

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
NAPOLI FEDERICO II

Facoltà di Ingegneria

Corso di Studi in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio



tesi di laurea

## **Caratterizzazione delle PATs (Pumps As Turbines) negli impianti di recupero energetico. Un caso di studio**

Anno Accademico 2009/2010

relatore

**Ch.mo prof. Maurizio Giugni**

correlatore

**Ch.mo prof. Nicola Fontana**

candidato

**Francesco Peruggini**

**matr. 518/443**

## Abstract

---

Nel presente lavoro è stata esaminata la possibilità di produzione di energia elettrica e di recupero energetico da sistemi di distribuzione idrica, con costi di impianto contenuti, mediante l'installazione di pompe funzionanti all'inverso come turbine, dette **PATs**, acronimo inglese di "**Pumps As Turbines**".

Il recupero energetico trae spunto dalle tecniche innovative recentemente introdotte nella gestione dei sistemi acquedottistici per il controllo attivo delle pressioni, finalizzato al recupero delle perdite idriche. Difatti, se si prendono in esame le reti idriche di distribuzione, che costituiscono la parte del ciclo dell'acqua più vicina al cittadino, persistono ancora numerose problematiche tecniche e gestionali: elevati costi di manutenzione dovuti allo stato di obsolescenza delle infrastrutture idrauliche; arretratezza nei sistemi di controllo e di gestione, che rende molto difficile in numerose realtà del centro-Sud la regolare fatturazione; soprattutto, altissime percentuali di perdite idriche. Da una indagine condotta nel 2007 dal Comitato per la Vigilanza sull'Uso delle Risorse Idriche (CONVIRI), si evince che mediamente il volume non fatturato sul volume totale immesso nelle reti idriche è, per i gestori che hanno risposto all'indagine, pari al 37.3%, con punte, soprattutto nel Mezzogiorno d'Italia, anche del 78%. Nella sola Regione Campania il volume non fatturato è mediamente del 60%. Le percentuali indicate fanno riferimento al livello complessivo delle perdite, ovvero alle cosiddette "**perdite totali**", pari alla somma delle perdite dovute alla mancata fatturazione ("**perdite apparenti**") e di quelle dovute alla reale fuoriuscita di acqua dalle tubazioni, causata da fratture localizzate, dai giunti e/o dai serbatoi

della rete di distribuzione idrica (“**perdite reali**” o “**perdite fisiche**”). Queste ultime costituiscono, secondo i pochi dati di letteratura disponibili, circa il 70% delle perdite totali. Va aggiunto che l’indagine non si riferisce all’intero territorio nazionale, in quanto numerosi gestori non hanno comunicato i dati richiesti o hanno comunicato dati incompleti e/o inutilizzabili.

Come è ben noto, esiste una correlazione tra le portate disperse nelle condotte e le pressioni in rete, attraverso coefficienti dipendenti dalle caratteristiche della tubazione e dal tipo di perdita. Pertanto uno dei criteri introdotti dal D.M. n. 99/97 per una migliore gestione dell’intero sistema di distribuzione e per la riduzione delle perdite idriche è la **distrettualizzazione**, che consiste nel dividere l’intera rete idrica in “**distretti**”, ovvero porzioni di rete di distribuzione per le quali sia installato un sistema fisso di misura volumetrica per l’acqua in entrata ed in uscita. La distrettualizzazione permette di ottenere sensibili riduzioni delle perdite attraverso il controllo attivo delle pressioni nelle reti idriche di distribuzione con forti escursioni tra pressioni diurne e notturne. La regolazione differenziata delle pressioni nei distretti va, però, attentamente studiata attraverso una fase di ottimizzazione della disposizione e regolazione delle valvole di riduzione della pressione (PRV), al fine di conservare prestazioni idrauliche del sistema soddisfacenti per l’utenza.

