



REDAWN

**Reducing
Energy**

**Dependency in
Atlantic Area**

Water

Guida alla progettazione
di impianti micro-idroelettrici

Networks



REDAWN

**Reducing
Energy**

**Dependency in
Atlantic Area**

Water

Networks

**Guida alla progettazione
di impianti micro-idroelettrici**

REDAWN
Reducing Energy Dependency
in Atlantic Area Water Networks



Interreg
Atlantic Area
European Regional Development Fund



EUROPEAN UNION



Collaboratori Redawn



ISBN: 978-88-9784-0732

Copyright 2021 ©



Ateneapoli srl

via Pietro Colletta, 12 (80139) Napoli - Italia

www.ateneapoli.it

BOOKSTORE

www.ateneapoli.it/libri

Sommario

1. Riepilogo esecutivo.....	9
2. Introduzione.....	11
3. Potenzialità del MHP nell’Atlantic Area.....	15
4. Possibili utilizzi dell’energia.....	18
Produzione di energia con allaccio alla rete elettrica.....	18
Produzione di energia con utilizzo autonomo.....	19
Produzione di energia per monitoraggio e controllo delle WDN...	20
Fornitura di energia ad un flusso di acque chiare.....	20
Fornitura di energia ad un flusso di acqua reflua.....	21
Recupero energetico nella filiera idrica.....	21
5. Dispositivi di produzione energetica esistenti.....	22
Turbine tradizionali.....	22
EPD a bassa potenza/alta produzione.....	23
EPD a bassa potenza/bassa produzione.....	30
Turbocompressori.....	32
6. Dati di rete nelle WD.....	35
7. Principi di progettazione di un MHP.....	43
Selezione delle PAT in uno schema MHP convenzionale.....	43
MHP non convenzionale.....	44
Struttura e alloggiamento di un impianto MHP.....	49
Strategia di posizionamento degli MHP.....	51
8. Beneficio ambientale degli impianti MHP.....	55
9. Conclusione.....	60
10. Riferimenti bibliografici.....	61
Lista delle abbreviazioni.....	67

1. Riepilogo esecutivo

Questo opuscolo è indirizzato ai responsabili dell'acqua e dell'energia, ai responsabili politici e ai tecnici che lavorano nel trasporto e nella distribuzione dell'acqua in diversi settori industriali, come l'acqua potabile pubblica, l'irrigazione e le industrie ad elevato consumo idrico. In questo opuscolo vengono definite le linee guida per l'installazione di impianti micro-idroelettrici (MHP) nelle reti idriche dell'Atlantic Area (AA) europea, proponendo strategie per ridurre la dipendenza energetica nelle suddette reti. Come punto di partenza vengono esaminate le opportunità e le nuove tecnologie per recuperare l'energia potenziale disponibile nelle reti idriche (reti per la distribuzione dell'acqua potabile pubblica, per l'irrigazione, per la raccolta delle acque reflue e per le operazioni dell'industria di processo). In seguito, vengono esaminati tutti gli aspetti della progettazione di un MHP, quali: il miglior posizionamento dell'impianto in una rete, la migliore configurazione dell'impianto per il sito selezionato, il possibile utilizzo di energia nel sito specifico, i dati storici necessari per la progettazione, il miglior dispositivo di produzione di energia (EPD) da installare nel sito specifico, il controllo del dispositivo stesso e la progettazione delle condotte ausiliarie. I suddetti punti sono fondamentali per massimizzare l'utilizzo delle pressioni in eccesso (altrimenti dissipate, quindi sprecate), che verranno convertite, parzialmente o totalmente, in energia elettrica attraverso la migliore tecnologia disponibile. Una conversione parziale dell'energia è generalmente effettuata quando sono richieste piccole quantità di energia in sito, come nel caso di una stazione di monitoraggio e controllo di una rete di distribuzione idrica. Al contrario, un recupero energetico totale è adatto quando l'impianto MHP è connesso alla rete elettrica. In questo caso l'impianto MHP sostituirà una tradizionale valvola di riduzione di pressione, ottimizzando la pressione nella parte a valle della rete, senza compromettere il normale funzionamento della rete stessa.

Riepilogo esecutivo

Una PAT (Pump as Turbine) è generalmente considerata la migliore tecnologia disponibile per questo ultimo tipo di applicazione: il progetto REDAWN ha dimostrato il grande potenziale della tecnologia PAT per favorire l'efficienza energetica dell'Area Atlantica. La fattibilità economica dell'impianto è risultata strettamente collegata ad una progettazione ottimale, la quale garantisce la massima quantità risparmiabile di risorse naturali primarie – si pensi al risparmio della risorsa idrica conseguente alla riduzione delle perdite per effetto della riduzione delle pressioni in rete - e la massima quantità di energia prodotta.

2. Introduzione

Nelle reti di distribuzione idrica è presente un notevole numero di valvole manuali o automatiche, utilizzate per ridurre l'eccesso di pressione in una porzione di rete. Perché la rete è caratterizzata da una distribuzione di pressione non uniforme? Questa è la prima domanda che si vuole investigare. Un secondo quesito è invece inerente all'uso delle valvole di riduzione della pressione (PRV): perché è necessario contenere una pressione in eccesso?

Se si considera lo schema semplificato di una porzione di rete in Figura 1, si osserva che la variabilità dell'altezza piezometrica è determinata da due fattori. In primo luogo, l'elevazione del suolo e l'altezza degli edifici sono piuttosto variabili e la pressione presso gli utenti finali riflette la suddetta variabilità. In secondo luogo, la linea dell'energia diminuisce con la distanza dalla sorgente d'acqua per effetto delle resistenze al flusso, determinando una riduzione dell'altezza piezometrica nella periferia della rete.

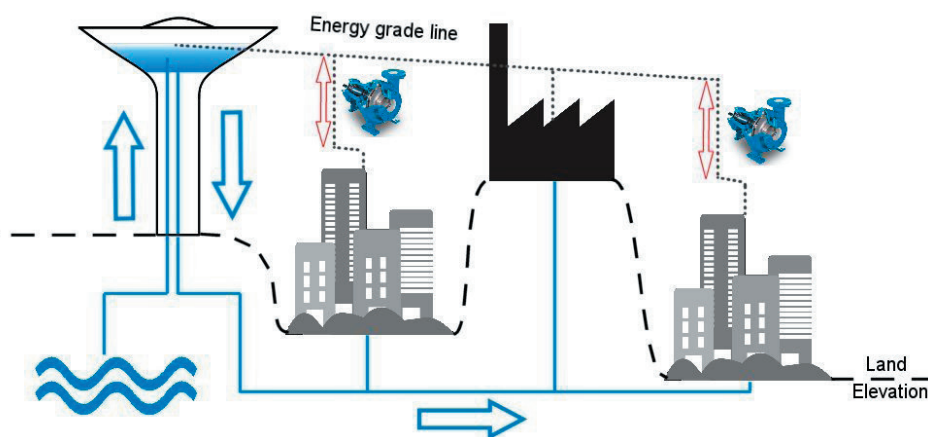


Figura 1. Tipico posizionamento di impianti micro-idroelettrici (MHP) in una rete idrica (Novara, D. Hydropower Energy Recovery Systems: Development of Design Methodologies for Pump as Turbines in Water Networks. PhD Thesis Sept 2019. University of Dublin, Trinity College).



Introduzione

Una pressione superiore al valore minimo richiesto dagli utenti finali è considerata oggi una condizione operativa sfavorevole. La limitazione delle perdite durante il trasporto dell'acqua è un aspetto cruciale nell'ambito dei servizi idrici. Le statistiche in Europa, riferite agli anni 2012-2015, riportano che l'entità delle perdite varia notevolmente nei diversi Paesi, attestandosi intorno ad un valore medio del 23% (Figura 2). Per le nazioni dell'Atlantic Area, le perdite d'acqua variano approssimativamente tra il 20% e il 30%. Anziché optare per una sostituzione generale delle tubazioni più vecuste, sono generalmente contemplate due strategie per ridurre le perdite: la creazione di distretti di monitoraggio (DMA) al fine di bilanciare le pressioni dell'acqua ed effettuare un accurato bilanciamento della risorsa idrica, e la strategia di riduzione della pressione, in base alla quale le pressioni in rete sono ridotte per ridurre al minimo le perdite d'acqua. In entrambe le strategie, valvole manuali, motorizzate o pneumatiche sono collocate in punti specifici della rete per ridurre la pressione.

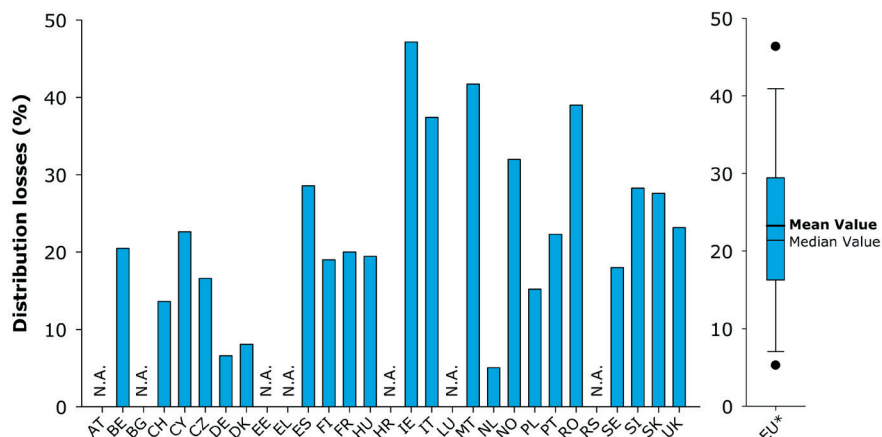


Figura 2. Perdite rilevate nelle reti idriche dei paesi della CE nel periodo 2012-2015 (<https://www.eureau.org/resources/publications/1460-eureau-data-report-2017-1/file>)

Un fattore chiave nell'ambito della produzione micro-idroelettrica è rappresentato dalla Best Available technology (BAT). La scelta è legata a diverse condizioni e vincoli progettuali.

Una rete di approvvigionamento idrico (WSN) può essere suddivisa in una rete di trasmissione (WTN) e una rete di distribuzione (WDN), come mostrato in Figura 3. Nella WTN, l'acqua viene trasferita dalla sorgente a diversi serbatoi situati in prossimità di ciascuna città o villaggio; in una rete ben progettata la portata e il carico disponibile per la produzione di energia presentano fluttuazioni giornaliere limitate e la potenza disponibile è spesso superiore a 20-30 kW. Nella WDN, invece, l'acqua viene trasferita dai serbatoi agli utenti finali tramite un complesso sistema di condotte; la portata e il carico disponibile per la produzione di energia presentano ampie fluttuazioni giornaliere, determinate dalla domanda degli utenti, mentre la potenza disponibile è inferiore a 10 kW. Un impianto micro-idroelettrico in una WTN può essere pertanto realizzato utilizzando i criteri di progettazione delle centrali elettriche più grandi, quali, ad esempio, le turbine tradizionali. L'unico problema è rappresentato dalla complessità dell'allaccio alla rete elettrica e dall'assenza di utenti che utilizzino energia nel punto di produzione. Al contrario, le centrali micro/pico-idroelettriche delle WDN presentano una configurazione completamente differente, per la necessità di abbattere i costi di impianto in presenza di ricavi molto ridotti. Inoltre, la produzione di energia non rappresenta l'obiettivo principale dei gestori di WDN: l'affidabilità della rete è pertanto l'aspetto più importante del trasporto e della distribuzione della risorsa idrica.

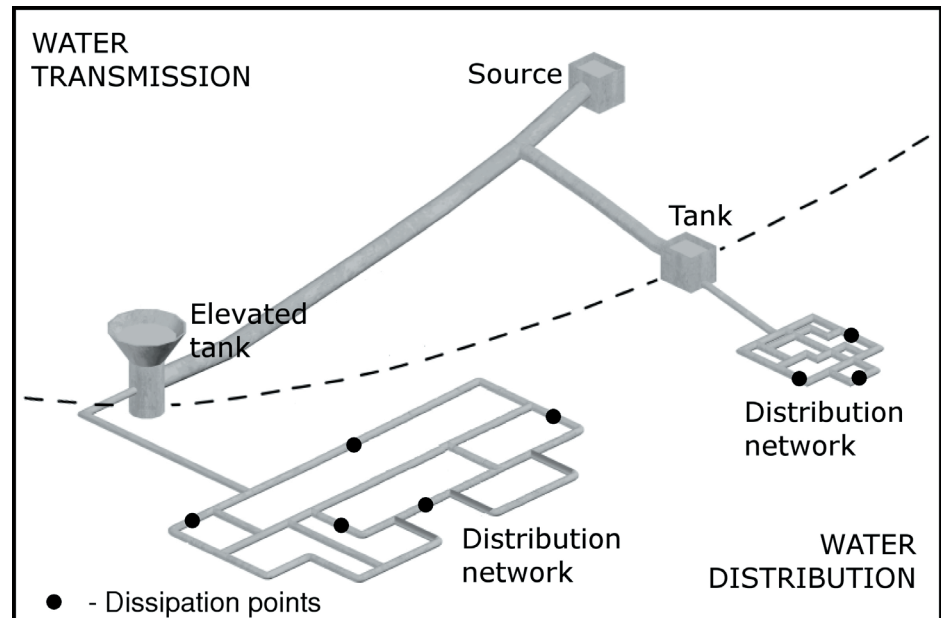


Figura 3. Schema di una rete di approvvigionamento idrico (WSN)

In conclusione, la progettazione di un impianto MHP nelle WDN è vincolata dai seguenti fattori:

- l'ubicazione di un MHP non è determinata dall'impatto economico dell'impianto stesso, bensì dall'impatto economico di una strategia di gestione più complessa;
- il costo specifico di un MHP deve essere ridotto, rispetto agli impianti tradizionali, per la modesta potenza disponibile;
- la preoccupazione principale dei gestori dell'acqua è l'affidabilità del servizio idrico ed anche la tecnologia dell'impianto MHP stesso deve essere pertanto affidabile;
- la mancanza di un possibile utilizzo dell'energia prodotta è spesso un vero limite per la costruzione di impianti MHP.

3. Potenzialità del MHP nell'Atlantic Area

Il progetto REDAWN ha quantificato il potenziale di risorse energetiche delle reti idriche in tutta l'Atlantic Area. Questo studio è stato condotto per i diversi settori industriali (acqua pubblica, irrigazione, acque reflue e industria ad elevato consumo idrico) e ha richiesto: un'indagine dettagliata della potenza idraulica disponibile nelle reti dell'Atlantic Area a scala locale, una stima dell'energia in eccesso su scala locale e regionale, una valutazione dell'efficienza della BAT per impianti MHP ed un calcolo della risorsa energetica potenziale su scala nazionale. Il lavoro effettuato fornisce informazioni preziose che possono facilitare il pieno sfruttamento della tecnologia MHP, in tutti gli aspetti: la produzione di dispositivi, la gestione della rete e la definizione delle politiche.

Un esempio della metodologia utilizzata per la valutazione della risorsa energetica potenziale nel caso dell'irrigazione è mostrato in Figura 4. Partendo da una serie di topologie di rete disponibili, viene eseguita una progettazione preliminare di un MHP e la quantità di recupero energetico è stimata per un numero di siti con pressione in eccesso all'interno delle reti. In seguito, tramite una funzione di trasferimento calibrata sulle caratteristiche colturali e climatiche, il beneficio viene esteso alla scala regionale. Analogo processo è stato realizzato nella distribuzione idrica urbana per il recupero dell'energia dissipata nelle valvole PRV. Processi simili sono stati inoltre realizzati per i settori delle acque reflue e delle reti industriali.

La Figura 5 mostra il potenziale recupero energetico degli MHP in siti irlandesi, in siti dell'Irlanda del Nord, in siti scozzesi ed in siti gallesi. Per il settore industriale, la potenzialità della tecnologia MHP è stata stimata individuando i salti di pressione disponibili all'uscita degli impianti di depurazione e calcolando la corrispondente produzione energetica.

