



Costruzione e sperimentazione di una turbina cross-flow per acquedotti

G. Morreale¹, V. Sammartano¹, M. Sinagra¹, T. Tucciarelli^{1*}, F. Paternò²

¹ *Università degli Studi di Palermo, Viale delle Scienze, Ed.8, 90128 Palermo, Italy*

² *Idragest S.r.l., Viale Andrea Doria 55, 95123 Catania, Italy*

Sommario

La memoria descrive una nuova micro turbina idraulica con capacità di regolazione della portata, per installazioni in piccoli corsi d'acqua, su acquedotti esistenti o a valle di impianti di depurazione delle acque. Viene inoltre descritta l'installazione del prototipo della turbina nella rete idropotabile di un comune siciliano.

Introduzione

L'idroelettrico è stato per più di un secolo la principale fonte di energia ed è, ancora oggi, la principale fonte di energia rinnovabile in tutto il mondo. La crescente consapevolezza che l'ambiente è una delle nostre maggiori ricchezze e che pertanto va salvaguardato ha portato verso una forte riduzione nella realizzazione di grandi impianti idroelettrici. D'altra parte, la trasformazione in corso del sistema centralizzato di produzione e trasporto di energia in un sistema più flessibile distribuito (smart-grid) ha dato un forte impulso alla costruzione di impianti mini e micro idroelettrici (inferiore ad 1 MW) che utilizzano turbine di piccole dimensioni. Queste turbine, semplici ed economiche, possono essere facilmente installate: 1) lungo piccoli corsi d'acqua, dove è possibile trasformare l'energia potenziale idraulica dissipata lungo una breve asta fluviale, nel rispetto del DMV e dunque dell'ecologia del corpo idrico naturale; 2) in una condotta di avvicinamento nella sezione di consegna ad un serbatoio idrico cittadino; 3) a valle di un impianto di depurazione qualora sia disponibile un carico idraulico residuo nella restituzione.

L'efficienza totale di un impianto è definita come il rapporto tra la potenza meccanica all'asse della turbina e la potenza idraulica della corrente nella sezione d'ingresso della turbina idraulica. L'efficienza totale può essere stimata come:

$$\eta_t = \frac{P_{out}}{\gamma \cdot Q \cdot H_t} \quad 1),$$

dove P_{out} è la potenza meccanica trasferita all'asse della girante, Q è la portata e H_t è il carico idraulico totale disponibile fra la sezione di presa e l'ingresso della turbina. A meno che la sorgente sia un bacino artificiale e la regolazione della portata sia effettuata tramite

l'impianto idraulico in cui è installata la turbina, la portata da turbinare subirà delle oscillazioni in funzione del carico disponibile nel corpo idrico utilizzato per la produzione di energia (vedere Fig. 1a).

Se nella condotta forzata non sono installate valvole di dissipazione, per un tratto di condotta relativamente lungo si potrà stabilire un moto a canaletta. In questo caso l'effettivo carico idraulico H_c immediatamente prima della turbina dipende dalla sua curva caratteristica (vedere Fig. 1b), a meno che uno specifico sistema di regolazione della portata non sia installato all'interno della turbina.

In questo caso l'efficienza effettiva della turbina è definita come segue:

$$\eta_{eff} = \frac{P_{out}}{\gamma \cdot Q \cdot H_c} \quad 2),$$

dove H_c può essere molto più piccolo sia di H che di H_t , dove H è il carico idraulico in condizioni di condotta tutta in pressione, come si evince dalla Fig. 1a. H è legato ad H_t dall'equazione del moto per le correnti in pressione scritta tra la sezione di imbocco e la sezione finale della condotta forzata:

$$H_t - H = K_1 \cdot Q^2 \quad 3),$$

dove il coefficiente K_1 dipende dalle caratteristiche geometriche della condotta (lunghezza e diametro del tubo e scabrezza assoluta della condotta) e fisiche dell'acqua. In molte situazioni si verifica che le perdite di carico continue si possono trascurare e, pertanto, si può approssimare $H = H_t$.

