

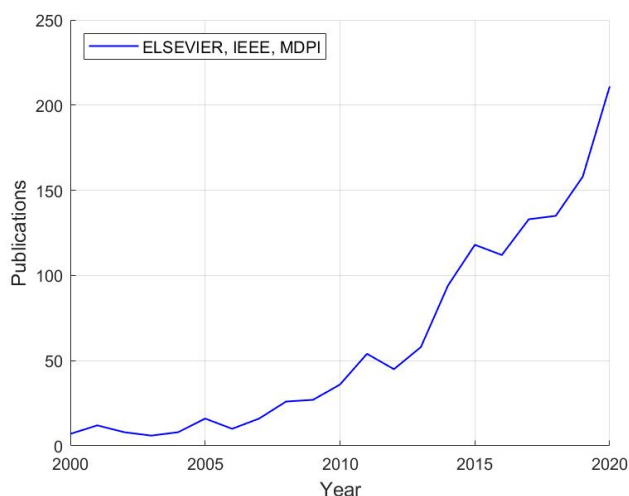
# Le turbine idrocinetiche: il settore emergente dell'energia idroelettrica

Lorenzo Battisti

DICAM Università di Trento

lorenzo.battisti@unitn.it

Le turbine idrocinetiche rappresentano un settore emergente di applicazione dell'energia idroelettrica che si sta ponendo nell'ultimo decennio all'attenzione del mondo scientifico e tecnico, come dimostra il numero delle pubblicazioni apparse sulle principali riviste scientifiche del settore riportato in **figura 1**.



**Figura 1 - Numero delle pubblicazioni sull'argomento idrocinetico apparse nel tempo sulle principali riviste scientifiche del settore.**

Con turbina idrocinetica si designa una classe di macchine motrici che trasformano il flusso di energia cinetica di correnti d'acqua in potenza elettrica. L'energia idrocinetica, ovvero l'energia meccanica contenuta nell'acqua in moto è disponibile in tutte le masse d'acqua in movimento, ma in genere è economico sfruttarla solo per quelle che si muovono con velocità superiori a circa 1-1,5 m/s (a meno di non ricorrere a sistemi artificiali di concentrazione della vena fluida). L'ambito di applicazione è sia quello marino, che utilizza come fonte le maree e le correnti oceaniche sia quello terrestre, che utilizza flussi d'acqua canalizzati, naturali o artificiali. Dal punto di vista della densità di potenza (potenza per unità di area spazzata dal

rotore), una turbina idrocinetica che lavora in una corrente d'acqua con velocità media di 1,3 m/s è equivalente ad una turbina eolica che opera con un vento medio di 12 m/s per effetto della diversa densità del fluido. Questo confronto mostra il maggiore potenziale delle turbine idrocinetiche. Infatti mentre velocità medie di circa 1,3 m/s sono frequenti in mare e nei corsi d'acqua artificiali, velocità medie del vento di 12 m/s sono rare. A ciò si aggiunga che il numero di ore di funzionamento alle quali queste velocità sono disponibili nell'anno sono molto differenti. Nei migliori siti eolici offshore si raggiungono 4000 ore per anno (mediamente sulla terraferma si dispone di circa 2000-2500 ore), mentre con le correnti marine si superano 5000-6000 ore, con valori nel caso dei canali artificiali superiori a 7000 ore per anno, per cui l'energia elettrica generabile nell'anno è maggiore anche a parità di densità di potenza

