

L'Energia

marzo/aprile 2015
numero 2 - volume 92

Poste Italiane Spa - Spedizione in Abbonamento
Postale - Decreto Legge 353/2003 (convertito in
Legge 27/02/2004 N. 46) Articolo 1, comma 1,
DCB Milano - ISSN 1590-7651

Elettrica

**AEIT - Associazione Italiana di Elettrotecnica, Elettronica,
Automazione, Informatica e Telecomunicazioni**



Fonte: Siemens

-  **Le regole per la connessione dei sistemi di accumulo alla rete elettrica**
-  **Intervista a Claudio Picech - Responsabile Divisione Energy Management Siemens Italia**
-  **Nuove tecnologie per la produzione idroelettrica**

AEIT

La turbina VLH – Very Low Head turbine

Matteo Beggio MJ2 Technologies Fabio Pasut S.T.E. Energy

L'articolo descrive una nuova tipologia di turbine che garantisce massima efficienza e minimo impatto ambientale per lo sfruttamento di siti a bassissimo salto idraulico.

Introduzione

Progetti e tecnologie per lo sfruttamento di grandi e medi salti idraulici sono stati intensamente sviluppati nel passato, trascurando tuttavia i siti a basso salto per la loro ridotta profittabilità dovuta soprattutto al costo elevato delle opere civili. L'idroelettrico per bassi salti rappresenta però una sorgente di energia rinnovabile con un elevato potenziale. Una nuova turbina, chiamata *Very Low Head turbine* (VLH), è stata appositamente progettata da MJ2 Technologies per uno sfruttamento efficiente e remunerativo dei suddetti siti. Questo è stato possibile riducendo al minimo il costo delle opere civili e mantenendo la turbina il più semplice e standardizzata possibile. I problemi relativi al controllo e all'efficienza della turbina sono stati risolti utilizzando le funzionalità dei più recenti convertitori di frequenza.

Tradizionalmente, lo sforzo di ricerca e sviluppo dei grandi produttori di turbine è stato indirizzato verso la riduzione del diametro della girante della turbina, in modo da ridurre i costi delle apparecchiature mantenendo elevate le prestazioni della turbina stessa. Sono certamente riusciti nel loro intento, rendendo disponibili sul mercato turbine ad alta velocità con un ridotto diametro della girante. Queste turbine, progetta-

te per similitudine con le macchine di taglie più elevate, richiedono opere civili, necessarie a convogliare l'acqua dalla presa alla girante ed a recuperare l'energia cinetica esistente all'uscita della girante, dal costo insostenibile per siti con bassi salti idraulici.

La VLH rappresenta un nuovo concetto di turbina, progettata specificamente per i siti con un salto molto basso (salto netto da 1,5 a 3,4 m in configurazione standard e fino a 4,5 m per quelle rinforzate). L'obiettivo dei progettisti della VLH era quello di sviluppare una turbina che avrebbe richiesto ben pochi lavori civili, facile da installare e che offrisse un elevato livello di affidabilità ad un costo ragionevole per kW installato. Per raggiungere questi obiettivi, VLH adotta un approccio completamente diverso dal progetto tradizionale di turbina, utilizzando giranti di grandi dimensioni, per eliminare quasi del tutto le costose strutture civili del concetto tradizionale. Questo nuovo approccio rivoluzionario integra le più avanzate tecnologie disponibili nel settore della produzione di energia, come il generatore a magneti permanenti a velocità variabile, l'elettronica di potenza, un sistema di controllo integrato computerizzato. La turbina è adatta ad essere installata anche dove vi sono vincoli ambientali stringenti in termini di rumore, vibrazione, migrazione di pesci attraverso la turbina e impatto visivo.

