

LA GESTIONE DELLE RETI IDRICHE

**Atti del convegno
"Le reti acquedottistiche
e di drenaggio:
progettazione,
manutenzione
e sostenibilità
alla luce degli aspetti
economico-normativi"**

Ferrara, 24 maggio 2012

**a cura di
Paolo Bertola
e Marco Franchini**

**Centro Studi
Sistemi Idrici**



Informazioni per il lettore

Questo file PDF è una versione gratuita di sole 20 pagine ed è leggibile con



La versione completa dell'e-book (a pagamento) è leggibile con Adobe Digital Editions. Per tutte le informazioni sulle condizioni dei nostri e-book (con quali dispositivi leggerli e quali funzioni sono consentite) consulta [cliccando qui](#) le nostre F.A.Q.



COLLANA FONDAZIONE AMGA

Direzione collana: Amedeo Amato, Osvaldo Conio, Daniela Bergamotti

La collana Fondazione AMGA intende divulgare i risultati delle iniziative di studio e ricerca promosse dalla Fondazione stessa, con la finalità di diffondere la cultura scientifica ed economica attinente al settore idrico e più in generale alle *public utilities* e di fornire strumenti di conoscenza ed approfondimento agli operatori di tale settore.

Le pubblicazioni, in funzione della natura e delle modalità di esposizione dell'argomento trattato, sono suddivise in monografie, quaderni tecnici e atti di convegni.

Per informazioni sulle attività della Fondazione AMGA è possibile contattare il seguente indirizzo:
Fondazione AMGA, via SS. Giacomo e Filippo, 7 - 16122 Genova
Tel. +39.010.5586.865 - Fax +39.010.5586.741

I lettori che desiderano informarsi sui libri e le riviste da noi pubblicati possono consultare il nostro sito Internet: *www.francoangeli.it* e iscriversi nella home page al servizio “Informatemi” per ricevere via e-mail le segnalazioni delle novità.

LA GESTIONE DELLE RETI IDRICHE

**Atti del convegno
"Le reti acquedottistiche
e di drenaggio:
progettazione,
manutenzione
e sostenibilità
alla luce degli aspetti
economico-normativi"**

Ferrara, 24 maggio 2012

**a cura di
Paolo Bertola
e Marco Franchini**

**Centro Studi
Sistemi Idrici**

FrancoAngeli

Copyright © 2013 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy

L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore. L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito www.francoangeli.it.

INDICE

Prefazione	pag.	7
PAT optimal design per il recupero energetico nelle reti idriche urbane , di <i>A. Carravetta, O. Fecarotta e L. Antipodi</i>	»	9
Strategie per il recupero energetico nei sistemi acquedottistici , di <i>N. Fontana, M. Giugni e A. Ranucci</i>	»	21
Ottimizzazione della gestione di un acquedotto in ambiente montano: il caso di Tiarno di Sotto (TN) , di <i>A. Antonello, P. Bertola, A. Bosoni, S. Franceschi, D. Righetti e M. Righetti</i>	»	31
Sulla possibilità di risparmio energetico nei sistemi acquedottistici di grandi dimensioni , di <i>E. Orsi, S. Mambretti e E. Giorgetti</i>	»	39
Analisi del Rischio associato alle scelte strategiche di gestione delle reti idriche urbane in presenza di obiettivi di sostenibilità , di <i>V. Di Federico, R. Ugarelli e T. Liserra</i>	»	52
Gestione avanzata di una rete di distribuzione idrica con WDNNetXL , di <i>D. Laucelli, L. Berardi e O. Giustolisi</i>	»	63
Hydraulic efficiency of urban drainage network , by <i>R. Ermini, R. Ataoui and A. Sole</i>	»	79
Progetto delle trincee di infiltrazione , di <i>E. Creaco e M. Franchini</i>	»	88
Una tecnica per il posizionamento e il dimensionamento di vasche volano a servizio di reti urbane di drenaggio , di <i>L. Cimorelli, C. Covelli, L. Cozzolino, F. Morlando, A. Palumbo e D. Pianese</i>	»	100

