

Università degli Studi di Napoli Federico II
Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio
Napoli, 27 Maggio 2019

ABSTRACT

**Selezione Ottima di Pumps As Turbines (PATs) in Reti di Distribuzione Idrica.
Un Caso Applicativo.**

Relatore

Ch.mo Prof. Ing. M. Giugni

Candidata:

Maria Aiello

Matr.. N49/761

Correlatori

Ch.mo Prof. Ing. F. De Paola

Ing. F. Pugliese

La tematica del risparmio energetico connesso all'utilizzo delle risorse idriche risulta di sempre crescente attenzione. Uno dei punti critici riguarda la gestione del Ciclo Integrato delle Acque. In particolare, l'energia è necessaria in ogni fase del consumo idrico, dall'estrazione al trasporto, al trattamento, all'uso e allo smaltimento finale. A ciò, è da aggiungere la quota dei costi operativi necessari per l'approvvigionamento idrico, che è legata alle risorse e ai costi energetici di sollevamento.

Per quanto concerne la gestione del Ciclo Integrato delle Acque, si mira all'applicazione di approcci più moderni, incentrati sul concetto di Smart Water Network, sviluppando procedure e tecnologie innovative che consentano:

- ♦ il monitoraggio e la gestione sostenibile delle risorse idriche;
- ♦ l'ottimizzazione dell'efficienza energetica del sistema;
- ♦ la riduzione delle perdite e la produzione distribuita di energia;
- ♦ il monitoraggio e il controllo della qualità dell'acqua,

assicurando:

- ♦ qualità, continuità e sicurezza del servizio;
- ♦ contenimento dei costi di gestione;
- ♦ riduzione dell'impatto ambientale, conseguente a una gestione più efficiente delle risorse e alla riduzione delle perdite idriche e degli oneri energetici.

Su questo ultimo punto, diversi sono gli studi avviati atti a ricercare le migliori soluzioni che garantiscano sia la diminuzione delle pressioni, con conseguente riduzione delle perdite idriche, che il recupero energetico.

Operando in tale contesto, le attività di ricerca sono particolarmente improntate sull’ottimizzazione di modelli di selezione di micro-turbine e pompe inverse (Pump As Turbine, PAT). In particolare, sulle seconde si focalizzano le campagne sperimentali, data la scarsa quantità di informazioni reperibili, sia perché l’utilizzo di pompe in modalità inversa come turbine risulta di recente applicazione, sia perché economicamente e tecnicamente più vantaggiose rispetto alle micro-turbine. Infatti, diversi sono i modelli atti a prevedere le caratteristiche di tali macchine; non essendo generalmente disponibili curve caratteristiche “commerciali” associate alle pompe in modalità turbina, esse possono essere definite solo mediante approcci predittivi, di tipo teorico, sperimentale e numerico. I principali modelli per la definizione di tali curve si basano su:

- ♦ approcci numerici basati sulla *Computational Fluid Dynamics (CFD)*;
- ♦ approccio sperimentale;
- ♦ Approcci teorico-sperimentali basati su equazioni monodimensionali.

Tra i modelli previsionali disponibili in letteratura, molto diffuso in ambito applicativo risulta quello di Derakhshan e Nourbaksh (2008), i quali hanno definito forme funzionali di polinomie di secondo e terzo grado, adimensionalizzate rispetto al punto di massimo rendimento (Best Efficiency Point, BEP) per la previsione rispettivamente delle curve caratteristiche di salto idraulico e potenza generata da pompe operanti in modalità inversa. In questo modo, a partire dalle caratteristiche della pompa commerciale è possibile ricavare le caratteristiche, e quindi le performance, di una set di turbo-macchine operante in modalità inversa.

