

FrancoAngeli

LA GESTIONE DELLE RETI IDRICHE

**Atti del convegno
"La gestione delle
reti di distribuzione
idrica: dagli aspetti
tecnico-progettuali
a quelli
economico-normativi"**

Ferrara, maggio 2010

**a cura di
Paolo Bertola
Marco Franchini**

**Centro Studi
Sistemi Idrici**



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.

I saggi pubblicati in collana sono stati sottoposti a refereeing anonimo di due accademici o operatori nella disciplina di pertinenza.

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

Monografie

- “L’acquedotto civico di Genova – Un percorso al futuro” *Claudio Guastoni*
“L’arsenico nelle acque destinate al consumo umano” *a cura di Osvaldo Conio, Roberto Porro*
“Il settore idrico italiano – Strategie e modelli di business” *a cura di Andrea Gilardoni, Alessandro Marangoni*
“L’acqua in tavola – Caratteristiche, produzione, consumi, controlli e legislazione vigente per le acque potabili, le minerali naturali, le acque di sorgente, le acque in boccione e quelle affinate al punto d’uso” *a cura di Giorgio Temporelli, Nicoletta Cassinelli*
“La radiazione UV nel trattamento delle acque destinate al consumo umano” *Giorgio Temporelli, Roberto Porro*
“The Economics of the Water Industry: Technology, Ownership and Efficiency” *Amedeo Amato, Maurizio Conti*
“Introduzione alla termovalorizzazione dei rifiuti” *a cura di Marco Ragazzi, Renzo Del Duro*
“Gli acquedotti genovesi” *Giorgio Temporelli, Nicoletta Cassinelli*
“La raccolta differenziata dei rifiuti e il riciclo delle materie seconde” *Nicoletta Cassinelli, Renzo Del Duro*
“L’acqua nella storia” *Francesco Mantelli, Giorgio Temporelli*
“L’industria idrica in alcuni paesi europei - Aspetti istituzionali e organizzativi - Volume I” *a cura di Amedeo Amato*
“L’industria idrica in alcuni paesi europei - Aspetti istituzionali e organizzativi - Volume II” *a cura di Amedeo Amato*
“Le imprese del settore idrico in Italia: una analisi di benchmarking” *a cura di Lanfranco Senn*
“Energia da biomasse e rifiuti” *a cura di Marco Ragazzi, Elena Cristina Rada*
“Finanza e regolazione nel settore idrico - Volume I” *a cura di Amedeo Amato*

Quaderni tecnici

- “I materiali filtranti granulari” *a cura di Luciano Coccagna, Claudia Lasagna*
“Il telecontrollo nei servizi di pubblica utilità” *Rocco Cutuli*
“Coagulanti e flocculanti nei trattamenti di potabilizzazione” *Luciano Coccagna, Fiorina De Novellis*
“Piccoli sistemi di potabilizzazione. Guida alla scelta del trattamento più appropriato” *Luciano Coccagna, Giuliano Ziglio*
“TNO Report. SCADA Security Good Practices per il settore delle acque potabili” *Eric Luijff. Edizione italiana a cura di Enzo Maria Tieghi*

Atti di convegni

- “La gestione delle perdite idriche: la situazione in Italia”. Atti del convegno “Verso una gestione più efficace delle perdite nei sistemi idrici secondo l’approccio dell’IWA” – Genova, Ottobre 2004 – *redazione editoriale a cura di Fiorina De Novellis, Claudia Lasagna*
“Management of Water Networks” Proceedings of the Conference “Efficient Management of Water Networks. Design and Rehabilitation Techniques” – Ferrara, May 2006 – *edited by Paolo Bertola, Marco Franchini*
“La gestione delle reti idriche”. Atti del convegno “Aspetti economici e tecnici nella gestione delle reti di distribuzione idrica” – Ferrara, Maggio 2008 – *a cura di Paolo Bertola, Marco Franchini*
“La gestione delle reti idriche”. Atti del convegno “La gestione delle reti di distribuzione idrica: dagli aspetti tecnico-progettuali a quelli economico-normativi” – Ferrara, Maggio 2010 – *a cura di Paolo Bertola, Marco Franchini*

**LA GESTIONE
DELLE RETI IDRICHE**

**Atti del convegno
"La gestione delle
reti di distribuzione
idrica: dagli aspetti
tecnico-progettuali
a quelli
economico-normativi"**