Assegnazione delle risorse idriche in condizioni di criticità: un approccio basato sui Bankrupt Games , di <i>G.M. Sechi e R. Zucca</i>	pag.	122
Considerazioni sui consumi idrici in alcuni centri della Puglia Meridionale , di <i>A.F. Piccinni, G. Balacco, A. Carbonara e S. Spagnuolo</i>	»	136
La nuove rete antincendio del centro storico di Venezia , di <i>P. Salandin, G. Darvini, A. Gaburro e C. Santaterra</i>	»	157
Satguardian: a solution for water infrastructure security , by <i>G. de Marinis, A. Leopardi, C. D'Elia, S. Ruscino, G. Martino and A. Nardecchia</i>	»	176
Individuazione dei settori idrici isolati di una rete idrica di distribuzione con una metodologia basata sulla teoria dei grafi , di <i>A. Di Nardo, M. Di Natale e G.F. Santonastaso</i>	»	188
Confronto fra modelli per la scelta ottimale dei punti di misura in reti idriche ai fini della calibrazione , di <i>P. Veltri, A. Fiorini Morosini, F. Costanzo e M.C. Gigliotti</i>	»	204
Strumenti di supporto alla decisione per gli investimenti nel settore dell'approvvigionamento primario , <i>C. Arena e M.R. Mazzola</i>	»	221
Perdite in condotte viscoelastiche. Indagine sperimentale e numerica durante transitori , di <i>S. Meniconi, B. Brunone, M. Ferrante e C. Massari</i>	»	237
Una ricerca sperimentale sulla relazione tra pressioni e perdite idriche per differenti tipologie di condotte , di <i>F. De Paola, M. Giugni e E. Galdiero</i>	»	251
Elenco degli acronimi	»	265

PREFAZIONE

Il Centro Studi Sistemi Idrici (CSSI) nasce dall'esperienza maturata in oltre un ventennio da un folto gruppo di docenti universitari appartenenti a una quindicina di Atenei, sparsi su tutto il territorio nazionale, con attività di ricerca nel settore dei sistemi acquedottistici. Il CSSI attualmente ha sede presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Trento.

Il CSSI mira a promuovere attività di ricerca sui problemi connessi alle fasi di captazione, produzione, trasporto e distribuzione dell'acqua potabile, tenuto conto del particolare momento di trasformazione del settore sotto la spinta soprattutto della legge n. 36/1994.

Un aspetto peculiare del gruppo è la stretta collaborazione con i tecnici delle Aziende che distribuiscono l'acqua potabile – e a partire da questa edizione della manifestazione anche con gli Enti responsabili dell'allontanamento di quelle reflue – come testimonia il Convegno tenutosi il 24 maggio 2012 nell'ambito della manifestazione H₂O-ACCADUEO 2012, *Le reti acquedottistiche e di drenaggio: progettazione, manutenzione e sostenibilità alla luce degli aspetti economico-normativi*. Tale evento ha offerto ai ricercatori universitari e ai tecnici delle Aziende distributrici la possibilità di esporre i risultati delle loro ricerche, creando così l'opportunità di nuovi confronti e proficue discussioni.

In questo volume sono raccolte le memorie presentate, durante il convegno, dai docenti universitari e dai tecnici delle varie aziende che operano nel settore delle reti acquedottistiche. L'organizzazione del convegno e la realizzazione di questo volume è stata possibile per il contributo dato da tutti i membri del CSSI e in particolare dai professori Paolo Bertola, Bruno Brunone, Armando Carravetta, Giovanni de Marinis, Vittorio di Federico, Michele Di Natale, Ruggero Ermini, Marco Franchini,

Maurizio Giugni, Orazio Giustolisi, Roberto Guercio, Mario Rosario Mazzola, Enrico Orsi, Domenico Pianese, Alberto Ferruccio Piccinni, Bartolomeo Rejtano, Paolo Salandin, Giovanni Sechi, Paolo Veltri e dai loro collaboratori. A tutti va un sentito ringraziamento.

Le precedenti occasioni di scambio di esperienze tecnico-scientifiche tra i due settori che si occupano dei sistemi di distribuzione idrica (Università e Aziende acquedottistiche), pur limitandosi all'ambito delle manifestazioni organizzate a Ferrara da ACCADUEO, risalgono ormai al 2004 senza alcuna soluzione di continuità.

H₂O-ACCADUEO 2004, la settima edizione da quando ebbe inizio tale meritoria iniziativa, fu caratterizzata dalla pubblicazione degli Atti relativi al Convegno: *La gestione e l'affidabilità dei sistemi acquedottistici* del 21 maggio 2004; gli argomenti trattati sono riconducibili a tre filoni principali di ricerca: *i)* gli strumenti per una moderna gestione dei sistemi acquedottistici, che tratta dei problemi innovativi della gestione, attività mai sufficientemente sviluppata dalla cultura tecnica italiana; *ii)* l'affidabilità e gli indicatori di servizio, tema di estrema attualità nella tormentata applicazione della legge n. 36/1994; *iii)* tecniche di protezione della risorsa idrica naturale, sui nuovi problemi della sicurezza da richiedere rispetto alle contaminazioni sia accidentali che intenzionali, come conseguenza delle note vicende terroristiche di inizio millennio.