Nel presente elaborato è, in particolare, applicato il modello di selezione ottima proposto da Pugliese et al. (2018), mediante il quale è possibile ricavare dei parametri caratteristici della macchina operante in modalità diretta al BEP (flow rate number ϕ_b , head number ψ_b , power number π_b , diametro della girante D e numeri di giri N) tali da poter definire le curve caratteristiche della macchina, in ipotesi di regolazione elettrica, ovvero della connessione elettrica della PAT ad un inverter per modularne la velocità di rotazione in funzione delle effettive condizioni operative. Al fine di operare tale dimensionamento, è possibile considerare due ipotesi:

- dissipazione dell'intero carico residuo in presenza della portata di punta, settando $Q_{tmax}/Q_{tb} = 0,951$;
- massimizzazione della potenza e quindi l'energia prodotta giornaliera, impostando $Q_{tmax}/Q_b = 1,450$;

con Q_{tmax} massima portata circolante e Q_{tb} portata al BEP.

Il modello descritto è stato applicato alla rete di letteratura di Balerma, a cui è stato associato un pattern giornaliero di consumo.

In tale contesto, sono stati sviluppati 3 diversi scenari operativi:

- **Scenario 1:** dimensionamento di una PAT nel tronco caratterizzato dalla massima pressione in rete (pressione massima) e sviluppo di un'analisi costi-benefici;
- **Scenario 2:** dimensionamento di una PAT da installare su una delle condotte di avvicinamento e analisi della variazione delle portate e delle pressioni ai nodi, per ciascuna fascia oraria, a seguito dell'installazione della stessa PAT in rete;
- **Scenario 3:** dimensionamento e verifica di due PAT simultanee installate su due rami caratteristici della rete, individuati da precedenti studi come "ottimi" per l'installazione di valvole di riduzione della pressione PRV per la limitazione delle pressioni in eccesso in rete.

Nello **Scenario 1**, è stato effettuato il dimensionamento della macchina per il nodo più sfavorito della rete in termini di pressione in eccesso, sia al fine di dissipare l'intero carico in eccesso disponibile, sia per massimizzare la potenza. I risultati ottenuti sono i seguenti riportati in Tab. 1:

Q_{tmax}/Q_{tb}	Portata al BEP Q_{tb}	Salto al BEP H_{tb}	Diametro o Girante D	Numer o di Giri a $Q_{t,max}$ N	Range Potenza P_t	Energia Giornaliera E_d	Range Rendimento η_t
[-]	[l/s]	[m]	[m]	[rpm]	[kW]	[kWh/giorno]	[-]
0,951	20,67	80,97	0,148	3000	0,17÷5,23	26,68	0,68÷0,80
1,45	13,68	39,55	0,129	3000	0,30÷7,06	39,55	0,68÷0,80

Tabella 2: Parametri di dimensionamento PAT – SCENARIO 1

Successivamente è stata sviluppata un'analisi costi-benefici volta a raffrontare, in termini di energia prodotta giornaliera e di Payback Period (tempo di rientro dall'investimento), al fine di raffrontare le caratteristiche prestazionali della PAT di progetto con quelle di un'ingente set di PAT commercialmente disponibili (oltre 200). Dai risultati ottenuti, la PAT migliore risulta essere quella dimensionata al fine di massimizzare

la potenza, sia in termini di periodo di ritorno dell'investimento, sia in termini di potenza prodotta.

Nello **Scenario 2** è stata dimensionata ed installata una PAT su una delle condotte di avvicinamento, al fine di massimizzare la potenza producibile imponendo $Q_{t,max}/Q_{tb} = 1,450$. I parametri di dimensionamento ottenuti sono i seguenti (Tab. 2):

$Q_{t,max}/Q_{tb}$	Portata al BEP Q_{tb}	Salto al BEP H_{tb}	Diametro Girante D	Numero di Giri a $Q_{t,max}$ N	Range Potenza P_t	Energia Giornaliera E_d	Range Rendimento η_t
[-]	[l/s]	[m]	[m]	[rpm]	[kW]	[kWh/giorno]	[-]
1,45	319	11,19	0,771	300	4,51÷71,3	39,55	0,57÷0,80

Tabella 2: Parametri di dimensionamento PAT – SCENARIO 2

Dopo aver definito le curve caratteristiche, è stata simulata con il software EPANet 2.0 la variazione delle pressioni e delle portate in rete in seguito all'installazione della PAT. Date le caratteristiche geometriche derivanti dal dimensionamento, si è dedotto come la PAT dimensionata presenti caratteristiche prestazionali difficilmente deducibili da modelli in commercio, sebbene il modello teorico ottenuto sia tale da dissipare l'intero carico in eccesso disponibile.