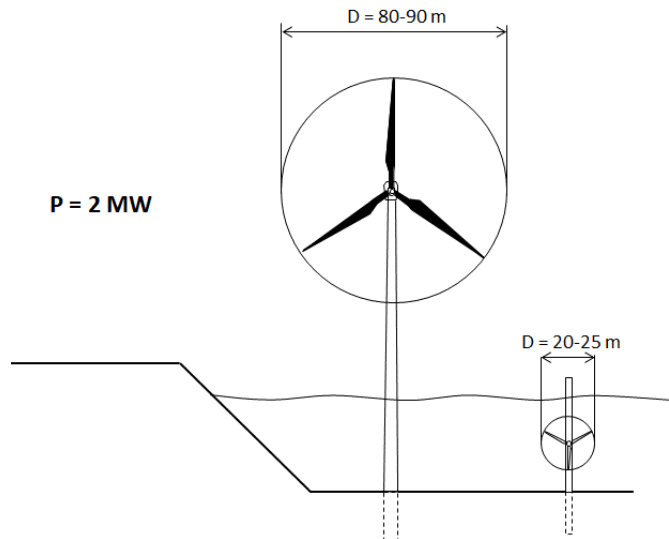
. Ovviamente le taglie sono molto differenti, in quanto in mare, per effetto delle profondità disponibili, è possibile raggiungere potenze unitarie di centinaia o migliaia di kW, mentre nei corsi d'acqua per lo stesso motivo le potenze unitarie sono limitate alle decine di kW. In **figura 2** si riporta il confronto tra le dimensioni indicative di una turbina eolica ed una idrocinetica della potenza di 2 MW per due siti a 7 e 2 m/s rispettivamente.

La risorsa di marea nel mondo è stimata in 3 TW (Fonte NASA) ed è anche in gran parte non mappata. La parte tecnicamente raccogliabile di questa risorsa, nelle aree costiere, è valutata da diverse fonti in 1 TW (Carbon Trust 2011; Lewis, et al., 2011) con ampiezze dipendenti anche dalla forma della costa che per certe aree può presentare escursioni fino a 17 m tra alta e bassa marea. Per le coste europee, le risorse che possono essere raccolte sono stimate conservativamente in 12.000 MW (European Ocean Energy Association, 2010).

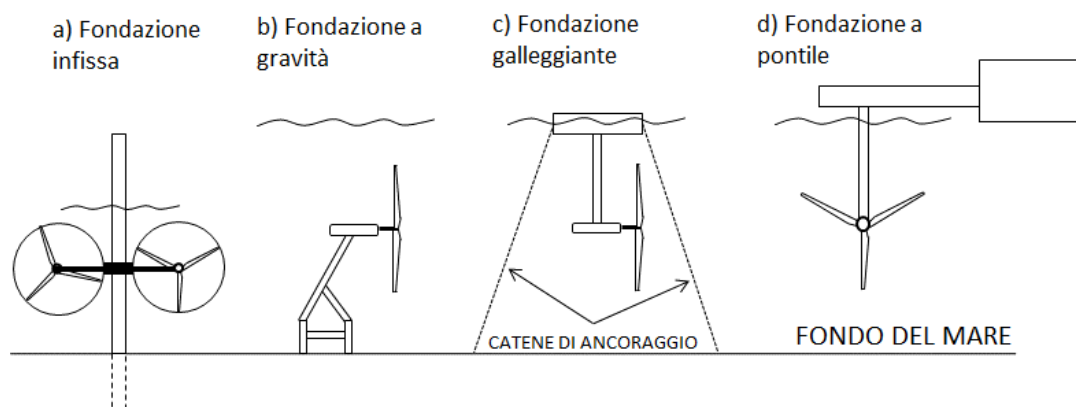
Un vantaggio comune dell'escursione delle maree e delle correnti oceaniche è che entrambe sono altamente prevedibili presentando cicli giornalieri, bisettimanali, semestrali e persino annuali e giovano di un arco di tempo di osservazione storico molto lungo il che ne incrementa la prevedibilità. L'energia può inoltre essere generata sia di giorno che di notte. Le correnti oceaniche sono caratterizzate da flusso unidirezionale, al contrario di quello bidirezionale tipico dell'inversione periodica del moto delle maree. Inoltre, l'escursione di marea è poco influenzata dalle condizioni meteorologiche e le fluttuazioni nel lungo periodo sono inferiori rispetto ad altre fonti rinnovabili, ad esempio quella eolica o solare.