H₂O-ACCADUEO 2006, tenutasi il 17 maggio 2006 in collaborazione con International Water Association, ha visto la pubblicazione della monografia *Management of water networks* (FrancoAngeli, collana Fondazione AMGA), che raccoglie gli Atti del Convegno *Efficient Management of Water Networks. Design and Rehabilitation Techniques*.

H₂O-ACCADUEO 2008 tenutasi il 21 maggio 2008 fu caratterizzata dalla pubblicazione degli Atti relativi al Convegno *Aspetti economici e tecnici nella gestione delle reti di distribuzione idrica* del 21 maggio 2008; gli argomenti trattati furono l'ideale anticipazione di quelli sviluppati nell'edizione del 2010.

H₂O-ACCADUEO 2010 fu caratterizzata dalla pubblicazione degli Atti relativi al Convegno *La gestione delle reti acquedottistiche: dagli aspetti tecnico-progettuali a quelli economico-normativi* del 20 maggio 2010. In questa edizione si ebbe una forte partecipazione dei gestori del ciclo urbano dell'acqua fortemente interessati agli aspetti tecnici e normativi.

Ferrara, settembre 2012

Paolo Bertola e Marco Franchini
(CSSI – Editors)

PAT OPTIMAL DESIGN PER IL RECUPERO ENERGETICO NELLE RETI IDRICHE URBANE

di *A. Carravetta**, *O. Fecarotta** e *L. Antipodi***

* Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica e Ambientale,
Università degli Studi di Napoli "Federico II" – Napoli (IT)
email: armando.carravetta@unina.it

** Caprari s.p.a.

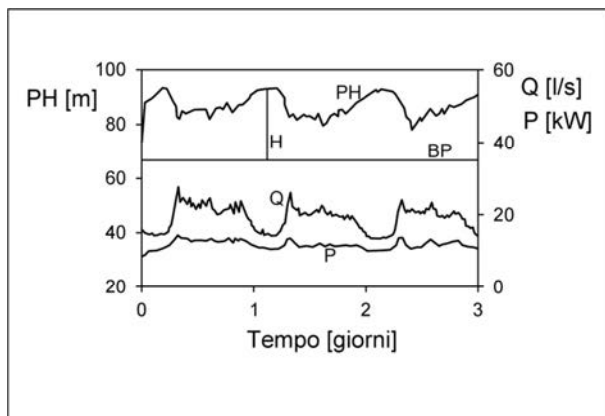
Sommario

Si illustrano i più recenti risultati ottenuti nella progettazione di impianti per il recupero energetico nei sistemi di distribuzione idrica tramite impiego di pompe come turbine (PAT, Pump as Turbine). Per fronteggiare l'andamento variabile della portata e del salto utile nelle reti cittadine, le PAT devono essere inserite in un apposito circuito di regolazione che può essere di tipo idraulico o elettrico. Nella nota è mostrato un criterio obiettivo per la scelta della macchina, valido per entrambi i possibili sistemi di regolazione. L'impiego di tale criterio consentirà al progettista calcoli attendibili sulla redditività dell'impianto nelle diverse soluzioni progettuali, rimuovendo uno degli ostacoli alla produzione idroelettrica minore.

1. Introduzione

È prassi ormai consolidata ricorrere alla dissipazione dei carichi in eccesso nelle reti di distribuzione a uso potabile per limitare le perdite idriche (Carravetta e Giugni, 2009). Questo metodo si basa su un controllo più attento delle pressioni in condotta mediante l'inserimento in più punti della rete di valvole riduttrici di pressione (Pezzinga, 2003; Bertola *et al.*, 2005). Già in passato sono stati discussi i vantaggi derivanti dall'impiego di turbine per ottenere lo stesso risultato con un parallelo recupero dell'energia meccanica dissipata in modo da razionalizzare il consumo energetico complessivo (Carravetta, 2005; Carravetta *et al.*, 2010).