Potenzialità del MHP nell'Atlantic Area

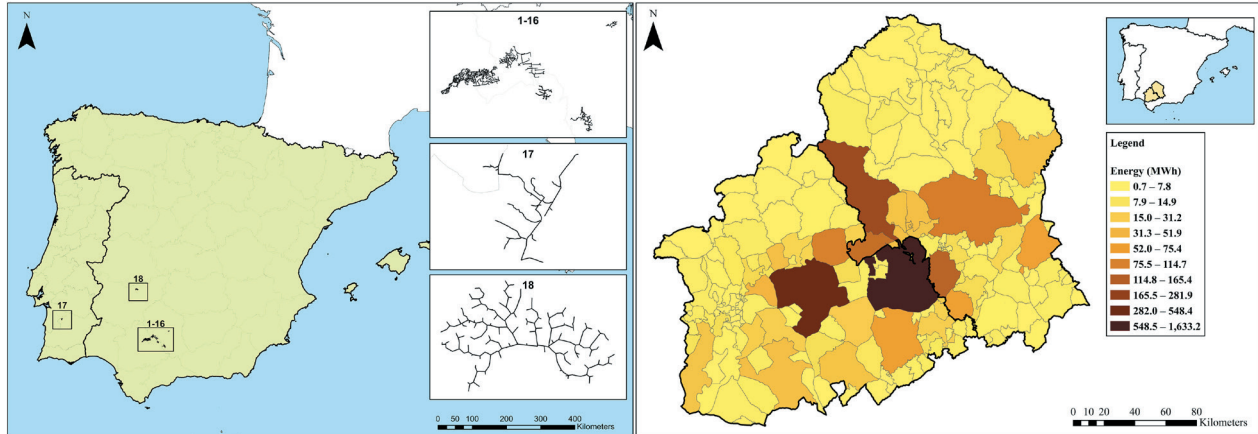


Figura 4. Valutazione del potenziale energetico di impianti MHP nella rete di irrigazione dell'Andalusia (Spagna) (<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.143>)

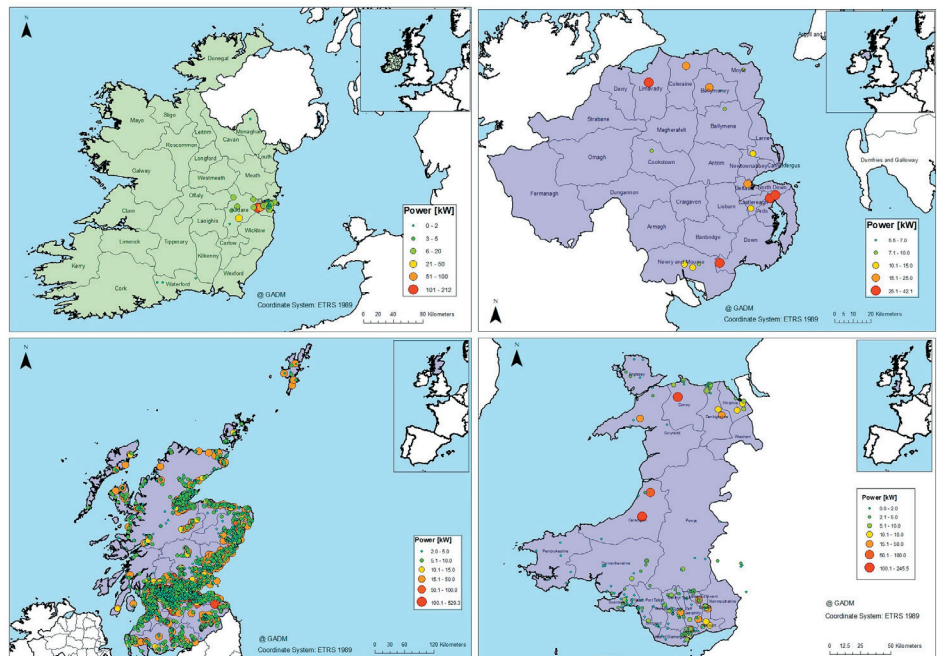


Figura 5. Valutazione del potenziale energetico di impianti MHP nelle reti idriche urbane dell'Atlantic Area settentrionale (siti irlandesi, siti nordirlandesi, siti scozzesi e siti gallesi) – (<https://doi.org/10.3390/w13070899>)

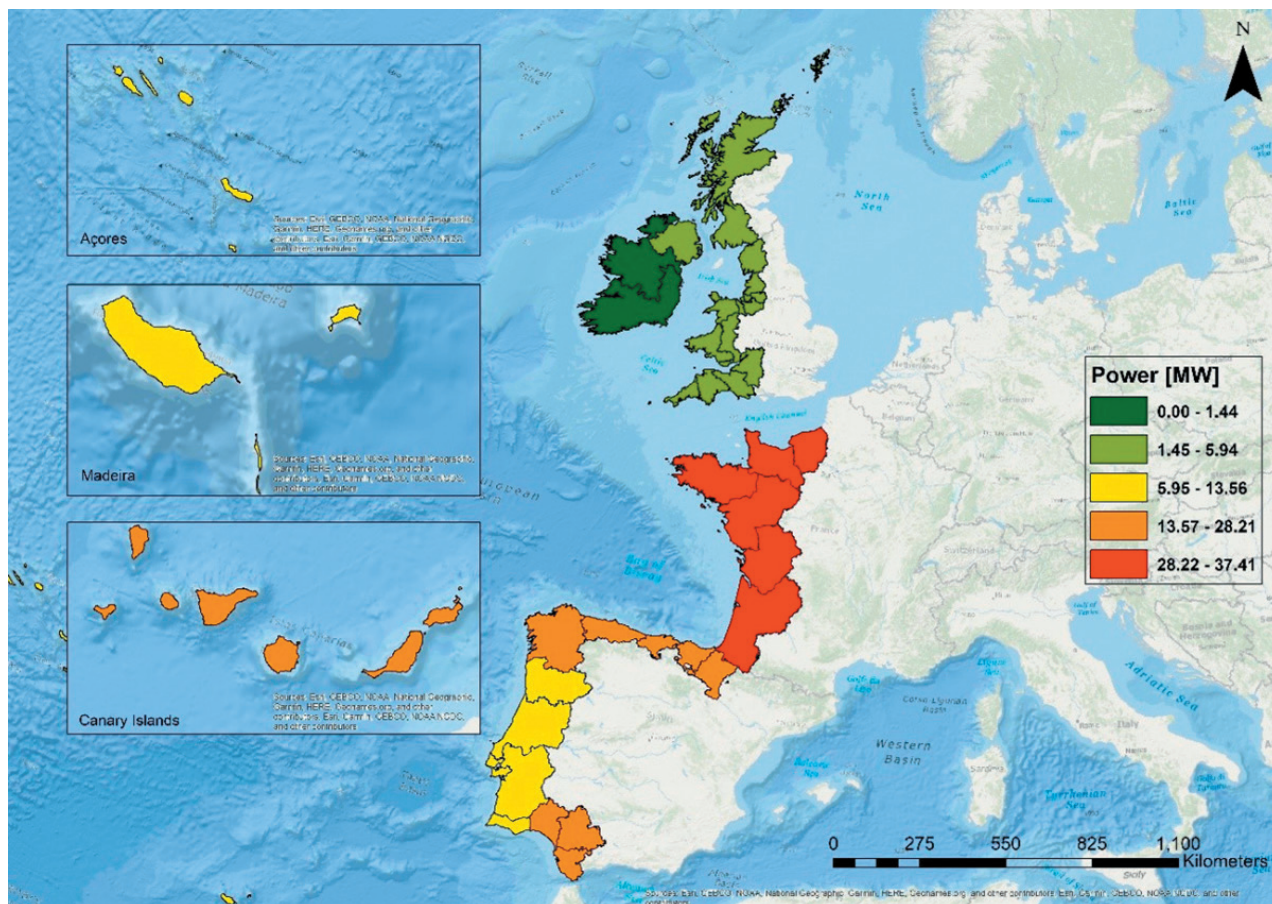


Figura 6. Potenziale recupero energetico totale stimato per l'intera Atlantic Area

In figura 6 è rappresentato il potenziale recupero energetico totale stimato per l'intera Atlantic Area. I dati sono stati inseriti in una piattaforma GIS che mostra la distribuzione spaziale delle risorse energetiche nell'area in considerazione. È possibile accedere ai dati sul sito web REDAWN (<https://www.redawn.eu/>).

4. Possibili utilizzi dell'energia

L'ultimo fattore citato nel paragrafo introduttivo, ossia l'utilizzo dell'energia, deve essere considerato il punto di partenza della progettazione di impianti MHP. Senza una chiara idea del valore potenziale dell'energia recuperabile non è possibile effettuare una corretta analisi di fattibilità, in assenza di dati affidabili sul profitto degli impianti MHP.

Considerando che la riduzione della pressione di un flusso idrico è strettamente correlata allo scambio di energia con il generatore, l'energia elettrica generata deve essere in qualche modo utilizzata. Questo è il motivo per cui è stato fatto un grande sforzo nel progetto REDAWN nell'identificare e studiare diversi schemi non convenzionali per l'uso di tale energia prodotta.

È possibile riassumere e discutere le seguenti possibilità di utilizzo di energia nelle WDN:

1. produzione di energia con allaccio alla rete elettrica
2. produzione di energia con utilizzo autonomo
3. produzione di energia per monitoraggio e controllo delle WDN
4. fornitura di energia ad un flusso di acque chiare
5. fornitura di energia ad un flusso di acqua reflua
6. recupero energetico nella filiera idrica

Produzione di energia con allaccio alla rete elettrica

La produzione di energia con allaccio alla rete elettrica è la soluzione classica per l'installazione di un impianto MHP. In questo caso, il dispositivo di produzione di energia (EPD) può essere dotato di generatore asincrono e l'energia recuperata nell'impianto fornirà la

rete elettrica. Questa soluzione è normalmente possibile nelle WDN delle aree urbanizzate per la presenza di una distribuzione energetica diffusa. Difatti, la piccola potenza installata delle centrali in una WDN, rispetto alla potenza elettrica distribuita agli utenti finali, rende molto agevole l'allaccio alla rete, per la stabilità della forma d'onda elettrica e del fabbisogno energetico richiesto dalla rete stessa.

In questo tipo di impianti, l'obiettivo primario è il rispetto del vincolo sul valore di contropressione imposto dai gestori dell'acqua. L'obiettivo secondario è l'affidabilità dell'impianto. Il terzo obiettivo è la realizzabilità dell'impianto.

Produzione di energia con utilizzo autonomo

Quando l'impianto MHP è installato in una parte periferica di un sistema pubblico di distribuzione di acqua potabile oppure in un sito rurale servito dalla WDN di un sistema irriguo, la connessione alla rete elettrica è spesso impossibile o non economicamente sostenibile. In questo caso, la migliore alternativa consiste nel trovare utenti finali locali. Ovviamente, la corrispondenza tra l'ubicazione degli impianti MHP e le posizioni dell'utente finale non è facilmente perseguibile. Spesso questo accoppiamento si garantisce, ma la potenza assorbita dall'utilizzatore finale è inferiore a quella offerta dall'impianto MHP e le dimensioni dell'impianto stesso devono essere pertanto ridotte.

Un'alternativa è rappresentata dalla creazione di una nuova attività commerciale in prossimità dell'impianto MHP utilizzando energia a tariffa conveniente. A titolo esemplificativo, l'energia recuperata nell'impianto MHP potrebbe essere utilizzata per caricare batterie di diversa potenza, quali batterie di automobili, che richiedono pochi kW, o batterie telefoniche, che richiedono meno di 100 W.

Produzione di energia per monitoraggio e controllo delle WDN

Con l'incremento del monitoraggio, controllo e automazione delle WDN, si presenta la necessità di fornire energia a piccole stazioni situate in punti specifici della rete, dove i parametri principali del flusso vengono misurati, i dati vengono trasferiti a un centro di controllo di rete centralizzato ed una valvola subisce un controllo in remoto. Queste stazioni, quando si trovano in un sito lontano, non sono collegate alla rete elettrica per cui necessitano di energia. Tuttavia, la potenza richiesta da queste stazioni è modesta e non giustifica la costruzione di un MHP convenzionale. Sono pertanto disponibili alcune tecnologie specifiche per convertire una piccola frazione dell'energia idraulica in energia elettrica per soddisfare la richiesta di tali stazioni di monitoraggio e controllo delle WDN. Le alternative per soddisfare queste piccole esigenze energetiche sono rappresentate da pannelli solari e batterie di accumulo, i quali però presentano degli svantaggi rispetto alle installazioni di MHP.

Fornitura di energia ad un flusso di acque chiare

Non è insolito in una WDN che si presenti la necessità di fornire acqua ad un piccolo distretto situato ad un'altitudine più elevata rispetto al resto della rete. L'acqua viene fornita a queste aree da stazioni di pompaggio che prelevano l'acqua da uno dei serbatoi situati lungo la WDN. Il flusso principale potrebbe raggiungere il serbatoio con un'energia residua che viene semplicemente dissipata. In questi casi è possibile recuperare energia realizzando un'apposita centrale idroelettrica che trasferisce direttamente l'energia residua della corrente principale alla corrente minore destinata al piccolo distretto. La conversione avviene da un flusso con bassa pressione-alta portata ad un flusso con alta pressione-bassa portata. In questi casi è possibile aumentare l'efficienza globale dell'impianto mediante un

accoppiamento diretto dell'EPD con la pompa. Un ulteriore vantaggio di questa configurazione è rappresentato dalla riduzione del costo dell'impianto.

Fornitura di energia ad un flusso di acqua reflua

Un'ulteriore possibilità di conversione energetica potrebbe presentarsi quando il nodo di dissipazione si trovi vicino ad una stazione di pompaggio delle acque reflue. Queste stazioni sono utilizzate nel punto basso della rete di drenaggio per sollevare le acque reflue destinate all'impianto di trattamento. In presenza di una stazione di pompaggio dell'acqua reflua, in prossimità del nodo di dissipazione è possibile accoppiare il dispositivo MHP della rete idrica con la pompa della rete fognaria, per produrre energia e soddisfare la richiesta energetica del sollevamento.

Recupero energetico nella filiera idrica

Il recupero energetico in un impianto MHP potrebbe rappresentare un importante valore aggiunto nella definizione di nuove filiere idriche a minor impatto ambientale. L'approvvigionamento idrico mediante schema di pompaggio diretto è una nuova strategia per garantire un valore di pressione ottimale nella rete, in alternativa all'uso di serbatoi d'acqua sopraelevati o serbatoi con livelli di pressione stabiliti. Nella definizione del beneficio economico ed ambientale dell'approvvigionamento mediante schema di pompaggio indiretto, sarebbe invece possibile considerare un recupero energetico a valle del serbatoio sopraelevato. In molti casi, infatti, i ricavi dell'impianto MHP potrebbero modificare il rapporto tra i benefici delle due alternative di pompaggio.

Anche in presenza di impianti di trattamento a monte, come nel caso degli impianti di dissalazione, il recupero energetico mediante un dispositivo MHP può determinare un'importante riduzione dei costi idrici.

5. Dispositivi di produzione energetica esistenti

La descrizione delle EPD in commercio, o di quelle in fase avanzata di test e sviluppo, può essere condotta considerando le applicazioni prima menzionate.

È possibile classificare i dispositivi utilizzabili negli impianti MHP delle reti di approvvigionamento idrico all'interno di quattro famiglie:

- Turbine tradizionali
- EPD a bassa potenza/alta produzione
- EPD a bassa potenza/bassa produzione
- Turbocompressori

Turbine tradizionali

Le turbine tradizionali Francis, Pelton o Banki sono frequentemente utilizzate nella trasmissione della risorsa idrica (Figura 7). Il primo tipo di turbina è utilizzato per centrali collocate lungo una condotta di trasmissione, in presenza di contropressione. Le turbine e i generatori Francis sono disponibili sul mercato per potenze fino a 20 kW, ma 40-50 kW possono essere considerati il limite inferiore per garantirne la fattibilità economica. Insieme con il costo dell'EPD, va considerato inoltre il costo di un sistema di controllo complesso, che consente l'apertura automatica di una condotta di bypass in caso di malfunzionamento della turbina o in presenza di un'anomalia della rete elettrica.

Una turbina Pelton o Banki potrebbe essere invece la soluzione ottimale per recuperare l'energia residua al termine di una condotta di trasmissione, in assenza di contropressione. La prima turbina è adatta per salti di pressione medio-alti, mentre la seconda per salti di pressione medio-piccoli.

Dispositivi di
produzione energetica
esistenti



Figura 7. Turbine tradizionali per utilizzo nelle WTN (da sinistra, turbine Francis, Pelton e Banki)

EPD a bassa potenza/alta produzione

Nelle WDN la potenza disponibile è inferiore a 10 kW e gli EPD devono soddisfare diversi criteri:

- massimizzare la produzione di energia
- ridurre la pressione ad un valore atteso
- minimizzare il costo della centrale idroelettrica
- massimizzare l'affidabilità della centrale idroelettrica

L'aspettativa può essere soddisfatta più facilmente nei rami principali della rete, dove la potenza installata è più prossima alla massima, rispetto alla parte periferica della rete, dove la potenza installata si riduce a pochi kW o meno. I dispositivi EPD potenzialmente disponibili nelle WDN vengono di seguito presentati.