Il primo prototipo industriale è stato installato e messo in servizio con successo a marzo 2007 nel sito dimostrativo di Millau (Francia centro-meridionale). A fine ottobre 2008 una seconda unità è stata messa in servizio in Francia occidentale per l'azienda SHEMA (controllata di EDF dedicata alle piccole centrali elettriche). Attualmente vi sono 50 mac-



Figura 1 Vista della turbina VLH durante il funzionamento.

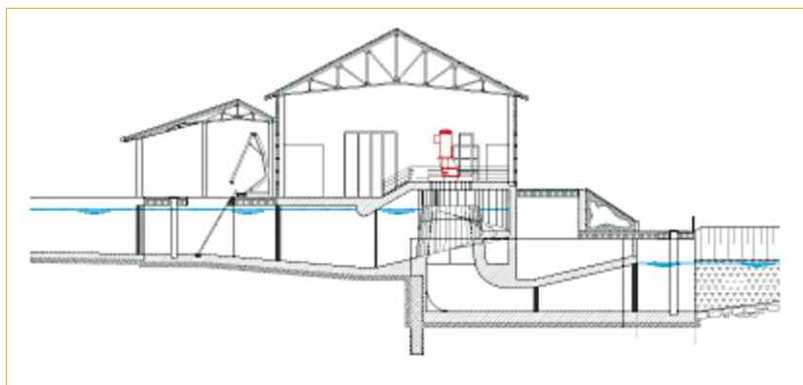


Figura 2 Kaplan a sifone verticale.

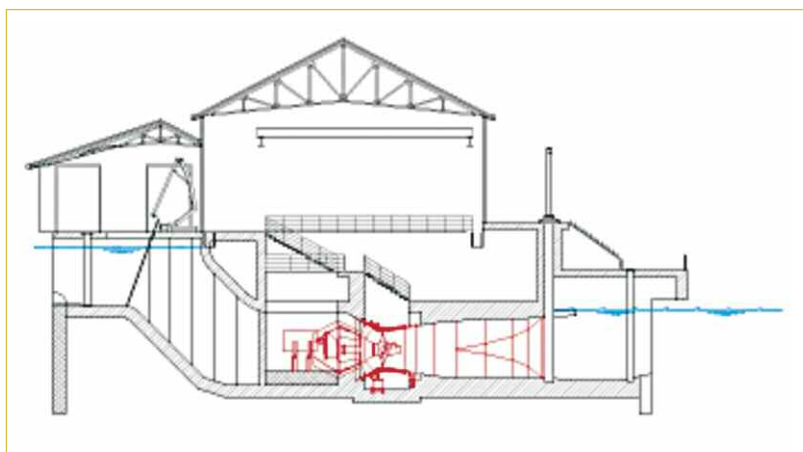


Figura 3 Turbina a bulbo.

chine in servizio in 5 Paesi e 27 in costruzione, da consegnare in 7 Paesi entro fine 2015. Nella **figura 1** è riportata una vista della turbina VLH durante il funzionamento, dalla quale si evince il ridotto impatto ambientale dell'installazione.

Il concetto di turbina VLH

Normalmente lo sfruttamento di siti a basso salto viene effettuato mediante l'impiego di turbine Kaplan a bulbo. Nel caso di siti a bassissimo salto (al di sotto dei 3,2 m), utilizzando turbine di tipo tradizionale, le complesse strutture civili richieste per convogliare l'acqua dalla presa alla girante e per recuperare l'energia cinetica contenuta nell'acqua all'uscita della girante risultano troppo costose, rendendo l'investimento non profittevole.

In questo contesto nasce l'innovativo concetto VLH. L'approccio è quello di avere un generatore integrato costruito attorno ad una girante Kaplan di grandi dimensioni, direttamente accoppiata al generatore; la griglia e lo sgrigliatore sono integrati in un unico blocco. La rotazione molto lenta del gruppo di generazione, dovuto all'elevato diametro della girante, comporta una riduzione della velocità dell'acqua ad entrambe le estremità della turbina, consentendo un'importante semplificazione e riduzione delle opere civili.