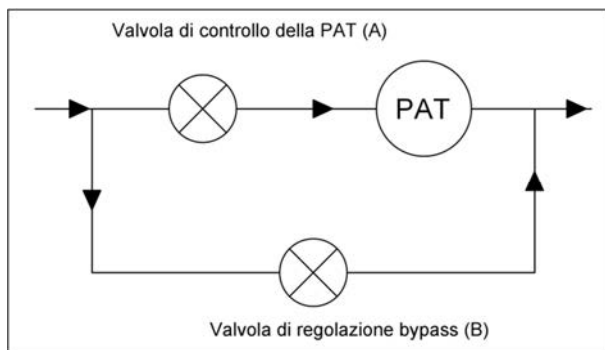
Fig. 1 – Variabilità delle grandezze idrauliche in rete



Questi piccoli impianti idroelettrici sono già utilizzati per lo sfruttamento dei salti geodetici presenti lungo le adduttrici della rete di distribuzione. Maggiori difficoltà presenta, invece, la sostituzione delle idrovalvole con piccoli impianti di produzione per ridurre la pressione in rete, PH, ad un valore di pressione residua assegnato, BP, a causa delle difficoltà di regolazione delle turbine in presenza di variazioni almeno orarie della portata circolante Q, del salto, H, e della potenza utile P, Fig. 1.

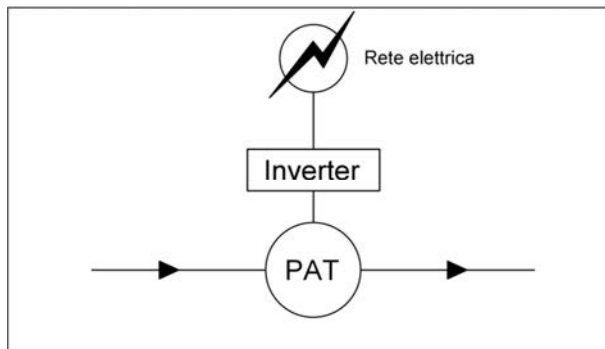
L'esigenza di contenere i costi d'impianto ha determinato l'interesse verso l'impiego di elettropompe, impiegate in modo inverso cioè come turbine (PAT, Pump as Turbine) (Derakshan e Nourbakhsh, 2008). Questa soluzione pur riducendo i costi del macchinario non elimina, peraltro, la necessità di regolazione dell'impianto. In assenza di organi di regolazione meccanici, le PAT vengono inserite in un sistema di regolazione idraulico serie-parallelo, mostrato in Fig. 2, o vengono asservite ad un inverter in grado di variarne la velocità di rotazione, mostrato in Fig. 3.

Fig. 2 – Sistema di regolazione idraulico



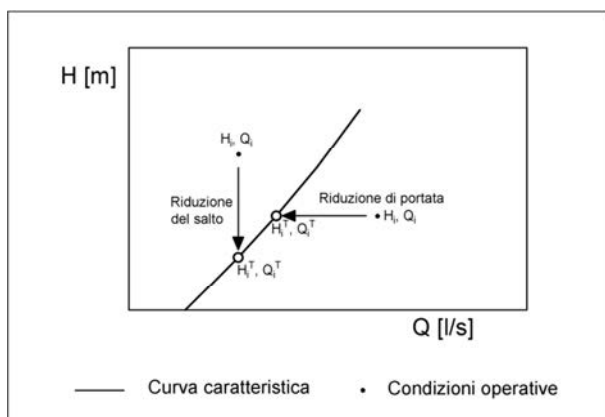
Una PAT direttamente inserita all'interno della rete interagisce con il sistema sulla base della sua curva caratteristica nel funzionamento a turbina (Ramos e Almeida, 2001; Ramos e Almeida, 2002).

Fig. 3 – Sistema di regolazione elettrico con inverter



Un'ipotetica caratteristica è riportata in Fig. 4, insieme a due di n punti di funzionamento (H_i, Q_i), il primo posto al di sopra della curva caratteristica, il secondo al di sotto. Evidentemente, per assegnato numero di giri della girante, una PAT senza regolazione non è in grado di sostituire l'idrovalvola: infatti per il punto di funzionamento posto al di sopra della curva caratteristica la PAT darebbe luogo ad un salto minore di quello richiesto dalla pressione residua assegnata a valle del nodo, mentre per il punto di funzionamento al di sotto della curva caratteristica la PAT darebbe luogo ad un salto maggiore di quello richiesto dalla pressione residua assegnata a valle del nodo.