La Pump as Turbine (PAT) è una pompa tradizionale utilizzata in modalità inversa (Figura 8). È il dispositivo di produzione energetica più diffuso per alta potenza/alta produzione nelle WDN. Per la geometria fissa della girante e per l'assenza di controllo del flusso idrico, l'utilizzo della PAT deve essere abbinato ad un opportuno sistema di regolazione. Per il basso costo dell'attrezzatura, le PAT vengono occasionalmente utilizzate anche nelle WTN. I vantaggi sono rappresentati dal basso costo, dall'elevata affidabilità e dall'elevata disponibilità sul mercato. È stato dimostrato che le PAT sono

5-15 volte meno costose delle turbine tradizionali nell'intervallo di potenza 5-200 kW [32]. Lo svantaggio consiste nella limitata efficienza di tali dispositivi [24]. La tecnologia PAT è stata recentemente inclusa in alcuni prodotti industriali, fornendo soluzioni compatte con PAT completamente sommerse o funzionamento pompa/PAT reversibile.



Figura 8. PAT nell'impianto pilota REDAWN

LucidPipe™ Power System (Figura 9) è una turbina sferica in linea che genera elettricità operando in tubazioni di grande diametro (24 “- 60”). Un singolo modulo estrae una piccola frazione della pressione idrica, ma è possibile installare più moduli in sequenza. Il rientro dell'investimento si attesta intorno ad un valore target di 10 anni, il quale è piuttosto alto. Le applicazioni di tale tecnologia a Riverside California e Portland Oregon (USA) sono riportate in letteratura (Team, Purdue ECT, “LUCIDPIPE™ POWER SYSTEM” (2016). ECT Fact Sheets. Paper 224. <http://dx.doi.org/10.5703/>

1288284316353). I vantaggi di questa turbina sono l'installazione in linea ed il rischio limitato di transitori di pressione. Gli svantaggi sono legati alla grande estensione dell'alloggiamento del dispositivo ed al costo elevato.

Saint-Gobain PA ha sviluppato una microturbina per i sistemi di approvvigionamento di acqua potabile (Figura 10). Un prototipo della turbina, con potenza di 26 kW, è stato installato nel 2017 nell'impianto di produzione di acqua potabile ad Annonay (Fr). Non sono state reperite ulteriori informazioni sulla tecnologia. Il vantaggio è l'installazione in linea, mentre lo svantaggio consiste nella mancanza di informazioni sull'efficienza e sui dati di progettazione.

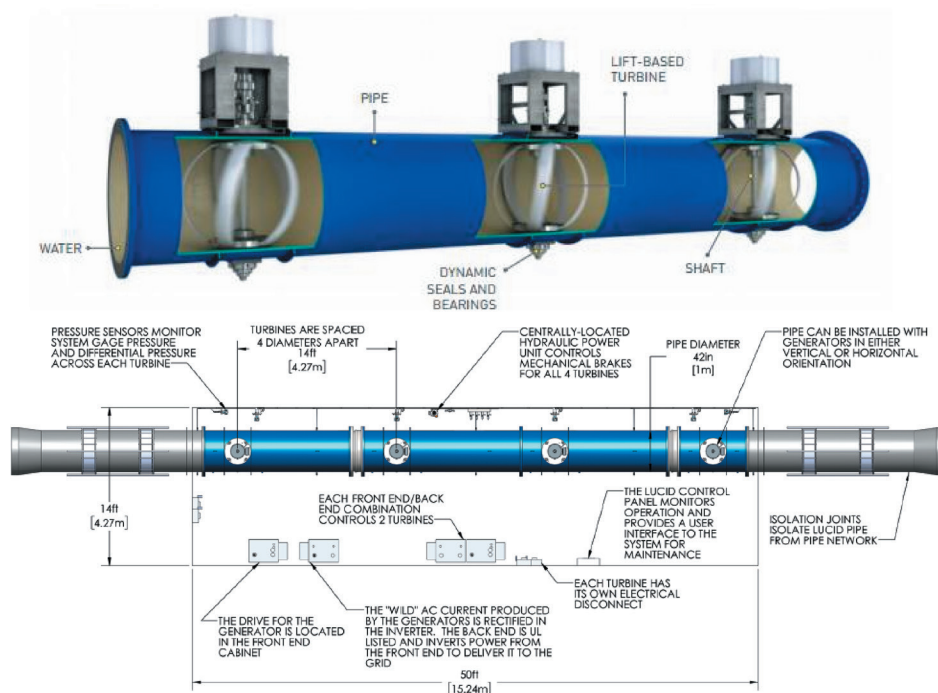


Figura 9. LucidPipe™ Power System
 (<https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1224&context=ectfs>)

LucidPipe™ Diameter (in)	Rated Power (kW)	Rated Flow (MGD)	Gauge Pressure Required for Rated output (psi)	Head Extraction at Rated (psi)	Head Extraction at Rated While Stopped (psi)	Operational Head Loss Coefficient (Running /Stopped)
24	14	24	48	5.2	1.2	6.7-8.4/2.0
42	50	64	43	5.9	1.1	7.7-10/2.3
60	100	128	43	5.0	1.2	7.7-10.1/2.3

Tabella 1. Dati di LucidPipe™ Power
(<https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1224&context=ectfs>)

Una versione pressurizzata della turbina Pelton è disponibile anche per le WDN. Una Pelton tradizionale è installata in una camera chiusa e la pressione dell'aria nella camera è imposta uguale alla contropressione richiesta. A causa del trascinamento di aria nel getto idrico, è necessario un sistema di ventilazione esterno per mantenere la pressione nella camera. È possibile utilizzare configurazioni speciali della cassa per ridurre al minimo il flusso d'aria. Il vantaggio è l'elevata efficienza della macchina, mentre lo svantaggio è legato alla complessità di gestione.

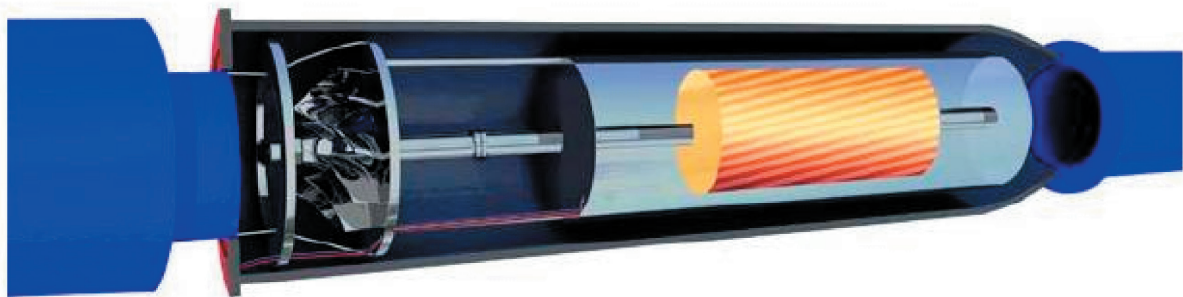


Figura 10. Microturbina Saint-Gobain PAM (https://www.saur.com/wp-content/uploads/2017/02/EN_20160103-_Saint-Gobain-PAM-_CP_Annonay_national-2.pdf)

Diverse tecnologie promettenti sono disponibili ad una fase avanzata di test. Questi nuovi EPD sono stati concepiti per superare alcuni degli svantaggi delle tecnologie esistenti.

La Banki-Mitchell pressurizzata è una variante promettente della classica turbina (Figura 11). Il flusso è costretto a passare due volte attraverso le pale delle ruote del dispositivo, con un conseguente trasferimento consistente di energia ed un'elevata efficienza in un'ampia gamma di portate. Attualmente tale tecnologia non è industrializzata ed il costo della singola unità è elevato (Technology Readiness Level 6).

La Tubular Propeller è un EPD con una particolare configurazione della tubazione per contenere una turbina ad elica (Figura 12). La turbina offre un passaggio libero alla corrente con un rendimento apprezzabile, che potrebbe essere incrementato in grandi impianti utilizzando una geometria variabile delle pale. La tecnologia non è completamente industrializzata (Readiness Level 4).

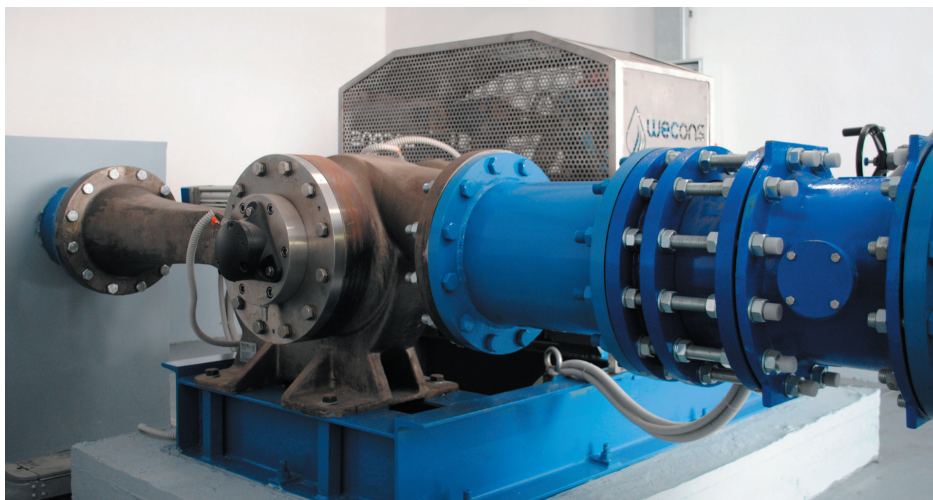


Figura 11. Banki-Mitchell pressurizzata (<https://www.wecons.it/>)

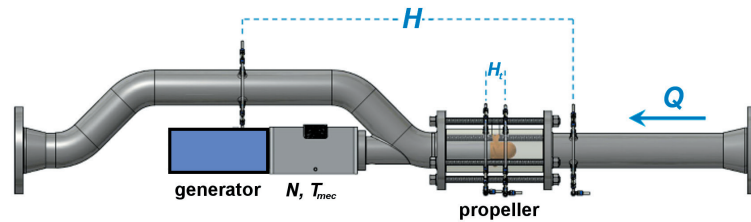


Figura 12. Tubular propeller

La turbina pico-centrifuga è un nuovo EPD per l'installazione in linea. Gli esperimenti sono stati condotti dall'IST durante il progetto REDAWN, al fine di ottenere una migliore caratterizzazione della tecnologia (Figura 13). La tecnologia non è completamente industrializzata (Readiness Level 4).

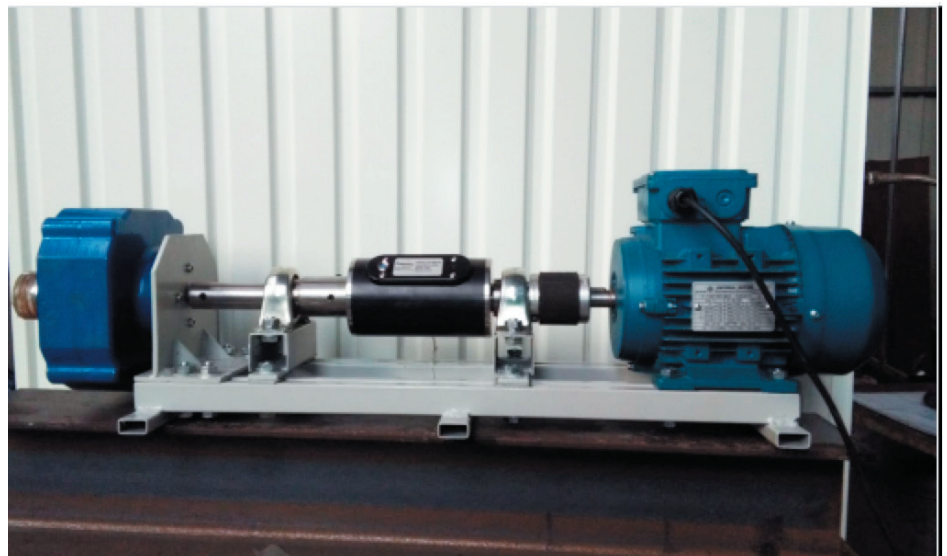


Figura 13. Turbina pico-centrifuga

L'Energy booster è una soluzione compatta per la produzione di energia in una WDN riducendo i costi di installazione della centrale idroelettrica (Figura 14). Una o più pompe sommerse funzionanti in modalità inversa sono locate in un booster e le valvole pneumatiche sono utilizzate per regolare il flusso tra le due PAT e il bypass, al fine di massimizzare l'energia prodotta ed ottenere la contropressione imposta. La tecnologia non è completamente industrializzata (Readiness Level 4).

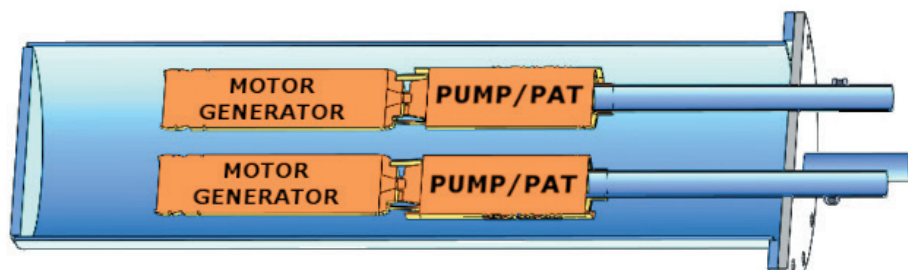


Figura 14. Energy booster

EPD a bassa potenza/bassa produzione

Gli EPD appartenenti a questa famiglia sono realizzati per estrarre solo una piccola frazione dell'energia idraulica del flusso idrico. L'energia prodotta viene utilizzata per alimentare le stazioni di monitoraggio e controllo lungo la rete idrica. Gli EPD disponibili sono di seguito riportati. La turbina Picogen è un EPD compatto con un unico elemento rotante, rappresentato da un'elica accoppiata ad un alternatore. L'EPD ha la stessa dimensione trasversale della tubazione, come mostrato in Figura 15. In una tubazione da 200 mm con una portata media di 100 m³/h, può essere installata una turbina Picogen da 25 W, che produce una caduta di pressione di 0,06 bar. La turbina Picogen è completamente industrializzata. La Greenvalve è una turbina a ruota alloggiata nell'elemento di chiusura di una valvola a sfera, con generatore esterno (Figura 16). L'energia viene prodotta con valvola parzialmente o completamente aperta, senza ulteriori dissipazioni. L'energia prodotta viene utilizzata per la gestione della valvola stessa e per alimentare dispositivi di monitoraggio. La tecnologia non è industrializzata (Readiness Level 4).

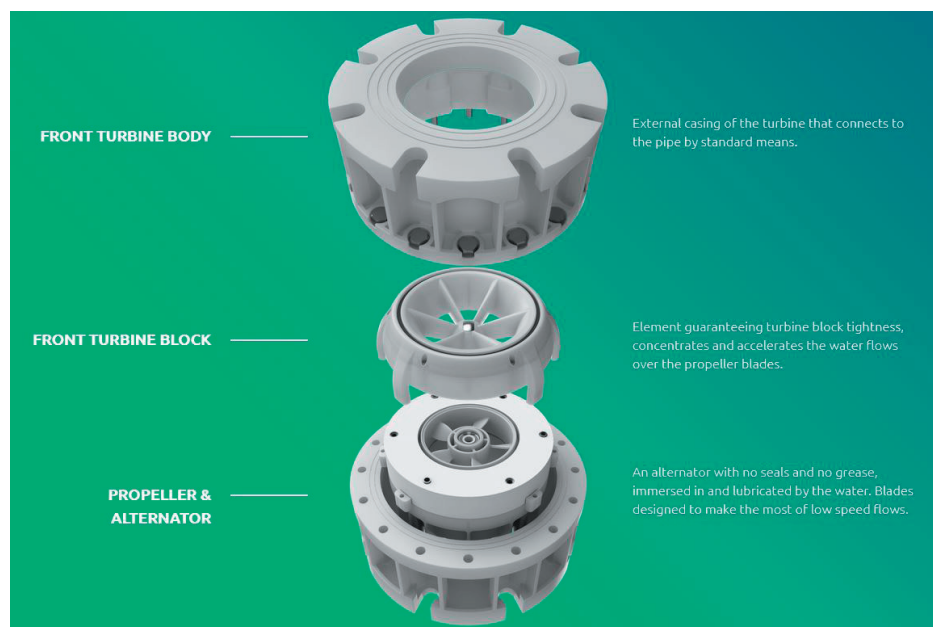


Figura 15. Turbina Picogen (<https://www.save-innovations.com/picogen>)

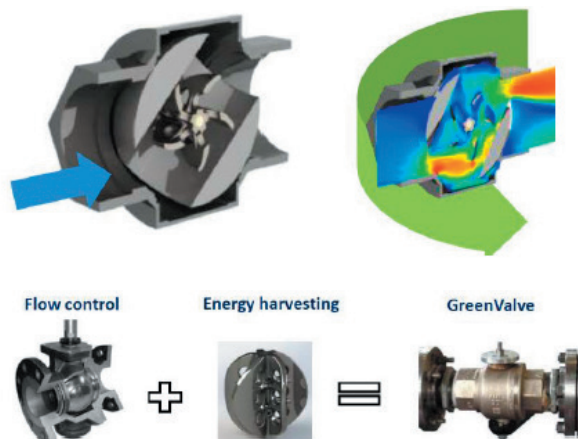


Figura 16. Green valve (<https://www.polilink.polimi.it/it/green-valve-2/>)

È disponibile anche un certo numero di turbine pico per piccole produzioni di energia. Questi EPD sono installati su una tubazione di bypass e venduti in combinazione con il dispositivo di monitoraggio o controllo. Ad esempio, il generatore di corrente intermedio X143IP, prodotto da Claval, può essere montato su una valvola di controllo automatico come rappresentato in Figura 17.

