

TURBINA

Macchina motrice rotante che converte in energia meccanica l'energia cinetica di un fluido in movimento. L'elemento essenziale della turbina è la girante, o rotore, che può essere costituita da un'elica oppure da una ruota con alette o pale variamente profilate. L'energia meccanica acquisita dalla girante viene poi trasmessa a un albero motore che viene utilizzato per azionare una macchina, un compressore, un generatore elettrico o un'elica. Si distinguono tre tipi principali di turbine: idrauliche, a vapore e a gas. Un tipo particolare di turbina a gas è la turbina a vento, detta anche aerogeneratore o aeromotore. Attualmente la maggior parte dell'energia elettrica mondiale viene prodotta da generatori azionati da turbine.

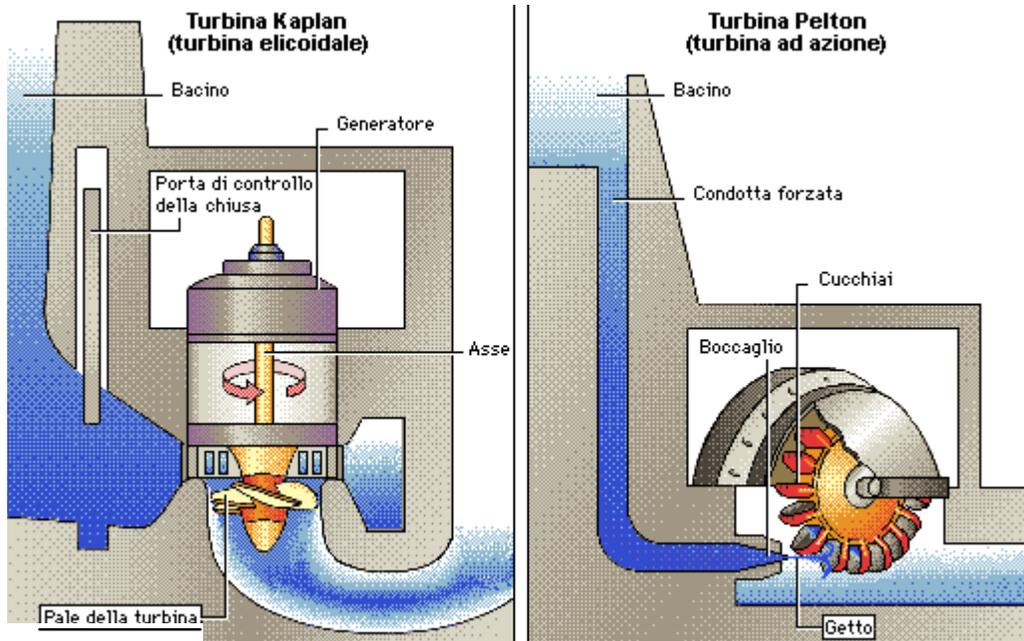
TURBINE IDRAULICHE

La più antica e semplice turbina idraulica è la ruota idraulica, usata dapprima nell'antica Grecia e successivamente adottata nella maggior parte dell'Europa antica e medievale per la macinazione del grano. Nella sua forma più semplice consisteva in un albero verticale, con una serie di alette o palette radiali oblique, posizionato in corsi d'acqua a flusso rapido o in condotte forzate. La potenza prodotta era di circa 0,5 cavalli. La ruota idraulica orizzontale (cioè una ruota a palette radiali montata su un albero orizzontale) fu descritta per la prima volta nel I secolo a.C. dall'architetto romano Vitruvio Pollione; aveva la parte inferiore immersa nel corso d'acqua e costituiva quindi un esempio di "ruota per disotto". Nel II secolo d.C. venne introdotta nelle regioni collinari la più efficiente "ruota per disopra", in cui veniva sfruttata l'energia di un flusso d'acqua in caduta per effetto della gravità. Nel Medioevo la potenza massima della ruota idraulica aumentò da 3 a circa 30 cavalli.