La possibilità di installare **impianti di recupero energetico** si pone in supporto al criterio della distrettualizzazione (o in sostituzione laddove, come in effetti è per la maggior parte delle reti idriche in Italia, fortemente magliate, essa non sia una soluzione praticabile), al fine di ottenere il duplice scopo di ridurre le pressioni e, quindi, le perdite, e di produrre energia elettrica “pulita”. Ciò è reso possibile affiancando o sostituendo alla valvola riduttrice di pressione (PRV) una turbina oppure una pompa “inversa”, cioè funzionante da turbina (**PAT**). Le PATs sono caratterizzate da una maggiore diffusione sul mercato, da un minor costo e da una maggiore “elasticità” in fase di funzionamento rispetto ad una turbina. Inoltre la loro installazione e manutenzione è relativamente semplice ed economica.

Anche in presenza di semplici impianti di adduzione è possibile fare analoghe

considerazioni. Ad esempio, nel caso di portate captate da sorgenti ad alta quota, per le quali la pressione dovuta al dislivello geodetico risulta eccessiva rispetto a quella richiesta, si può inserire, al fine di ottenere il corretto valore di pressione, una valvola dissipatrice (PRV). In casi come questo, risulta ovviamente conveniente inserire una turbina o una PAT per convertire l'energia potenziale dell'acqua "in caduta", che verrebbe altrimenti dissipata, in energia elettrica.

Il principio di funzionamento delle PATs è lo stesso delle turbine a reazione, con la sola differenza, non di poco conto, che esse non presentano accorgimenti meccanici per il controllo della portata, per cui quando la portata d'acqua che attraversa la PAT varia, la velocità della girante non rimane costante. Sebbene tali macchine siano molto robuste dal punto di vista meccanico, risulta difficile "settare" esattamente una PAT per una determinata condizione operativa, dato che le **curve caratteristiche** "inverse" di una pompa non vengono fornite. Inoltre il comportamento di una pompa con funzionamento inverso cambia rispetto al funzionamento normale e, quindi, non risulta semplice individuare le curve caratteristiche della PAT. La completa caratterizzazione della PAT è resa d'altronde necessaria dal fatto che essa si troverà a funzionare, soprattutto nelle reti idriche, con valori di portata e di pressione molto variabili nell'arco della giornata. E' necessario, quindi, considerare, mediante l'utilizzo delle curve caratteristiche, un certo **range di variabilità della portata idrica** per assicurare una producibilità energetica e un rendimento adeguati, conservando prestazioni idrauliche del sistema soddisfacenti per l'utenza.

Nell'ambito del lavoro effettuato sono state considerate, quindi, le caratteristiche e le condizioni di funzionamento delle PATs presentando 2 differenti metodologie di selezione e di predizione delle performance della PAT selezionata per la costruzione delle curve caratteristiche della stessa, altrimenti non fornite di norma dalle case costruttrici.

La prima procedura, sviluppata da **S. Derakhshan e A. Nourbakhsh** (2008), si fonda su alcune relazioni sviluppate per predire il **BEP (Best Efficiency Point)**

della PAT a partire dal BEP della pompa corrispondente. Le relazioni sono state desunte da test sperimentali condotti su una installazione mini-hydro realizzata presso l'Università di Tehran, per alcune pompe centrifughe utilizzate come PAT a differenti velocità specifiche piuttosto basse. Tali esperimenti hanno dimostrato che una PAT è in grado di funzionare a portate e salti più elevati rispetto alla pompa ed hanno consentito di ottenere relazioni per la costruzione delle curve caratteristiche della PAT, una volta calcolato il BEP della PAT. Il metodo di S. Derakhshan e A. Nourbakhsh è valido però solo per pompe con velocità specifica  $N_s$  ( $m, m^3/s$ ) contenuta nel range di valori compresi tra 10 e 60 e con velocità specifica  $N_t$  ( $m, kW$ ), in modalità turbina, inferiore a 150.

