

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II



SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA EDILE, CIVILE ED AMBIENTALE
D.I.C.E.A.

Tesi di Laurea
in
Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio

**Dimensionamento ottimo di Pumps As Turbines (PATs)
in reti di distribuzione idriche. Un caso studio.**

Relatore

Ch.mo Prof. Ing. Maurizio Giugni

Correlatori

Ch.mo Prof. Ing. Francesco De Paola

Ing. Francesco Pugliese

Candidato

Fabrizio Quarto

Matricola N49/645

Anno Accademico 2017/2018

Il recupero energetico in ambiente urbano rappresenta un aspetto innovativo nell'ambito dei criteri gestionali dei sistemi acquedottistici, ed in particolare delle reti di distribuzione idrica, in quanto indirizzato sia alla riduzione delle pressioni in eccesso (*Pressure Management*), e quindi delle perdite fisiche ad esse correlate, sia alla produzione di energia idroelettrica in piccola scala, mediante l'utilizzo di parte dell'energia altrimenti dissipabile attraverso valvole di regolazione.

La valutazione delle perdite idriche negli impianti acquedottistici, e specificatamente nelle reti di distribuzione idrica, risulta di particolare interesse ed attualità nel contesto globale, in quanto strettamente correlata all'utilizzo razionale e sostenibile della risorsa idrica, che rappresenta una necessità essenziale ed un diritto inalienabile per la comunità. In tale contesto, facendo riferimento al panorama italiano, si riscontra come le infrastrutture acquedottistiche risultino altamente inefficienti, caratterizzate, per quanto concerne le reti di distribuzione idrica, da un'aliquota di volumi dispersi considerevole rispetto all'entità di risorsa immessa. Tali entità si attestano, infatti, a valori regionali medi del 37.4%, tra il minimo (22%) della Valle d'Aosta ed il massimo (55%) della Sardegna.

La regolazione delle pressioni in eccesso nelle reti di distribuzione e, nel contempo, la generazione di fonte energetiche rinnovabili, sono incluse nel campo operativo gestionale delle reti di distribuzione idrica, indicato con l'accezione di "*controllo attivo*", consistente nell'applicazione di criteri gestionali dei sistemi, basati sul controllo e la regolazione "attiva" dei regimi piezometrici.

Il controllo attivo è perseguibile mediante la ripartizione della rete in DMA (District Meter Area) oppure mediante la regolazione del cielo piezometrico in rete, attraverso l'installazione di valvole di riduzione della pressione (Pressure Reducing Valve, PRV).

Tali approcci appartengono all'ambito del *Pressure Management*, ovvero dell'efficace controllo e regolazione delle pressioni in rete, al fine di ridurre lo stato sollecitante nel sistema che mina l'integrità delle sue componenti, comportando la formazione di perdite fisiche.

Operando in tale scenario, il recupero energetico in ambiente urbano mediante la combinazione di PRV con microturbine a reazione o pompe a funzionamento inverso PAT (*Pump As Turbine*) è attualmente inteso come un fattore contributivo basilare per la definizione del ciclo energetico delle reti di distribuzione idrica.

L'utilizzo di microturbine o di PAT definisce, pertanto, la possibilità di individuare una fonte sostenibile per la produzione di energia elettrica in piccola scala, riducendo nel contempo le pressioni in eccesso in rete, mediante l'utilizzo di un'aliquota energetica altrimenti dissipata.

Nello specifico, l'utilizzo di PAT prevede l'applicazione di modelli di pompe, disponibili in commercio, mediante l'inversione della direzione del flusso idrico in esse transitante e l'utilizzo del gruppo motore come alternatore per la generazione di corrente elettrica.

La valutazione dell'effettiva applicabilità di tale approccio e la selezione ottimale del dispositivo da installare non possono comunque prescindere da un'attenta analisi di fattibilità e sostenibilità tecnica ed economica per la definizione delle differenti condizioni operative di funzionamento del sistema. In tal senso, la conoscenza delle caratteristiche prestazionali delle macchine consente l'individuazione del range operativo ammissibile e compatibile con il livello minimo di pressione da garantire in rete, al fine di eseguire la corretta erogazione del servizio alle utenze.

Le PAT, seppur caratterizzate da minori livelli prestazionali e da una minore elasticità operativa rispetto alle microturbine, garantiscono infatti costi di investimento e gestionali inferiori, nonché la possibilità di selezionare il modello da una vasta gamma di tipologie di macchine presenti in commercio, avendo una maggiore facilità di installazione, una più ampia disponibilità delle componenti di ricambio ed una più semplice esecuzione delle attività manutentive.

A tali benefici si contrappone, però, la difficoltà di conoscere a priori le curve caratteristiche delle pompe operanti da PAT, in quanto raramente rese disponibili dai produttori, comportando quindi la difficoltà di prevederne le effettive caratteristiche prestazionali.