Il passaggio dalla ruota idraulica alla turbina è più che altro semantico. Il primo importante tentativo di formulare una base teorica per la progettazione delle ruote idrauliche fu compiuto nel XVIII secolo dall'ingegnere Smeaton. Il francese Poncelet ideò una ruota per disotto con palette curve, che aumentavano l'efficienza di circa il 70%. Un altro ingegnere francese, Burdin, inventò il termine "turbina", introducendolo in una relazione teorica nella quale sottolineava l'importanza della velocità di rotazione. Fourneyron progettò e costruì per le ferriere francesi giranti che raggiungevano una velocità di oltre 60 giri al minuto ed erogavano fino a 50 cavalli di potenza. In seguito costruì turbine che operavano a 2300 giri al minuto e sviluppavano 60 cavalli di potenza, con un'efficienza di oltre l'80%. Nonostante l'efficienza, la turbina Fourneyron presentava alcuni inconvenienti a causa della direzione centrifuga del flusso radiale; questi inconvenienti si manifestavano quando il flusso diminuiva o la pressione si riduceva. L'ingegnere Francis progettò una turbina a flusso centripeto, nella quale cioè il flusso era diretto verso l'interno. La cosiddetta turbina a reazione, o turbina Francis, divenne la turbina idraulica più usata per salti d'acqua (o dislivelli) da 10 a 100 metri. In questo tipo di turbina l'acqua passa dapprima fra le alette di una parte fissa (il distributore) che trasforma parte della sua energia di pressione in incremento di velocità, quindi viene diretta verso la girante. Nella seconda metà del XIX secolo, per impianti che potevano disporre di dislivelli da 100 a 1000 metri, entrò in uso la turbina Pelton, progettata dall'ingegnere Pelton. In questa macchina, l'acqua proveniente da un bacino ad alta quota viene inviata attraverso una condotta forzata a un ugello dove l'energia potenziale che essa possiede per effetto della forza gravitazionale è trasformata nell'energia cinetica di un getto ad alta velocità. Il funzionamento della turbina Pelton dipende dall'azione diretta del getto sulla girante.

L'aumento della domanda di energia idroelettrica nei primi anni del XX secolo stimolò la necessità di una turbina adatta per piccoli dislivelli. Nel 1913 l'ingegnere Kaplan propose una turbina a elica il cui funzionamento era sostanzialmente l'inverso di quello dell'elica di una nave. Successivamente migliorata, questa turbina ebbe un'ampia diffusione.

Per mantenere costante la tensione di uscita di una centrale idroelettrica, la velocità delle turbine deve essere mantenuta costante a prescindere dalle variazioni di pressione dell'acqua. Ciò richiede continui controlli, che per le turbine Francis e per le turbine Kaplan si traducono principalmente in una regolazione dell'apertura delle palette del distributore, in modo da regolare il flusso, mentre nelle turbine Kaplan comportano anche la variazione del passo delle pale dell'elica. Nelle turbine Pelton il flusso dell'acqua viene regolato variando l'apertura dell'ugello di alimentazione; questo tipo di regolazione, tuttavia, rende necessaria la presenza di un ugello di *by-pass* di scarico temporaneo poiché repentine variazioni di flusso nelle lunghe condotte forzate potrebbero causare improvvisi e imponenti aumenti di pressione (i cosiddetti colpi d'ariete), pericolosi per l'integrità stessa della condotta.



Le turbine idrauliche trasformano l'energia del flusso di una massa d'acqua in energia utile. La turbina Kaplan funziona più o meno come l'elica di una nave: ampie pale rotanti, messe in moto dall'acqua ad alta pressione liberata attraverso una chiusa, azionano l'asse del generatore. La turbina Pelton, ideata nel XIX secolo, funziona come una tradizionale turbina idraulica: un potente getto d'acqua ad alta velocità ne colpisce i cucchiai, azionando il meccanismo.