La differenza delle opere civili tra l'approccio classico e la soluzione VLH è ben illustrata nelle **figure 2 - 6**.

Gli esempi illustrati utilizzano lo stesso salto e sono progettati con le medesime proporzioni. L'entità e la complessità delle opere civili per ciascun caso non necessitano di ulteriori commenti.

Un'indagine statistica sviluppata su centinaia di siti a basso salto sta dimostrando l'esistenza di un nesso diretto tra la riduzione del salto e l'aumento del volume di cemento impiegato per le opere civili. Di conseguenza, come illustrato nella **figura 7**, considerando una potenza costante, se il salto si riduce da 3,2 m ad 1,4 m, il corrispondente volume di cemento necessario per costruire la centrale risulta moltiplicato per 5, mentre il diametro della girante della turbina raddoppia. Questo è il motivo per il quale siti a salto bassissimo sono tecnicamente realizzabili ma non redditizi economicamente, a meno dell'utilizzo di una macchina innovativa appositamente sviluppata per questo scopo, quale è la VLH.

Integrazione ambientale

Dall'installazione del primo prototipo, nel 2007, la turbina VLH ha dimostrato un'integrazione ambientale senza precedenti. Il turbogeneratore VLH è sommerso, invisibile e caratterizzato dalla quasi totale assenza di rumori.

Grazie all'utilizzo di un convertitore di frequenza anziché di un moltiplicatore di giri, non c'è bisogno di un edificio collocato al di sopra delle macchine. Le apparecchiature elettriche ed ausiliarie possono essere installate in qualsiasi punto della riva del fiume, sopra il livello di inondazione, in edifici esistenti o in piccoli e compatti prefabbricati (meno di 20 m² per un solo gruppo).

Fish Friendliness semplificata e funzionamento migliorato

L'eccellente comportamento *fish-friendly* della VLH è stato dimostrato in seguito a 3 test scientifici, effettuati tra il 2008 e il 2009, relativi al passaggio dei pesci attraverso la girante in rotazione.

Questa caratteristica, unica tra le turbine idrauliche classiche, permette ai proprietari di turbine VLH di far funzionare le loro centrali senza l'uso di una griglia sottile a monte, con spaziatura tra le barre di pochi cm. Nella VLH, la griglia a monte riveste un ruolo di protezione meccanica della turbina dagli elementi galleggianti di grandi dimensioni ed è formata da barre con spaziatura elevata che varia dai 35 ai 50 cm. Lo sgrigliatore è di tipo rotativo ed è integrato nella VLH stessa. Con l'aiuto di un clapet, situato nella parte superiore della struttura di supporto della turbina, i rifiuti vengono evacuati al di sopra della VLH. L'operatore non

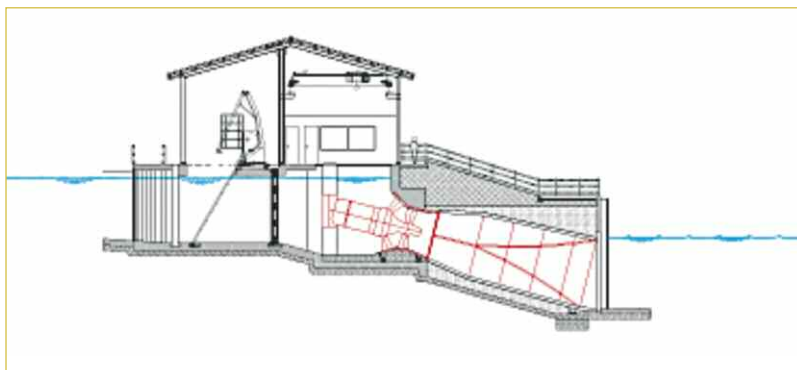


Figura 4 Ecobulbo in posizione inclinata con un edificio.



Figura 5 Ecobulbo in posizione inclinata senza edificio.