Ferrara, maggio 2010

**a cura di
Paolo Bertola
Marco Franchini**

**Centro Studi
Sistemi Idrici**

FrancoAngeli

Copyright © 2011 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	7
P. Bertola, G. Silvagni, M. Nicolini, F. Volpi: “La producibilità mini-idroelettrica nelle reti di distribuzione idrica: aspetti tecnici e normativi”	9
P. Bertola, M. Colosimo, M. Nicolini: “Modellazione e gestione energetica ottimale di piccole reti di distribuzione”	26
E. Orsi, S. Mambretti, V. Garattini: “Valutazione e ottimizzazione energetica di una rete acquedottistica complessa mediante interventi sui sistemi di pompaggio dotati di <i>inverter</i> : il caso della città di Milano”	38
L. Antipodi, A. Carravetta, O. Fecarotta, H. Ramos, F. Turini: “Simulazione fluidodinamica di pompe inverse: recupero energetico e regolazione nelle reti idriche”	50
R. Ugarelli, V. Di Federico, S. Bruaset: “Analisi dei limiti imposti dai dati sulla previsione delle rotture delle condotte di acquedotto”	63
S. Meniconi, B. Brunone, M. Ferrante, C. Massari: “Stima dell’assetto di un dispositivo di linea mediante analisi di lungo periodo. Primi risultati”	74
P. Veltri, A. Fiorini Morosini, F. Orlando: “Aspetti della calibrazione in reti idriche teoriche mediante approcci di tipo probabilistico: variabilità del risultato in funzione della tipologia di misure a disposizione”	88
C. Di Cristo, G. Esposito, A. Leopardi: “La calibrazione di modelli di qualità per sistemi acquedottistici. Applicazione a un caso di studio”	105
S. Liberatore, G. M. Sechi: “Distrettualizzazione ottimale delle reti di distribuzione: analisi di strategie di riduzione del grafo della rete”	115

L. Berardi, D. Laucelli, M. Mastrorilli, O. Giustolisi: “Analisi delle reti idrauliche di grande dimensione”	127
A. Di Nardo, M. Di Natale, G. F. Santonastaso: “Una metodologia per la distrettualizzazione di una rete idrica di distribuzione basata sulla teoria dei grafi”	137
E. Creaco, M. Franchini, S. Alvisi: “La dislocazione delle valvole di chiusura in una rete idrica complessa”	148
R. Gargano, F. Granata, M. Saroli, M. Albano: “Approccio integrato per la perimetrazione delle aree di salvaguardia”	162
R. Guercio, L. Rubeo: “Caratterizzazione probabilistica del bilancio idrico nelle reti di adduzione”	184
C. Arena, A. Fortunato, M. R. Mazzola: “Identificazione del campione ottimale di consumi per la stima del bilancio idrico in un ATO: il caso di Siracusa”	194
G. Colarullo, M. Genco, M. R. Mazzola: “Modelli tariffari alternativi per il finanziamento del rinnovo e manutenzione delle reti idriche”	208
G. M. Sechi, R. Zucca, P. Zuddas: “Definizione dell’assetto tariffario nei sistemi idrici multisettoriali con l’uso di tecniche della teoria dei giochi cooperativi”	220
A. F. Piccinni, V. Specchio, C. Messina, F. Melli, M. Pacifico, G. Balacco: “Le implicazioni del principio del <i>full cost recovery</i> nella programmazione dell’uso delle risorse idriche a scala di bacino”	233
R. Ermini, P. Ingeduld: “ <i>Performance indicators</i> nelle infrastrutture del servizio idrico integrato”	249
Elenco degli acronimi	260

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 36/1994.

Un aspetto peculiare del gruppo è la stretta collaborazione con i tecnici delle Aziende che distribuiscono l'acqua potabile, come testimonia il Convegno: "La gestione delle reti di distribuzione idrica: dagli aspetti tecnico-progettuali a quelli economico-normativi", che si è tenuto a Ferrara il 20 maggio 2010 nell'ambito della manifestazione H₂O – ACCADUEO 2010. 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 di 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 a cui va un sentito ringraziamento. Un ringraziamento particolare va inoltre all'ing. Enrico Creaco che ha curato l'omogeneizzazione formale delle diverse memorie oltre che il loro assemblaggio.

