Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Caratterizzazione e monitoraggio dei consumi idrici residenziali per la gestione ottimizzata della distribuzione

Stefano Alvisi e Marco Franchini

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA

DE: Department of Engineering Ferrara

Report RdS/PAR2016/029

CARATTERIZZAZIONE E MONITORAGGIO DEI CONSUMI IDRICI RESIDENZIALI PER LA GESTIONE OTTIMIZZATA DELLA DISTRIBUZIONE

Stefano Alvisi e Marco Franchini (Dipartimento di Ingegneria-Università degli Studi di Ferrara)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA
Piano Annuale di Realizzazione 2016
Area: "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici ed interazione con altri vettori energetici"
Progetto: D.6 "Sviluppo di un modello integrato di Smart District Urbano"
Obiettivo: "Gestione sostenibile e circolare dell'ambiente urbano"
Responsabile del Progetto: Claudia Meloni ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione
"Caratterizzazione e monitoraggio dei consumi idrici residenziali per la gestione ottimizzata della distribuzione"
Responsabile scientifico ENEA: ing. Marco Ferraris
Responsabile scientifico Università: prof. Stefano Alvisi / prof. Marco Franchini

Indice

SOMMARIO 4

1 INTRODUZIONE. 5

2 ANALISI DELL'ATTUALE SISTEMA DI MISURA DEI CONSUMI IDRICI DELLE UTENZE. 5

3 IDENTIFICAZIONE DELL'ARCHITETTURA DI UN SISTEMA PER IL RILEVAMENTO, ARCHIVIAZIONE E RESTITUZIONE DELLE INFORMAZIONI INERENTI I CONSUMI IDRICI RESIDENZIALI. 16

4 STUDIO DELLE INFORMAZIONI DEDUCIBILI DAL SISTEMA DI MONITORAGGIO DEI CONSUMI IDRICI PROPOSTO CON RIFERIMENTO AL CASO REALE DI GORINO FERRARESE (FE). 19

5 CONCLUSIONI. 31

6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI. 32

7 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI. 33

Sommario

Con l'obiettivo di permettere un'ottimizzazione della gestione delle reti di distribuzione idrica anche sotto il profilo energetico e, al contempo, di consentire un uso consapevole della risorsa idrica, in questo rapporto viene presentato un innovativo sistema di monitoraggio in tempo reale dei consumi idrici, pensato tenendo conto delle tecnologie che nel corso degli ultimi anni si sono distinte nel settore delle Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione. Per valutare concretamente i benefici che deriverebbero dalla diffusione di tale architettura, con riferimento ai singoli utenti e al gestore del servizio acquedottistico, vengono analizzati i dati raccolti, a passo temporale breve, presso il laboratorio di campo realizzato a Gorino Ferrarese (FE). Da questa analisi discende la possibilità di identificare in tempi stretti situazioni di perdita all'interno delle utenze o nella rete idrica. Queste possono essere così riparate rapidamente salvaguardando la risorsa idrica e favorendo un risparmio economico da parte delle utenze e del gestore.
Si evidenzia quindi infine come tale architettura non solo potrebbe permettere al gestore una gestione ottimale della rete di distribuzione, anche sotto il profilo energetico, ma grazie alle caratteristiche stesse dell'architettura potrebbe tradursi anche in una valida opportunità per monitorare parallelamente in tempo reale i consumi di più servizi (gas, energia elettrica, acqua), attraverso un'unica infrastruttura.