Fig. 4 – Metodo di regolazione



Con la regolazione idraulica di Fig. 2, quando il salto fornito dalla PAT è minore di quello richiesto entra in funzione l'idrovalvola posta in serie alla PAT, mentre il by-pass è completamente chiuso, viceversa, quando il salto fornito dalla PAT sarebbe maggiore di quello richiesto l'idrovalvola posta in serie alla PAT è mantenuta completamente aperta, mentre viene aperto il by-pass. In entrambi i casi, il punto di funzionamento viene ricondotto sulla curva caratteristica (H_i^T , Q_i^T), o mediante una perdita di carico addizionale, o riducendo la portata turbinata.

Con la regolazione tramite inverter di Fig. 3, si interviene sulla frequenza di alimentazione del motore asincrono della PAT in modo da portare la curva caratteristica stessa sul punto di funzionamento della rete.

La determinazione del sistema di regolazione più idoneo, la scelta della PAT compatibile con ciascun sistema di regolazione e la redditività globale dell'impianto, cioè, in definitiva l'optimal design della PAT, sono resi possibili da nuovo criterio di progettazione denominato VOS (Variable Operating Strategy) (Carravetta *et al.*, 2012a, 2012b).

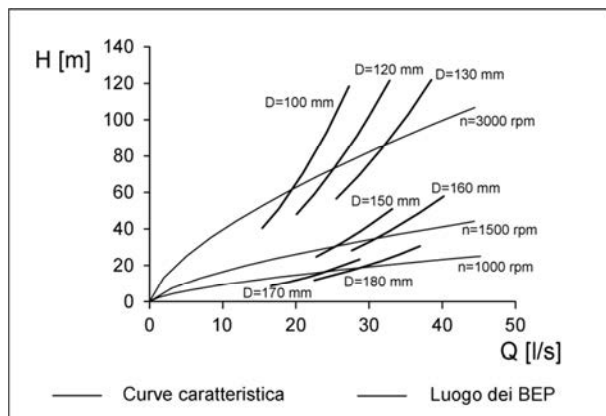
2. Variable Operating Strategy

2.1. Curve caratteristiche della PAT

Il primo problema da affrontare è avere la disponibilità di almeno una curva caratteristica e di rendimento a turbina per ciascuna tipologia di PAT che si intende utilizzare nella progettazione. Tali curve potranno essere ricavate sperimentalmente dal produttore. In alternativa, le tecniche di calcolo numerico consentono un'ottima ricostruzione delle curve sperimentali, a partire dalla conoscenza della geometria della elettropompa. Meno accurate sono le curve caratteristiche ottenute mediante le trattazioni monodimensionali, che, in particolare, non consentono una corretta stima del punto di massimo rendimento (BEP) (Carravetta *et al.*, 2010). Va osservato che nel caso delle pompe multistadio non è possibile ricavare le curve caratteristiche sperimentali o numeriche dall'estrapolazione di risultati ottenuti dalla configurazione mono-stadio.

Una volta ottenute le curve caratteristiche e del rendimento per una tipologia di PAT, tramite i criteri di similitudine meccanica delle macchine rotanti, è possibile ricavare le curve relative ad altre PAT geometricamente simili ma con differente velocità di rotazione o dimensione caratteristica (Carravetta *et al.*, 2012a). Nella Fig. 5 sono riprodotte le curve caratteristiche di una elettropompa centrifuga multistadio al variare del numero di giri al primo, n , e del diametro della girante, D .

Fig. 5 – Curve caratteristiche a turbina al variare di D e N



2.2. VOS per regolazione idraulica

La strategia progettuale denominata Variable Operating Strategy è stata appositamente sviluppata per consentire la scelta della geometria ottimale della PAT in condizioni di portata e salto variabili (Variable Operating Conditions). Per ciascuna tipologia di pompa (centrifuga, semiassiale ecc.) viene esplorato il funzionamento al variare della dimensione della girante e della velocità di rotazione all'interno del campo di condizioni di funzionamento che si osservano nel nodo di inserimento dell'impianto di produzione e del valore di pressione residua imposto, Fig. 6.

Per ciascuna potenziale geometria della PAT viene simulato il funzionamento dell'impianto di produzione sulla base dell'andamento temporale misurato o presunto della portata e del salto, identificando l'energia convertita dalla PAT rispetto a quella globalmente dissipata. L'energia convertita è ricavata sulla base sia del rendimento dell'elettropompa, sia dei valori di portata e salto alla PAT determinate dal sistema di regolazione, come mostrato in Fig. 4.