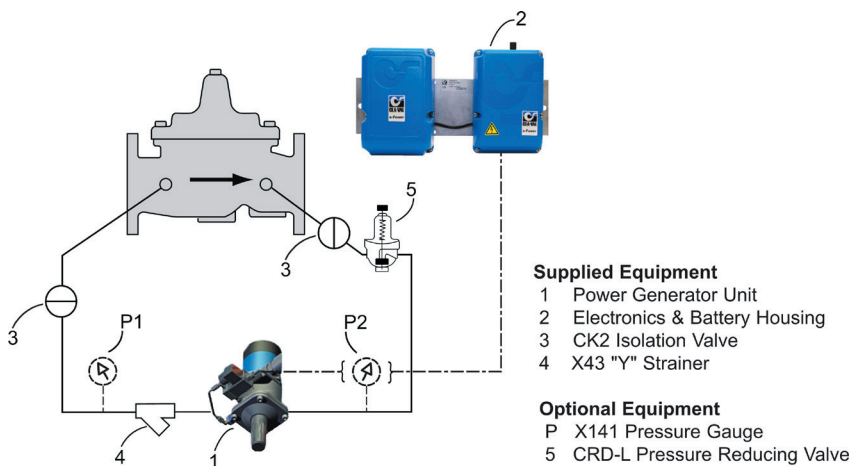


Figura 17. X143IP Intermediate Power Generator prodotto da Claval
(<https://www.cla-val.com/electronic/power-generators-and-flow-meters/x143ip>)

Turbocompressori

Questi dispositivi sono creati per trasferire l'energia idraulica da un flusso ad un altro. Questa soluzione ha una maggiore diffusione in diversi settori industriali, come nell'ingegneria navale o negli impianti di dissalazione. Pertanto sul mercato si possono trovare turbocompressori con design, efficienza e costi molto diversi.

L'accoppiamento diretto di una PAT con una pompa è la soluzione più economica, perfettamente praticabile per le reti idriche (si veda Figura 18). Un altro vantaggio di questo tipo di turbocompressore è la possibilità di coprire con le pompe in commercio l'intera gamma di possibili condizioni di lavoro.

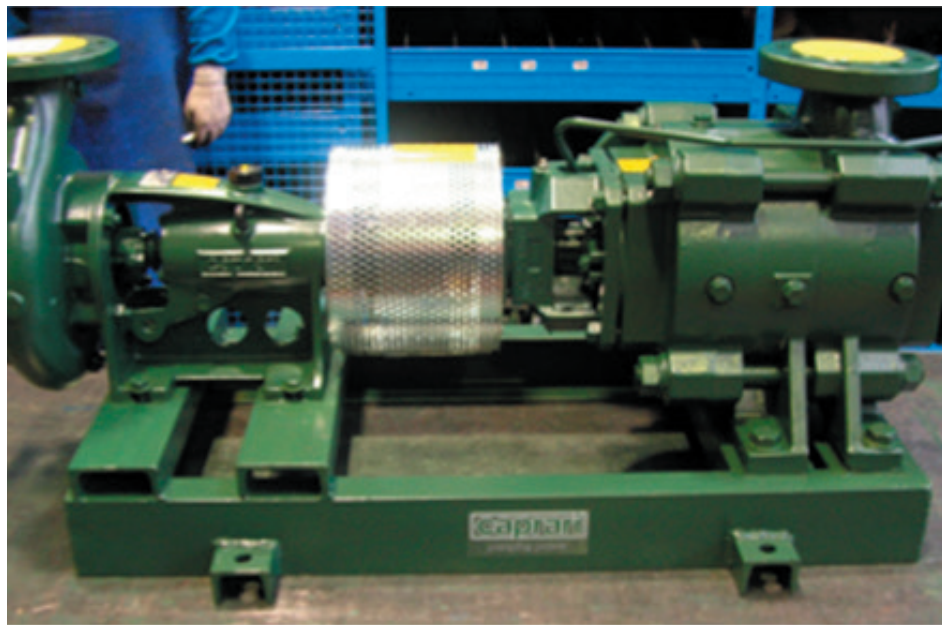


Figura 18. Accoppiamento diretto di una PAT ed una pompa

I turbocharger sono turbocompressori contenenti la turbina e le giranti della pompa in uno stesso corpo, come presentato in Figura 19. Questi dispositivi sono stati utilizzati per la prima volta alla fine degli anni '80 e più ampiamente adottati negli anni '90, ma attualmente non sono in produzione



Figura 19. Turbocharger

Gli scambiatori di pressione sono i turbocompressori ad alta efficienza utilizzati per il recupero di energia negli impianti di dissalazione (Figura 20). Vengono utilizzati due diversi principi di funzionamento, basati su un movimento alternativo del pistone, o su un movimento rotatorio di scambio di pressione. L'efficienza può raggiungere il 98%. Il costo degli scambiatori di pressione è troppo alto per un impiego nelle reti idriche.

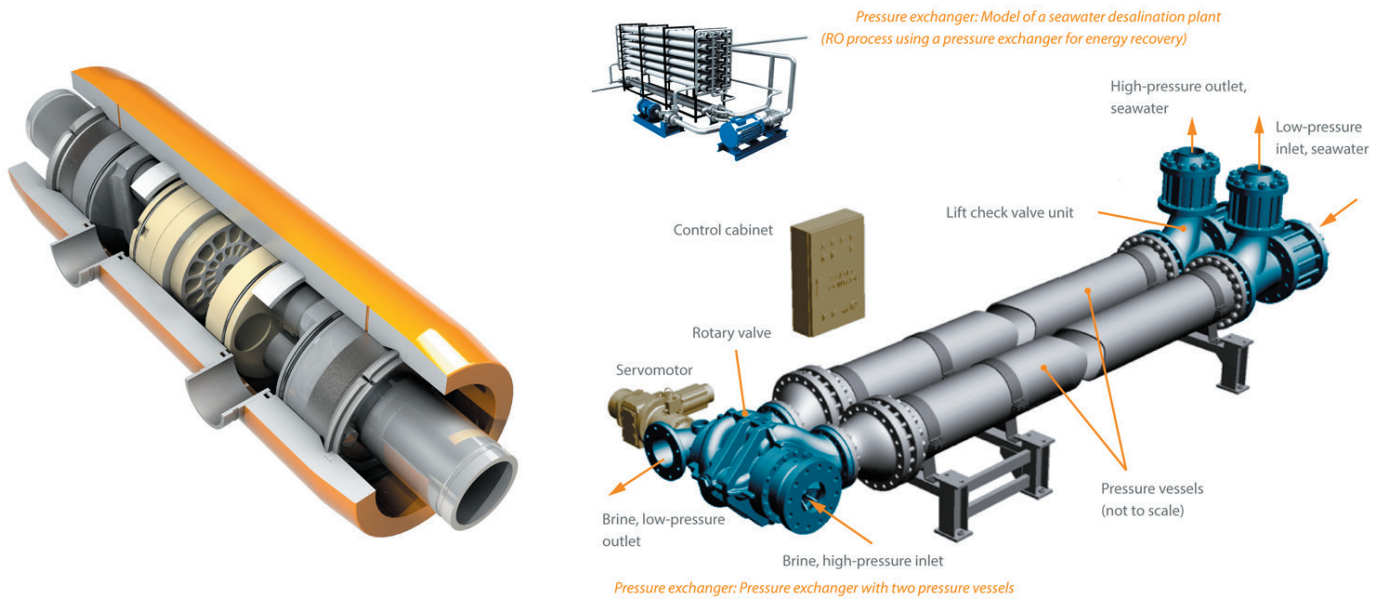


Figura 20. Scambiatori di pressione (<https://energyrecovery.com/water/px-pressure-exchanger/> e <https://www.ksb.com/centrifugal-pump-lexicon/pressure-exchanger/191730/>)

6. Dati di rete nelle WDN

L'importanza di creare un ampio database delle condizioni idrauliche in rete idrica per i gestori dell'acqua è stata ampiamente studiata in letteratura. In Figura 21 è riportata la gerarchia classica di un albero decisionale per un sistema di approvvigionamento idrico.

Qualsiasi cambiamento dello stato del sistema deve essere considerato come parte di un processo proattivo, basato su dati storici, dati futuri e obiettivi (si veda Figura 22). L'implementazione di questi processi di gestione per l'ubicazione, la progettazione e l'installazione di impianti MHP potrebbe sembrare inutilmente complessa. Tuttavia, nonostante l'importanza del recupero energetico, la realizzazione degli impianti è generalmente pianificata all'interno di un'ampia strategia con obiettivi più importanti. Il recupero di energia è infatti una sorta di effetto collaterale positivo in una strategia di riduzione della pressione per la riduzione delle perdite.

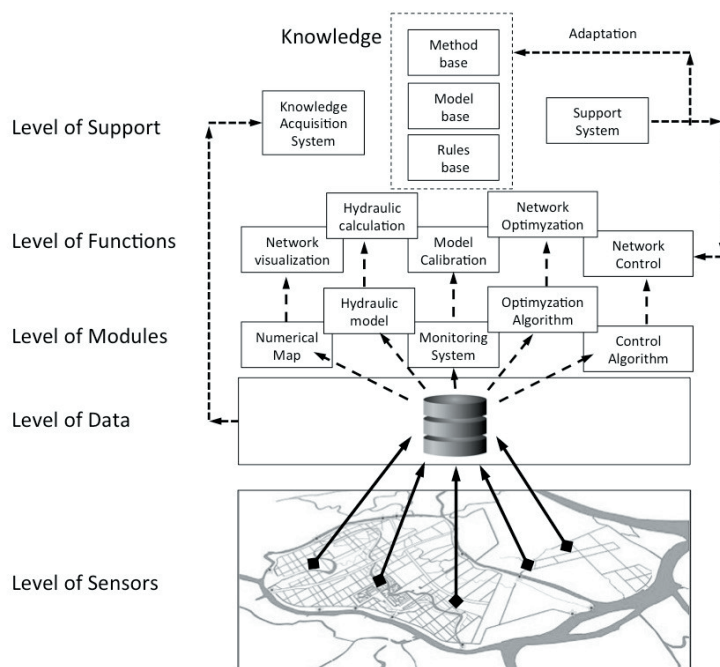


Figura 21. Albero decisionale di un sistema di approvvigionamento idrico (WSS) – (<https://doi.org/10.3390/w12113278>).

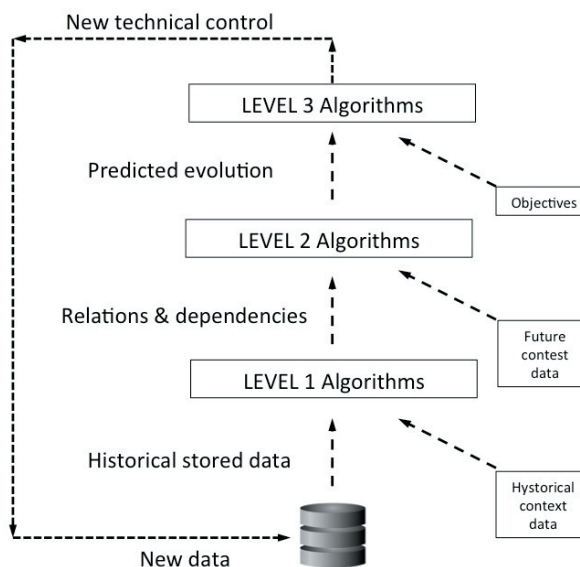


Figura 22. Architettura proattiva di riferimento per la modellazione e il controllo della rete (<https://doi.org/10.3390/w12113278>)

I dati per la progettazione di un MHP in una rete di distribuzione idrica dovrebbero essere distinti in due tipologie:

1. Dati per un modello idraulico della rete
2. Dati misurati in un sito specifico

Il primo tipo di dati viene utilizzato per la selezione delle valvole e per l'ubicazione e progetto di impianti MHP nella rete, mentre la seconda tipologia di dati viene utilizzata per la sostituzione di una valvola PRV esistente con un MHP. In tutti i casi, è importante sottolineare che la presenza di un impianto MHP interessa anche punti della rete situati a grande distanza dal nodo di dissipazione, come mostrato in Figura 23. Per quanto concerne, invece, la verifica della funzionalità dell'impianto, questa deve essere eseguita con riferimento alla pressione critica nel nodo.

Le portate e le pressioni misurate o calcolate nel nodo MHP devono essere disponibili su scala oraria per tenere conto della variabilità della domanda nella WDN e l'effetto della variazione stagionale della domanda degli utenti dovrebbe essere altrettanto valutato. In Figura 24 e in Figura 25 sono riportate le portate e le pressioni misurate in corrispondenza di una PRV nella rete del SMPGA (Fr). La perdita di carico disponibile per la conversione di energia è rappresentata dalla differenza DH tra i valori di pressione a monte e a valle della PRV.

La base per il progetto MHP è rappresentata dai due grafici che rappresentano il grafico DH(Q) e la distribuzione di frequenza della potenza dissipata dalla PRV.

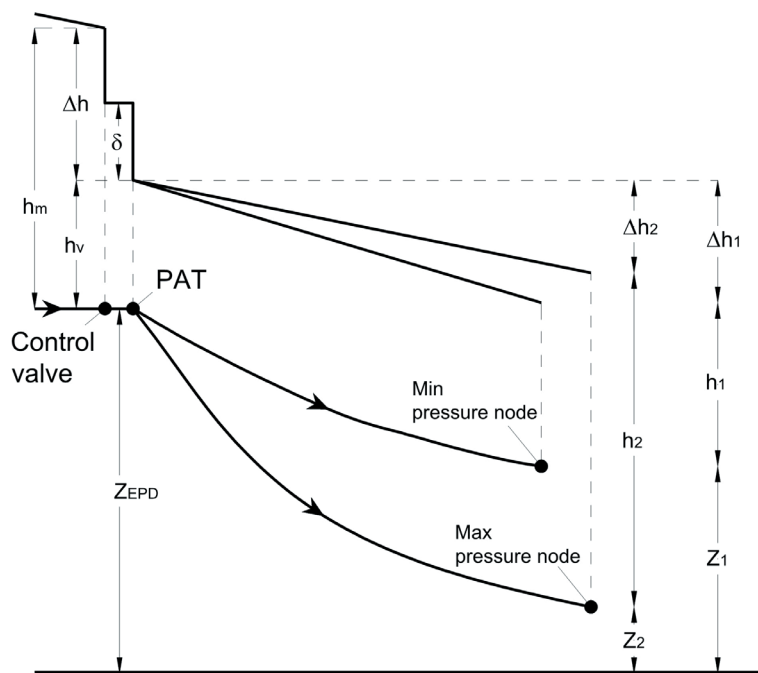


Figura 23. Effetti della PAT sul nodo di minima pressione
 ([https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000384](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000384)).

