ricerca scientifica si è quindi data da fare al fine di migliorare queste informazioni, che spesso risultano obsolete, non complete e di conseguenza non ottimali.

CONCLUSIONI

Le ruote idrauliche rappresentano quindi una tecnologia di spiccato interesse, grazie ai loro numerosi vantaggi; tuttavia, il fatto che si tratti di una tecnologia

non recente, non significa che sia di semplice progettazione. La ricerca diventa quindi necessaria al fine di fornire il maggior numero di informazioni utili al loro progetto, come formule per la stima del rendimento e risultati sperimentali per identificare i campi ottimali di portate e velocità di rotazione, nei quali ogni ruota dovrebbe operare.

La ruota idraulica è sicuramente servita da trampolino nella progettazione e costruzione di quelle che ad oggi sono le principali tipologie di turbine idrauliche impiegate, fra le quali ritroviamo:



La Turbina Pelton



La Turbina Francis



La Turbina Kaplan



La Turbina a bulbo



La Turbina Banki



La Turbina Turgo

LA TURBINA PELTON

La turbina Pelton fu inventata nel 1879 da Lester Allan Pelton, carpentiere, e risulta essere ancora oggi la turbina ad azione con rendimento più elevato.

Il suo inventore la concepì come macchina motrice, da impiegare nelle miniere, dove egli stesso lavorò per un periodo della sua vita, in sostituzione delle macchine a vapore.

Quest'ultime, per funzionare, necessitavano di carbone e non era sempre semplice far fronte ai problemi di stoccaggio ed



approvvigionamento di quest'ultimo; si era negli anni della corsa all'oro, nell'estremo Ovest degli Stati Uniti d'America e le miniere erano spesso lontane e difficilmente raggiungibili dalla nascente rete di trasporti. Per rispondere a queste esigenze, Pelton, decise di utilizzare una forza motrice ampiamente disponibile in quei territori: l'acqua proveniente da altezze considerevoli, seppur con piccole portate.

Viene impiegata per grandi salti (tra i 300 e i 1400m) e piccole portate (inferiori a 50 m³/s), e quindi solitamente sfruttata nei bacini idroelettrici alpini.

L'energia potenziale dell'acqua viene condotta alla turbina tramite grosse tubature che conducono l'acqua a valle. Qui uno o più ugelli indirizzano l'acqua sulle pale, determinandone quindi la rotazione. L'ugello grazie alla sua forma trasforma in energia cinetica tutta la pressione contenuta nei condotti.

Il flusso di acqua in uscita dall'ugello viene deviato dalle pale della turbina, che, come conseguenza, subiscono una spinta come reazione alla deviazione del flusso stesso. Tale spinta S è pari a:

$$S=dQ(V_i-V_u);$$

d = densità del fluido, Q = portata, V_i = velocità in ingresso, V_u = velocità in uscita.

Un aspetto non di poco conto è inoltre il diametro D della girante, in quanto il suo valore è inversamente proporzionale alla velocità di rotazione ω :

$$V=\omega \cdot D/2.$$

Una girante lenta non risulta essere particolarmente ottimale in una centrale idroelettrica, in quanto fa aumentare i costi a parità di energia prodotta; da ciò deriva la preferenza ad utilizzare alternatori a magnete rotante bipolare, con una velocità di rotazione ω pari a 3000 giri/min.

Una prima caratteristica particolarmente apprezzata di questa turbina è il fatto che abbia un transitorio di avviamento molto breve, cioè che la sua massima spinta avviene quando è ferma, ovvero quando la differenza tra la velocità del getto e della girante è più grande.

Un altro aspetto non di poco conto è l'ampio margine di regolazione della girante: è possibile regolare la portata del getto, riducendolo in sezione e quindi ottenendo una potenza minore, non andando però ad influire negativamente sul rendimento energetico. Tale regolazione avviene attraverso una spina, chiamata ago doble, o mediante un tegolo deviatore.

Tuttavia un difetto di questa turbina sta nel non poter utilizzare l'intera altezza del salto, in quanto la girante, non potendo essere immersa nel canale di scarico, è sollevata rispetto al pelo dell'acqua.

Il *rendimento* ottimale della turbina Pelton, deriva dalla pala a forma di cucchiaio, che permette di recuperare parte della potenza generata. Il rendimento dipenderà dall'angolo α , cioè l'angolo che si genera tra il limite esterno del cucchiaio e la mezzeria del cucchiaio. Il rendimento è quindi dato da: $\eta = (1 + \cos\alpha)/2$.