Nel mare Mediterraneo, da uno studio effettuato da RSE nel 2012 (Mappe di producibilità energetica dal moto ondoso e dalle correnti marine dei mari italiani), emerge una densità di potenza di flusso di potenza relativamente bassa, anche se analisi numeriche fluidodinamiche a meso-scala e micro-scala presentano in corrispondenza delle Bocche di Bonifacio, della costa S-W della Sicilia e dell'area costiera sarda antistante il Sulcis valori compresi tra 0,5-1,0 m/s, con valori massimi fino a 1,5-2,0 m/s.

L'architettura delle turbine idrocinetiche è del tutto analoga a quella delle turbine eoliche, con le quali esse condividono le tipologie ad asse orizzontale e verticale. Le turbine richiedono una struttura di supporto per mantenere il rotore in posizione e resistere alle condizioni ambientali. La scelta della fondazione dipende, tra l'altro, dalla profondità, dalla struttura del fondo marino e dalla disponibilità di navi e dispositivi di perforazione offshore a supporto della costruzione. In **figura 3** si riportano differenti tipologie. La soluzione preferita nel campo delle taglie marine è quella delle turbine ad asse orizzontale. Analogamente al settore eolico inoltre, questa tecnologia può impiegare sia unità singole che multi-unità (multi-unit array) le quali possono realizzare vere proprie fattorie marine.



**Figura 2 - Confronto dimensionale di una turbina eolica ed una idrocinetica della potenza di 2 MW.**

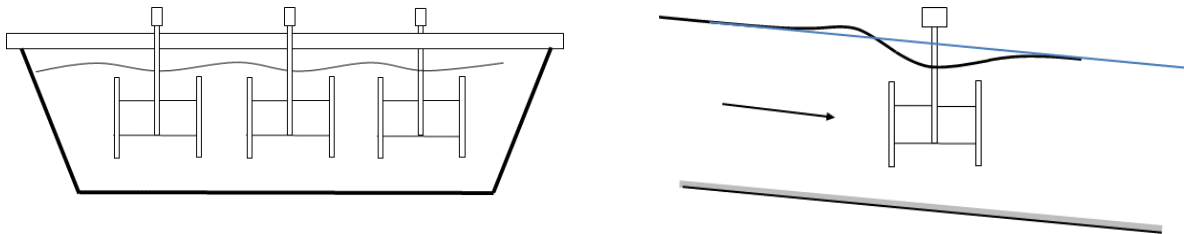


**Figura 3 - Schemi di installazione delle turbine idrocinetiche marine**

La maggior parte delle tecnologie di sfruttamento delle correnti marine e delle maree sono nella fase di proof-of-concept o costituiscono parte di programmi di ricerca e sviluppo. Alcuni prodotti, specialmente nel settore delle correnti di marea sono tuttavia arrivati alla fase commerciale.