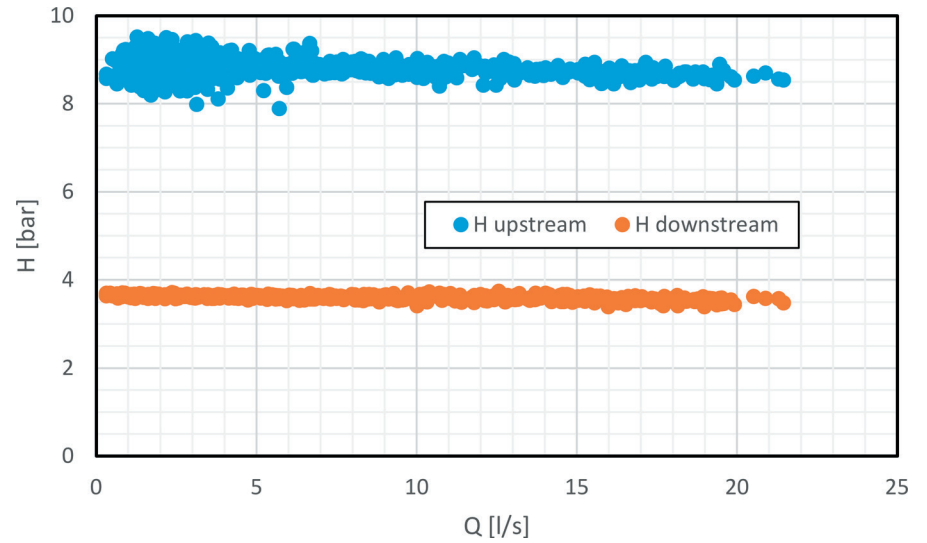


Figura 24. Pressioni nel sito di installazione della PRV

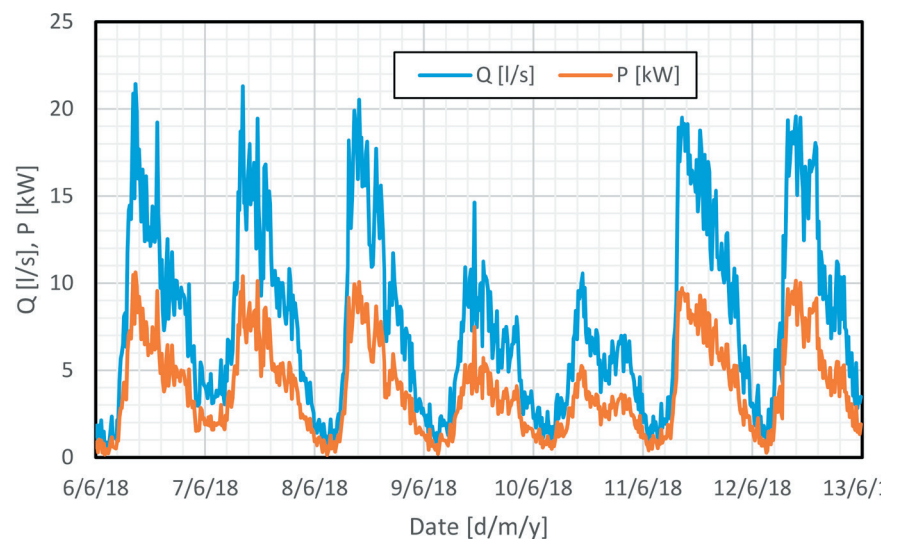


Figura 25. Distribuzione di portata e potenza disponibile

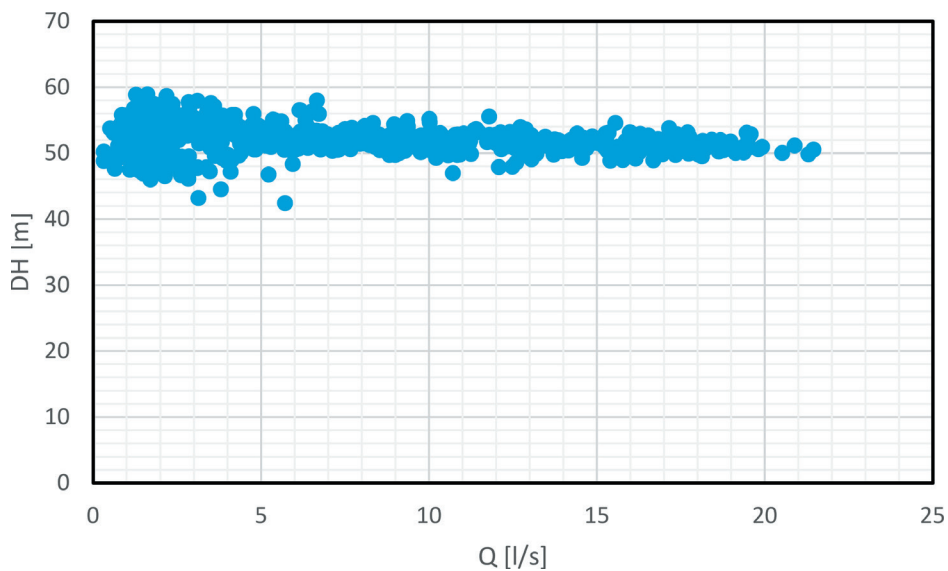


Figura 26. Carico dissipato vs portata nel sito di installazione della PRV

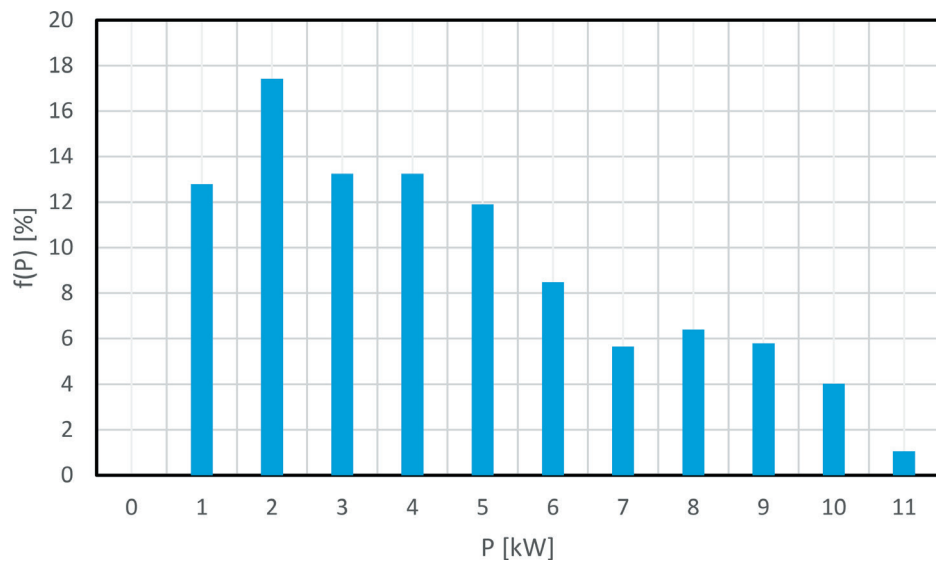


Figura 27. Distribuzione di frequenza della potenza disponibile

La migliore soluzione in termini di funzionalità della rete dovrebbe essere la progettazione di un impianto MHP che sostituisca esattamente le condizioni di lavoro della PRV esistente nel nodo di dissipazione, cosicché il processo di recupero energetico non modifichi le condizioni idrauliche della rete. Tuttavia le piccole EPD presentate nel Capitolo 4, a differenza delle turbine tradizionali, non sono dotate di regolatore incorporato e le loro curve caratteristiche non si adattano alle condizioni operative nel nodo di dissipazione, come mostrato in Figura 28. La curva caratteristica di un EPD collegato a un generatore asincrono dipende, infatti, dal numero di poli. Per una data velocità di rotazione, N , una condizione operativa potrebbe trovarsi nel piano $H(Q)$ a sinistra o a destra della curva caratteristica. Nel primo caso, l'EPD produrrebbe una riduzione del carico inferiore a quanto richiesto dalla gestione della pressione, mentre nel secondo caso la riduzione del carico sarebbe maggiore. Solo occasionalmente le condizioni di lavoro dell'EPD potrebbero adattarsi alle condizioni di funzionamento della WDN. Pertanto, la sostituzione di una PRV con un MHP potrebbe avere l'effetto di cambiare lo stato del sistema, quindi questa modifica deve essere analizzata in dettaglio per evitare pressioni eccessive, o pressioni inferiori al valore minimo nel resto della rete.

Per risolvere questo problema è necessaria una regolazione esterna dell'EPD ed esistono tre possibilità, come mostrato in Figura 29. Nella Regolazione Idraulica (HR) sono necessarie due valvole automatiche: la prima è collocata in serie all'EPD, la seconda è inserita in una tubazione di bypass. Il principio si evince dalla Figura 28 (a sinistra). La prima valvola produce una riduzione del carico aggiuntiva quando il punto di lavoro è posizionato a sinistra della curva caratteristica dell'EPD. La seconda valvola apre invece il bypass quando il punto di lavoro si trova a destra della curva caratteristica dell'EPD. Nella regolazione elettrica (ER), invece, il punto di lavoro della WDN e il punto di lavoro EPD sono abbinati variando la velocità di rotazione dell'EPD con l'uso di un inverter, come mostrato

in Figura 28 (al centro). Infine, è anche possibile una regolazione combinata (HER), presentata in Figura 28 (a destra). Per le grandi fluttuazioni di portata e cadute di pressione nelle WDN, determinate dalla variabilità della domanda degli utenti, la sola variazione della velocità dell'EPD non è sufficiente a coprire l'intera gamma delle condizioni operative. Pertanto, sarebbe necessaria una HER mista. Studi precedenti hanno tuttavia dimostrato che l'aumento della produzione energetica ottenuto con HER, rispetto all'uso di HR, non è tale da bilanciare i maggiori costi dell'impianto [5].

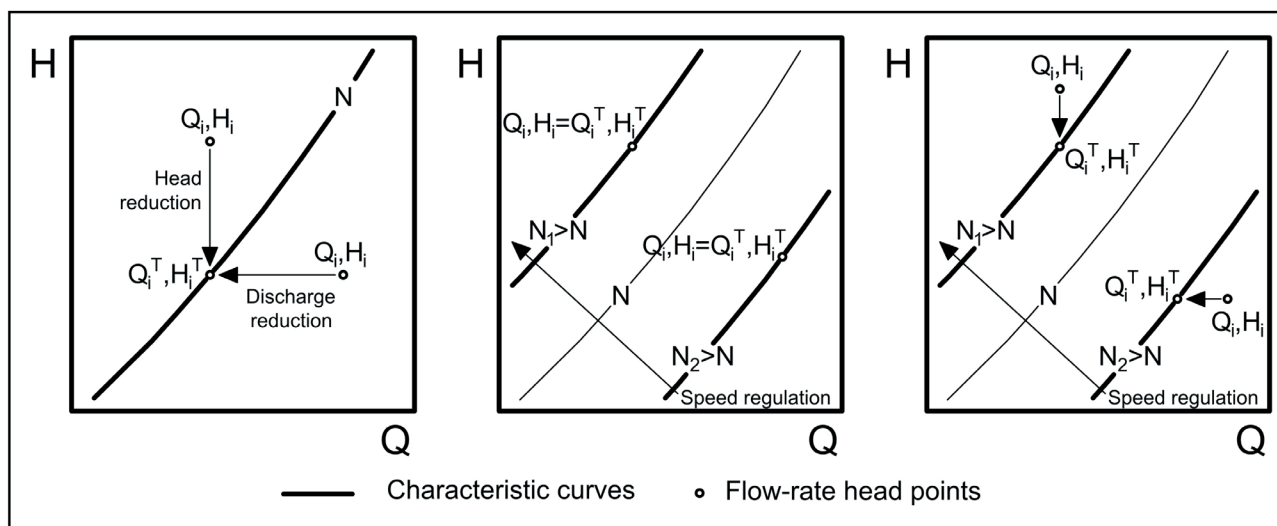


Figura 28. Regolazione dell'impianto MHP in differenti casi: HR (sinistra), ER (centro) and HER (destra) – (<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.031>)

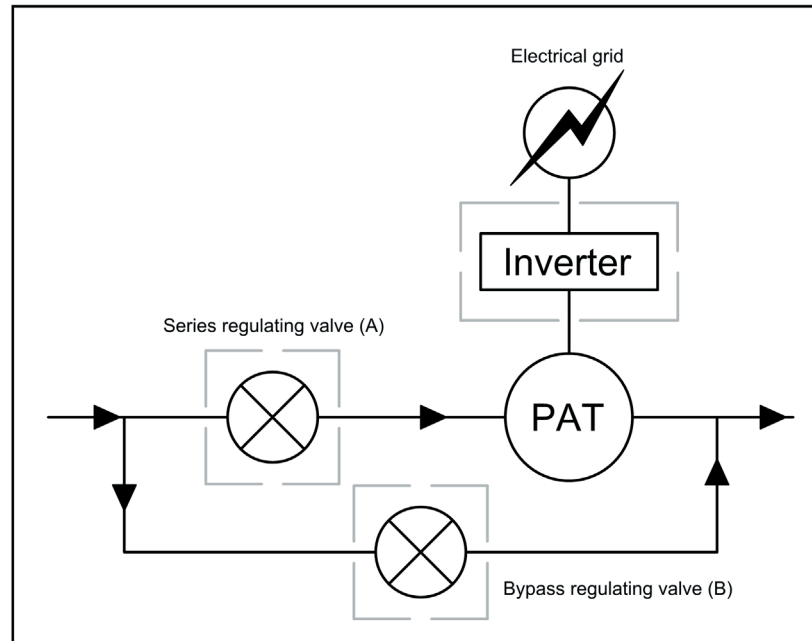


Figura 29. Schema di regolazione di un impianto di produzione idroelettrica
(<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.031>)

7. Principi di progettazione di un MHP

Nella progettazione di un MHP, gli aspetti prevalenti sono i seguenti: l'affidabilità, il costo unitario e la disponibilità dei dati di progettazione. Solo in caso di EPD a bassa potenza/bassa produzione questi aspetti diventano di scarsa rilevanza, in quanto la presenza dell'impianto MHP non influisce in modo significativo sullo stato della rete e la scelta può essere effettuata in base alle esigenze della stazione di monitoraggio e controllo. Per un'elevata affidabilità e un basso costo può essere preferito l'utilizzo di PAT.

Selezione delle PAT in uno schema MHP convenzionale

Un limite dell'utilizzo della tecnologia PAT era rappresentato dalla scarsa propensione dei produttori di pompe a presentare nei cataloghi la curva caratteristica e di prestazione della macchina in modalità inversa. Pertanto, in letteratura un gran numero di studi sono stati incentrati sulla previsione teorica delle condizioni operative della PAT sulla base delle condizioni operative della pompa. Il progetto REDAWN ha cercato di superare il problema realizzando un database di PAT commerciali, al fine di semplificare la scelta della PAT e fornire una base più solida al progetto di un impianto MHP. Il database contiene le curve di prestazione delle pompe industriali funzionanti in modalità diretta o inversa. Un codice di semplice utilizzo è disponibile sul sito REDAWN come strumento di supporto per un accesso facile al database (<https://www.redawn.eu/>).

Il secondo aspetto da considerare in fase di design è la scelta del modello e della dimensione della PAT. La Variable Operating Strategy (VOS) è la strategia di progettazione di PAT più diffusa in letteratura tecnica. La VOS è un algoritmo di selezione iterativo, che valuta il modello e la dimensione della PAT che massimizza una funzione obiettivo, solitamente rappresentata dall'efficienza dell'impianto MHP, in termini di produttività dell'impianto e affidabilità dei componenti. Un codice numerico, fornito come strumento di supporto

Principi di
progettazione
di un MHP

sul sito REDAWN (<https://www.redawn.eu/>), è stato realizzato implementando la VOS sul database delle PAT. Partendo dalle condizioni di lavoro dell'impianto MHP in un punto selezionato della rete e fissato un valore di contropressione, si effettua la selezione della PAT e si determina l'energia generata dall'impianto.

MHP non convenzionale

Una differente procedura è necessaria per la progettazione di un impianto MHP utilizzato per fornire energia da un flusso di acque chiare ad un altro flusso di acqua (di acque chiare o reflue). In entrambi i casi, una teoria completa è stata sviluppata durante il progetto REDAWN ed è ora disponibile in letteratura [14,28]. Il trasferimento diretto avviene tramite un apposito dispositivo in cui una PAT è direttamente accoppiata ad una pompa e la trasmissione meccanica avviene lungo lo stesso albero delle due macchine. Pertanto, la PAT converte la potenza idraulica disponibile in potenza meccanica ed il suo albero rotante è direttamente collegato ad una macchina per pompare l'acqua in un'ulteriore condotta. La condizione necessaria per questa tipologia di recupero energetico è la presenza di un sito specifico dove sia presente un eccesso di energia nella condotta principale della rete WSN e sia richiesta una fornitura di energia in un ramo secondario della stessa rete o in un ramo di una rete (ad esempio una rete fognaria). Il primo caso, PAT-Pump (P&P), è rappresentato in Figura 30, mentre il secondo caso, Mixed PAT – Pump (MP&P), è riportato in Figura 31. Nel primo caso, è possibile ipotizzare la stessa distribuzione temporale delle due distribuzioni di portata ed inoltre l'ora di punta nelle due porzioni di rete è la medesima. Nel secondo caso, invece, la distribuzione di portata della rete di acque reflue è solitamente ritardata e può esistere uno sfasamento tra il picco di richiesta nella WDN (ossia la massima portata turbinata) e il picco di portata nella rete delle acque reflue (ossia la massima portata pompata).