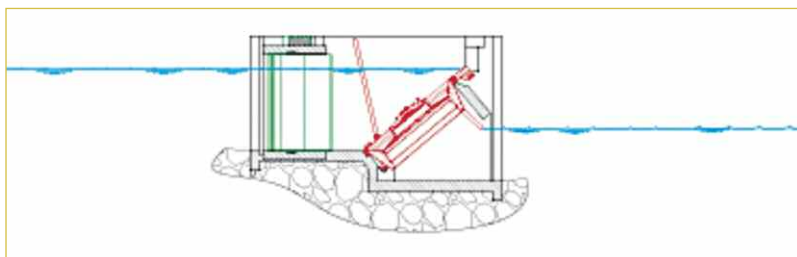


Figura 6 Turbina VLH.

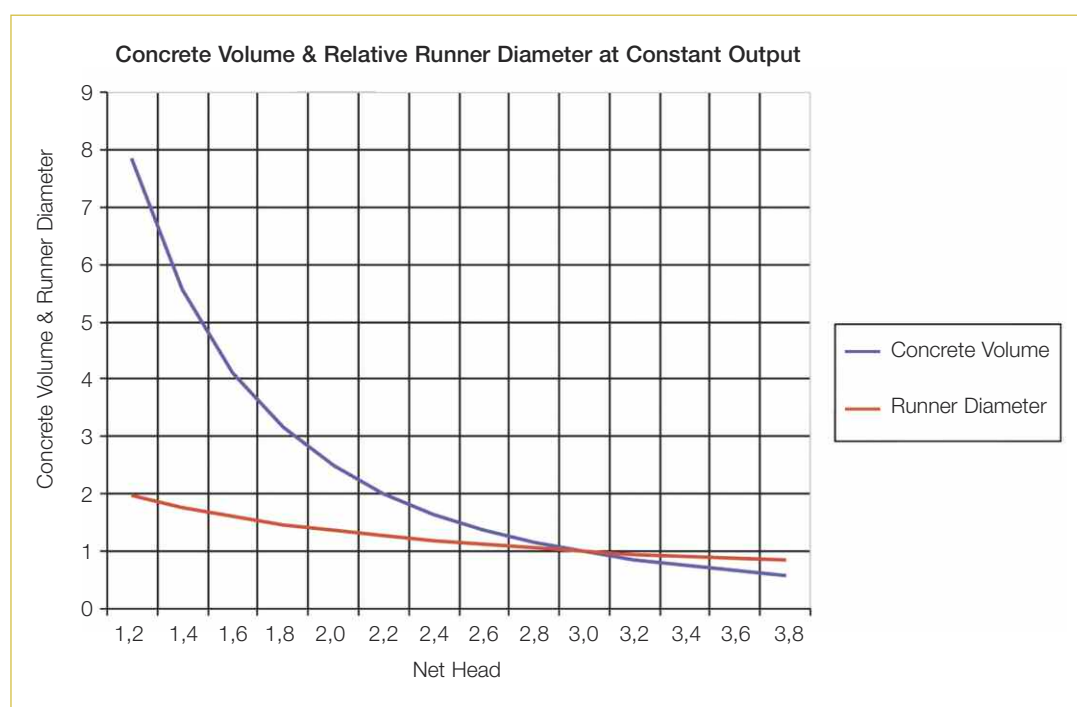


Figura 7 Relazione tra salto idraulico e volume opere civili e diametro della girante.

ha dunque l'onere di doversi occupare dello smaltimento degli stessi, dal momento che procedono nel loro percorso naturale verso valle del fiume.

La griglia di protezione usata dalla turbine VLH è più piccola e più economica di una classica griglia sottile. Non necessita di uno sgrigliatore costoso e sofisticato. Pertanto, fornisce all'operatore un notevole risparmio negli investimenti per tutta la vita della centrale.

