

# IDROVALVOLA CON TURBINA PER IL RECUPERO DELL'ENERGIA IDRAULICA IN ESUBERO NELLE RETI DI DISTRIBUZIONE IDRICA

Armando Carravetta

Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale "G. Ippolito", Università degli Studi di Napoli Federico II,  
Via Claudio 21, Napoli - armando.carravetta@unina.it

## SOMMARIO

Lungo le reti di distribuzione idrica vengono inseriti dispositivi idraulici, detti idrovalvole, che dissipano l'energia della corrente in eccesso rispetto a quella ottimale in rete. Analoga efficacia potrebbero avere dispositivi che permettano di valorizzare tale energia, trasformandola in energia elettrica.

Allo scopo è stata ideata una nuova idrovalvola munita di turbina, *patent pending*, che regola in maniera del tutto automatica la pressione in rete, trasformando l'energia in eccesso in energia elettrica. Per effetto della estrema facilità di regolazione che contraddistingue la nuova idrovalvola, quest'ultima può essere collegata ad un generatore di tipo tradizionale, o collegata ad un sistema di produzione del tipo di quelli recentemente sviluppati per i sistemi di produzione fotovoltaici.

L'energia producibile con tali impianti non è trascurabile. Pertanto, in attuazione delle strategie di sviluppo sostenibile, l'introduzione sistematica nelle reti idriche di tali dispositivi andrebbe incoraggiata, anche con l'ausilio di adeguate politiche di incentivazione.

## INTRODUZIONE

La necessità di soddisfare il fabbisogno energetico nazionale induce ad attuare strategie di riduzione dei consumi ed a ricercare fonti di energia alternative. Minore attenzione sembra rivolta a massimizzare l'energia ottenibile da fonti di energia "pulita" già parzialmente utilizzate.

L'idroelettrico rappresenta una fonte già ampiamente sfruttata per ciò che riguarda i grandi invasi, a seguito del forte impulso sviluppato fino agli anni '70. Impianti di minore potenza sono anche installati lungo alcune grandi adduttrici in pressione ad uso irriguo o potabile. Scarsa enfasi è rivolta, invece, al recupero ad uso produttivo dell'energia dissipata nelle reti idriche cittadine o intercomunali, o nelle reti di distribuzione irrigua.

La pratica di ridurre mediante saracinesche o idrovalvole il carico idraulico in eccesso è frequente nei casi in cui sono presenti forti variazioni di pressione, dovute al particolare andamento altimetrico della rete. Recentemente è consigliata tale prassi anche al fine di diminuire le pressioni in reti di distribuzione obsolete, limitando in tal modo l'entità delle perdite idriche [1].

Il carico idraulico eccedente, allo stato semplicemente dissipato, potrebbe, piuttosto, essere recuperato e trasformato in energia elettrica mediante l'impianto di piccole turbine. A fronte delle potenze ricavabili sarebbe necessario disporre di unità di regolazione e produzione caratterizzate da costi ridotti e facilità di installazione.

Nell'articolo viene illustrato il funzionamento di una idrovalvola di recente ideazione, *patent pending*, appositamente predisposta per la produzione di energia in reti di distribuzione idrica. L'idrovalvola trasforma il carico idraulico in eccesso, rispetto a quello ritenuto ottimale per la rete, in energia meccanica tramite una turbina, consentendo un

funzionamento del tutto automatico della rete ed uno sfruttamento di gran parte dell'energia in esubero.

Sembra possibile configurare il dispositivo sia per un uso locale dell'energia elettrica prodotta, sia nell'ambito di un sistema connesso in rete (grid connected). La preferenza per l'uno o per l'altro sistema deriverà da una analisi dei costi di ammortamento dell'impianto, legati al costo di impianto ed alla potenza prodotta. A tal fine sono in previsione prove di laboratorio finalizzate ad individuare il rendimento nelle due configurazioni del sistema.