Le precedenti occasioni di scambio di esperienze tecnico-scientifiche tra i due settori che si occupano dei sistemi di distribuzione idrica (Università ed 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 del 21 maggio 2004: “La gestione e l’affidabilità dei sistemi acquedottistici”; 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. 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 fu caratterizzata dalla pubblicazione degli Atti relativi al Convegno del 21 maggio 2008: “Aspetti economici e tecnici nella gestione delle reti di distribuzione idrica”; gli argomenti trattati sono l’ideale anticipazione di quelli sviluppati nell’edizione 2010 di ACCADUEO, cioè di quelli riportati in questi Atti.

Ferrara, maggio 2010

Paolo Bertola e Marco Franchini
(CSSI - Editors)

LA PRODUCIBILITÀ MINI-IDROELETTRICA NELLE RETI DI DISTRIBUZIONE IDRICA: ASPETTI TECNICI E NORMATIVI

P. Bertola^{*}, ***G. Silvagni***^{**}, ***M. Nicolini***^{***}, ***F. Volpi***^{**}

^{*} Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Trento,
Via Mesiano 77 – 38123 Trento

^{**} Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Roma “Tor Vergata”,
Via del Politecnico 1 – 00133 Roma

^{***} Dipartimento di Georisorse e Territorio, Università degli Studi di Udine,
Via del Cottonificio 114 – 33100 Udine

e-mail: paolo.bertola@unitn.it, silvagni@ing.uniroma2.it,
matteo.nicolini@uniud.it, volpi@ing.uniroma2.it

Sommario

Le problematiche relative all’ottimizzazione delle reti di distribuzione idrica passano anche attraverso il controllo dei valori assunti dalla superficie piezometrica. In determinate situazioni, l’introduzione di mini turbine idrauliche consente, oltre alla riduzione della piezometrica ed ai conseguenti benefici sulla diminuzione delle perdite, di produrre energia elettrica da fonte rinnovabile senza interferenze con la normale distribuzione di acqua potabile. La memoria tratta dei problemi idraulici ed elettrici connessi all’inserimento nelle reti di distribuzione idrica ed elettrica di tali dispositivi e degli aspetti economici e normativi che tale produzione introduce nella gestione dei rispettivi servizi.

1. Introduzione

L'obiettivo di sviluppare un'efficiente industria dell'acqua da parte degli Enti Gestori della risorsa idrica è il principio guida della legge n. 36 del 5 gennaio 1994.

In base ai requisiti della legislazione nazionale, una gestione efficiente ed ottimale di una rete di distribuzione idrica ha come primo obiettivo l'individuazione degli adeguamenti tecnici necessari alla minimizzazione dei costi a fronte della massimizzazione del prodotto-servizio.

È oramai presente un'ampia bibliografia nazionale ed internazionale che evidenzia come la riduzione delle perdite nelle reti di distribuzione consente, da un lato, una riduzione di acqua immessa in rete e quindi una riduzione di acqua prelevata dalle fonti di approvvigionamento e, dall'altro, un risparmio economico complessivo da parte degli Enti gestori legato non solo al costo della risorsa, ma anche ad un risparmio energetico in presenza di impianti di rilancio, di pozzi, di processi di potabilizzazione.

L'annullamento delle perdite nelle reti di distribuzione idrica idealmente può risolversi con l'individuazione, tramite una campagna di ricerca perdite, dei punti di rottura e relativa ristrutturazione o sostituzione delle condotte e delle apparecchiature idrauliche.

Tale opportunità non rispetta l'obiettivo indicato dalla legge, che pone tra i punti prioritari da perseguire l'economicità degli interventi.

Bertola (P. Bertola et al. 2009), con riferimento alla rete di Tarcento e Magnano in Riviera in provincia di Udine, ha proposto un criterio di ottimizzazione del sistema idrico da attuarsi in due fasi distinte: una prima fase basata sul risanamento delle condotte principali a valle di una campagna di ricerca perdite; una seconda fase procedendo con i criteri di distrettualizzazione delle reti per la riduzione delle perdite diffuse nei rami di consegna all'utenza, distrettualizzazione ottenuta ovviamente grazie all'installazione di valvole di riduzione della pressione (PRV).

Il criterio applicato alla rete di Tarcento e Magnano in Riviera (UD) consentirebbe una riduzione di volume immesso in rete di oltre il 60% e l'eliminazione di un sollevamento in rete (tab. 1).

Se l'efficienza della rete implica la minimizzazione dei costi a fronte della massimizzazione del servizio, gli interventi proposti sulla rete di Tarcento risultano in linea con tali obiettivi. Infatti, la decisione di ipotizzare una campagna di ricerca perdite e loro riparazione per le condotte con diametro superiore a 125 mm nasce dal rilievo che tali condotte attraversano le zone più periferiche del comune e, pertanto, risulta più semplice operare

con le modalità e i tempi necessari, arrecando il minor danno possibile alle attività antropiche ed ovviamente limitando i costi di realizzazione.