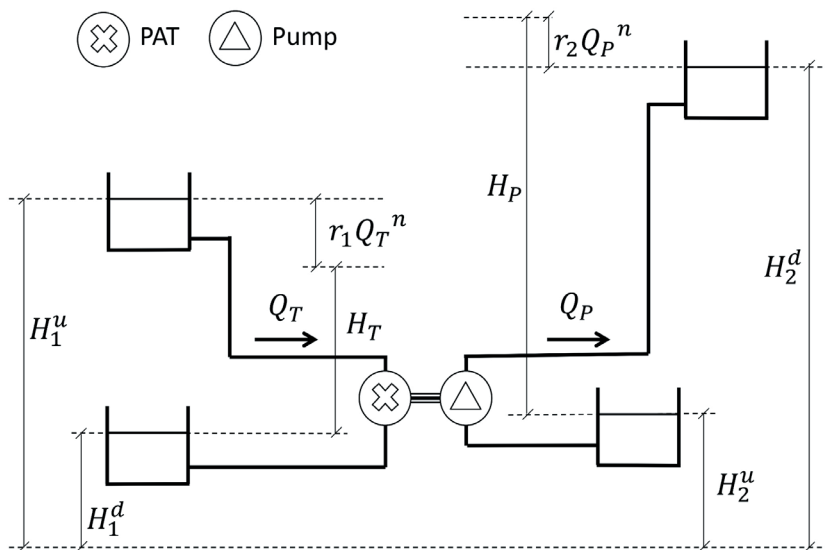


Figura 30. Schema idraulico di un PAT-Pump turbocharger - P&P
(<https://doi.org/10.3390/w9010062>).

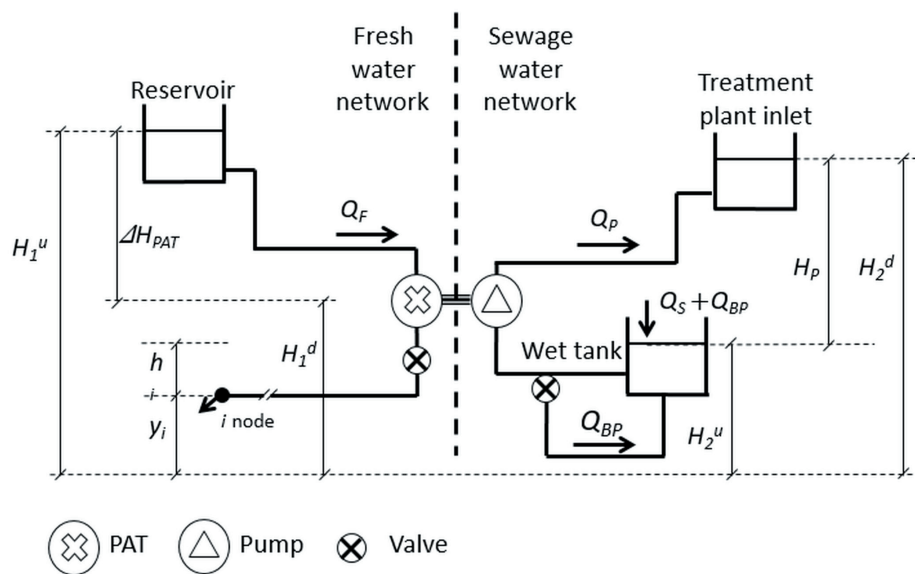


Figura 31. Schema idraulico di un Mixed PAT-Pump - MP&P
(<https://doi.org/10.3390/w12010038>).

Con riferimento al primo caso, la tipologia di impianto è praticabile quando l'energia disponibile è legata ad un'elevata portata (Q_T) e basso carico turbinato (H_T), mentre nella seconda parte della rete deve essere pompata una portata minore (Q_p) con maggiore prevalenza manometrica (H_p). Il caso studio [28] ha dimostrato che fino a un terzo della portata turbinata può essere pompata ($Q_p / Q_T < 0,33$), mentre la prevalenza manometrica può essere fino a 4,5 volte il carico turbinato ($H_p / H_T < 4,5$). L'efficienza della conversione energetica può arrivare fino al 0.45, il che significa che fino al 45% della potenza disponibile può essere utilizzata per pompare l'acqua nella seconda parte della rete.

La teoria dell'impianto MP&P, con un trasferimento di energia dal flusso di acque chiare al flusso di acque reflue, è stata interamente sviluppata all'interno del progetto REDAWN, con riferimento al piccolo villaggio irlandese situato nella Contea di Laois, a circa 100 km da Dublino (IE). In Figura 32 sono rappresentate le due reti. A sinistra, le frecce rosse rappresentano le acque chiare defluenti verso gli utenti finali. Nella rete di destra, invece, le acque reflue vengono raccolte e seguono le pendenze secondo le frecce blu. Il punto di raccolta della rete di acque reflue coincide con l'ubicazione dell'impianto MHP sulla rete di acque chiare, che si suppone lungo il ramo 8-10, in sostituzione di una valvola PRV esistente. Quindi, da questa posizione le acque reflue devono essere pompate verso l'impianto di trattamento. La portata disponibile, il carico dissipato e la potenza disponibile per l'impianto MHP nel ramo 8-10 sono mostrate in Figura 33. Il turbocompressore per questa tipologia di impianto MHP potrebbe essere rappresentato da una PAT accoppiata con una pompa per acque reflue ad asse nudo.

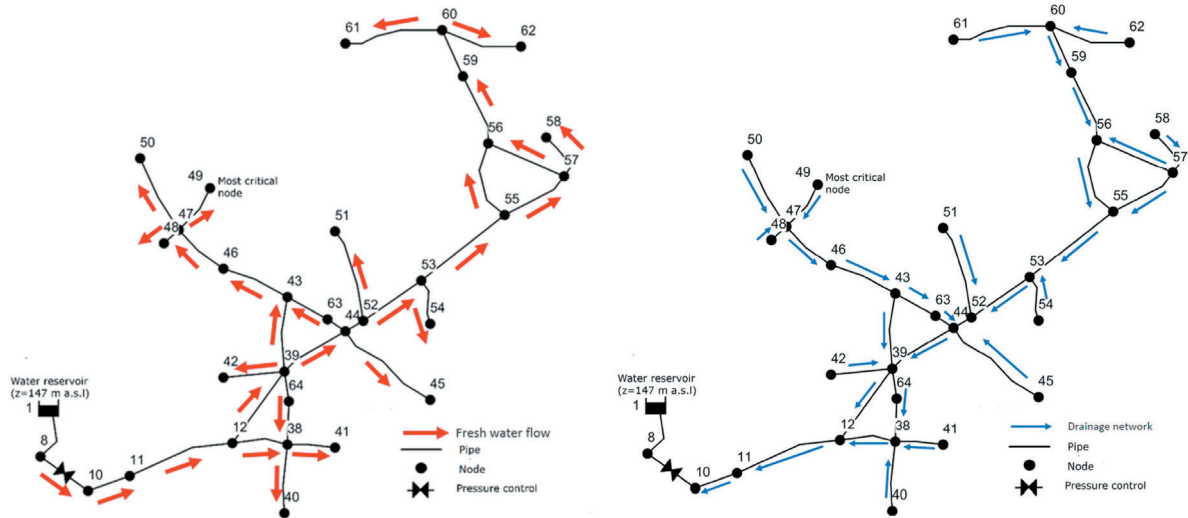


Figura 32. Reti d'acque chiare e reflue nella Contea di Laois (IE) – (<https://doi.org/10.3390/fluids3020041>)

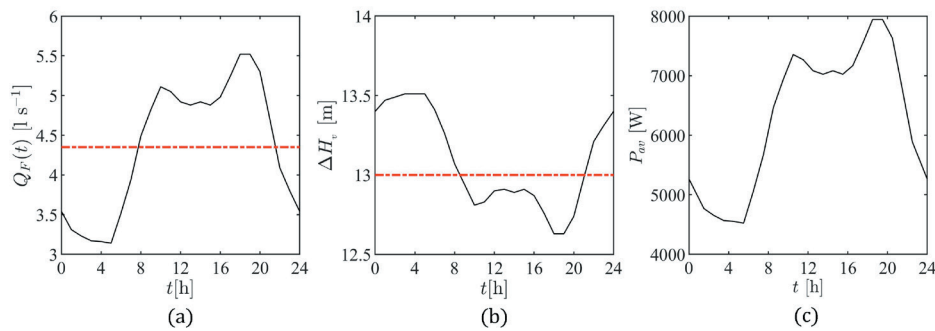


Figura 33. Andamento nel tempo della portata (a), del carico dissipato (b) and della potenza disponibile (c) in corrispondenza della valvola posizionata nel ramo 8–10 (<https://doi.org/10.3390/fluids3020041>).

L'aspetto cruciale nella progettazione di questo tipo di impianto MHP è l'intervallo di tempo tra l'andamento della portata chiara e l'andamento della portata reflua. Questo ritardo è dovuto alle caratteristiche della rete d'acqua reflua, che influenzano la velocità del flusso stesso. La distribuzione della portata reflua può essere determinata dalla distribuzione della portata chiara mediante un modello idrologico, che dipende, tra diverse variabili, dal coefficiente di deflusso, ϕ . In seguito, la progettazione dell'impianto MHP può essere eseguita mediante un insieme di tre equazioni, utilizzando la portata degli idrogrammi di acqua chiara e reflua. Ogni geometria di MP&P si riflette in una possibile prevalenza per il sollevamento di acque reflue.

I risultati della fase di progettazione sono rappresentati in Figura 34. Il trasferimento di energia dall'acqua chiara alla rete delle acque reflue determina differenti prevalenze manometriche al variare del coefficiente di deflusso. Per la potenza disponibile nel nodo di dissipazione, la possibile prevalenza manometrica è risultata variabile tra 1.6 m e 3.3 m.

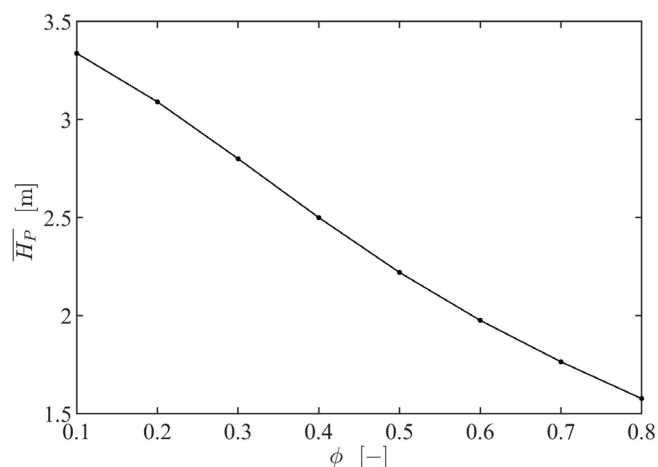


Figura 34. Andamento della prevalenza manometrica mediata sulla giornata al variare del coefficiente di deflusso (ϕ) - (<https://doi.org/10.3390/fluids3020041>).

Struttura e alloggiamento di un impianto MHP

La fattibilità di un impianto MHP in una rete di distribuzione idrica è strettamente collegata al costo totale dell'impianto, inclusi EPD, tubazioni, valvole di controllo, componenti elettrici, alloggiamenti, connessione alla rete elettrica e manutenzione. Considerando la piccola potenza disponibile e il piccolo reddito annuo connesso, questi costi devono essere strettamente controllati. Un Valore Attuale Netto positivo è possibile per la presenza, in molti casi, di condizioni di progetto favorevoli. L'utilizzo di PAT è la soluzione più idonea per contenere i costi delle EPD. Il costo dei componenti elettrici può essere minimizzato utilizzando una velocità rotazionale fissa della PAT, con produzione di energia alla frequenza della rete mediante generatore asincrono. Il costo delle tubazioni e delle valvole di regolazione è una voce di costo aggiuntiva, in caso di variabilità di portata e prevalenza nella WDN. In molti casi, lungo le condotte principali di una WDN, l'impianto MHP può essere posizionato in un pozzetto esistente o nella camera di un serbatoio, riducendo il costo dell'alloggiamento. La connessione alla rete elettrica è inoltre garantita nella maggior parte dei siti urbani. Infine, il costo di manutenzione degli impianti, che al momento può essere solo stimato per assenza di esperienze pregresse, dovrebbe essere significativamente ridotto dall'uso esclusivo di componenti industriali affidabili [31]. La fattibilità impiantistica di una centrale idroelettrica munita di EPD di bassa potenza/alta produzione diventa problematica quando è assente una sola delle condizioni precedenti. Un classico caso è l'assenza di una connessione alla rete elettrica nel nodo di dissipazione, o la mancanza di qualsiasi tipo di pozzetto per l'alloggiamento dell'impianto. L'unico modo per ovviare a questo tipo di problemi è la ricerca di un utilizzo locale dell'energia e di una dimensione ridotta del dispositivo.

Un'ulteriore situazione complessa è rappresentata dal recupero di energia nelle diramazioni periferiche della rete idrica in presenza di una potenza disponibile fino a 1 kW, una grande fluttuazione di

portata e di salti disponibili, ed esigui ricavi energetici. La ricerca scientifica può essere di aiuto per trovare nuove soluzioni a queste particolari condizioni impiantistiche. Una possibilità è rappresentata dall'utilizzo di PAT senza un completo sistema di regolazione. Il sistema SSP (Single-Series-Parallel) per centrali idroelettriche è stato recentemente proposto per zone residenziali, utilizzando due PAT e tre semplici valvole con regolazione ON / OFF (si veda Figura 35). Mediante un utilizzo alternativo delle valvole, le due PAT possono lavorare in parallelo o in serie, coprendo un'ampia gamma di condizioni operative, come mostrato in Figura 36. La SSP rappresenta una soluzione semplificata per l'introduzione di valvole PRV, considerando che le condizioni operative delle PAT non corrispondono alle condizioni operative richieste. Di conseguenza, la contropressione non è completamente garantita, ma questa si garantisce solo in via approssimativa. In questa soluzione impiantistica, il ricavo complessivo risulta essere incrementato considerando l'ampia gamma di portate in cui è possibile produrre energia, ed inoltre riduce il costo dell'impianto per l'assenza di un completo sistema di regolazione.

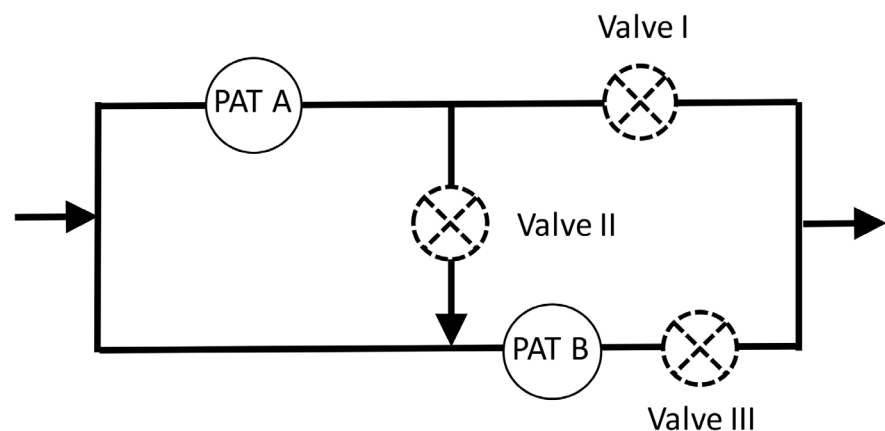


Figura 35. Sistema di PAT singole, in serie o in parallelo
 (<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.132>)

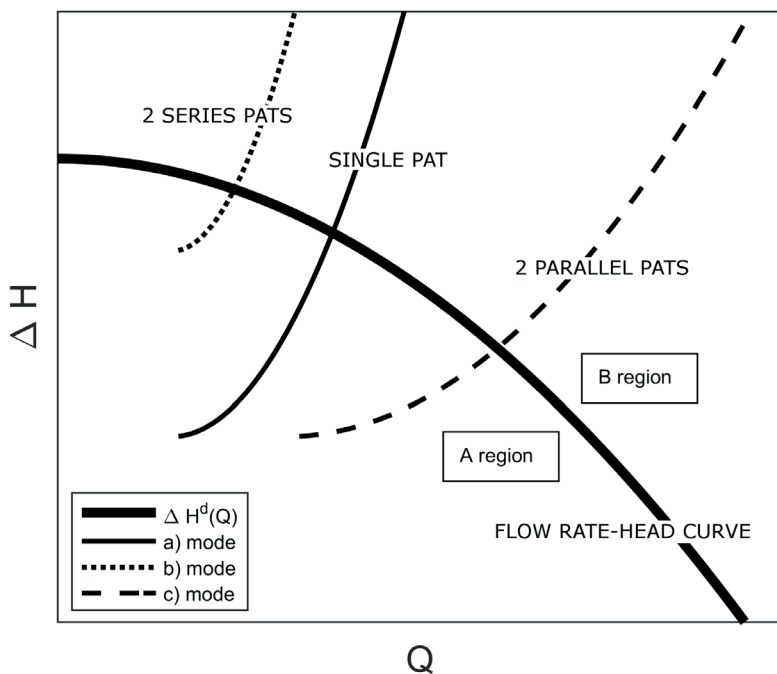


Figura 36. Condizioni operative di un sistema SSP
(<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.132>)

Un ulteriore affinamento del sistema SSP è stato proposto, realizzato e testato nell'ambito del progetto REDAWN. L'Energy Booster, rappresentato è un sistema SSP compatto che utilizza pompe sommerse semiassiali come PAT, collocate in un booster. Il vantaggio di questo sistema è il completo isolamento e la semplicità di alloggiamento dell'impianto.