Dunque, in base alle curve caratteristiche (Fig.1b), la potenza meccanica all'asse della turbina per fissata portata Q è data da:

$$P_{out} = \eta(Q) \cdot \gamma \cdot Q \cdot H_c(Q) \quad 4),$$

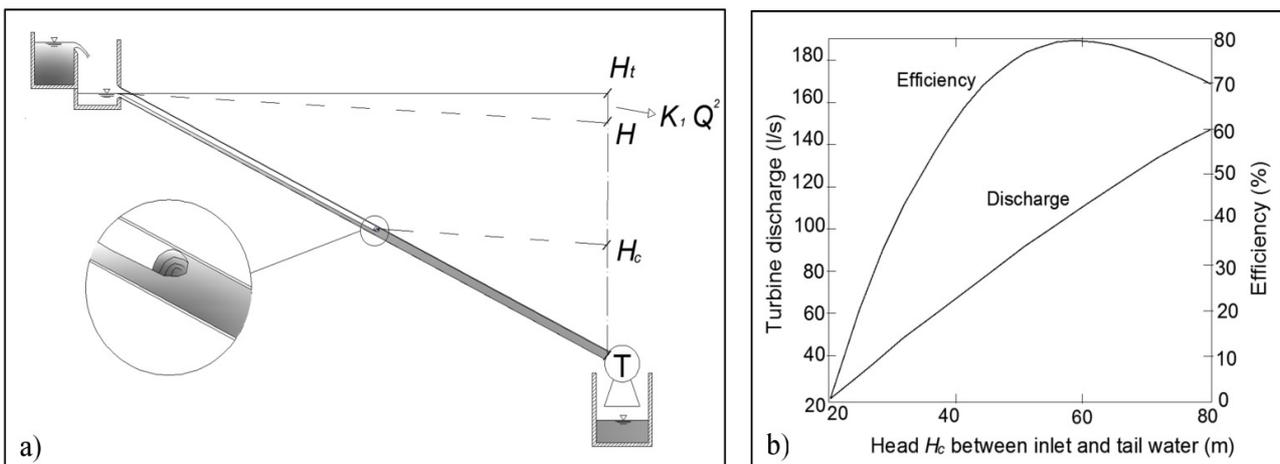


Figura 1. a) Schema tipo di un impianto mini-idroelettrico; b) Curva caratteristica dell'impianto e curva di efficienza della turbina.

Dall'eq.4 si evince che se il carico idraulico disponibile H_c è inferiore del carico H , per il quale si ha la massima efficienza per un dato impianto e quindi in assenza di un adeguato sistema di regolazione la produzione idroelettrica può essere molto inferiore del valore di progetto. Inoltre, in questo caso si potrebbe avere introduzione di aria all'interno della corrente, a causa del moto a canaletta e delle conseguenti depressioni.

Per evitare tutto ciò è indispensabile l'impiego di un regolatore della portata posto all'interno della turbina. Tale sistema consente di mantenere un carico adeguato in funzione della portata da turbinare e permette di avere un'efficienza sempre prossima al punto di massimo della curva caratteristica della turbina. Nel caso di perdite di carico continue trascurabili, ciò è equivalente a mantenere un carico idraulico $H_c = H$ costante per tutti i possibili valori di portata. A oggi però i sistemi di regolazione efficienti esistenti per mini e micro turbine hanno un costo elevato, in quanto si basano sulla rotazione di tutte le palette della girante o di organi meccanici di opportuna geometria immersi nella corrente idrica.

La turbina idraulica

In questo lavoro si propone una turbina Cross-Flow munita di un sistema di regolazione semplice in grado di funzionare con un'efficienza quasi costante in un ampio *range* di portate da turbinare. Il sistema di regolazione è costituito da un tegolo semicircolare concentrico all'asse della turbina che permette di parzializzare la sezione d'ingresso nella girante (Fig.2).

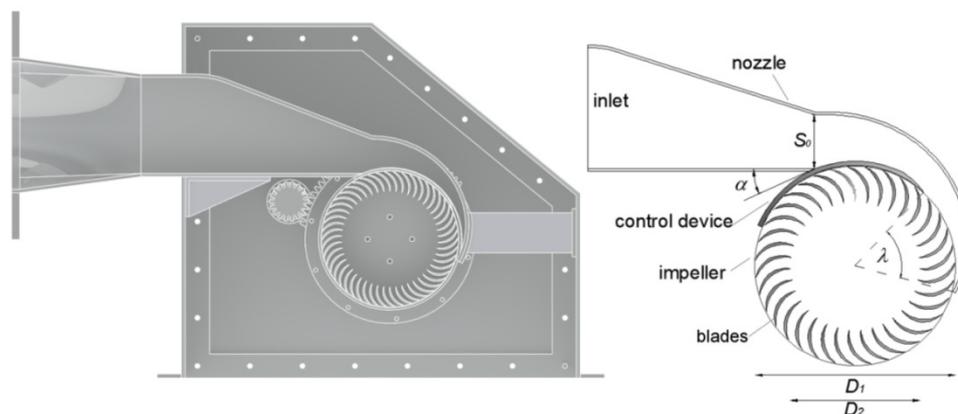


Figura 2. Turbina Cross-Flow con tegolo di regolazione e schema geometrico.