Infine, grazie al suo comportamento *fish-friendly*, la VLH può venire utilizzata per turbinare flussi ecologici (eccetto il flusso della scala pesci) quando è installata a livello diga.

Sono stati condotti test scientifici con passaggio di pesci vivi che mostrano risultati straordinari. Il tasso di sopravvivenza raggiunto con una VLH DN 4500 è del 100%, effettuando il test con anguille argentate vive tra 0,7 e 1,1 m.

Nel 2013 è stata effettuata un'ultima serie di test. I tassi di mortalità dei pesci testati della VLH DN5000 con contorno sferico del distributore e mozzo sferico installata sul fiume Tarn, nella centrale di La Glacière, sono i seguenti:

- dall'1,1% al 4,4% in base alla posizione di apertura della pala per le trote di dimensioni e peso paragonabili ai salmoni adulti in fase di migrazione a valle;
- 0% in posizione di totale apertura e in tutti i punti di introduzione per le trote arcobaleno più piccole, di dimensioni e peso comparabili a giovani salmoni in fase di migrazione a valle;
- 0% in posizione di totale apertura e in tutti

i punti di introduzione per le carpe di grandi dimensioni;

- da 0% a 1,1%, a seconda della posizione di apertura delle pale per carpe più piccole.

La turbina VLH è oggi considerata dall'amministrazione francese della gestione risorse idriche ONEMA, la prima vera turbina *fish-friendly*. Può essere installata nella maggior parte dei luoghi senza una specifica protezione a monte.

I verbali di prova completi sono disponibili sul sito web: <http://www.vlh-turbine.com/testfish>.

Componenti dell'unità turbo-generatore VLH

La VLH incorpora le seguenti apparecchiature e funzionalità:

- una turbina di tipo Kaplan con 8 pale regolabili automaticamente, la cui chiusura interrompe il flusso in modo da arrestare la rotazione dell'unità;
- un generatore a magneti permanenti (PMSG) direttamente accoppiato alla turbina, con rotore montato direttamente sul mozzo della girante e con statore interno raffreddato da ventilatori e dall'acqua che scorre attraverso la parete esterna;
- una struttura di supporto che incorpora un distributore fisso che funge anche da griglia di protezione e che scarica sulle opere civili gli sforzi prodotti dal gruppo turbo-generatore;
- uno sgrigliatore rotativo direttamente montato sulla griglia del distributore;
- un calpet a controllo idraulico automatico, situato nella parte superiore della struttura di supporto e destinato ad aiutare ad eliminare gli elementi galleggianti e i residui raccolti dallo sgrigliatore rotativo;
- una centralina oleodinamica per controllare le pale della girante, il sistema di sollevamento turbine ed il calpet;
- un sistema di sollevamento idraulico dell'intera turbina;
- un'unità ad aria compressa destinata a mantenere il generatore ad una pressione atmosferica superiore al salto netto al fine di evitare trafile d'acqua all'interno del generatore;
- un convertitore di frequenza per consentire al gruppo di generazione di ruotare a velocità basse e variabili.

Nella **figura 8** viene riportata una vista della turbina VLH ed nella **figura 9** una sezione trasversale.