Strategia di posizionamento degli MHP

Nelle reti di distribuzione idriche complesse, l'ubicazione ottimale di dispositivi di produzione di energia nell'ambito di una strategia di riduzione delle pressioni è una procedura alquanto complicata.

È importante evidenziare in partenza che questo problema non può essere risolto da un algoritmo numerico completo e non controllato. Il numero di stati operativi ed il numero di variabili coinvolte in un sistema idrico reale è difatti eccessivamente grande anche per le tecniche di ottimizzazione più avanzate. Ovviamente, per scopi pratici, tali tecniche non verranno utilizzate su reti idriche complete, bensì si opta generalmente per strategie semplificate.

Una prima possibilità consiste nell'utilizzare una procedura composta di due fasi: nella prima fase si individua la posizione ottimale dei nodi di dissipazione, mentre nella seconda si valuta la fattibilità economica della sostituzione di PRV con PAT. Questa tecnica è probabilmente la più ragionevole, in quanto il principale vantaggio economico di una strategia di riduzione della pressione in rete deriva prevalentemente dal minor costo dell'acqua determinato dal contenimento delle perdite idriche, piuttosto che dalla produzione energetica. Comunque la ricerca sul posizionamento ottimale di nodi di dissipazione per la riduzione delle perdite idriche è molto avanzata e sono disponibili in letteratura [25] anche codici numerici per un utilizzo pratico.

Una seconda alternativa consiste nel trovare il posizionamento ottimale delle PAT utilizzando un approccio euristico. Questa alternativa è molto più efficace in presenza di una gestione della rete basata sull'identificazione di distretti di monitoraggio (DMA) con distribuzioni di pressione opportunamente controllate e monitoraggio del flusso, al fine di ridurre le perdite d'acqua e ottimizzare la gestione dei sistemi idrici. Le DMA sono definite sulla base di una serie di condizioni topografiche, idrauliche e sociali. In seguito, il problema viene semplificato isolando le DMA e riducendo al minimo le portate in ingresso e in uscita tra le DMA. Di conseguenza, il problema dell'ubicazione ottimale è ridotto ad N diversi problemi, dove N è il numero complessivo di DMA.

Una volta ridotta la complessità del problema di posizionamento ottimale di PAT, il modo migliore per identificare la posizione ottima-

le sia di valvole che di impianti MHP è rappresentato dall'utilizzo di un modello di ottimizzazione numerica.

Nell'ambito del progetto REDAWN, sono stati sviluppati alcuni modelli avanzati di ottimizzazione, i quali considerano l'intera rete idrica e l'intera distribuzione di domanda giornaliera [25]. Uno dei modelli proposti è stato studiato per trovare la collocazione ottimale di dispositivi idraulici, considerando sia il risparmio idrico che la produzione di energia. L'idea alla base del modello è che le reti di distribuzione idrica sono sistemi complessi, in cui qualsiasi modifica potrebbe influenzare il comportamento dell'intera rete. Tuttavia è opportuno considerare che l'utilizzo di un impianto MHP può essere talvolta una valida soluzione sia per ridurre la pressione che per produrre energia, ma in alcuni casi la riduzione della pressione potrebbe garantire un grande risparmio idrico con un modesto recupero energetico. In questi ultimi casi, l'installazione di una valvola può essere più conveniente di una turbina. L'obiettivo del modello proposto è dunque la massimizzazione del ricavo conseguente all'investimento del posizionamento sia di PAT che di valvole all'interno della rete. La Figura 37 mostra le posizioni ottimali di pompe, turbine e valvole in una rete idrica sintetica: il reddito annuo dovuto alla produzione di energia e al risparmio idrico nel caso studio, rapportato al volume di ingresso della rete, ammonta a $0,036 \text{ € / m}^3 \text{ / anno}$.

In molti casi, può essere necessaria una progettazione in due fasi. Nella prima fase viene individuata una soluzione approssimativa, che massimizza il Valore Attuale Netto dell'installazione dei dispositivi, sulla base di una configurazione semplificata di MHP. La soluzione del modello è la portata disponibile e il salto di pressione. In seguito, sulla base dei valori ottenuti, si potrebbe procedere con la configurazione impiantistica definitiva, affinando la soluzione preliminare mediante la procedura progettuale presentata precedentemente.

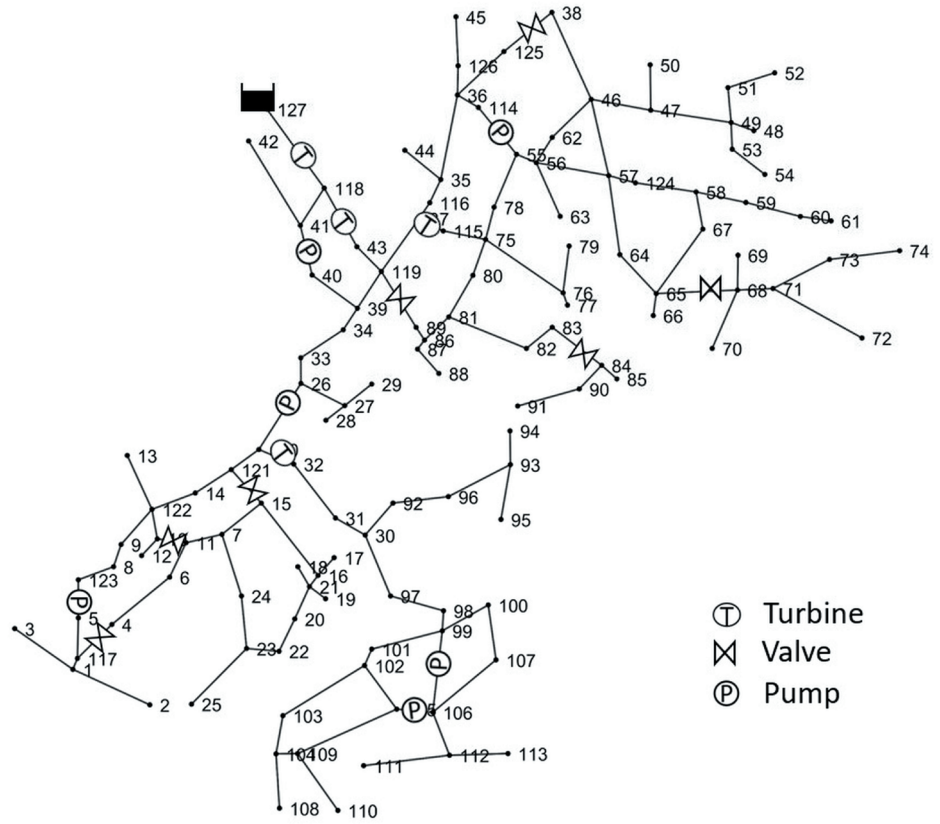


Figura 37. Ubicazione ottimale di turbine, pompe e valvole in una rete sintetica (Morani M.C., PhD Thesis, Newly proposed strategies to increase the energy efficiency of water systems, University of Naples “Federico II”, 2021)

8. Beneficio ambientale degli impianti MHP

Oltre al potenziale vantaggio economico rappresentato dal recupero energetico, l'implementazione della tecnologia MHP consente potenziali benefici ambientali. In alcuni casi, tale beneficio ambientale potrebbe rappresentare una valida motivazione per installare un impianto MHP, considerato il crescente interesse per l'ambiente in ambito sia politico che sociale.

Secondo vari studi effettuati da IDAE, la generazione idroelettrica è il sistema energetico di produzione di elettricità che produce minori impatti sull'ambiente per kWh generato, comprese le fonti rinnovabili.

I principali vantaggi ambientali possono essere schematizzati come di seguito:

1. Le emissioni serra (Greenhouse Gas), responsabili del riscaldamento globale e dei cambiamenti climatici, risultano essere ridotte;
2. L'uso della risorsa idrica è non consumistico, in quanto l'acqua utilizzata non viene consumata, bensì è restituita all'ambiente naturale senza alterarne le caratteristiche.
3. L'installazione dell'impianto non determina alterazione delle proprietà dell'acqua;
4. L'energia è utilizzata localmente, riducendo gli impatti ambientali di qualsiasi tipo di trasporto di energia.
5. L'impatto ambientale risulta essere ridotto, date le contenute dimensioni di un impianto MHP rispetto agli impianti idroelettrici tradizionali

Beneficio ambientale
degli impianti MHP

6. Un impianto MHP non produce rifiuti inquinanti, se non in fase di costruzione, a cui vanno sempre seguite misure preventive e correttive.
7. Si utilizzano apparecchiature la cui produzione comporta l'uso di un volume minore di sostanze pericolose e una minore generazione di rifiuti rispetto ad altre tecnologie.
8. Il processo di produzione energetica è inesauribile, grazie al ciclo idrologico naturale;
9. Il rischio di saturazione del terreno a causa delle perdite idriche risulta ridotto, in quanto gli impianti MHP operano come riduttori di pressione.

In generale, la fase di realizzazione di un impianto idroelettrico tradizionale prevede le seguenti azioni:

1. Condizionamento delle strade in prossimità;
2. Pacciamatura e movimento terra (in base all'entità del lavoro).
3. Posizionamento di tubazioni e costruzione di pozzetti;
4. Installazione della linea elettrica;
5. Riempimento degli scavi;
6. Costruzione di edifici per ospitare apparecchiature elettromeccaniche;
7. Trasporto, immagazzinamento e montaggio di apparecchiature elettromeccaniche. Questa tipologia di lavoro determina notevoli impatti ambientali.

I principali effetti potenziali sono i seguenti:

1. Rilascio di sostanze, energia o rumore (rilascio accidentale di sostanze chimiche da macchinari da costruzione

- o durante lavori di manutenzione; emissione di rumore e vibrazioni a causa dell'impiego di macchinari edili);
2. Inquinamento del suolo, dell'aria e dell'acqua (peggioramento della qualità dell'aria a causa dell'emissione di gas di combustione e polveri delle macchine edili; inquinamento dell'acqua e del suolo per sversamenti accidentali);
 3. Distruzione di vegetazione, paesaggi, habitat e fauna locale (maggiore capacità erosiva dei corsi d'acqua ed alterazione degli ecosistemi acquatici a causa di variazioni del flusso idrico; materiali di deposito; effetto barriera determinato dalle dighe; erosione e degradazione del suolo e perdita di copertura vegetativa per movimento terra e scavi; perdita di habitat per scomparsa della vegetazione ed allagamento delle aree limitrofe in seguito alla costruzione di dighe; migrazione di specie sensibili all'inquinamento acustico; impatto visivo dovuto a modifiche del paesaggio per la realizzazione di nuove infrastrutture).

L'integrazione di un impianto MHP in qualsiasi infrastruttura idraulica richiede solo i passaggi da 3 a 7 sopra riportati e in misura molto più contenuta, con una conseguente incidenza ridotta sull'ambiente durante la fase di installazione. Gli impatti sono minimizzati, dato il volume modesto di scavi e di terreno, nonché il contenuto utilizzo di macchinari pesanti. Giacché un impianto MHP non è ubicato in un canale naturale, esso non provoca alterazione dell'ambiente naturale. Inoltre tale tipo di impianto previene i problemi di interruzione del flusso idrico e l'effetto barriera per la costruzione di dighe o sbarramenti, nonché i cambiamenti dell'habitat naturale per allagamento di vaste aree limitrofe.

Tuttavia, durante il funzionamento di un impianto MHP, è necessa-

rio tener conto degli inevitabili impatti ambientali tipici di qualsiasi centrale idroelettrica, nonostante questi si verifichino su scala minore a causa di un impianto più piccolo. I principali impatti ambientali che potrebbero verificarsi in fase di esercizio sono i seguenti:

1. Rilascio di energia o rumore (emissione di rumore e vibrazioni da parte di turbine in funzione; emissione di radiazioni elettromagnetiche nelle reti elettriche).
2. Inquinamento del suolo e delle acque per rilascio accidentale di sostanze chimiche in manutenzione. Nel caso particolare degli impianti MHP integrati nelle reti di approvvigionamento idrico, si aggiunge il rischio di perdita di acqua potabile a causa della possibile diluizione di sostanze tossiche. Per debellare tale rischio, è necessario che gli elementi a contatto con l'acqua ricevano i trattamenti indicati dalla normativa e che i circuiti di lubrificazione delle parti in movimento a contatto con l'acqua non producano perdite.

Per quanto concerne il miglioramento ambientale delle infrastrutture idrauliche, l'introduzione di tali dispositivi offre la possibilità di ridurre i consumi elettrici esterni attraverso l'autoalimentazione e l'utilizzo della risorsa idrica stessa. Ne risulta una riduzione non solo dei costi operativi, ma anche dell'impronta di carbonio dell'impianto. Per una valutazione generale del beneficio ambientale della tecnologia MHP nell'Atlantic Area, la riduzione dell'impronta di carbonio è stata calcolata sulla base del potenziale energetico in ogni Paese. Considerando che gli impianti MHP producono energia elettrica senza emettere gas serra, la riduzione delle emissioni di CO₂ è stata considerata equivalente all'energia elettrica generata secondo il mix energetico di ogni Paese.

I risultati del potenziale beneficio ambientale sono riportati in Figura 38.

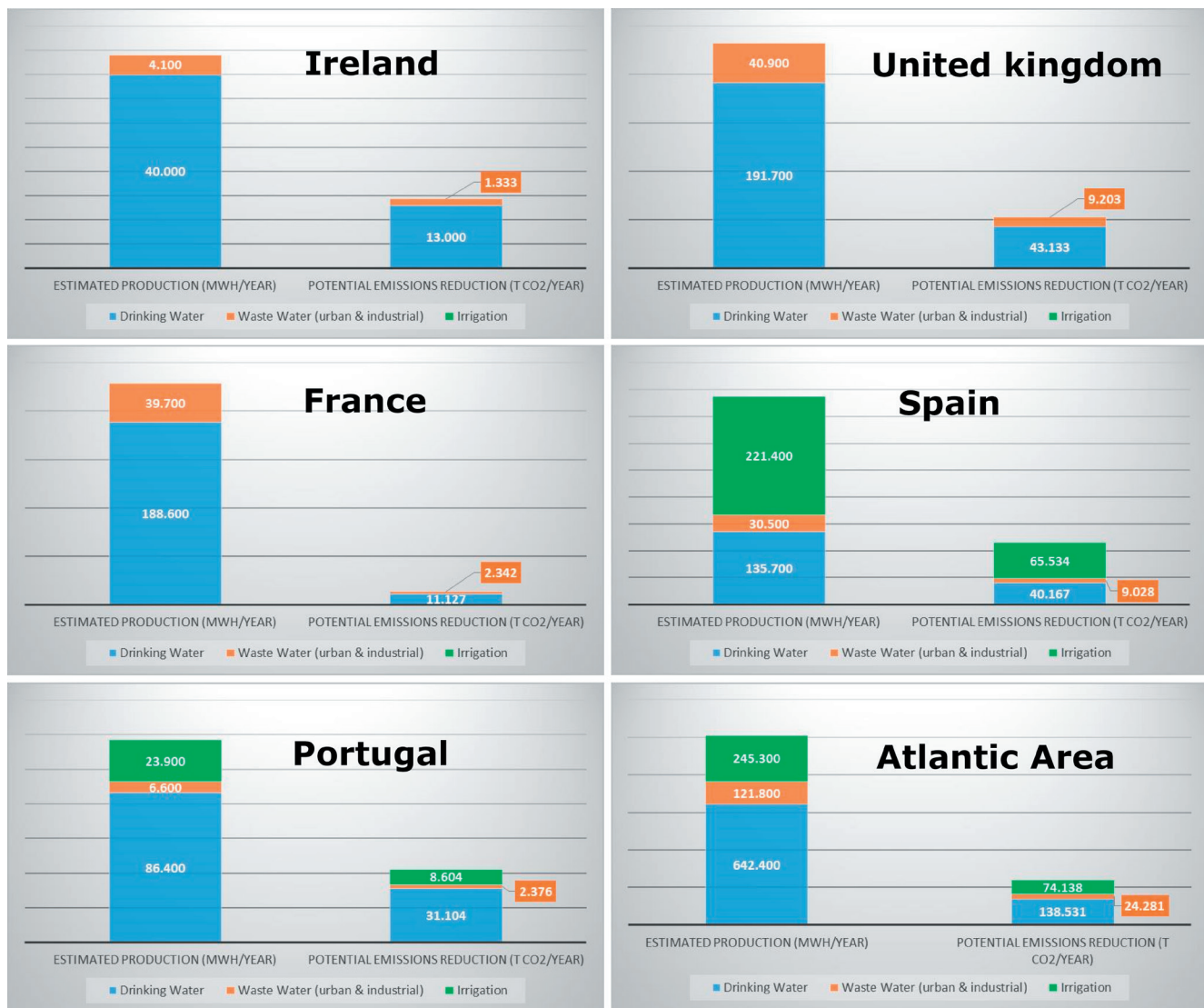


Figura 38. Potenziale beneficio ambientale nei Paesi dell'area atlantica

9. Conclusione

Il progetto REDAWN è incentrato sul recupero energetico della micro-energia idroelettrica nel settore idrico, compresa l'acqua potabile, le acque reflue, l'industria e le reti di irrigazione, in tutta l'area atlantica. Una conoscenza più approfondita è stata acquisita su molti aspetti fondamentali della tecnologia delle PAT e sono stati sviluppati strumenti di guida e supporto per la progettazione di impianti MHP.