L'adozione di valvole di riduzione di pressione è una delle migliori tecnologiche disponibili oggi sul mercato ed il loro inserimento ha evidenziato un risparmio di risorsa tale che rapidamente l'Ente gestore è in grado di ammortizzare l'investimento iniziale.

Tuttavia, nell'ottica di una promozione dell'innovazione tecnologica necessaria all'ammodernamento di reti ed impianti, partendo dai risultati ottenuti sulla rete di Tarcento si vuole approfondire la possibilità di sostituire le valvole di regolazione di pressione con microturbine o pompe funzionanti come turbine (PAT) in grado di garantire il livello di servizio compatibile con la richiesta dell'utenza e nel contempo produrre energia elettrica. Tali installazioni possono quindi rappresentare un elemento di sinergia tra il controllo della pressione nel sistema e la valorizzazione di fonti energetiche rinnovabili.

Tab. 1 - Recupero idrico per risanamento condotte, distrettualizzazione ed inserimento di PRV (Bertola et al., 2009)

	V _{imm.} (l/ab/d)	V _{erog.} (l/ab/d)	V _{perd. fisiche} (l/ab/d)	V _{recup.} (l/ab/d)	Rid.Perd. (%)	Rid.V _{imm.} (%)
Stato attuale	640,00	200,06	439,94	--	--	--
Ristrutturazione condotte	436,00	200,06	235,94	204	46,37	31,88
1 PRV	409,43	200,06	209,37	26,57	11,26	6,09
2 PRV	397,60	200,06	197,54	38,40	16,28	8,80
3 PRV	391,66	200,06	191,60	44,34	18,79	10,17
4 PRV	388,92	200,06	188,86	47,08	19,95	10,80
5 PRV	380,55	200,06	180,49	55,45	23,50	12,72

La produzione di energia elettrica nell'ambito della gestione delle reti va considerata equivalente agli interventi atti a ridurre le perdite. Infatti, se la riduzione delle perdite consente di abbattere il costo del servizio, la produzione di energia elettrica costituisce un guadagno per il sistema che contribuisce all'abbattimento dei costi generali.

Ai benefici sulla rete legati alla riduzione delle perdite si aggiunge per l'Ente un ulteriore ritorno economico legato alla produzione di energia elettrica da rimettere sul mercato con le modalità ed i benefici che la normativa vigente consente.

In termini di equilibrio tariffario l'Unione Europea fissa come obiettivo la copertura totale dei costi di approvvigionamento, gestione e servizio con

la tariffa all'utenza. Mediamente, in base al rapporto INDIS (Istituto Nazionale Distribuzione e Servizi – Unioncamere, 2004) in Italia gli Enti gestori coprono circa il 93% dei costi di gestione con una disuguaglianza anche di parecchi punti percentuali sul territorio nazionale (Nord Est 95%, Sud 81%) (tab. 2).

L'utilizzo di impianti di produzione energetica da fonti rinnovabili si ritiene possa consentire ai gestori di tendere all'equilibrio auspicato dall'Unione Europea non agendo sulla tariffa bensì utilizzando il rispettivo guadagno economico dalla vendita e riutilizzo diretto dell'energia come mitigatore dei costi gestionali.

Tab. 2 - Grado di copertura dei costi in % dei costi totali e dati di prezzo (Fonte INDIS, 2004)

	Italia	Nord Ovest	Nord Est	Centro	Sud
Copertura costi	92,3	88,5	97,0	94,8	80,9
<i>numerosità</i>	228	97	80	22	29
Ricavi unitari (€/Mc)	0,51	0,42	0,53	0,64	0,55
<i>numerosità</i>	228	97	80	22	29
Costi unitari (€/Mc)	0,55	0,48	0,56	0,81	0,67
<i>numerosità</i>	228	97	80	22	29
Tariffa media	0,42	0,36	0,47	0,48	0,49
<i>numerosità</i>	230	100	79	22	29
Quota volumi persi (%)	25,4	23,4	22,4	30,3	39,2
<i>numerosità</i>	223	93	79	22	29
Indice lineare perdite totali	4572	5165	3255	3807	7701
<i>numerosità</i>	222	92	79	22	29

2. Aspetti normativi

Per idroelettrico minore o mini-hydro si intende lo sfruttamento idroelettrico in impianti con modeste potenze. A livello internazionale non c'è accordo sulla sua definizione: in Portogallo, Spagna, Irlanda, Grecia e Belgio il limite superiore per potenza installata è pari a 10 MW. In Francia il limite è stato stabilito in 8 MW e nel Regno Unito in 5 MW.