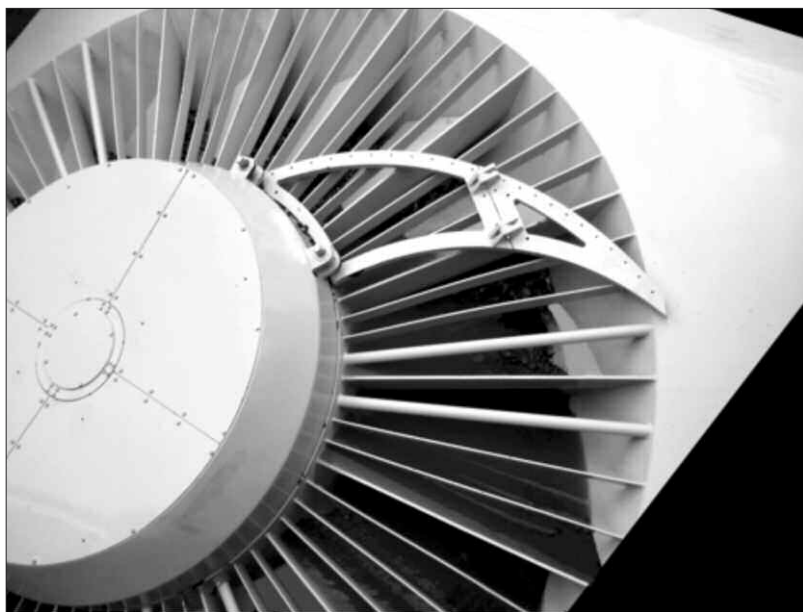


Figura 8 Vista della VLH da lato distributore e sgrigliatore rotante.

Funzionamento a velocità variabile

Tradizionalmente le turbine idrauliche vengono ottimizzate per un punto di lavoro definito da velocità, salto idraulico e portata. Per mantenere il sistema di generazione sincronizzato con la frequenza di rete, la turbina idraulica deve lavorare a velocità costante. Quando il punto di lavoro varia a causa di cambiamenti stagionali del salto idraulico, l'efficienza della turbina decresce sensibilmente.

L'evoluzione dell'elettronica di potenza ha

aperto la strada ad un nuovo approccio di controllo a velocità variabile. Un convertitore di frequenza disaccoppia la frequenza di rete da quella del generatore, permettendo a quest'ultimo di muoversi a diverse velocità; nella **figura 10** è riportato uno schema di principio dell'impianto. Quando il salto idraulico varia, un corrispondente *set-point* di velocità viene selezionato per mantenere l'efficienza della turbina il più elevata possibile. Questa è la filosofia con cui viene controllata la VLH.

Il salto idraulico è misurato da due sensori di livello posizionati a monte e valle della turbina. Seguendo un'opportuna caratteristica si selezio-