Questo opuscolo descrive le opportunità del recupero energetico nelle reti di distribuzione dell'Atlantic Area, definisce il potenziale impatto economico e ambientale dell'utilizzo di impianti MHP e specifica le linee guida per la progettazione degli impianti MHP stessi nelle reti di approvvigionamento idrico. Queste linee guida consentiranno ai responsabili politici, ai gestori dell'acqua e ai tecnici di comprendere a fondo l'importanza del recupero energetico all'interno di una strategia più completa per la limitazione del consumo di energia nel trasporto e nella distribuzione della risorsa idrica. Nell'ambito del water-energy-food nexus, la riduzione della pressione in rete mediante una corretta gestione della pressione si rivela un'importante strategia per una limitazione dello spreco di energia e acqua. Tale riduzione di pressione può essere garantita mediante l'installazione nella rete di valvole riduttrici di pressione. Una micro centrale idroelettrica, invece, consente una regolazione della pressione della rete idrica equivalente ad una valvola di riduzione di pressione, con un recupero sicuro dell'energia altrimenti dissipata mediante la valvola stessa. Inoltre, la fattibilità degli impianti MHP è legata ad una buona affidabilità e ai costi ridotti.

Una corretta progettazione sarà possibile partendo da un'analisi approfondita delle condizioni della rete, in termini di utilizzo energetico, stato idraulico e controllo della rete. Un uso sostenibile dell'energia recuperabile è in molti casi la condizione determinante nella scelta della migliore configurazione per la centrale idroelettrica.

10. Riferimenti bibliografici

- [1] Besharat, M., Dadfar, A., Viseu, M. T., Brunone, B., & Ramos, H. M. (2020). Transient-flow induced compressed air energy storage (TI-CAES) system towards new energy concept. *Water*, 12(2), 601.
- [2] Capelo, B., Pérez-Sánchez, M., Fernandes, J. F., Ramos, H. M., López-Jiménez, P. A., & Branco, P. C. (2017). Electrical behaviour of the pump working as turbine in off grid operation. *Applied Energy*, 208, 302-311.
- [3] Carravetta, A., Fecarotta, O., & Ramos, H. M. (2018). A new low-cost installation scheme of PATs for pico-hydropower to recover energy in residential areas. *Renewable Energy*, 125, 1003-1014.
- [4] Carravetta, A., Fecarotta, O., Ramos, H. M., Mello, M., Rodriguez-Diaz, J. A., Morillo, J. G., ... & McNabola, A. (2018). Reducing the Energy Dependency of Water Networks in Irrigation, Public Drinking Water, and Process Industry: REDAWN Project. In *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings (Vol. 2, No. 11, p. 681)*.
- [5] Carravetta, A.; Houreh, S.D; Ramos, H.M. *Pumps as Turbines: Fundamentals and Applications*, Springer, 2018.
- [6] Chacon, M. C., Díaz, J. A. R., Morillo, J. G., & McNabola, A. (2020). Hydropower energy recovery in irrigation networks: Validation of a methodology for flow prediction and pump as turbine selection. *Renewable Energy*, 147, 1728-1738.
- [7] Chacón, M. C., Díaz, J. A. R., Morillo, J. G., & McNabola, A. (2020). Estimating regional potential for micro-hydropower energy recovery in irrigation networks on a large geographical scale. *Renewable Energy*, 155, 396-406.
- [8] Chacón, M. C., Díaz, J. A. R., Morillo, J. G., & McNabola, A.

- (2021). Evaluation of the design and performance of a micro hydropower plant in a pressurised irrigation network: Real world application at farm-level in Southern Spain. *Renewable Energy*, 169, 1106-1120.
- [9] Chacón, M. C., McNabola, A., Hydropower energy recovery potential from irrigation networks, Presented at ENVIRON2018, Cork, Ireland.
- [10] Chacón, M. C., Rodríguez-Díaz, J. A., Morillo, J. G., Gallagher, J., Coughlan, P., & McNabola, A. (2018). Potential Energy Recovery Using Micro-Hydropower Technology in Irrigation Networks: Real-World Case Studies in the South of Spain. In *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings (Vol. 2, No. 11, p. 679)*.
- [11] Cimorelli, L., & Fecarotta, O. (2020). Optimal Regulation of Variable Speed Pumps in Sewer Systems. In *Environmental Sciences Proceedings (Vol. 2, No. 1, p. 58)*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- [12] Crespo Chacón, M., Rodríguez Díaz, J. A., García Morillo, J., & McNabola, A. (2019). Pump-as-turbine selection methodology for energy recovery in irrigation networks: Minimising the payback period. *Water*, 11(1), 149.
- [13] Fecarotta, O., & Cimorelli, L. (2021). Optimal scheduling and control of a sewer pump under stochastic inflow pattern. *Urban Water Journal*, 1-11.
- [14] Fecarotta, O., Martino, R., & Morani, M. C. (2019). Wastewater pump control under mechanical wear. *Water*, 11(6), 1210.
- [15] Fecarotta, O., Messa, G. V., Pugliese, F., Carravetta, A., Malavasi, S., & Giugni, M. (2018). Preliminary development of a method for impact erosion prediction in pumps running as turbines. In *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings (Vol. 2, No. 11, p. 680)*.

- [16] Fernandes, J. F., Pérez-Sánchez, M., da Silva, F. F., López-Jiménez, P. A., Ramos, H. M., & Branco, P. C. (2019). Optimal energy efficiency of isolated PAT systems by SEIG excitation tuning. *Energy Conversion and Management*, 183, 391-405.
- [17] Fontanella, S., Fecarotta, O., Molino, B., Cozzolino, L., & Della Morte, R. (2020). A Performance Prediction Model for Pumps as Turbines (PATs). *Water*, 12(4), 1175.
- [18] Giudicianni, C., Herrera, M., di Nardo, A., Carravetta, A., Ramos, H. M., & Adeyeye, K. (2020). Zero-net energy management for the monitoring and control of dynamically-partitioned smart water systems. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119745.
- [19] Manna, M., Vacca, A., & Verzicco, R. (2020). Pulsating spiral Poiseuille flow. *Journal of Fluid Mechanics*, 890.
- [20] Mérida García, A., Rodríguez Díaz, J. A., García Morillo, J., & McNabola, A. (2021). Energy Recovery Potential in Industrial and Municipal Wastewater Networks Using Micro-Hydropower in Spain. *Water*, 13(5), 691.
- [21] Mitrovic, D., Antonio, J., Diaz, R., Morillo, J. G., Coughlan, P., Gallagher, J., & McNabola, A. (2018). Hydropower energy recovery in water pipe networks: spatial regression analysis using GIS, assessing the correlation between energy recovery potential and geographical data. *Proceedings of the Water Efficiency Conference 2018, 5-7 September 2018, Aveiro Portugal: WATEF Network/University of Bath*.
- [22] Mitrovic, D., Chacón, M. C., García, A. M., Morillo, J. G., Diaz, J. A. R., Ramos, H. M., ... & McNabola, A. (2021). Multi-Country Scale Assessment of Available Energy Recovery Potential Using Micro-Hydropower in Drinking, Pressurised Irrigation and Wastewater Networks, Covering Part of the EU. *Water*, 13(7), 899.
- [23] Mitrovic, D., McNabola, A., Hydropower energy recovery potential of water distribution networks: Assessing the correlation between

the potential and geographical data, Presented at ENVIRON2018, Cork, Ireland.

- [24] Mitrovic, D., Morillo, J. G., Rodríguez Díaz, J. A., & Mc Nabola, A. (2021). Optimization-Based Methodology for Selection of Pump-as-Turbine in Water Distribution Networks: Effects of Different Objectives and Machine Operation Limits on Best Efficiency Point. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147(5), 04021019.
- [25] Morani, M. C., Carravetta, A., D'Ambrosio, C., & Fecarotta, O. (2021). A new mixed integer non-linear programming model for optimal PAT and PRV location in water distribution networks. *Urban Water Journal*, 1-15.
- [26] Morani, M. C., Carravetta, A., D'Ambrosio, C., & Fecarotta, O. (2020). A New Preliminary Model to Optimize PATs Location in a Water Distribution Network. In *Environmental Sciences Proceedings* (Vol. 2, No. 1, p. 57). MDPI.
- [27] Morani, M. C., Carravetta, A., Del Giudice, G., McNabola, A., & Fecarotta, O. (2018). A comparison of energy recovery by PATs against direct variable speed pumping in water distribution networks. *Fluids*, 3(2), 41.
- [28] Morani, M. C., Carravetta, A., Fecarotta, O., & McNabola, A. (2020). Energy transfer from the freshwater to the wastewater network using a pat-equipped Turbopump. *Water*, 12(1), 38.
- [29] Morillo, J. G., Díaz, J. A. R., Crespo, M., & McNabola, A. (2018). Energy Saving Measures in Pressurized Irrigation Networks: A New Challenge for Power Generation. In *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings* (Vol. 2, No. 23, p. 1440).
- [30] Morillo, J. G., McNabola, A., Camacho, E., Montesinos, P., & Díaz, J. R. (2018). Hydro-power energy recovery in pressurized irrigation networks: A case study of an Irrigation District in the South of Spain. *Agricultural Water Management*, 204, 17-27.

- [31] Novara, D., Carravetta, A., McNabola, A., & Ramos, H. M. (2019). Cost model for pumps as turbines in run-of-river and in-pipe microhydropower applications. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145(5), 04019012.
- [32] Perez-Sanchez, M., Sánchez-Romero, F. J., Ramos, H. M., & López-Jiménez, P. A. (2020). Improved planning of energy recovery in water systems using a new analytic approach to PAT performance curves. *Water*, 12(2), 468.
- [33] Pérez-Sánchez, M., Simão, M., López-Jiménez, P. A., & Ramos, H. M. (2017). CFD analyses and experiments in a PAT modeling: Pressure variation and system efficiency. *Fluids*, 2(4), 51.
- [34] Pienika, R., Usera, G., & Ramos, H. M. (2020). Simulation of a Hydrostatic Pressure Machine with Caffa3d Solver: Numerical Model Characterization and Evaluation. *Water*, 12(9), 2419.
- [35] Ramos, H. M., McNabola, A., López-Jiménez, P. A., & Pérez-Sánchez, M. (2020). Smart water management towards future water sustainable networks. *Water*, 12(1), 58.
- [36] Ramos, H. M., Pérez-Sánchez, M., Franco, A. B., & López-Jiménez, P. A. (2017). Urban floods adaptation and sustainable drainage measures. *Fluids*, 2(4), 61.
- [37] Ramos, H. M., Simão, M., McNabola, A., Novara, D., & Carravetta, A. (2018). Fostering Renewable Energies and Energy Efficiency in the Water Sector Using PATs and Wheels. In *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings* (Vol. 2, No. 23, p. 1438).
- [38] Ramos, H. M., Zilhao, M., López-Jiménez, P. A., & Pérez-Sánchez, M. (2019). Sustainable water-energy nexus in the optimization of the BBC golf-course using renewable energies. *Urban Water Journal*, 16(3), 215-224.
- [39] Simão, M., Besharat, M., Ramos, H.M; (2018) Energy recovery using PAT, Silva-Afonso A and Rodrigues-Pimental, C. (Eds), Pro-

ceedings of the Water Efficiency Conference 2018, 5-7 September 2018, Aveiro Portugal: WATEF Network/ University of Bath.

- [40] Simão, M., Besharat, M., Carravetta, A., & Ramos, H. M. (2018). Flow velocity distribution towards flowmeter accuracy: CFD, UDV, and field tests. *Water*, 10(12), 1807.
- [41] Simão, M., Pérez-Sánchez, M., Carravetta, A., & Ramos, H. M. (2019). Flow conditions for PATs operating in parallel: Experimental and numerical analyses. *Energies*, 12(5), 901.
- [42] Simão, M., Pérez-Sánchez, M., Carravetta, A., López-Jiménez, P., & Ramos, H. M. (2018). Velocities in a centrifugal PAT operation: Experiments and CFD analyses. *Fluids*, 3(1), 3.
- [43] Stocks, C (2019) Micro hydropower and the Water Energy Food nexus, NS Energy 2020
- [44] Ueda, T., Roberts, E. S., Norton, A., Styles, D., Williams, A. P., Ramos, H. M., & Gallagher, J. (2019). A life cycle assessment of the construction phase of eleven micro-hydropower installations in the UK. *Journal of Cleaner Production*, 218, 1-9.

Lista delle abbreviazioni

AA	Atlantic Area (Area Atlantica)
BAT	Best Available Technology (Migliore tecnologia disponibile)
DH	Head drop (Salto di pressione/carico)
DMA	District Metered Area (Distretti di monitoraggio)
EPD	Energy Production Device (Dispositivo di produzione di energia)
ER	Electrical Regulation (Regolazione elettrica)
HER	Hydraulic and Electrical Regulation (Regolazione mista idraulica ed elettrica)
HR	Hydraulic Regulation (Regolazione idraulica)
Hp	Pressure head of the pump (Prevalenza della pompa)
Ht	Head loss within the PAT (Carico turbinato dalla PAT)
kW	Kilowatt (Kilowatt)
kWh	Kilowatt-hour (Kilowatt per ora)
MHP	Micro hydropower (Micro idroelettrico)
MP&P	Mixed PAT-Pump turbocharger (Turbocompressore misto PAT-Pump)
PAT	Pump as turbine (Pompa a funzionamento inverso)
PRV	Pressure Reducing Valve (Valvola di riduzione di pressione)
P&P	PAT-Pump turbocharger (Turbocompressore PAT-Pump)
Q	Flow rate (Portata)
Qp	Flow rate through the pump (Portata defluente nella pompa)
Qt	Flow rate through the PAT (Portata defluente nella PAT)
SSP	Single Series Parallel (Sistema a funzionamento singolo, in serie o in parallelo)
VOS	Variable Operating Strategy
W	Watt
WDN	Water Distribution Network (Rete di distribuzione idrica)
WSN	Water Supply Network (Rete di approvvigionamento idrico)
WTN	Water Transmission Network (Rete di trasmissione idrica)

REDAWN

Reducing Energy Dependency in Atlantic area Water Networks

Partners:

- Action Renewables
- Asociación Feragua de Comunidades de Regantes de Andalucía
- EDA Renováveis
- Empresa de Electricidade da Madeira
- Fundacion Asturiana de la Energia
- Hidropower Ltd
- Instituto Superior Técnico Lisboa
- Northern Ireland Water
- Nueces De Calonge
- Parceria Portuguesa para a Água
- Renova
- Syndicat Mixte de Production d'eau potable du Granvillais et de l'Avranchin
- Trinity College Dublin
- Universidad de Córdoba
- Università degli Studi di Napoli Federico II
- Water Efficiency Network (University of Bath)