L'altro settore di potenziale sviluppo è quello dei corsi d'acqua naturali o artificiali. Le turbine idrocinetiche fluviali sono considerate più rispettose dell'ambiente se confrontate con i sistemi idroelettrici convenzionali e anche con gli sbarramenti di turbine nel campo marino. L'assenza di sale e la ridotta proliferazione di alghe sulle pale determina minori interventi manutentivi e prestazioni più costanti nel tempo. Le centrali idroelettriche convenzionali richiedono la creazione di cadute artificiali utilizzando dighe e condotte forzate anche nel settore micro-idro. Al contrario, gli impianti con turbine idrocinetiche vengono costruiti e collocati nel corso d'acqua senza la necessità di utilizzare dighe o condotte forzate quindi con minore necessità di lavori di ingegneria civile. Le alterazioni al regime idraulico sono rappresentate dagli effetti di rigurgito, ovvero di creazione di un modesto risalto d'acqua che è proporzionale alla quantità di lavoro estratto. Essendo la maggior parte delle correnti a deflusso lento (i numeri di Froude sono ampiamente inferiori a 1) il disturbo si propaga a monte dell'impianto e viene riassorbito in alcune centinaia di metri, mentre la perturbazione si esaurisce rapidamente a valle, senza impattare sulle strutture eventualmente presenti in alveo. L'installazione nei fiumi tuttavia soffre della limitazione tecnica di ridotte sezioni di deflusso che si ripercuote sulle dimensioni del rotore delle turbine, mentre più rilevante è la problematica operativa della gestione delle ampie escursioni di livello stagionali, delle piene e del trasporto solido. Un superamento di queste ultime problematiche è rappresentato dall'impiego in canali artificiali preesistenti. Essi si caratterizzano per avere pendenze generalmente modeste (al di sotto di 0,3‰) che comunque garantiscono deflussi a velocità di 1,3-2 m/s, con pareti costruite in cemento armato e realizzati per trasportare grandi portate ad uso irriguo, industriale o idroelettrico. L'acqua è generalmente filtrata da sistemi sgrigliatori a monte ed è priva o quasi di fauna acquatica. Le condizioni ambientali sono meno estreme rispetto a quelle marine o fluviali consentendo di ottenere importanti vantaggi dal punto di vista della riduzione dei costi di investimento e di manutenzione, essendo assenti le opere di adduzione e derivazione, sistemi di arginamento, bacini di accumulo o sedimentatori per l'acqua. Questi aspetti si traducono anche in un minore impatto ambientale. Il citato aspetto della minore potenza unitaria viene superato ricorrendo a installazioni multiple, simili a quelle dei parchi eolici in mare, collocate su traverse poste in serie lungo l'asta del canale artificiali come schematicamente indicato in **figura 4**. La presenza di deflussi regolati rende la risorsa molto più prevedibile di quella eolica e solare il che si traduce in una progettazione ottimizzata delle turbine e maggiori coefficienti di utilizzazione degli impianti. La particolare semplicità di installazione e di adattamento al sito ne favorisce l'impiego in localizzazioni complesse geograficamente e nei paesi con necessità di elettrificazione di aree non servite dalla rete elettrica. Recentemente stanno aparendo sempre più articoli tecnici e pubblicazioni scientifiche che trattano il concetto degli impianti combinati hydro-hydro, ovvero il

repowering di impianti convenzionali idroelettrici con impianti idrocinetici installati sui canali di adduzione e restituzione delle acque.



**Figura 4 - Schema di installazione di turbine idrocinetiche multiple in un canale artificiale**

L'edizione 2016 del JRC Ocean Energy Status Report dell'EU riporta la stima di costo dell'elettricità (LCOE) dell'attuale generazione di turbine idrocinetiche in un intervallo tra 540 e 710 Euro/MWh per il settore marino in funzione della risorsa di marea disponibile, valore ancora estremamente elevato rispetto ad altre tecnologie a energie rinnovabili come l'eolico onshore quotato tra 39,9 e 82,3 Euro/MWh e l'eolico offshore tra 74,9 e 137,9 Euro/MWh (in Germania). Tuttavia le previsioni per il 2025 indicano valori compresi tra 100 e 300 Euro/MWh per un target di installazioni tra 1000 e 10000 MW. Le stime per l'idrocinetico nei canali si posizionano, già nelle installazioni prototipali a valori compresi tra 100 e 150 Euro/MWh nonostante le taglie unitarie ridotte degli impianti e destinati a calare in funzione dei volumi prodotti. A confronto il settore del minieolico di pari taglia presenta valori commerciali tra 100 e 200 Euro/MWh.

Sebbene generalmente le turbine idrocinetiche vengano classificate all'interno della più estesa famiglia delle turbine idrauliche a basso o bassissimo salto, esse rappresentano una tipologia a sé stante, sia per il principio di funzionamento che per le caratteristiche costruttive. Infatti il salto geodetico non è statico, ma è creato dalle condizioni operative della turbina e la portata volumetrica è un parametro che ha un significato limitato in quanto il dato di interesse è la velocità dell'acqua.