La strategia progettuale prevede, in definitiva i seguenti passi:

- viene assegnato un andamento di portata e salto utile sulla base del valore di pressione richiesto a valle;
- viene considerata una tipologia di PAT (ad esempio centrifuga, semiassiale ecc.);
- viene generata una famiglia di curve caratteristiche della PAT, al variare della dimensione geometrica della pompa e della velocità di ro-

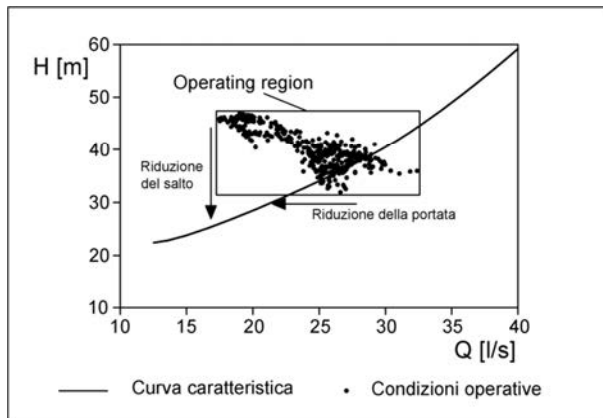
tazione, nell'ambito del campo di condizioni di funzionamento del nodo di inserimento dell'impianto;

- per ciascuna PAT viene calcolata l'efficienza complessiva dell'impianto di produzione sulla base dell'equazione:

$$\eta_p^{HR} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i^T \cdot Q_i^T \cdot \eta_i^T \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n H_i^T \cdot Q_i^T \cdot \Delta t_i}$$

- viene scelta la PAT che massimizza l'energia complessivamente prodotta, cioè che presenta la massima efficienza complessiva dell'impianto, η_p^{HR} ;
- viene selezionata la pompa industriale che presenta la dimensione più vicina a quelle ottimale e la stessa velocità di rotazione, determinando le corrispondenti curve di rendimento a turbina e calcolando l'efficienza complessiva effettiva dell'impianto.

Fig. 6 – Campo delle condizioni di funzionamento in regolazione idraulica



2.3. VOS per sistema con inverter

Il procedimento seguito può essere applicato anche nel caso di PAT munita di inverter per la regolazione della velocità di rotazione della girante. Per utilizzare come PAT elettropompe di tipo industriale occorre tuttavia precisare che la velocità di rotazione non può generalmente ricadere all'esterno di un campo di variazione piuttosto ristretto intorno ai valori di

targa. In particolare, si può assumere come velocità di rotazione massima quella corrispondente, per il numero di poli del motore a servizio della pompa, alla frequenza americana di 60 Hz. Come velocità di rotazione minima si può assumere quella corrispondente ad una riduzione del 50% della frequenza di eccitazione del motore, al fine di evitare problemi di raffreddamento del motore.

La strategia VOS prevede, in questo caso, che, per ciascun tipo di pompa venga esplorato il funzionamento al variare della dimensione della girante all'interno del campo di condizioni di funzionamento che si osservano nel nodo di inserimento dell'impianto di produzione, simulando per ciascuna dimensione della PAT la regolazione sulla frequenza di alimentazione, come riportato in Fig. 7.

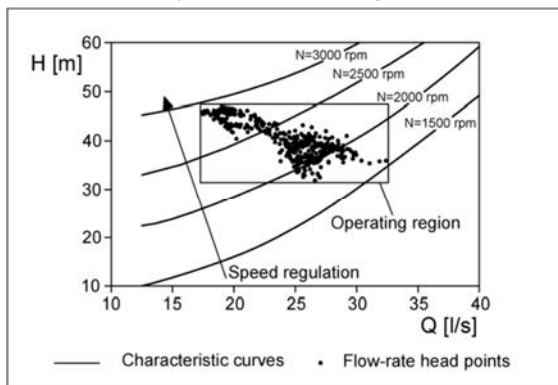
La strategia progettuale prevede, in definitiva, i seguenti passi:

- viene assegnato un andamento di portata e salto utile sulla base del valore di pressione richiesto a valle;
- viene considerata una tipologia di PAT (ad esempio centrifuga, semiassiale ecc.);
- viene generata una famiglia di curve caratteristiche della PAT, al variare della dimensione geometrica della pompa, nell'ambito del campo di condizioni di funzionamento del nodo di inserimento dell'impianto;
- per ciascuna PAT viene calcolata l'efficienza complessiva dell'impianto di produzione sulla base dell'equazione:

$$\eta_p^{ER} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i^T \cdot Q_i^T \cdot \eta_i^T(N) \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n H_i^T \cdot Q_i^T \cdot \Delta t_i}$$