SVILUPPI PROGETTUALI

Negli impianti idroelettrici moderni vengono costruite grandi unità in presenza di dislivelli elevati, impiegando generalmente turbine Kaplan fino a 60 metri e turbine Francis fino a 600 metri. L'impianto che dispone del dislivello maggiore (circa 1770 metri) si trova a Reisseck, in Austria, e utilizza una turbina Pelton, mentre singole unità di notevoli dimensioni sono installate nell'impianto di Itaipu, in Brasile: si tratta di 18 turbine Francis da 700 megawatt ciascuna, per una capacità complessiva di 12.600 megawatt. Molti degli impianti idroelettrici a basso dislivello realizzati prima del 1930 sono stati abbandonati a causa delle elevate spese di manutenzione e di manodopera. Tuttavia il crescente costo dei combustibili fossili, unito all'attuale disponibilità di un tipo standardizzato di turbina a elica ad albero pressoché orizzontale, ha riportato l'interesse anche sugli impianti di piccole dimensioni.

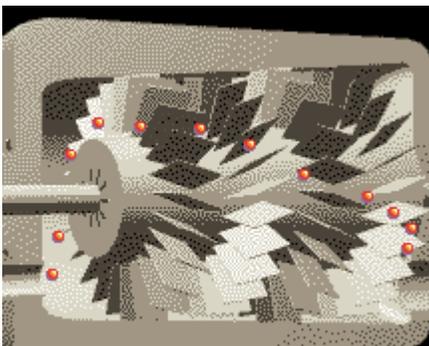
La turbina idraulica può essere progettata per girare anche in senso inverso, agendo come pompa. Immagazzinare l'energia elettrica in modo economico non è possibile, ma l'azionamento della

cosiddetta pompa-turbina nelle ore di consumo ridotto consente di pompare nel bacino di raccolta una quantità di acqua che può essere poi riutilizzata nelle ore di massimo consumo per azionare la turbina. Negli ultimi anni la tecnologia della pompa-turbina è stata sviluppata tanto da essere applicata a dislivelli fino a 600 metri e a unità di oltre 400 megawatt.

TURBINE A VAPORE

Il successo della turbina idraulica suggerì la possibilità di applicare il principio della turbina alla produzione di energia meccanica ed elettrica utilizzando il vapore. Mentre la macchina a vapore di Watt, a moto alternativo, utilizzava la pressione del vapore, la turbina ne sfruttava l'energia cinetica con un rendimento conseguentemente maggiore. Le turbine sono più piccole, più leggere e più economiche delle macchine a vapore alternative di pari potenza e dal punto di vista meccanico presentano il vantaggio di produrre direttamente un moto rotatorio, senza richiedere l'uso di alberi a gomiti o altri meccanismi per la trasformazione del moto rettilineo alternativo. Come conseguenza di ciò, la turbina a vapore ha sostituito la macchina alternativa come motore primo nelle grandi centrali termoelettriche e nella propulsione navale. Inoltre, alimentate da generatori di vapore accoppiati con scambiatori di calore, le turbine a vapore sono impiegate nella produzione di energia elettrica nelle centrali nucleari e nella propulsione nucleare delle navi. Nelle applicazioni industriali che richiedono sia il calore di processo (cioè il calore necessario allo svolgimento di un processo tecnologico) sia l'elettricità, il vapore viene portato ad alta pressione nella caldaia, in modo che, dopo aver alimentato la turbina, si trovi nelle condizioni di pressione e temperatura richieste dal processo. Le turbine a vapore possono anche essere inserite in cicli combinati con un generatore di vapore che recupera il calore che andrebbe altrimenti perduto, come quello contenuto nei gas di scarico di una turbina a gas. La turbina a vapore non è stata il frutto dell'ingegno di una singola persona ma si è sviluppata negli ultimi anni del XIX secolo, come risultato del lavoro di più inventori, fra i quali spiccano il britannico Parsons e lo svedese De Laval. A Parsons si deve il cosiddetto principio della stadiazione, cioè la suddivisione in diversi stadi dell'espansione del vapore, il quale compie lavoro utile a ogni stadio. De Laval invece fu il primo a progettare una disposizione di ugelli e palette particolarmente adatta a sfruttare efficacemente l'espansione del vapore.