## CENNI SULLA REGOLAZIONE DELLE PRESSIONI NELLE RETI DI DISTRIBUZIONE IDRICA

La distribuzione dell'acqua all'utenza tramite le reti di distribuzione in pressione è sostanzialmente indipendente dall'uso che viene fatto della risorsa, potabile, irriguo o industriale. Può, peraltro, cambiare nei diversi casi la configurazione della rete di condotte, ad albero (Figura 1) o a maglia (Figura 2), il valore di pressione dell'acqua che deve essere garantito all'utenza e la legge di erogazione all'utenza nel tempo.

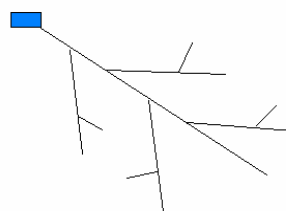


Figura 1: Rete ad albero

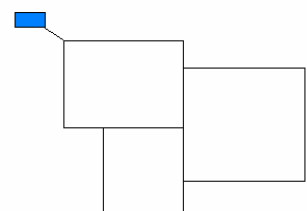


Figura 2: Rete a maglia

La corrente defluisce nelle condotte dissipando parte della potenza idraulica connessa al deflusso, usualmente rappresentata dal prodotto  $\gamma Qh$ , in cui  $Q$  è la portata volumetrica, e  $h$  rappresenta la quota piezometrica, somma della quota geodetica dell'asse della condotta,  $z$ , e della pressione espressa in metri di colonna d'acqua  $p/\gamma$ . Si è trascurato, come norma nelle condotte lunghe, il termine dell'altezza cinetica.

Il carico che consente il deflusso dell'acqua verso l'utenza è garantito nei centri urbani da serbatoi a livello invariabile disposti in uno o più punti della rete (Figura 3). Talvolta, in assenza di serbatoio di carico, l'alimentazione della rete può avvenire tramite presa in pressione da una condotta adduttrice di maggiori dimensioni.

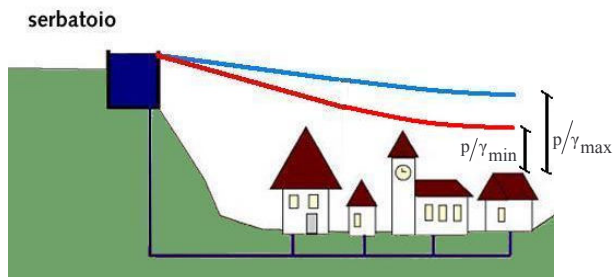


Figura 3: Andamento delle pressioni al variare dei consumi

Il carico dissipato lungo la rete per effetto dell'attrito interno al fluido rappresenta solo parte del carico disponibile al serbatoio. Infatti, in corrispondenza di ciascuna utenza l'acqua deve essere fornita con pressione che non risulti al di fuori di un limite minimo e massimo. Tale campo di pressione ottimale dipende dal tipo di utenza: ad esempio per utenza civile, come in figura 2, è usuale un  $p/\gamma$  minimo al piano stradale non inferiore ai 25-30 m, ed un massimo non superiore a 80 m.

Le perdite di carico risultano variabili nel tempo in funzione delle portate circolanti in rete e, pertanto, sono massime quando massima è la portata circolante. Di conseguenza i valori minimi e massimi di pressione in rete sono raggiunti, rispettivamente, nelle ore di massimo e minimo consumo (Figura 3).

Molto spesso, nonostante le perdite di carico lungo le condotte, risulta difficile garantire che in tutti i punti della rete la pressione non risulti maggiore del limite imposto. Ciò avviene soprattutto in presenza di forti variazioni della quota del terreno all'interno dell'abitato. In tali casi, Figura 4, è necessario dissipare il carico in eccesso,  $\Delta H$ , tramite l'uso di valvole di regolazione. Il numero e la localizzazione delle idrovalvole dipende, zona per zona, dall'andamento altimetrico della rete