Nello **Scenario 3** sono state dimensionate e inserite in rete due PAT, su due tronchi individuati come “ottimi” in precedenti studi, al fine di massimizzare la potenza producibile imponendo che $Q_{t,max}/Q_{tb} = 1,450$. I parametri di dimensionamento ricavati sono i seguenti (Tab. 3-4):

$Q_{t,max}/Q_{tb}$	Portata al BEP Q_{tb}	Salto al BEP H_{tb}	Diametro Girante D	Numero di Giri a $Q_{t,max}$ N	Range Potenza P_t	Energia Giornaliera E_d	Range Rendimento η_t
[-]	[l/s]	[m]	[m]	[rpm]	[kW]	[kWh/giorno]	[-]
1,45	191,21	19,9	0,522	633	5,16÷77,7	1024,44	0,68÷0,78

Tabella 3: Parametri di dimensionamento PAT 1 – Link 392 – SCENARIO 3

$Q_{t,max}/Q_{tb}$	Portata al BEP Q_{tb}	Salto al BEP H_{tb}	Diametro Girante D	Numero di Giri a $Q_{t,max}$ N	Range Potenza P_t	Energia Giornaliera E_d	Range Rendimento η_t
[-]	[l/s]	[m]	[m]	[rpm]	[kW]	[kWh/giorno]	[-]
1,45	79,77	21,39	0,331	1035	10,56÷35,97	577,55	0,68÷0,79

Tabella 4: Parametri di dimensionamento PAT 2 – Link 173 - SCENARIO 3

Si deduce, dalle simulazioni, che la PAT 1 è più prestante della PAT 2, ma entrambe le PAT, sebbene dimensionate con l'obiettivo di massimizzare la potenza, raggiungono valori minori di energia effettivamente producibile, a seguito della riduzione di portata effettivamente fluente attraverso i rami di installazione delle PAT, dovuta al riequilibrio

del regime di pressione in rete (Fig.1 e 2), derivante dalla dissipazione energetica generata dai suddetti dispositivi.