Funzionamento della turbina a vapore



Il funzionamento della turbina a vapore è basato sui principi della termodinamica: il vapore che si espande subisce un abbassamento di temperatura e quindi una diminuzione di energia interna. Quest'ultima si trasforma in energia meccanica, sotto forma di accelerazione delle particelle che lo compongono. Tale trasformazione rende direttamente disponibile una grande quantità di energia meccanica. Sebbene costruite in base a due diversi principi, le parti essenziali di tutte le turbine sono simili. Anzitutto ci sono gli ugelli, attraverso i quali il vapore fluisce, si espande, perde calore e acquista energia cinetica; poi ci sono le palette, contro le quali il vapore ad alta velocità esercita pressione. La disposizione di ugelli e palette, fisse o mobili, dipende dal tipo di turbina. Oltre a questi due componenti di base, le turbine comprendono le giranti sulle quali sono fissate le palette, un albero su cui sono montate le giranti, un involucro esterno (o cassa) e altri dispositivi accessori, inclusi quelli di lubrificazione e di regolazione.

Tipi di turbina a vapore

La forma più semplice di turbina a vapore è la cosiddetta turbina ad azione, nella quale il vapore, uscendo ad alta pressione da una serie di ugelli opportunamente disposti all'interno della cassa, colpisce direttamente le palette montate sulla parte periferica della girante, facendo ruotare quest'ultima attorno all'albero centrale. Nella turbina a reazione, invece, l'energia meccanica viene ottenuta in parte dall'impatto del vapore sulle alette, ma soprattutto dall'accelerazione del vapore in espansione. Le turbine di questo tipo infatti comprendono due serie di palette, una fissa, che costituisce il distributore e una mobile montata sulla girante. Distributore e girante si affrontano e le palette del distributore sono disposte in modo che ogni coppia funzioni come un ugello attraverso il quale il vapore si espande agendo sulle palette della girante. Quest'ultima, nelle turbine a reazione, non è una ruota, ma ha forma di tamburo il cui asse ha la funzione di albero della turbina. Allo scopo di utilizzare nel modo più efficiente possibile l'energia ottenibile dal vapore, in entrambi i tipi di turbina il ciclo di espansione è diviso in più stadi, in ciascuno dei quali solo una parte dell'energia termica viene trasformata in energia cinetica. Se tale trasformazione avvenisse totalmente in un unico stadio, la velocità di rotazione della girante potrebbe essere eccessiva. In genere, le turbine a reazione richiedono più stadi di quelle ad azione. Le grandi turbine ad azione hanno in realtà qualche stadio a reazione, all'inizio del percorso del vapore, per garantire un flusso efficiente attraverso le palette, mentre molte turbine a reazione hanno un primo stadio di controllo ad azione che consente un risparmio complessivo nel numero totale di stadi. A causa dell'aumento di volume del vapore in espansione attraverso i vari stadi della turbina, le dimensioni delle aperture attraverso le quali passa il vapore devono essere crescenti. Nella progettazione delle turbine, ciò si realizza aumentando di stadio in stadio la lunghezza delle palette, e quindi il diametro della girante, e accoppiando in parallelo due o più sezioni di turbina. Di conseguenza, una turbina industriale di piccole dimensioni può essere di forma più o meno troncoconica, con il diametro minore all'ingresso, cioè all'estremità ad alta pressione, e quello maggiore all'uscita, cioè all'estremità a bassa pressione; una grossa unità per centrale nucleare, invece, può avere quattro giranti ed essere costituita da una sezione a doppio flusso ad alta pressione seguita da una sezione a doppio flusso a bassa pressione. Le turbine ad azione di solito utilizzano i cosiddetti stadi a pressione costante, o di Rateau, nei quali il rapporto di pressione è pressoché uniforme. In passato le turbine ad azione impiegavano gli stadi a salti di velocità, o di Curtis, con due giranti, una azionata da una serie di ugelli e l'altra accoppiata a un distributore. Gli stadi della turbina a reazione sono talvolta detti stadi di Parsons. In sintesi, le turbine a vapore sono macchine relativamente semplici, con una sola parte principale mobile, la girante, e una serie di componenti ausiliari fissi, come i cuscinetti portanti che reggono l'albero, il cuscinetto reggispira che posiziona l'albero stesso in senso assiale, un sistema di lubrificazione dei cuscinetti. La velocità di rotazione è controllata dalle valvole di ingresso del vapore. Le turbine a reazione sviluppano una considerevole spinta assiale, a causa della caduta di pressione tra le palette in movimento; questa spinta viene di solito compensata con l'impiego di un falso pistone che esercita una spinta assiale nella direzione opposta a quella del flusso di vapore. Il rendimento delle moderne turbine a vapore multistadio è intrinsecamente alto, grazie all'alto grado di sviluppo dei componenti lungo i quali si svolge il percorso del vapore e alla capacità di recuperare le perdite di uno stadio in quelli successivi mediante surriscaldamento aggiuntivo. Il rendimento teorico della trasformazione di energia termodinamica in lavoro meccanico supera in genere il 90%, ma il rendimento effettivo è sensibilmente inferiore, a causa principalmente della perdita di energia nel vapore di scarico.