La seconda procedura, sviluppata da **J.M. Chapallaz, P. Eichenberger, G. Fischer** (1992), si basa sui risultati sperimentali ottenuti dagli autori su un gran numero di PAT, che hanno consentito di tracciare dei diagrammi, in funzione della velocità specifica della pompa  $n_{qp}$  ( $m, m^3/s$ ), che forniscono i fattori di conversione da utilizzare per calcolare il BEP della PAT a partire dal BEP della pompa e per valutare i valori di salto e potenza della PAT al variare della portata tra l'80% ed il 120% del valore al BEP. Questi ultimi valori consentono il tracciamento delle curve caratteristiche della PAT nel dominio dei valori di portata suddetti. Il metodo di J.M. Chapallaz, P. Eichenberger, G. Fischer risulta applicabile solo per pompe a flusso radiale con velocità specifica  $n_{qp}$  ( $m, m^3/s$ ) maggiore di 15.

E' stato, infine, preso in considerazione, come caso di studio il semplice impianto acquedottistico di Orsiera in Piemonte, costituito da una singola condotta di adduzione, da una vasca di disconnessione e da una vasca di regolazione a valle, dalla quale parte la condotta di avvicinamento alla rete idrica. In corrispondenza della vasca di regolazione è stata installata una turbina per la produzione di energia elettrica, che copre in parte il fabbisogno energetico annuo del paese di Chiomonte (Torino).

Sono state applicate separatamente le 2 metodologie presentate, per studiare la possibile installazione di una PAT in luogo della turbina attualmente in esercizio

e, nel caso, per confrontare dal punto di vista economico le 2 differenti soluzioni impiantistiche (PAT e turbina). Il metodo di Derakshan e Nourbakhsh non ha fornito una soluzione praticabile, in quanto per la PAT individuata i costi di manutenzione annui avrebbero superato i ricavi annui previsti.

Invece il metodo di Chapallaz, Eichenberger e Fisher, risultato applicabile per un valore di salto di progetto minore di quello utilizzabile, ha fornito una soluzione praticabile, con un ritorno dell'investimento iniziale valutato in 4 anni circa, sia pur con ricavi minori rispetto a quelli derivanti dalla turbina installata. Quindi, nel caso dell'acquedotto Orsiera, è risultato che non sarebbe stata conveniente l'installazione di una PAT in luogo della turbina, a meno che l'azienda non avesse voluto stanziare un investimento iniziale minore (16.000 € per la PAT contro 100.000 € spesi per la turbina).

Va, infine, osservato che la realizzazione di impianti di recupero energetico può assicurare benefici economici di rilevante importanza. Grazie all'applicazione dei **Certificati Verdi**, infatti, l'ente gestore può dare testimonianza che la propria produzione elettrica proviene almeno in parte da fonti rinnovabili. Difatti il "Decreto Bersani" n. 79/1999, che regola il nuovo mercato libero dell'energia elettrica, ha imposto a tutti i produttori ed importatori di energia elettrica da fonte convenzionale di immettere nella rete nazionale un determinato quantitativo di energia prodotta da **fonti rinnovabili** o, in alternativa, di acquistare diritti di produzione da chi ne genera da fonti rinnovabili. In questo modo il surplus di energia prodotto potrebbe anche essere venduto a società di distribuzione di energia elettrica che, per rispettare i limiti imposti dal Decreto, riconoscerebbero a ciascun kWh acquistato dei compensi maggiori rispetto a quanto è pattuito nei contratti di fornitura. E' evidente che fin tanto vigeranno queste condizioni, il tempo di ammortamento degli investimenti sarà più breve.

Non bisogna, ovviamente, dimenticare anche gli ulteriori benefici economici connessi alla **riduzione delle perdite idriche** ed i **benefici ambientali**, in termini di riduzione della quantità di anidride carbonica immessa, assicurati dagli impianti di recupero energetico.