1 Introduzione.

Con riferimento all'Accordo di Collaborazione tra ENEA e Università di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria per l'attività di ricerca dal titolo: "Caratterizzazione e monitoraggio dei consumi idrici residenziali per la gestione ottimizzata della distribuzione", inserito nell'ambito del Progetto: D.6 "Sviluppo di un modello integrato di Smart District Urbano" dell'Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA Piano Annuale di Realizzazione 2016, si raccoglie nel presente documento il rapporto sulle attività svolte al 30 settembre 2017. In particolare, tali attività riguardano la proposta di un'architettura di un sistema di monitoraggio in tempo reale dei consumi idrici dell'utenza e dei benefici che potrebbero derivare dalla sua applicazione. Infatti, attualmente, in una situazione in cui l'intero sistema idrico italiano risulta affetto da profonde carenze strutturali e gestionali, il monitoraggio in tempo reale dei consumi idrici assume un ruolo chiave per aumentarne l'efficienza. Con tale monitoraggio, basato sull'utilizzo di tecnologie intelligenti, si offre infatti, al gestore, la possibilità di ottimizzare la gestione della rete di distribuzione di propria competenza, e alla generica utenza, di conseguire una maggiore consapevolezza nell'uso dell'acqua.
In questo studio, dopo aver analizzato le principali tipologie di contatori d'utenza, che allo stato di fatto costituiscono il parco contatori italiano, e aver illustrato le principali tipologie di contatori *smart* di nuova generazione proposte dal mercato di settore per la contabilizzazione dei consumi alle utenze (capitolo 2), si propone l'architettura di un sistema di monitoraggio in tempo reale dei consumi idrici dell'utenza (capitolo 3). In futuro, tale tecnologia potrebbe rappresentare un utile strumento funzionale all'acquisizione dei dati provenienti da contatori idrici di nuova generazione, al loro invio in modalità opportuna a una piattaforma *cloud* e alla loro fruizione da parte dell'utente del servizio acquedottistico e del gestore dello stesso. In realtà, adottando protocolli di comunicazione aperti e pensati appositamente per il *metering*, il sistema di monitoraggio in tempo reale suggerito potrebbe tradursi anche in una valida opportunità per le *multi-utility* per monitorare parallelamente in tempo reale i consumi di più servizi (gas, energia elettrica, acqua), attraverso un'unica infrastruttura.
Al fine di evidenziare i benefici che potrebbero derivare dall'applicazione del sistema di monitoraggio dei consumi idrici di cui sopra, nell'ottica di permettere al gestore una gestione ottimale di tutte le infrastrutture della rete di distribuzione (anche sotto il profilo energetico), e, in prospettiva, di accrescere la sensibilità degli utenti al tema del risparmio della risorsa idrica, sono qui descritte alcune analisi svolte utilizzando misure di campo raccolte presso la rete di distribuzione di Gorino Ferrarese (FE), gestita da CADF S.p.A. (capitolo 4). Infine, nel capitolo 5, sono presentate alcune considerazioni conclusive.

Vale la pena sottolineare che questo progetto è stato sviluppato parallelamente ad un altro progetto finanziato nell'ambito POR-FESR 2014-2020 della regione Emilia Romagna, intitolato GST4Water. Fra i due progetti vi è stata una certa sinergia. In particolare l'attività descritta nel capitolo 2 di questa relazione è stata completamente sviluppata nell'ambito del presente progetto. L'attività descritta nel capitolo 3 ha portato all'identificazione di una architettura di monitoraggio che nel progetto GST4Water ha poi trovato una forma di implementazione tramite la realizzazione di un prototipo per la lettura in automatico. L'attività descritta nel capitolo 4 ha messo in evidenza come un monitoraggio in continuo possa essere utile ad evidenziare in tempi brevi possibili perdite all'interno delle utenze. Sulla base di questa osservazione, nell'ambito del progetto GST4Water sono stati messi a punto algoritmi in grado di interpretare, in modo automatico, la variazione dei consumi di utenza in termini di presenza o meno di una perdita.

2 Analisi dell'attuale sistema di misura dei consumi idrici delle utenze.

La tariffa
Secondo l'art. 154 del D.lgs. 152/2006, "la tariffa costituisce il corrispettivo del servizio idrico integrato (SII) ed è determinata tenendo conto della qualità della risorsa idrica e del servizio fornito, delle opere e degli