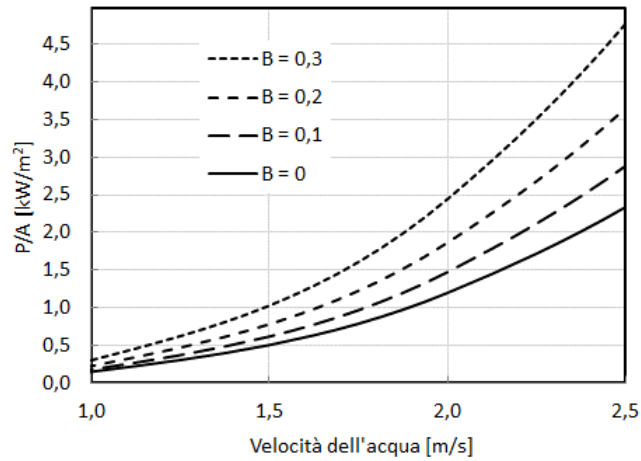
La metodologia per la valutazione delle prestazioni a livello normativo (prassi di collaudo e computo degli oneri di concessione) non è stata ancora recepita dagli enti preposti, poiché la potenza idraulica non è definibile attraverso le consuete formulazioni che utilizzano salto e portata. La potenza infatti, per analogia funzionale alle turbine eoliche, viene definita sulla base del flusso di energia cinetica, secondo la seguente equazione:

$$P_{inc} = \frac{1}{2} \rho A C_p V^3$$

Dove  $\rho$  è la densità dell'acqua,  $A$  è l'area della sezione di passaggio della turbina,  $C_p$  è il coefficiente di potenza e  $V$  è la velocità indisturbata media dall'acqua. Nel funzionamento in ambiente non confinato (in mare o in canali e fiumi con sezioni molto grandi rispetto a quelle occupate dalla macchina) rimane valido per questa tecnologia il limite di Lanchester-Betz, il quale sancisce che non possa essere estratto oltre il 59,2% del flusso di energia cinetica del fluido. E' tuttavia possibile elevare questo fattore di captazione attraverso sistemi convogliatori che incrementano artificialmente la velocità di passaggio dell'acqua attraverso la turbina. Ancora più interessante è la concentrazione di potenza ottenibile naturalmente con installazione di turbine multiple in flussi confinati (corsi d'acqua naturali o artificiali). Quando la sezione trasversale occupata dalla macchina/e supera indicativamente il 10% della sezione di deflusso del canale si determina una produzione di potenza maggiore, che per valori superiori può arrivare a raddoppiare rispetto alla corrispondente situazione in acque libere, come confermato anche da recenti test sperimentali condotti presso l'Università di Trento. Una formulazione semplificata che consente di calcolare la potenza ottenibile in funzione del rapporto tra l'area della sezione spazzata dal rotore e quella del canale (detto fattore di bloccaggio B) è la seguente, dove  $P_{inc}$  è la potenza ottenibile nelle condizioni non confinate, mentre  $P_{conf}$  è la potenza dell'impianto in deflussi confinati:

$$P_{Conf} = \frac{P_{inc}}{(1 - B)^2}$$

Essa si traduce nel diagramma di **figura 5** che indica la potenza specifica ottenibile in funzione della velocità dell'acqua e del fattore di bloccaggio B.



**Figura 4 - Potenza specifica in funzione della velocità dell'acqua e del fattore di bloccaggio B ( $C_{p,el} = 0,3$ ).**

Tra gli aspetti tecnologici ancora in fase di valutazione va citato il problema della cavitazione che è potenzialmente uno degli altri aspetti di limitazione delle condizioni di funzionamento delle turbine idrocinetiche, promossa da alte velocità di rotazione delle pale e posizionamento dei rotori in prossimità della superficie, quindi con ridotto carico idrostatico.