Tale sistema permette di mantenere la velocità d'ingresso nella girante costante al variare della portata e dunque di mantenere quasi costante il carico idraulico disponibile in ingresso. La turbina è stata dimensionata tramite la procedura fluidodinamica proposta da Sammartano et al. (2013) e validata da prove sperimentali (Sammartano et al., 2014). Le simulazioni fluidodinamiche effettuate con il solutore commerciale CFX (ANSYS®) hanno mostrato una lieve variazione dell'efficienza della turbina al variare del grado di apertura del tegolo di regolazione. Dalla Fig. 3 si evince come il rendimento numerico della

macchina si mantiene superiore all'82% in un range di portate molto ampio (dal 30% all'100% della portata di massima Q_{max}).

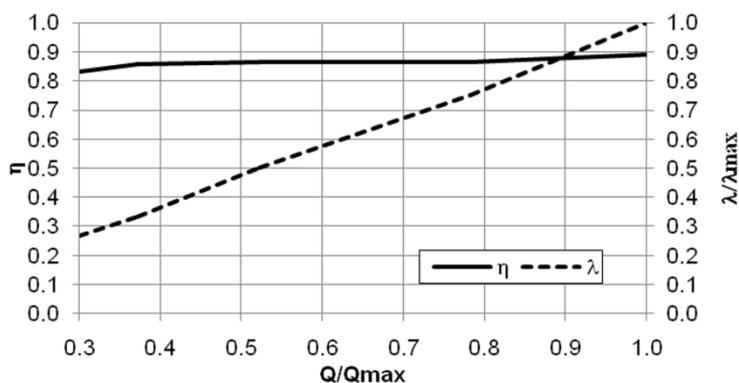


Figura 3. Curva di efficienza in funzione del rapporto tra la portata da turbinare Q e la massima portata Q_{max} .

Installazione della turbina idraulica nella rete idropotabile di Catania

Nell'ambito del progetto "Hydroenergy", P.O. F.E.S.R. Sicilia 2007-2013, è stato progettato e costruito un prototipo della turbina illustrata nel paragrafo precedente (una foto di tale prototipo è riportata in Fig. 4). La turbina verrà installata in un mini impianto idroelettrico realizzato presso il serbatoio di disconnessione e regolazione, denominato Eucaliptus, sito nel comune di Catania e gestito dalla società Acque Carcaci del Fasano S.p.A.. La Società gestisce la distribuzione dell'acqua, a scopo prevalentemente potabile, in una considerevole parte della città di Catania ed in alcuni Comuni dell'hinterland pedemontano. Il tratto di rete considerato per l'installazione ha un'estensione di circa 2,5 km e presenta una doppia condotta ϕ 200. Il carico idraulico disponibile per la produzione viene fornito dal partitore Fasano, da cui ha origine la sottorete urbana. Entrambe le condotte alimentano un piccolo serbatoio urbano di disconnessione, denominato Eucaliptus. Tale alimentazione viene effettuata mediante derivazione in pressione dalle citate condotte.

Lo schema d'installazione adottato prevede l'intercettazione delle due condotte in arrivo al serbatoio con una condotta ϕ 125 di alimentazione del distributore della turbina. Le esistenti condotte, soggette alla presa di carico, proseguiranno verso il serbatoio Eucaliptus e saranno governate ciascuna da una propria saracinesca; ciò costituisce un sistema di by-pass utilizzabile per la manutenzione della turbina o in caso d'interruzione della produzione idroelettrica. Nella Figura 5 è stato riportato lo schema idraulico dell'impianto.

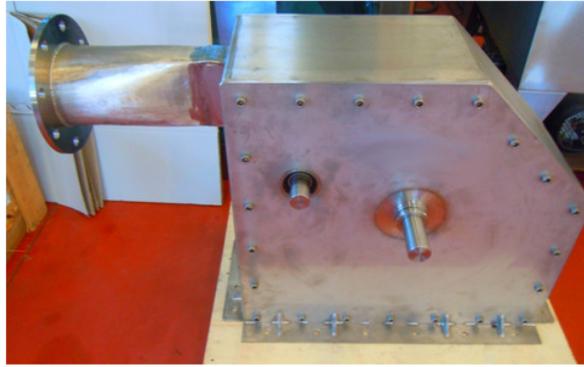


Figura 4. Prototipo della Cross-Flow per l'impianto mini idroelettrico realizzato presso il serbatoio Eucaliptus.