In Italia l'ENEL, nei suoi studi di utilizzazione delle piccole risorse idroelettriche e di ripristino degli impianti abbandonati, fissa in 5 MW la corrispondente potenza massima. La legge n. 308 del 29 maggio 1982 riguardante "Norme sul contenimento dei consumi energetici, lo sviluppo delle fonti rinnovabili di energia e l'esercizio di centrali elettriche alimenta-

te con combustibili diversi dal petrolio”, indica in 3 MW la potenza massima degli impianti non soggetti alla riserva dell’ENEL.

Senza precisarlo categoricamente, sembra che il legislatore abbia considerato piccolo il suddetto limite di 3 MW.

L’UNI, Ente Nazionale di Unificazione, nel fascicolo UNI 4715 dell’aprile 1982: “Foglio dati per piccola turbina idraulica”, al punto 2 indica in 1 MW la sua potenza unitaria.

Nel mondo si stima che l’idroelettrico minore abbia una potenza installata pari a 47.000 MW, con un potenziale tecnico ed economico vicino a 180.000 MW. In Europa la potenza installata è di circa 9.500 MW (Penche, 1998).

Nella evidente necessità di concordare una terminologia comune con riferimenti definiti, il problema è stato affrontato in occasione del “Convegno per lo sviluppo e l’applicazione della tecnologia per la generazione di energia elettrica di piccola potenza” organizzato nel 1980 in Cina e nelle Filippine dall’UNIDO (*United Industrial Developed Organization*, Organizzazione delle Nazioni Unite per lo sviluppo industriale). Secondo la classificazione introdotta dalla UNIDO (Penche, 1998) nella tab. 3 si riporta la classificazione proposta per gli impianti idroelettrici.

Tab. 3 - UNIDO – Classificazione impianti idroelettrici

	pico impianti	micro impianti	mini impianti	piccoli impianti	grandi impianti
P (kW)	< 5.0	tra 5 e 100	tra 100 e 1000	tra 1000 e 10.000	> 10.000

Il valore di potenza che viene indicato come limite di separazione tra il campo della “mini-idraulica” e dei grandi impianti risulta quindi pari a 10 MW.

Nella realtà italiana sarebbe più corretto considerare come limite superiore del mini-hydro la potenza di 20 MW , in modo da allinearsi con la taglia presa a riferimento dall’Autorità per l’Energia Elettrica e il Gas nelle delibere di determinazione dei prezzi di cessione dell’energia (GSE, 2009).

In Italia, come negli altri paesi europei, la normativa è in continua evoluzione. Attualmente la norma di riferimento per impianti da fonte rinnovabile è il decreto “Incentivazione della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili” (D.M. 18/12/2008) che abroga il Decreto 24/10/2005 e stabilisce le modalità attuative dei nuovi meccanismi di incentivazione.

3. Aspetti tecnici

L'inserimento di turbine in un sistema di distribuzione è un'applicazione non usuale che richiede un'attenta analisi preliminare per assicurare il mantenimento di valori adeguati di pressione nel sistema di distribuzione (Afshar et al. 1990; Carravetta, 2005), il controllo degli aspetti sanitari, il potenziale danneggiamento delle condotte per effetto di transitori di moto vario (Bathala, 1985; Ramos e Borga, 2000). Quest'ultimo aspetto è da valutare con attenzione in relazione alla stabilità del sistema di controllo dell'impianto in condizioni di normale funzionamento ed in situazioni specifiche, quali l'avviamento o il distacco del carico elettrico (Apolloni et al. 2005), al fine di identificare opportune componenti impiantistiche a protezione del sistema di distribuzione.

A fronte delle potenze ricavabili sarebbe necessario disporre di unità di regolazione e produzione caratterizzate da costi ridotti e facilità di installazione.

Nell'insieme notevoli, e suscettibili di pochi perfezionamenti, si possono considerare i risultati tecnici raggiunti dalle moderne turbine destinate all'azionamento dei piccoli generatori elettrici.