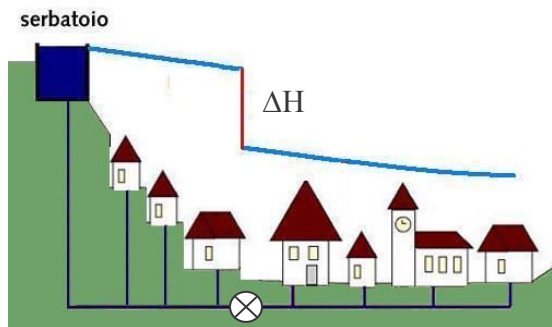


Figura 4: Andamento delle pressioni con idrovalvola

Tali valvole di regolazione riducono la sezione idrica in modo da incrementare localmente l'energia cinetica della corrente ed avere a valle della valvola una brusca decelerazione della corrente stessa. La dissipazione di energia è determinata dagli intensi vortici indotti dalla brusca decelerazione.

Dal momento che le pressioni in rete dipendono dalle portate circolanti, a loro volta funzione della domanda da parte degli utenti, si preferisce utilizzare una regolazione dinamica. Pertanto, le valvole di regolazione sono munite di dispositivi in grado di parzializzare la sezione idrica automaticamente per stabilizzare la pressione al valore ottimale di valle (Figura 5).



Figura 5: Idrovalvola a funzionamento automatico

## DESCRIZIONE DEL DISPOSITIVO IDRAULICO

Il dispositivo proposto vuole rispondere, in maniera semplice, economica ed efficiente a due funzioni: funzione di regolazione della pressione di valle e funzione di trasformazione dell'energia idraulica in esubero in energia elettrica.

Dalle idrovalvole tradizionali mutua il dispositivo di regolazione della pressione di valle, del tutto automatico, attuato tramite un meccanismo pneumatico di semplice architettura. Dalle turbine idrauliche prende, invece, la tipologia della girante, ad elica, utilizzata per la trasformazione dell'energia idraulica in energia meccanica.

La sezione longitudinale del dispositivo è mostrata in Figura 6. In Figura 7 ne è riproposto uno spaccato.

All'interno dell'idrovalvola il deflusso impegna, in parallelo, una condotta anulare esterna ed una condotta cilindrica interna.