LA TURBINA FRANCIS

La turbina Francis prende il nome dal suo ideatore, James B. Francis, il quale la brevettò nel 1848, dopo aver condotto diversi studi e sperimentazioni nel campo dell'idraulica, grazie anche al suo impiego presso la Locks and Canal Company di Lowell nel Massachusetts. Ad oggi risulta essere la turbina idraulica più utilizzata.

É una turbina a flusso centripeto: l'acqua raggiunge la girante tramite un condotto a chiocciola che la lambisce interamente, poi un distributore, ovvero dei palettamenti sulla parte fissa, indirizzano il flusso per investire le pale della girante.

Viene definita *macchina a reazione*, perché nel suo funzionamento l'energia potenziale posseduta dall'acqua non viene interamente trasformata in energia cinetica all'interno del distributore, ed entra quindi a contatto con le pale della girante ad una pressione superiore a quella atmosferica; ed è poi nell'impatto con la girante che avviene la cessione dell'ulteriore quota di energia.



La Francis è *una turbina ad ammissione totale*, in quanto l'acqua investe contemporaneamente tutte le pale della girante, creando una spinta simmetrica; l'ingresso dell'acqua alla girante è radiale, mentre lo scarico è assiale. La geometria e le dimensioni della girante sono estremamente varie, essendo queste determinate da parametri che possono differire notevolmente a seconda dei siti di installazione.

La Francis ha infatti un campo di applicazione estremamente vasto, che va da 10-20 metri fino a 400-500 metri e portate da 2-3 m³/s fino a 100 m³/s. Tuttavia, nonostante il suo elevato rendimento e la sua vasta applicabilità, ha comunque un "punto debole"; le sue caratteristiche infatti la rendono poco adatta all'installazione in siti caratterizzati da portate variabili, perché allontanandosi dai valori di progetto della portata, il rendimento della macchina, in grado di raggiungere anche il 94%, cala notevolmente.

LA TURBINA KAPLAN

Questa turbina prende il nome dall'ingegnere austriaco Victor Kaplan, il quale nel 1912 presentò un tipo di turbina idraulica, che divenne in breve tempo famosa e apprezzata.



Per la realizzazione di questa turbina prese ispirazione dalla preesistente elica idraulica, alla quale apportò delle migliorie che consentirono, mediante un meccanismo di sua invenzione, la regolazione del passo dell'elica.

Il numero delle pale è compreso tra due ed otto, nella maggior parte dei casi sono quattro; sono fissate al mozzo centrale e prive di corona esterna, l'acqua raggiunge la girante con moto assiale, dopo essere passata attraverso il palettaggio regolabile del distributore, situato nella chiocciola a spirale di adduzione. Le pale hanno la possibilità di ruotare, attorno al proprio asse, regolando la propria inclinazione, permettendo così la variazione del passo dell'elica. Il meccanismo di regolazione delle pale è generalmente situato nel mozzo o nel bulbo della girante ed è perfettamente stagno e pieno di lubrificante.

Le Kaplan sono quindi particolarmente indicate all'impiego in impianti fluviali, essendo utilizzabili in siti caratterizzati da bassi dislivelli geodetici e considerevoli portate. La possibilità di variare il passo dell'elica, insieme alla possibilità di modificare la luce di adduzione, tramite il distributore regolabile, permettono alla Kaplan di mantenere alto il rendimento idraulico anche in presenza di considerevoli variazioni di portata, rendendola particolarmente interessante nelle applicazioni in ambito mini e micro idroelettrico.

TURBINA A BULBO

La turbina Kaplan viene realizzata anche in una variante definita *a bulbo*. Questa variante è costituita da una turbina ad asse orizzontale con adduzione assiale, destinata a lavorare in totale immersione, con il generatore racchiuso in un involucro stagno a profilo idrodinamico.



LA TURBINA BANKI

La turbina Banki è una macchina molto semplice, sia nel funzionamento che nella costruzione. Viene anche definita *turbina Cross Flow* (flusso incrociato) perché nel suo funzionamento l'acqua investe due volte le pale della girante, passando attraverso il corpo della girante stessa, prima di defluire nel condotto di scarico.