A differenza del passato, in cui le turbine venivano progettate e costruite di volta in volta per la portata ed il salto disponibili, oggi si nota la tendenza da parte delle principali aziende costruttrici di standardizzare la produzione delle turbine utilizzabili in piccoli impianti e di mantenere il rendimento, per una stessa turbina, in limiti accettabili anche operando in una fascia di valori diversi di portata e salto, in modo tale da permettere al progettista di scegliere "da catalogo" la turbina che più si addice all'impianto da costruire con una spesa notevolmente ridotta. Già l'ENEL nel 1979 diede incarico alla Hydroart di Milano di studiare una serie di turbine fino a 3000 kW di potenza unitaria adatte all'impiego in differenti condizioni di salto e di portata. È

Nel campo di interesse delle reti di distribuzione cittadina [micro-impianti ($P < 100$ kW)], data l'assenza di una produzione in serie normalizzate di turbine, e dunque dati i costi elevati per la progettazione e produzione della turbina stessa, si è da tempo proposto l'utilizzo delle pompe centrifughe a funzionamento inverso come turbine (PAT).

L'impiego delle PAT si presenta come un'alternativa valida (particolarmente a livello economico) fino a quando non saranno disponibili in serie turbine tra le quali scegliere quella più corrispondente alle caratteristiche di salto e di portata dell'impianto nel quale si deve operare. È naturale

che macchine costruite per una specifica funzione meglio si prestano a svolgerla rispetto ad altre adattate perché studiate per altri scopi; evidente è però il vantaggio di cercare nelle serie normalizzate la PAT necessaria per un nuovo impianto sia per il minor costo che per i tempi di consegna.

In definitiva esistono una serie di vantaggi nell'utilizzare pompe funzionanti come turbine in alternativa alle normali turbine:

- produzione di serie che si traduce in minor costi sostenibili;
- pompe e motori in unico blocco possono essere utilizzati come turbine e generatori;
- disponibilità per un ampio campo di carichi e portate;
- ridotti tempi di consegna e facile installazione;
- parti di ricambio facilmente disponibili sul mercato.

I principali svantaggi rispetto all'utilizzo di normali turbine che si possono incontrare nell'utilizzo delle PAT consistono nei minori rendimenti e, soprattutto, nella difficoltà di determinare le curve caratteristiche del funzionamento a turbina in quanto poche sono ad oggi le prove sperimentali effettuate dai principali costruttori di pompe.

Le relazioni sperimentali disponibili su questo aspetto sono limitate (Amelio et al., 2000; Derakhshan e Nourbakhsh, 2008); i dati sperimentali mostrano che le curve caratteristiche dimensionali di tutte le PAT basate sui loro B.E.P (Best Efficient Point con funzionamento a pompa) sono approssimativamente le stesse. Le curve caratteristiche dei carichi dissipati e della potenza ricavabile dall'impianto, scritte in forma dimensionale, possono essere stimate utilizzando le relazioni sotto riportate, che sfruttano il secondo ed il terzo ordine polinomiale rispettivamente:

$$\frac{H_t}{H_{tb}} = 1,0283 \cdot \left(\frac{Q_t}{Q_{tb}}\right)^2 - 0,5468 \cdot \left(\frac{Q_t}{Q_{tb}}\right) + 0,5314 \quad (1)$$

$$\frac{P_t}{P_{tb}} = -0,3092 \cdot \left(\frac{Q_t}{Q_{tb}}\right)^3 + 2,1472 \cdot \left(\frac{Q_t}{Q_{tb}}\right)^2 - 0,8865 \cdot \left(\frac{Q_t}{Q_{tb}}\right) + 0,0452 \quad (2)$$

dove Q_t , H_t e P_t rappresentano rispettivamente portata, salto e potenza nel generico punto di funzionamento; Q_{tb} , H_{tb} e P_{tb} portata, salto e potenza nel punto di funzionamento ottimale come turbina. Questi ultimi valori sono determinabili con formule sperimentali che consentono di correlare la curva caratteristica della pompa nel suo punto ottimale di funzionamento (BEP, Best Efficient Point) a quello del suo funzionamento ottimale come turbina (Derakhshan e Nourbakhsh, 2008).

La curva dell'efficienza η può essere ottenuta per ogni punto di funzionamento utilizzando la relazione:

$$\eta_t = \frac{P_t}{\rho \cdot g \cdot Q_t \cdot H_t} \quad (3)$$

3.1. Problematiche di installazione di una PAT

Lo schema dell'impianto in presenza di una PAT posta in linea con la condotta è essenzialmente realizzato da due tratti in parallelo: un tronco ospita la PAT seguita da una valvola di regolazione PRV e l'altro, funzionante da by-pass, ospita una valvola a fuso (con il compito di ripartire le portate tra i due tratti) ed una PRV (fig. 1). Ad essi vanno poi aggiunti gli organi di regolazione e di controllo, gli strumenti di misura ed i componenti elettrici.