- viene scelta la PAT che massimizza l'energia complessivamente prodotta, cioè che presenta la massima efficienza complessiva dell'impianto, η_p^{ER} ;
- viene selezionata la pompa industriale che presenta la dimensione più vicina a quelle ottimale, determinando le corrispondenti curve di rendimento a turbina e calcolando l'efficienza complessiva effettiva dell'impianto.

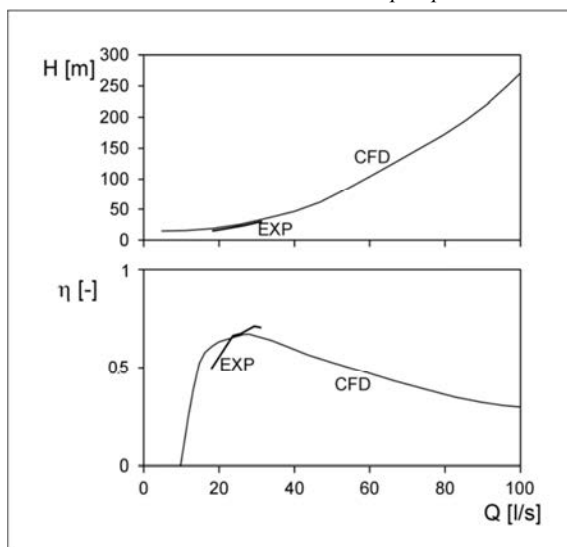
Fig. 7 – Campo delle condizioni di funzionamento in regolazione elettrica



3. Caso studio

La strategia VOS è stata applicata alla progettazione di un impianto di produzione caratterizzato dalla distribuzione di portata e salto di Fig. 1, per diversi valori della pressione residua imposta a valle del nodo in cui è inserita la centrale di produzione. È stata scelta come tipologia di PAT una elettropompa centrifuga multistadio. La curva caratteristica sperimentale, fornita dalla Caprari, è stata ricostruita mediante tecniche di simulazione CFD (Ansys inc., 2006; Fecarotta *et al.*, 2011) ed estesa a un più ampio campo di condizioni idrodinamiche, come riportato in Fig. 8.

Fig. 8 – Curva caratteristica e di rendimento dell'elettropompa



L'applicazione della strategia VOS ha consentito di determinare le geometrie ottimali della PAT, sia utilizzando un sistema di regolazione idraulico che un sistema di regolazione elettrico.

I risultati della progettazione per i due sistemi sono riportati nelle Tabb. 1 e 2.

Si osserva che:

- la tipologia di elettropompa ipotizzata può essere impiegata nel caso di regolazione idraulica in un ampio campo di valori di pressione residua imposta;
- nel caso di regolazione idraulica è possibile la conversione in energia elettrica di una frazione che raggiunge il 59% dell'energia dissipata;
- per tutti i valori di pressione residua considerati l'energia convertita nel caso di regolazione idraulica non scende mai al disotto del 47%;
- la tipologia di elettropompa ipotizzata può essere impiegata nel caso di regolazione elettrica in un più ristretto campo di valori di pressione residua imposta;
- nel caso di regolazione elettrica è possibile la conversione in energia elettrica di una frazione che raggiunge il 54% dell'energia dissipata;
- nell'ambito dei valori di pressione residua in cui è possibile la regolazione elettrica la frazione dell'energia prodotta rispetto a quella dissipata presenta una variabilità maggiore rispetto a quanto accade per regolazione idraulica.

Tab. 1 – Risultati della VOS per regolazione idraulica

BP [m]	D [mm]	N [rpm]	η_p^{HR} [-]
10	186	3.000	0.59
15	190	3.000	0.59
20	191	3.000	0.59
25	187	3.000	0.56
30	181	3.000	0.53
35	176	3.000	0.48
40	208	3.000	0.47
45	219	1.500	0.51
50	232	1.500	0.54
55	237	1.500	0.55
60	221	1.000	0.50