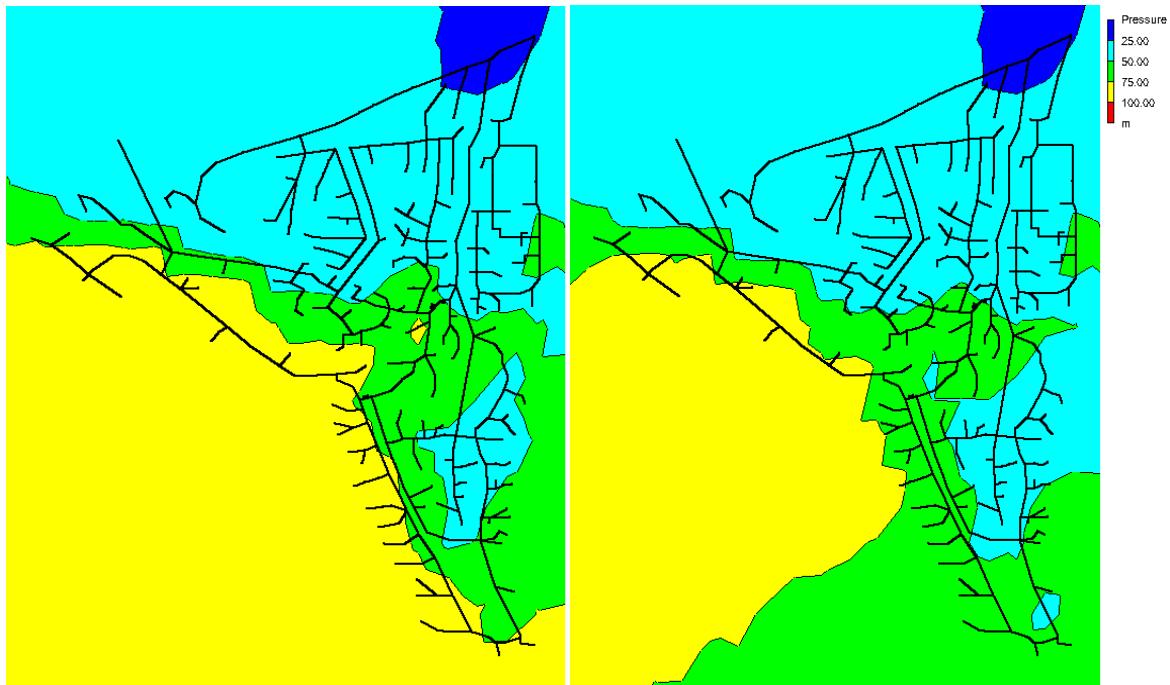


Figura 1: Andamento delle pressioni (a) in assenza di PAT e (b) con due PAT attive nella fascia oraria di punta (EPANet 2.0)

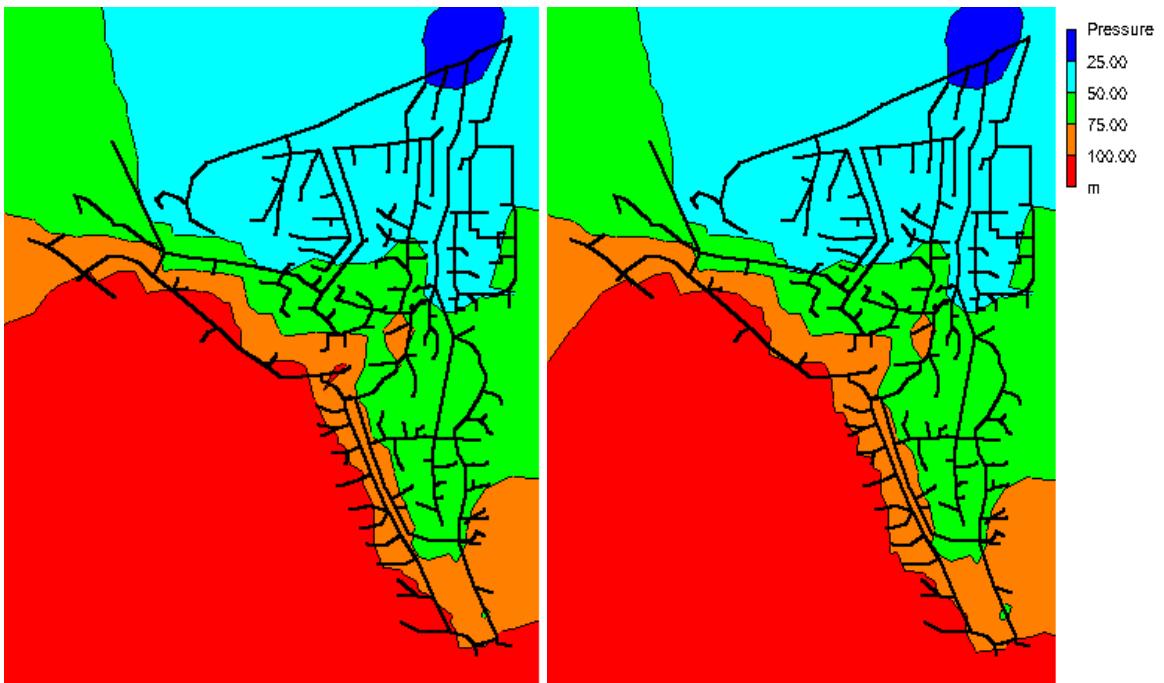


Figura 2: Andamento delle pressioni (a) in assenza di PAT; (b) con due PAT attive nella fascia oraria 02:00-03:00 (EPANet 2.0)

Pertanto, il presente elaborato di tesi è incentrato sulla valutazione, al caso studio della rete di distribuzione di letteratura di Balerma, di una procedura applicativa volta a definire

le caratteristiche prestazionali ottime di PAT, in grado di massimizzare l'energia giornaliera producibile. È stato riscontrato come il modello proposto sia effettivamente in grado di individuare le principali proprietà dei modelli atte ad ottimizzare la produzione energetica. Di contro, in caso di installazione delle PAT in tronchi interni della rete, a seguito della ridistribuzione del regime di pressioni, l'effettiva energia producibile risulta inferiore di quella stimata in fase di dimensionamento.