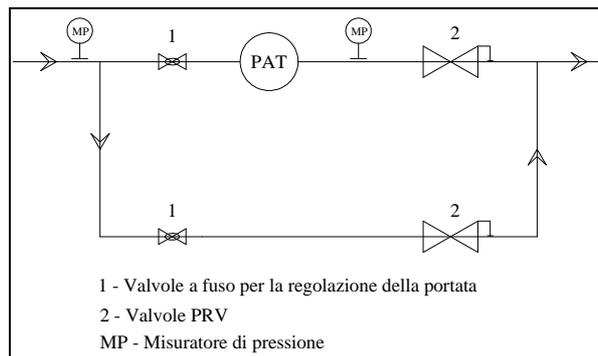


Fig. 1 - Schema installazione PAT

La curva caratteristica di una PAT è tale che per basse portate si hanno ridotti salti energetici; all'aumentare della portata il salto aumenta esponenzialmente. Al fine di mantenere la pressione a valle della PAT costante e compatibile con il servizio idrico e con i carichi piezometrici imposti a valle dell'impianto (necessari per migliorare le prestazioni del sistema) e, nel contempo, garantire all'utenza la portata richiesta (variabile nell'arco della giornata e nelle diverse giornate dell'anno), è necessaria una ripartizione della portata con una regolazione in continuo comandata da una centralina che controlla il grado di apertura della valvola a fuso posta nel by-pass.

La fig. 2 mostra la curva caratteristica della PAT e la curva caratteristica dell'impianto che rappresenta le portate transittanti ed i carichi che devono essere dissipati al fine di mantenere a valle dell'impianto una pressione costante.

Il funzionamento idraulico dello schema proposto è sintetizzato in:

- portata richiesta dall'utenza pari a Q^* : tutto il carico ΔH^* è dissipato dalla PAT. Assenza di ripartizione della portata;
- portata richiesta dall'utenza pari a $Q_1 < Q^*$: il carico ΔH_{1P} è dissipato dalla PAT, il carico $\Delta H_1 - \Delta H_{1P}$ è dissipato dalla valvola PRV posta sul ramo della PAT. Assenza di ripartizione della portata.

Se la portata richiesta dall'utenza è pari a $Q_2 > Q^*$, la PAT tenderebbe a dissipare un carico maggiore di quello compatibile col servizio idrico. Il misuratore di pressione registrerà allora pressioni a valle della PAT minori del valore imposto e quindi attraverso le valvole a fuso devierà parte della portata nel ramo di by-pass, riducendo così la portata transittante ed i carichi dissipati dalla PAT. Si otterrà una portata transittante nella PAT pari a Q_{2P} , un carico dissipato pari a ΔH_2 (compatibile col servizio idrico).

Per portate transittanti nella PAT eccessivamente piccole (Q_{min}) corrispondenti a rendimenti inferiori al 20%, data la scarsa produzione energetica è preferibile deviare tutta la portata nel by-pass.

Il by-pass, oltre a garantire il corretto funzionamento del sistema al variare delle portate, consente di garantire il servizio all'utenza durante le operazioni di manutenzione della PAT.

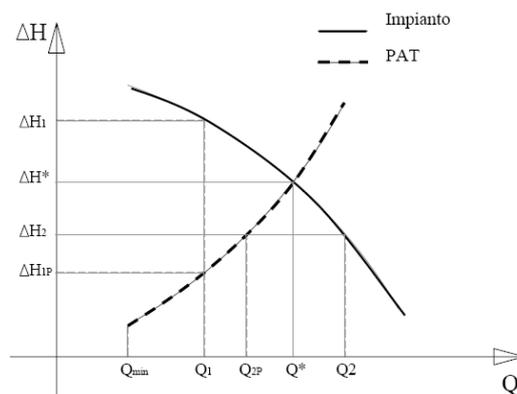


Fig. 2 - Diagramma funzionamento impianto

Dallo schema proposto emerge la necessità di sviluppare un'adeguata sperimentazione, sia per valutare la stabilità del sistema di regolazione sincrona tra PAT e valvola a fuso (con particolare riguardo all'insorgere di fenomeni transitori di moto vario che andrebbero a gravare sulle condotte del sistema di distribuzione), sia i problemi di stabilità legati al funzionamento in parallelo delle PRV presenti.