TURBINA A GAS

Una turbina a gas a ciclo semplice comprende una camera di combustione nella quale vengono iniettati, separatamente ma in continuazione, aria compressa e un combustibile gassoso, oppure

liquido in forma vaporizzata. La combustione ininterrotta della miscela aria combustibile sviluppa gas ad alta pressione, che fuoriesce con elevata velocità dalla camera di combustione e viene diretto contro le palette della girante per mezzo di una serie di ugelli fissi. L'albero rotante della turbina aziona sia il compressore dell'aria sia il carico esterno, cioè la macchina utilizzatrice, che di solito è un generatore elettrico. Le turbine di grandi dimensioni sono del tipo a flusso assiale multistadio: sia le palette fisse del distributore sia le palette rotanti della turbina e del compressore sono disposte in più serie (stadi) di corone che si susseguono lungo l'albero. Nelle turbine multialbero, cioè con due alberi coassiali ma separati, gli stadi iniziali azionano l'albero del compressore, quelli finali l'albero del carico esterno.

Il rendimento termodinamico delle turbine a gas è limitato dalla necessità di operare in continuo alle alte temperature della camera di combustione e dei primi stadi della turbina. Una piccola turbina a gas a ciclo semplice può presentare un rendimento relativamente basso se paragonato a quello di un motore a combustione interna alternativo. I recenti progressi nei materiali refrattari, nei rivestimenti protettivi e nei sistemi di raffreddamento hanno comunque reso possibile la costruzione di grandi unità con rendimenti di oltre il 34%, che potrebbero essere ulteriormente migliorati facendo ricorso ad accessori come refrigeratori intermedi (più noti con il nome inglese intercooler), rigeneratori e riscaldatori intermedi; in genere, tuttavia, l'alto costo di questi apparecchi ne rende antieconomico l'uso. Nelle centrali termoelettriche a ciclo combinato, la considerevole quantità di calore residuo presente nei gas di scarico della turbina a gas viene trasferita a una caldaia, detta generatore di vapore a recupero di calore, che alimenta una turbina a vapore. La potenza di uscita del ciclo combinato supera mediamente del 50% quella della sola turbina a gas, ma sono già in funzione impianti a ciclo combinato con un rendimento totale che si avvicina al 55%. Le turbine a gas sono impiegate, oltre che nella produzione di energia elettrica, nella propulsione navale e ferroviaria. In alcuni paesi europei e negli Stati Uniti si progettano turbine a gas di grandi dimensioni per la produzione di elettricità su vasta scala, dell'ordine di oltre 200 megawatt per le unità a ciclo semplice e di oltre 300 megawatt per quelle a ciclo combinato. Gas naturale, kerosene e gasolio sono i combustibili usati nelle turbine a gas; il carbon fossile può essere usato previa gasificazione.