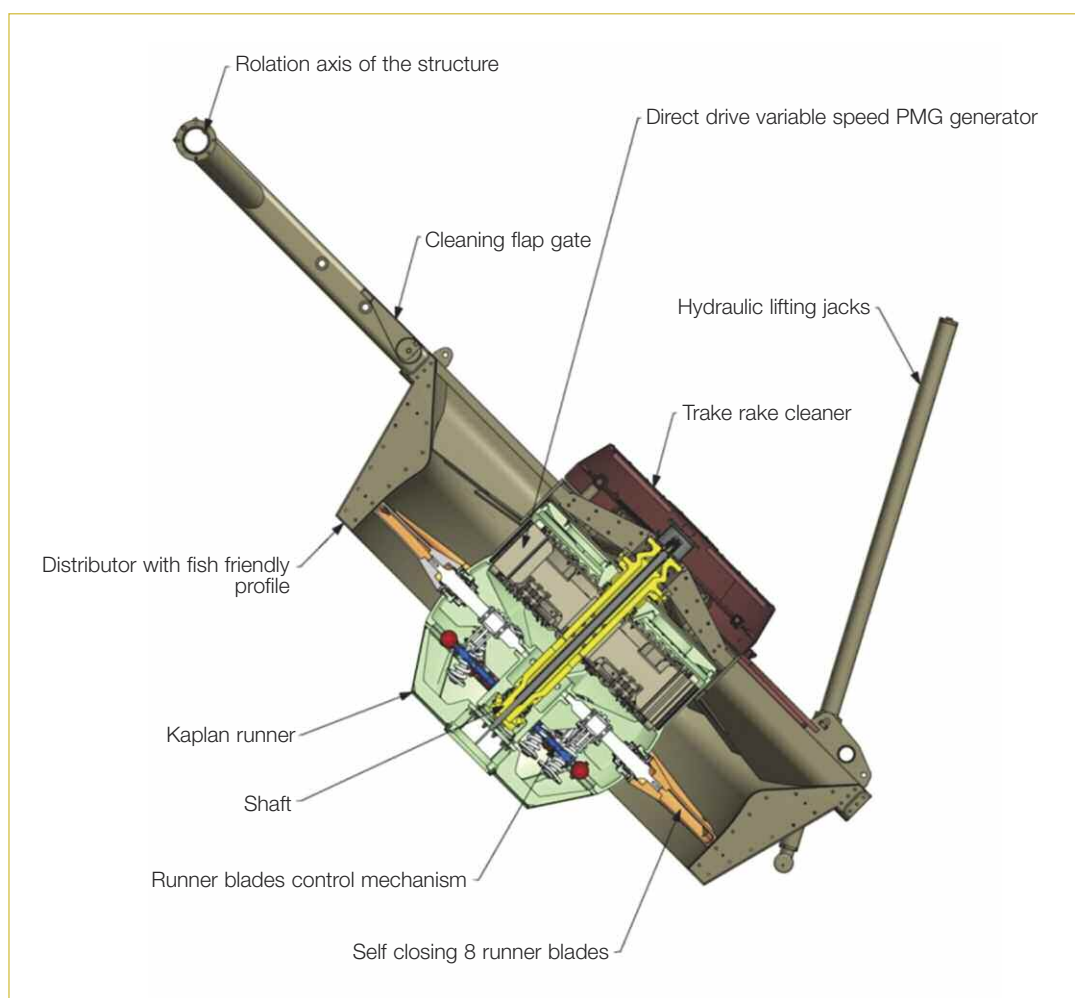


Figura 9
Sezione trasversale di una VLH standard.

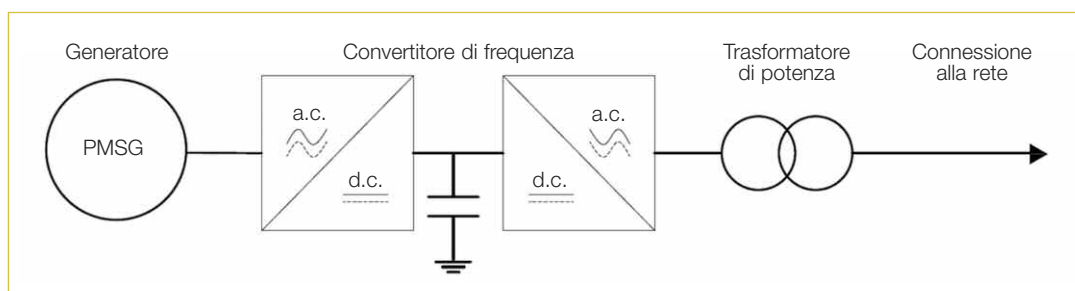


Figura 10
Connessione alla rete della turbina VLH.

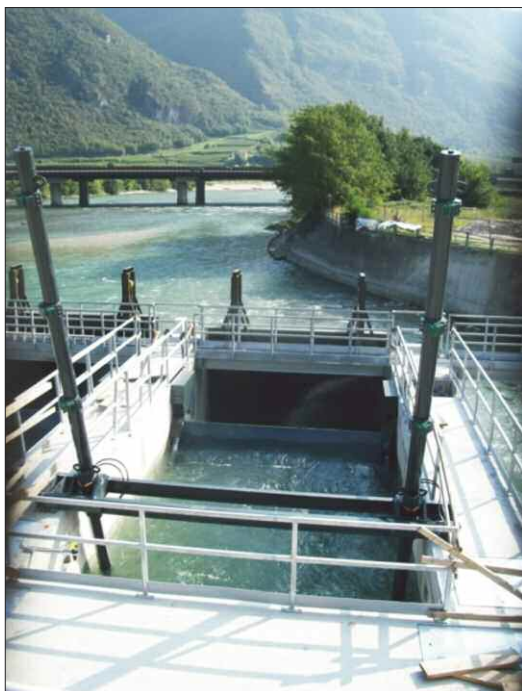


Figura 11 Vista della turbina VLH in funzionamento.

na il *set-point* di velocità al fine di seguire il punto di massima efficienza della turbina.