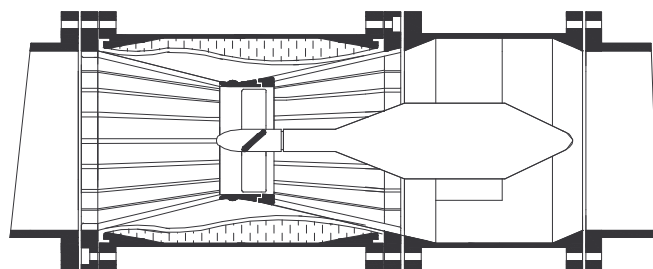


Figura 6: Sezione longitudinale del dispositivo

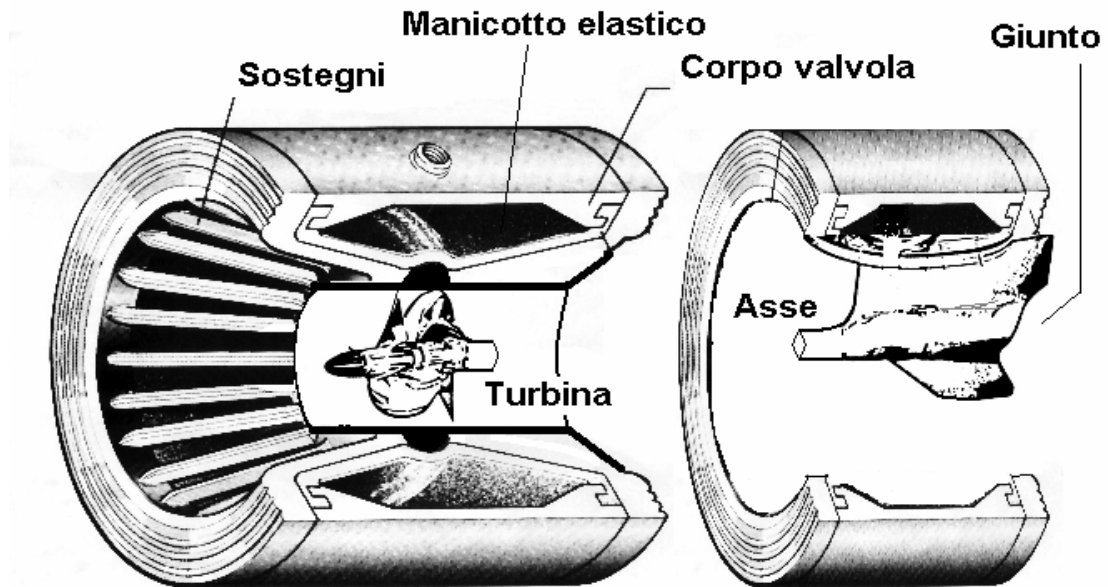


Figura 7: Spaccato del dispositivo

In Figura 6 sono facilmente visibili le due componenti principali della valvola a produzione di energia con regolazione della pressione di valle. Il dispositivo pneumatico impegna la parte esterna della condotta. Variando la pressione all'interno del manicotto elastico, è possibile parzializzare la sezione trasversale della condotta anulare esterna.

Parallelamente, la condotta centrale è interamente occupata dalla turbina ad elica che trasforma parte dell'energia posseduta dalla corrente in energia meccanica. La turbina è collegata ad un generatore elettrico collocato direttamente all'interno della condotta, come in Figura 6, o ad un giunto conico-elicoideale, come in Figura 7, per il trasferimento all'esterno della condotta dell'energia meccanica prodotta.

Il deflusso dell'acqua interessa in parallelo sia il valvolismo esterno sia l'alloggiamento nel quale è disposto il dispositivo scambiatore di energia. Nelle Figure 8-10 è evidenziato il principio di funzionamento.

La Figura 8 illustra il funzionamento della valvola a produzione di energia nel caso in cui il dispositivo di parzializzazione è completamente aperto. In questo caso la pressione a monte è uguale o poco maggiore della pressione predeterminata e ottimale di valle, ed il salto di pressione rispetto monte è nullo o quasi nullo. Il deflusso avviene per massima parte attraverso il valvolismo esterno e le dissipazione di energia risultano trascurabili.

La Figura 9 illustra il funzionamento del dispositivo nel caso in cui il valvolismo esterno è completamente chiuso. In questo caso la pressione a monte è molto maggiore della pressione predeterminata o ottimale, il salto di pressione rispetto a valle è molto elevato ed il deflusso avviene solamente attraverso il dispositivo scambiatore di energia con elevata produzione di energia meccanica.

La Figura 10 illustra il funzionamento del dispositivo nel caso in cui il valvolismo è parzialmente chiuso. In questo caso la pressione a monte è maggiore della pressione predeterminata o ottimale, ed il salto di pressione rispetto a valle è più o meno elevato. Il deflusso viene parzializzato tra il valvolismo esterno ed il dispositivo scambiatore di energia interno, con uno scambio di energia variabile con la portata ed il salto di pressione.