3.2. *Collegamento alla rete elettrica*

Il collegamento dell'elettrogeneratore (turbina + generatore) alla rete elettrica non presenta, per il caso in esame con piccole potenze a disposizione, particolare difficoltà. Infatti la scelta del livello di tensione cui allacciare un produttore dipende dalla potenza dell'impianto di produzione, da quella dei carichi passivi e di altri impianti di produzione presenti sulla stessa rete.

Le disposizioni tecniche dell'ENEL suggeriscono per potenze nominali inferiori ai 50 kW che gli impianti di produzione vengano allacciati alla rete di bassa tensione (BT); inoltre l'allaccio alla rete BT può avvenire su linea esistente, su linea dedicata o tramite cabina di trasformazione MT/BT (MT = media tensione; BT = bassa tensione).

Qualunque sia la potenza del generatore, per legge si deve provvedere alla misura dell'energia prodotta e se ne prescrivono le modalità.

Il funzionamento di un impianto di produzione in parallelo alla rete ENEL è subordinato a precise condizioni di esercizio. In particolare il regime di parallelo:

- non deve causare disturbi alla continuità e alla qualità del servizio sulla rete pubblica, in caso contrario il collegamento con la rete stessa si dovrà interrompere immediatamente ed automaticamente;
- dovrà altresì interrompersi immediatamente ed automaticamente ogniqualvolta manchi l'alimentazione della rete da parte ENEL o i valori di tensione e frequenza della rete stessa non siano compresi entro i valori consentiti;
- dovrà altresì interrompersi immediatamente ed automaticamente ogniqualvolta il valore di squilibrio della potenza generata da impianti trifase realizzati con generatori monofase non sia compreso entro il valore massimo consentito per gli allacciamenti monofase.

Al fine di ottemperare alle condizioni di esercizio imposte dall'ENEL si provvederà ad interporre tra il generatore e la rete dispositivi indicati nello schema generale seguente (fig. 3).

I generatori, che si dividono in asincroni e sincroni, hanno il compito di trasformare l'energia meccanica trasmessa dalla turbina in energia elettrica.

I generatori asincroni, che possono funzionare solamente se collegati con una rete di tensione, assorbono dalla stessa rete l'energia magnetizzante e quindi non necessitano di apparecchiature per l'eccitazione e la sua regolazione e controllo.

Per il collegamento automatico alla rete è sufficiente un rilevatore che dia il comando di chiusura dell'interruttore quando il generatore, trascinato dalla turbina, è prossimo al valore della sua velocità sincrona.

Il rendimento dei generatori asincroni è inferiore a quello dei corrispondenti alternatori sincroni; si può affermare che in generale tale rendimento è inferiore di qualche punto ai massimi carichi mentre con carichi parziali si abbassa sensibilmente rispetto a quello di un alternatore sincrono di pari potenza.

Nella scelta si deve dunque valutare se la minore producibilità complessiva degli alternatori asincroni è compensata dalla maggior semplicità dell'impianto e dai minori problemi da affrontare per il suo esercizio (tab. 4).

La possibilità di alimentare direttamente le utenze, che è prerogativa degli alternatori sincroni, richiede stabilità della frequenza, e cioè della velocità di rotazione dei gruppi indipendentemente dalle variazioni del carico. Per questa ragione i regolatori di velocità delle turbine devono essere dotati di numerosi componenti operativi che li rendono più complessi e costosi per l'acquisto, la messa in opera e la manutenzione.

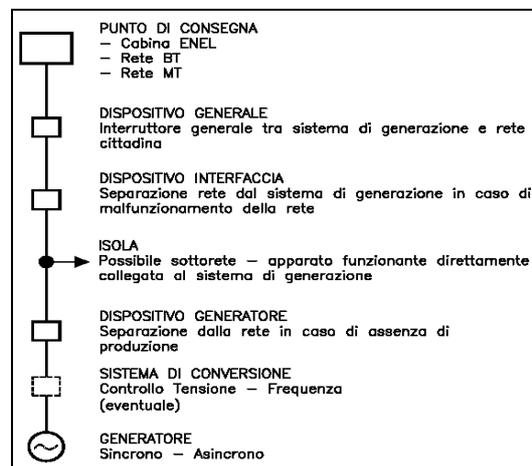


Fig. 3 - Schema generale del collegamento di un impianto di produzione alla rete ENEL