Operando in tale contesto, nell'ambito del presente elaborato di tesi, è stato applicato alla rete ad uso irriguo di letteratura di Balerna (ES), il modello di selezione ottima di PAT in reti di distribuzione, messo a punto al Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (DICEA) dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. Il modello consiste nel dimensionamento dei parametri prestazionali e tecnici principali della PAT, ovvero la portata Q_{tb} e il salto H_{tb} al punto di massimo rendimento Best Efficiency Point (BEP), il diametro della girante D e il numero di giri N della turbo-macchina, in ipotesi di esecuzione della regolazione di tipo elettrico attraverso un inverter. Il dimensionamento è eseguito al fine di ottimizzare o la potenza istantanea producibile in presenza della massima portata in rete Q_{tp} o l'energia giornaliera prodotta E_d , nel rispetto dei vincoli idraulici e fisici del problema. La PAT dimensionata, infatti, genera salti idraulici H_t , in ciascuna condizione di esercizio, compatibili con la pressione disponibile in rete e, in particolare, con il carico minimo da garantire a ciascun punto di consegna. Una volta concluso il dimensionamento, essendo noto, dunque, un pattern di consumo orario, per ciascuna fascia temporale, si individua il numero di giri N della PAT, compatibile con quello gestibile dall'inverter, tale da massimizzare la potenza prodotta e quindi l'energia giornaliera complessiva.

Il caso di studio oggetto del presente lavoro è la rete ad uso irriguo di Balerna (ES) composta da 4 serbatoi di alimentazione che, nello modello EPANet 2.0, risulta costituita da 456 tronchi e da 445 nodi eroganti una portata media costante e pari a 3.85 l/s. Il modello di selezione è stato applicato con riferimento a 2 Scenari sviluppati.

In prima istanza (Scenario 1), dopo aver analizzato il regime piezometrico del sistema, si è provveduto all'installazione di una PAT lungo la condotta di avvicinamento del Serbatoio di alimentazione dell'area nord-ovest della rete. Pertanto, il suddetto modello di ottimizzazione è stato applicato, eseguendo il dimensionamento dei parametri caratteristici della PAT, sia per la massimizzazione della potenza prodotta in presenza della portata di punta in rete ($Q_{tp}/Q_{tb} = 0.951$) che dell'energia complessiva giornaliera ($Q_{tp}/Q_{tb} = 1.450$), come riportato nella seguente tabella riassuntiva (Tab.1).

| $Q_{t,max}/Q_{t,b}$ (-) | Flow Rate at BEP $Q_{t,b}$ (l/s) | Head Drop at BEP $H_{t,b}$ (m) | Impeller Diameter D (m) | Rotational Speed at $Q_{t,max}$ N (rpm) | Power Range P_t (kW) | Daily Energy E_d (kWh/day) | Efficiency Range η_t (-) |
|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 0.951 | 124.52 | 30.03 | 0.380 | 1068 | 0.04 ÷ 25.91 | 253.20 | 0.68 ÷ 0.80 |
| 1.450 | 81.67 | 14.67 | 0.368 | 771 | 0.05 ÷ 25.01 | 275.90 | 0.68 ÷ 0.80 |

Tabella 1 – Parametri di dimensionamento ottimo della PAT

La potenza prodotta P ed il raffronto tra il salto disponibile in ciascuna fascia oraria e quello dissipato dalla PAT dimensionata sono riprodotti in Fig. 1.

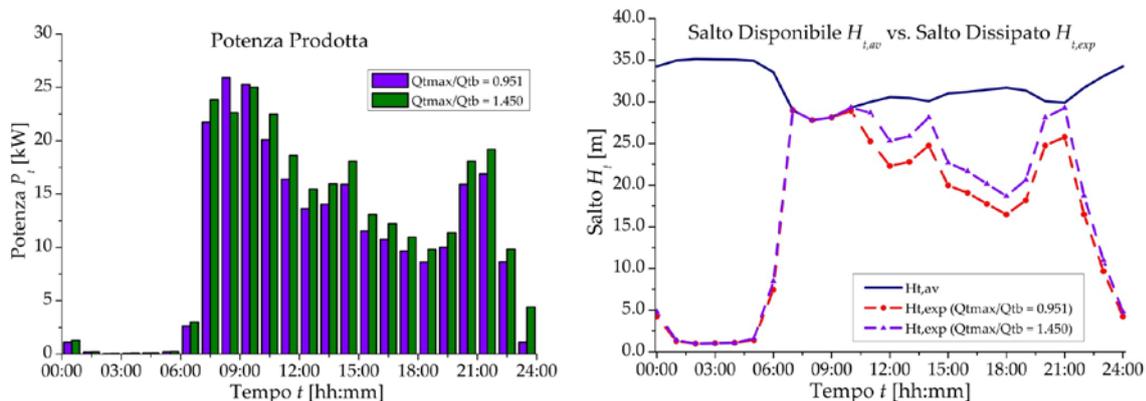


Figura 1 – Potenza Prodotta (sx) e confronto tra Salto Disponibile e Salto Dissipato (dx)