La misura del salto idraulico è anche usata dal sistema di automazione di impianto per controllare l'inclinazione palare affinché il livello a monte della turbina sia mantenuto al valore di riferimento (condizione necessaria per sfruttare la massima efficienza della turbina anche quando il salto idraulico varia). Questa caratteristica fa sì che la vasca di accumulo (canale di derivazione) possa essere significativamente ridotta, abbassando di conseguenza il costo delle opere civili.

Nel funzionamento a velocità fissa, le fasi di avviamento e di arresto della turbina stressano il sistema a causa della necessità di mantenere il generatore sincronizzato con la rete. Una caratteristica importante del funzionamento a velocità variabile è che la turbina viene connessa o di-

sconnessa dalla rete a velocità nulla, salvo nei casi di arresto d'emergenza.

All'avviamento l'inverter si sincronizza con la rete, dopodiché il convertitore inizia la modulazione e le pale della turbina vengono aperte al valore iniziale. La turbina inizia a generare appena pochi secondi dopo l'avviamento, anche se la velocità nominale non è ancora stata raggiunta. Inoltre, per raggiungere la velocità ottima nel minor tempo possibile, l'inverter usa una piccola potenza prelevata dalla rete per fornire una coppia motrice all'avvio. Una volta che la velocità minima (che dipende dalla taglia della turbina) viene raggiunta, il regolatore del livello a monte viene inserito e le pale vengono aperte a gradini fino al momento in cui si raggiunge la massima potenza ottenibile.

Al variare delle condizioni di salto disponibile, la velocità viene regolata in modo da lavorare sempre nell'intorno dei punti di massimo rendimento della turbina.

Conclusioni

Questo articolo ha presentato una nuova tipologia di turbina idroelettrica per bassissimi salti idraulici chiamata *Very Low Head* (VLH). Come si può evincere dalla **figura 11**, il concetto innovativo di accorpare, in un unico blocco dalla struttura auto-portante, griglia protettiva, sgrigliatore, distributore, girante di tipo Kaplan e generatore a magneti permanenti, ha permesso di dare vita ad un prodotto capace di sfruttare in modo proficuo salti idraulici finora trascurati (anche al di sotto dei 2 m). Il diametro elevato della girante, la lenta velocità di rotazione e l'impiego di un convertitore di frequenza hanno consentito una drastica riduzione dei costi legati alle opere civili, la garanzia di un elevato rendimento di impianto e un minimo impatto sull'ecosistema. La turbina VLH può inoltre essere impiegata per l'elettrificazione di aree remote non alimentate dalle reti nazionali.

bibliografia

[1] **Caldon R., Pasut F.:** *Innovative Control Strategy for Islanded Small Hydro Power Plant*. Journal of Energy and Power Engineering, Vol. 8, 2014, p. 112-120.

[2] **Lautier P., O'Neil C., Deschenes C., Ndjana H.J.N., Fraser R., Leclerc M.:** *Variable Speed Operation of a New Very Low Head Hydro Turbine with Low Environmental Impact*. IEEE Canada Electrical Power Conference, 2007, p. 85-90.

[3] **Leclerc M.:** *The very low head turbo generator: A new turbine for profitable harnessing of very low head applications*. Hydro 2007, Granada, Spain, Oct. 2007.

[4] **O'Neil C., Deschenes C., Fraser R., Leclerc M.:** *VLH: Development of a new turbine for Very Low Head sites*. Waterpower XV, 2007, Paper n. 157.