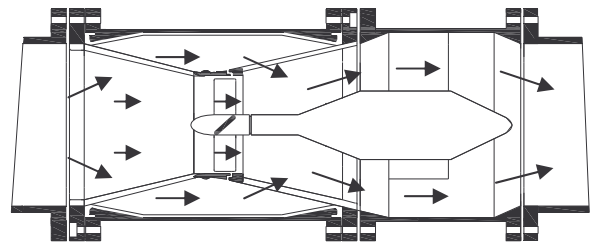


Figura 8: Funzionamento con produzione minima

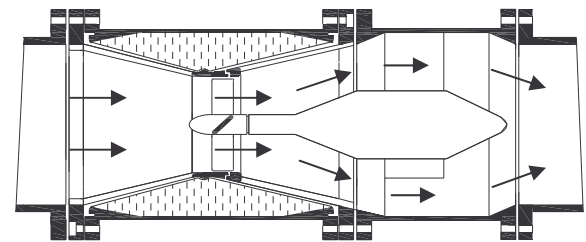


Figura 9: Funzionamento con produzione massima

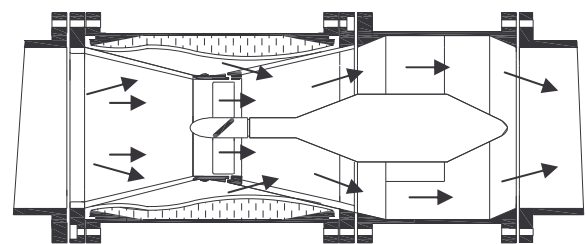


Figura 10: Funzionamento con produzione intermedia

## CONDIZIONI DI UTILIZZAZIONE DEL DISPOSITIVO

L'idrovalvola di nuova concezione non presenta particolari difficoltà realizzative in quanto può essere costruita modificando opportunamente una componentistica idraulica già esistente in commercio. Questo aspetto consentirà di contenere i costi relativi alla parte meccanica.

E' evidente che la messa a punto di un prototipo è essenziale soprattutto per approfondire gli aspetti legati alla regolazione del dispositivo durante l'esercizio ed alla più idonea conformazione da assegnare all'elica della turbina.

Tuttavia, l'utilità pratica del dispositivo dipende fortemente dal convertitore di energia meccanica in energia elettrica in relazione alla efficienza complessiva del generatore, al costo totale ed alla facilità di installazione ed esercizio. Questi tre aspetti sono tra loro fortemente legati e la scelta del componente elettrico del generatore più idonea potrà essere differenziata tra i possibili scenari di utilizzazione.

Sostanzialmente diversi si presentano i casi in cui il dispositivo di regolazione e produzione di energia venga inserito per limitare le escursioni di pressione nel corso del servizio (Figura 3), dal caso in cui, viceversa, risulti preponderante il salto utile derivante dalla presenza di forti dislivelli di quota terreno (Figura 4).

Nel primo caso, durante il giorno la portata in arrivo al dispositivo ed il salto utile risulteranno variare in ragione inversa, con legge derivante dalle condizioni di funzionamento idraulico della rete e dall'andamento della domanda. Nelle ore di punta, quando le portate circolanti sono massime, il regime di pressioni in rete è da prevedersi più basso e, di conseguenza, minore sarà anche l'energia da dissipare. Viceversa, nelle ore notturne, la portata circolante sarà minore, le pressioni in rete maggiori e, di conseguenza, massimo il salto utile  $\Delta H$ .

A titolo di esempio, con riferimento ad andamento dei consumi orari rilevati nell'ambito della rete idrica di Milano [2], assumendo che le perdite di carico continue in rete risultino proporzionali al quadrato della velocità media di portata in condotta, è stata calcolata la potenza utile per variabilità del salto dovuta alle sole escursioni di pressione in esercizio. In Figura 11 sono riportati i rapporti  $Q/Q_{max}$ ,  $\Delta H/\Delta H_{max}$  e  $W/W_{max}$ , riferendo, rispettivamente, portata oraria, salto utile e potenza ai valori massimi della giornata.

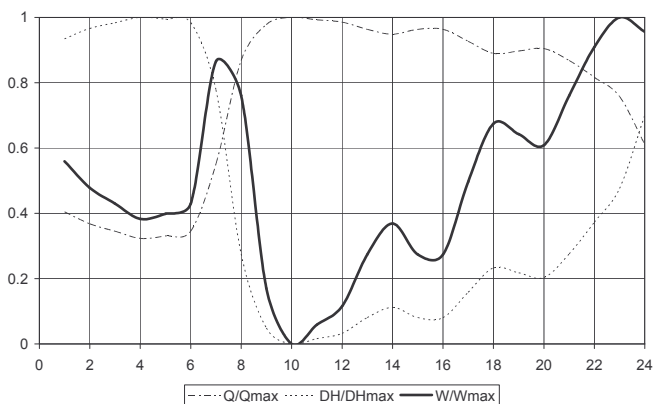


Figura 11: Andamento orario delle potenze utili

Si osserva la forte variabilità della potenza utile nel corso della giornata. In questo caso, nei sistemi *grid connected* il generatore andrà collegato ad un circuito con batterie tampone ed inverter.