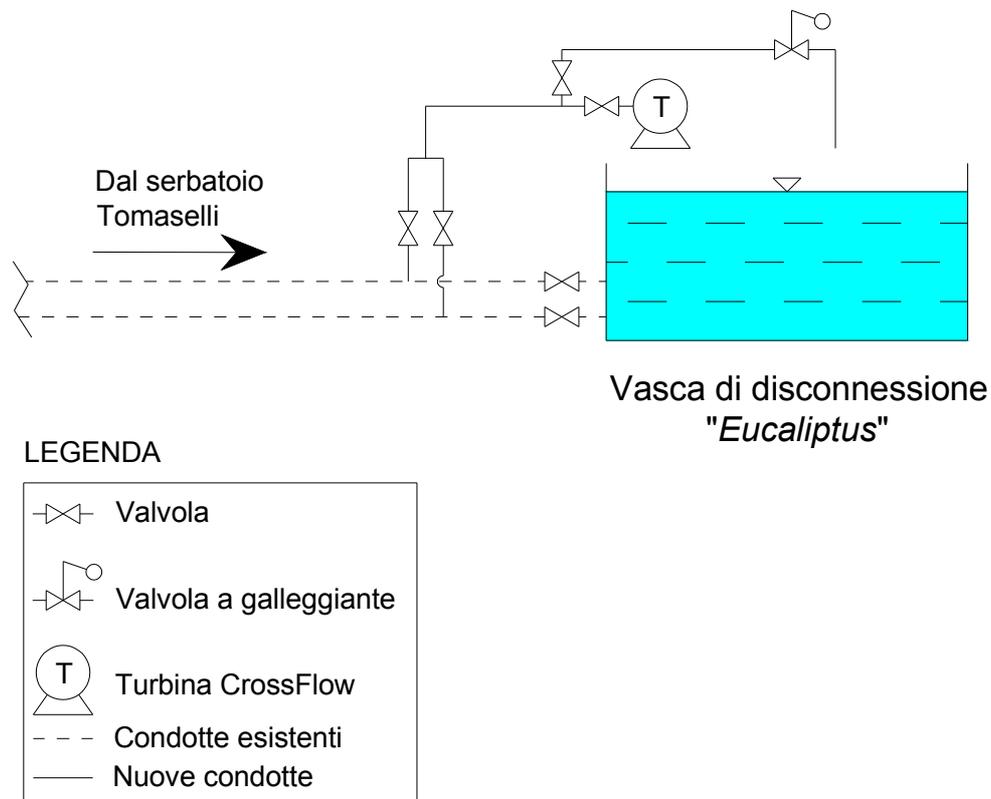


Figura 5. Schema idraulico dell'impianto idroelettrico realizzato presso il serbatoio Eucaliptus.

La portata media giornaliera q in arrivo al serbatoio Eucaliptus è di 30 l/s, con un incremento del 30% nelle ore di massimo consumo. Il carico idraulico utile per la produzione idroelettrica è pari a $S_n = 45$ m, desunto dal monitoraggio del manometro installato a monte del serbatoio Eucaliptus. La produttività dell'impianto è stata stimata mediante l'eq. 5, che consente di determinare la potenza elettrica media netta P_e della turbina:

$$P_e = \eta_e \cdot \eta_i \cdot 9,81 \cdot q \cdot S_n \quad [kWe] \quad 5),$$

dove η_i è il rendimento idraulico della turbina, cautelativamente assunto pari a 0.8, η_e è il rendimento elettrico dell'alternatore, assunto pari a 0.88. In accordo con l'eq.5, la potenza

P_e risulta pari a 9.3 kWe. Il generatore scelto è asincrono con velocità nominale di rotazione di 760 RPM con accoppiamento diretto all'asse della turbina mediante giunto a soffietto. La regolazione del tegolo avverrà in modo automatico: lettura del livello idrico nel serbatoio e rotazione del motorino passo-passo. Il sistema di regolazione farà in modo che il livello in vasca subisca delle oscillazioni contenute tra il minimo ed il massimo livello nel serbatoio. Il tutto verrà gestito da un sistema SCADA munito di PLC e schede I/O per il controllo della strumentazione.

Bibliografia

- Sammartano V., Aricò C., Carravetta A., Fecarotta O., Tucciarelli T. (2013). "Banki-Michell Optimal Design by Computational Fluid Dynamics Testing and Hydrodynamic Analysis." *Energies* 6(5): 2362-2385;
- Sammartano V., Sinagra M., Collura A. and Tucciarelli T., "Experimental study of Cross-Flow micro-turbines for aqueduct energy recovery", Proceedings of the 16th International WDSA Conference, Bari, July 14th - 17th 2014.