Dalla precedente figura si evince come il setting $Q_{t,max}/Q_{t,b} = 0.951$ sia in grado di massimizzare la potenza prodotta in presenza della portata di punta $Q_{t,max}$ pari 25.91 kW a fronte della potenza di 22.64 kW individuata con l'ulteriore approccio. Di contro, nelle altre condizioni operative $Q_{t,max}/Q_{t,b} = 1.450$ è in grado di definire maggiore potenza, comportando un'energia complessiva giornaliera prodotta pari a 275.90 kWh, a fronte dei 253.20 kWh definiti dal precedente approccio, risultando dunque superiore di circa l'8%.

Dal confronto tra il salto disponibile in ciascuna fascia orario e quello dissipato mediante i considerati approcci, si riscontra come, per $Q_{t,max}/Q_{t,b} = 1.450$, si definisca una migliore regolazione delle pressioni in eccesso, essendo in grado di generare maggiori salti, in ogni caso non superiori a quelli disponibili. In particolare, per elevati valori di portata, pari e prossimi alla portata massima $Q_{t,max}$, entrambe le PAT dimensionate sono in grado di dissipare l'intero carico in eccesso

disponibile. Di contro, per valori inferiori di portata, elevati salti residui sono individuati, dissipabili combinando l'installazione della PAT con quella di una valvola di riduzione della pressione PRV.

Al fine di validare la procedura di selezione applicata, è stato dunque eseguito un raffronto tra le PAT dimensionate con i suddetti approcci e 221 modelli di PAT centrifughe disponibili in commercio, comparando l'energia giornaliera prodotta con il corrispondente periodo di ritorno dell'investimento Payback Period (*PP*), stimato con il modello di letteratura di Novara et al. (2018). Dalle simulazioni eseguite si è evinto come entrambe le macchine selezionate siano in grado di produrre un'energia giornaliera complessiva superiore a quella definibile dai modelli in commercio, a fronte di limitati e comparabili *PP*.

Nello Scenario 2, invece, è stata localizzata la PAT nel Link 393, interno al distretto idrico sud-est della rete che, da precedenti studi, è risultato quello ottimo per il posizionamento di una PRV. In tal caso, operando con il risolutore idraulico EPANet 2.0 è stata simulata la sostituzione della PRV con una PAT, modellata come una GPV (General Purpose Valve) e, mediante il modello di selezione, sono state dimensionate la PAT ottime secondo i suddetti due approcci. Inoltre attraverso i modelli di letteratura di Derakhshan & Nourbakhsh (2008) e Pugliese et al. (2016) sono state inserite in EPANet 2.0 le curve caratteristiche rispettivamente di salto H_t e potenza P_t . E' stata pertanto svolta una simulazione alla portata di punta, confrontando le risultanze con quelle derivanti dall'applicazione dei 221 modelli disponibili in commercio ed utilizzati nello Scenario 1.

In questo caso, essendo le portate transitanti nel tronco fortemente elevate a fronte di non ingenti salti disponibili, esclusivamente pochi modelli commerciali sono risultati applicabili, individuando mediamente potenze producibili e rendimenti limitati. Allo stesso tempo, a seguito del salto generato dalla PAT e della redistribuzione delle portate in rete dovuta alla variazione del regime di pressione, la condizione operativa delle PAT ottime dimensionate è risultata tale da comportare una significativa riduzione di portata transitante attraverso il dispositivo, rispetto a quella definita in assenza di dissipazione. Tale condizione ha determinato, per quanto attiene al dimensionamento per $Q_{t,max}/Q_{t,b} = 1.450$ valori di potenza prodotta e rendimento prossimi ai massimi ottenuti dai dispositivi in commercio mentre per $Q_{t,max}/Q_{t,b} = 0.951$ sono stati riscontrati risultati meno soddisfacenti. Ciò nonostante, a parità di portata transitante, quest'ultimo approccio è in grado effettivamente di massimizzare la potenza prodotta.

Per valutare i benefici effettivi derivanti da tale approccio, negli sviluppi futuri del lavoro, saranno considerate nella simulazione anche le perdite fisiche della rete al fine di tener conto di come alla generazione della dissipazione energetica della PAT corrisponda una riduzione delle pressioni in eccesso e, dunque, delle perdite fisiche ad esse correlate. In tal modo, sarà possibile valutare gli effettivi benefici del dimensionamento ottimo anche per lo Scenario 2.