La prima realizzazione pratica di questo tipo di turbina si deve all'ingegnere australiano A. Michell che brevettò la sua macchina nel 1903. Ulteriori sviluppi al modello di Michell vennero apportati dal professore ungherese D. Banki, il quale arrivò alla realizzazione di un modello simile, in via indipendente da Michell,

durante le sue ricerche presso l'università di Budapest. Per questo motivo la turbina viene chiamata più correttamente, "**Banki-Michell**", anche se spesso è indicata come turbina Ossberger, con il nome cioè dell'imprenditore bavarese che, in accordo con Michell, negli anni 30, diede il via alla produzione industriale di questo tipo di macchina idraulica.

Questa macchina raggiunge il suo rendimento massimo nel momento in cui lavora con una portata che è pari all'incirca all'87% della portata di progetto.

LA TURBINA TURGO

La turbina Turgo è una turbina idraulica ad azione che può lavorare con salti tra i 15 e i 300m. Sviluppata dall'azienda britannica Gilkes nel 1919, è stata derivata dalla turbina Pelton, rispetto alla quale ha un rotore più economico da realizzare, un numero di giri caratteristico più elevato e può gestire una portata d'acqua maggiore a parità di diametro.



Queste ultime due caratteristiche permettono di ridurre le dimensioni dell'alternatore e i costi di installazione. Può raggiungere rendimenti intorno all'87%.

Questo tipo di turbine può essere utilizzato sia in impianti di grandi dimensioni che nel piccolo idroelettrico.

VANTAGGI E FATTORI DA TENERE IN CONSIDERAZIONE

Gli impianti mini-idroelettrici in molti casi portano invece notevoli benefici al corso d'acqua (in particolare la regolazione delle piene sui corpi idrici torrentizi, specie in aree montane ove esista degrado e dissesto del suolo e, quindi, possono contribuire efficacemente alla difesa e salvaguardia del territorio).

I grandi impianti idroelettrici a bacino possono tuttavia presentare qualche problema in più dal punto di vista dell'inserimento ambientale, e necessitano quindi di opportune valutazioni di impatto ambientale, volte a garantire l'assenza di interferenze con l'ambiente naturale.

Sempre riguardo all'idroelettrico, un altro fattore non di poco conto è l'inquinamento acustico generato da queste macchine, il quale è prevalentemente dettato dalle turbine e dagli eventuali meccanismi di moltiplicazione dei giri.

Ad oggi il rumore può essere ridotto fino a 70 dB all'interno della centrale e fino a livelli praticamente impercettibili all'esterno.

Per quanto invece riguarda l'impatto estetico che questi impianti hanno sull'ambiente circostante, al fine di evitare evidenti modifiche alle caratteristiche visuali dei siti, l'opinione pubblica è molto spesso riluttante ad accettare queste installazioni, in particolar modo se si tratta di impianti idroelettrici d'alta quota o inseriti in un centro urbano.

Per concludere, uno degli aspetti probabilmente più importanti è il rapporto con gli ecosistemi, il quale è da tenere costantemente in considerazione durante la progettazione di un impianto idroelettrico.

Esistono due aspetti che sono strettamente collegati con il prelievo di acque superficiali e che possono generare impatti di due diversi ordini:

-impatto relativo alla variazione (diminuzione) della quantità dell'acqua, con possibili conseguenze conflittuali per gli utilizzatori ed effetti sulla fauna acquatica;

-impatto relativo alla variazione di qualità dell'acqua in conseguenza di variazioni di quantità ed anche in conseguenza di possibili modificazioni della vegetazione riparia.

La diminuzione della portata di acqua non deve quindi essere eccessiva e deve essere rispettato il valore del deflusso minimo vitale, altrimenti si possono recare danni alla deposizione, incubazione, la crescita ed il transito dei pesci. Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto si deve prendere in considerazione il movimento dei pesci che risalgono la corrente e quelli che la discendono, realizzando gli opportuni passaggi e installando le opportune reti che impediscano ai pesci di entrare nelle opere di presa e di passare nella turbina. La produzione di energia idroelettrica presenta l'indiscutibile vantaggio ambientale di non immettere nell'ecosfera sostanze inquinanti, polveri, calore, come invece accade nel caso dei metodi tradizionali di generazione per via termoelettrica. In particolare si riducono le emissioni di anidride carbonica di 670 g per ogni kWh di energia prodotta. Altri benefici sono, come per le altre rinnovabili, la minore dipendenza dalle fonti energetiche estere, la diversificazione delle fonti e la riorganizzazione a livello regionale della produzione di energie.

ANDREA GAMBERA
Liceo classico Giuseppe Garibaldi IV-i
Anno scolastico 2019/2020