A commento di questi risultati può dirsi che la regolazione con inverter, apparentemente molto vantaggiosa per l'assenza di circuiti idraulici asserviti alla PAT, presenta due inconvenienti. Il primo è che il campo di impiego di una elettropompa è più ridotto che nel caso di regolazione idraulica in quanto le curve caratteristiche al variare del numero di giri presentano un campo di variazione nel piano (Q, H) abbastanza limitato. Non è stato possibile, infatti, trovare la soluzione progettuale per alcuni valori di pressione residua, in quanto le curve caratteristiche non erano in grado di coprire l'intero campo di variabilità dei punti di funzionamento al nodo. Il secondo inconveniente riguarda il basso valore di efficienza associato al funzionamento della PAT per alcuni punti di funzionamento che risultano molto lontani dal punto di efficienza massimo (BEP) della elettropompa per il numero di giri ad essa assegnato dall'inverter.

Tab. 2 – Risultati della VOS per regolazione con inverter

BP [m]	D [mm]	η_p^{ER} [-]
10	238	0.31
15	230	0.40
20	220	0.5
23	216	0.54
25	219	0.54
30	232	0.49
35	251	0.40
37	270	0.28
40	-	-

4. Conclusioni

Le reti di distribuzione idrica sono caratterizzate da una forte variabilità del regime idraulico in termini sia di portate che di pressioni. Tale variabilità deve essere affrontata nelle fasi di progettazione di un impianto idroelettrico che consenta il recupero energetico nelle reti idriche e in questo lavoro è stata descritta una strategia di progetto per le elettropompe utilizzate come turbine (PAT). Una volta assegnato il valore di pressione residua richiesto in condotta, la regolazione dell'impianto di produzione può essere effettua-

ta tramite un circuito idraulico oppure per mezzo di un inverter che modifichi la velocità di rotazione della PAT e ne alteri la curva caratteristica.

La strategia proposta in questo lavoro, denominata VOS (Variable Operating Strategy), consente il progetto in condizioni idrodinamiche variabili nel tempo e fornisce la dimensione ottimale della turbina al fine massimizzare sia l'energia prodotta sia l'efficienza complessiva dell'impianto. La VOS, inoltre, può essere utilizzata per identificare il sistema di regolazione, idraulico o elettrico, economicamente più vantaggioso.

Dai confronti effettuati in un caso studio emerge che per una assegnata tipologia di elettropompe l'efficienza globale massima ottenuta con i due sistemi di regolazione si presenta poco diversa. La stessa tipologia di PAT può essere utilizzata, tuttavia, nel caso di regolazione idraulica in un più ampio campo di valori di pressione residua di progetto.

Bibliografia

- Ansyst inc. (2006), *ANSYS CFX Reference guide*, Ansys Inc., Canonsburg.
- Bertola P., Nicolini M. (2006), "Gestione ottimale delle perdite in sistemi di distribuzione idrica tramite valvole riduttrici di pressione", in *La ricerca delle perdite e la gestione delle reti di acquedotto*, Morlacchi, Perugia.
- Carravetta A. (2005), "Idrovalvola con turbina per il recupero dell'energia idraulica in esubero nelle reti di distribuzione idrica", *Atti della Conferenza Nazionale sulla Politica Energetica in Italia*, Bologna.
- Carravetta A., Del Giudice G., Fecarotta O., Ramos H. (2012a), "Energy Production in Water Distribution Networks: A PAT Design Strategy", *Water Resource Manage*, doi: 10.1007/s11269-012-0114-1 (in stampa).
- Carravetta A., Del Giudice G., Fecarotta O., Ramos H. (2012b), "Energy recover in water distribution networks: a PAT design strategy by hydraulic or electrical regulation", *Energies* (presentato).
- Carravetta A., Giugni M. (2009), "Functionality factors in the management and rehabilitation of water networks", in *Management of Water Networks, Proceedings of the Conference: Efficient management of water networks. Design and Rehabilitation Techniques*, FrancoAngeli, Milano.
- Carravetta A., Panico M. (2006), "Incremento dell'efficienza energetica nelle reti di distribuzione idrica ad uso potabile", in *La ricerca delle perdite e la gestione delle reti di acquedotto*, Morlacchi, Perugia.
- Derakhshan S., Nourbakhsh A. (2008), "Experimental study of characteristic curves of centrifugal pumps working as turbines in different specific speeds", *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 32, pp. 800-807.
- Fecarotta O., Carravetta A., Ramos H. (2011), "CFD and comparisons for a pump as turbine: mesh reliability and performance concerns", *International Journal of Energy Environment*, Vol. 2(1), pp. 39-48.