In tale schema, dal punto di vista idraulico, la ripartizione delle portate tra la condotta centrale ed la condotta di anulare esterno può essere regolata in modo da rendere massima la potenza della corrente idrica in arrivo alla turbina. Tuttavia, la turbina difficilmente potrà mantenere elevati rendimenti per tutte le coppie di valori ( $Q$ ,  $\Delta H$ ). Andrà, pertanto, individuata la geometria dell'elica che rende massimo il rendimento dell'impianto sull'intera giornata.

Laddove, invece, il salto utile risulta prevalentemente dovuto alla necessità di adattare il regime di pressioni all'andamento altimetrico del terreno, potrebbe risultare più conveniente contenere i costi complessivi dell'impianto con l'accoppiamento della turbina ad un motore sincrono. In questo caso, il dispositivo potrà ripartire, in maniera automatica il flusso idrico tra la condotta centrale e quella anulare in modo da mantenere costante il numero di giri del motore. Questo schema consente rendimenti più alti della coppia turbina-generatore in quanto la geometria dell'elica della turbina può essere ottimizzata per un'unica coppia di valori ( $Q$ ,  $\Delta H$ ) e non risulta necessario inserire un inverter. Tuttavia, è evidente che parte della portata non potrà essere turbinata.

Sulla base di tali considerazioni generali è evidente che la scelta del più idoneo sistema di generazione dell'energia elettrica da accoppiare al dispositivo va operata a seconda dello schema idraulico di riferimento e del tipo di utilizzo dell'energia elettrica prodotta, utilizzo locale o in rete. La flessibilità del dispositivo lascia una libertà di scelta molto ampia.

In relazione ad utilizzo nell'ambito delle reti di distribuzione interna ad uso potabile, può essere utile conoscere le potenze ricavabili tramite l'idrovalvola proposta quanto meno con riferimento alla portata media. Nell'ipotesi di rendimento medio dell'impianto pari a 0.7 e di consumo idrico giornaliero pro capite di  $0.3 \text{ m}^3$ , è ipotizzabile la produzione di circa 2.5 kW, per ogni 10 metri di salto utile e 10000 abitanti serviti. Tali potenze sono senz'altro in linea con quelle attualmente valorizzate nell'ambito della produzione fotovoltaica.

## CONCLUSIONI

Sono state mostrate sinteticamente le finalità per le quali lungo le reti di distribuzione idrica vengono inseriti dispositivi idraulici, detti idrovalvole, che dissipano l'energia della corrente in eccesso rispetto a quella ottimale in rete.

Si è, quindi, illustrato il principio di funzionamento di un innovativo dispositivo di diversa tipologia che permette di non dissipare tale energia, bensì di valorizzarla e trasformarla in energia elettrica. Come nelle attuali idrovalvole il funzionamento del dispositivo qui descritto risulterebbe del tutto automatico.

Si è visto come situazioni sostanzialmente diverse siano presenti nei sistemi in cui il carico da dissipare derivi dalla variazione del regime di pressioni in rete al variare della richiesta idrica, o dalla necessità di assecondare l'andamento altimetrico del terreno.

Per effetto della facilità di regolazione idraulica del dispositivo, l'idrovalvola con turbina può funzionare in entrambe le situazioni, garantendo facilità di utilizzo nelle più comuni condizioni di impiego. L'energia elettrica prodotta potrà essere utilizzata in loco o immessa nella rete elettrica.

Sono in programma prove su prototipi per verificare la regolarità di funzionamento dell'idrovalvola e la sua efficienza nelle diverse condizioni di esercizio.

## **RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI**

1. G. Pezzinga, La regolazione delle pressioni per il controllo delle perdite, Atti del seminario La ricerca delle perdite e la gestione delle reti di acquedotto, pp 247-260, Perugia, 2004.
2. P. Lamberti, Distribuzione temporale dei consumi idropotabili, Rapporto sui consumi idropotabili in Italia alla fine degli anni 80, pp 37-49, CUEN Ed., Napoli, 1994.