adeguamenti necessari, dell'entità dei costi di gestione delle opere, e dei costi di gestione delle aree di salvaguardia, nonché di una quota parte dei costi di funzionamento dell'Autorità d'ambito, in modo che sia assicurata la copertura integrale dei costi di investimento e di esercizio secondo il principio del recupero dei costi e secondo il principio chi inquina paga" [1]. Con l'art. 21 del decreto n.201/11, convertito nella legge n. 214/11, è stato trasferito all'Autorità per l'energia elettrica e il gas (ora AEEGSI - Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico) il compito di regolare e controllare i servizi idrici e pertanto anche quello di definire la metodologia di calcolo dei corrispettivi all'utenza [2]. Il 28 dicembre 2015, con delibera 664/2015/R/idr, l'Autorità ha stabilito il Metodo Tariffario per il periodo regolatorio 2016-2019 definendo le componenti di costo sostenute dai gestori del SII e le regole per il computo dei costi ammessi al riconoscimento tariffario, con lo scopo di incentivare gli investimenti essenziali per garantire il miglioramento della qualità dei servizi nel settore, pur garantendo corrispettivi agli utenti tollerabili [3]. In particolare, il Metodo Tariffario stabilisce che le componenti di costo sostenute dai gestori del SII (costi delle immobilizzazioni, costi operativi, costi ambientali e della risorsa, ecc.) debbano essere trasferite in parte ai consumatori, attraverso un opportuno coefficiente detto moltiplicatore tariffario, affinché le utenze possano avvalersi di acqua potabile e servizi efficienti di depurazione e fognatura. Operativamente, il corrispettivo all'utenza si presenta suddiviso in due quote dette rispettivamente quota fissa e quota variabile. La prima viene pagata dall'utente anche nel caso in cui non consumi acqua, poiché comprende ad esempio le spese di noleggio del contatore e parte dei costi d'investimento; la seconda, invece, viene calcolata in relazione al consumo misurato dal contatore, utilizzando un sistema detto a blocchi crescenti (più si consuma e maggiore è il costo unitario da pagare). Ovviamente, essendo la quota variabile legata a quanto misurato dal contatore d'utenza, tanto migliori sono le performance metrologiche del dispositivo di misura, quanto più preciso sarà il consumo rilevato dal misuratore ovvero la stima dell'aliquota in questione. Tuttavia, il consumo idrico misurato dal contatore può non rispecchiare quanto effettivamente richiesto dall'utenza quando lo strumento di misura in oggetto risulta starato a causa dell'inevitabile decadimento delle prestazioni dello strumento dopo un certo periodo di tempo. Attualmente la situazione del parco contatori installati in Italia non gode di ottima salute: secondo AEEGSI (Relazione annuale sullo stato dei servizi e sull'attività svolta del 31 marzo 2016) "gli approfondimenti condotti sullo stato dei misuratori di utenza e sul relativo grado di vetustà mostrano la rilevante presenza di misuratori di età superiore ai 15 anni (con un'incidenza de 37%)". A questi deve essere poi sommata anche la quota parte di misuratori di età compresa tra 11 e 15 anni (con un'incidenza del 17%), per un totale del 54% dei misuratori idrici d'utenza installati sul territorio nazionale [4]. Nel caso del servizio idrico italiano, affidarsi ad apparecchi di età avanzata per la contabilizzazione dei consumi conduce a una misurazione non allineata alle direttive europee e nazionali sulla precisione dei contatori. Se poi si considera che i contatori installati prima del 1994 sono sprovvisti di bollo metrico e che quelli installati prima del 1988 sono privi dell'approvazione di marchio CE, si ha un'idea ancora più chiara di quale sia lo stato attuale dei dispositivi più datati. Per giunta, utilizzare strumenti di misura per la contabilizzazione dei consumi idrici poco precisi significa influire, in modo notevole, anche sulle dispersioni delle reti acquedottistiche delle quali sempre più spesso si parla in relazione agli sprechi d'acqua potabile ovvero alle perdite idriche. Difatti se da un lato è vero che in vari punti della rete idrica le perdite sono reali ovvero riconducibili alla non integrità e o alla mancanza di tenuta degli elementi che costituiscono la rete idrica (le condotte, i giunti, le derivazioni di utenza, gli organi idraulici, le pareti dei serbatoi, ecc.), dall'altro bisogna prendere atto che circa un terzo (se non oltre) dell'acqua ritenuta persa, in realtà, va a costituire le cosiddette perdite amministrative o apparenti. Quest'ultime equivalgono alla somma di tutti i volumi idrici consumati ma non contabilizzati tra i quali si distinguono i volumi dovuti agli errori di misura. Le perdite amministrative rivestono un'ovvia importanza di carattere economico e di esse possono essere ridotte o eliminate alcune aliquote come appunto quelle dovute ai volumi contabilizzati "per difetto" a causa di una misurazione non più accurata da parte dei contatori.

I contatori meccanici

Il parco contatori italiano è costituito principalmente da strumenti di misura tradizionali, di tipo meccanico ovvero contatori all'interno dei quali l'acqua in erogazione fa muovere delle turbine predisposte per

rilevare la velocità del flusso: data la proporzionalità diretta che sussiste tra la portata Q e la velocità v del fluido in movimento (Q = v · S, dove S è la sezione attraversata), tanto più velocemente girerà la turbina quanto più grande sarà la portata che attraversa la sezione del contatore in un determinato momento. La trasformazione da velocità a portata avviene ad opera di meccanismi particolari, detti ruotismi, del congegno ad orologeria collegato alla turbina: il risultato viene poi espresso in metri cubi, o sue frazioni, nel quadrante di lettura (
Figura 1). L'unico dato che si legge si riferisce ad un volume totale transitato dall'istallazione del contatore e per questo il quadrante viene definito "totalizzatore".

Figura 1. Esempi di contatori con quadrante a 5 (a sinistra) e 8 (a destra) rulli numeratori.

Nel territorio nazionale italiano, sono stati installati diversi modelli di contatori meccanici per la contabilizzazione dei consumi idrici che si differenziano tra loro per il meccanismo di funzionamento e per il modo in cui, ognuno di essi, si adatta meglio a una determinata situazione d'uso. In particolare, si distinguono i contatori a getto singolo, quelli a getto multiplo e i contatori Woltmann [5].
Il contatore a getto singolo consiste nel modello più semplice e viene utilizzato principalmente come contatore divisionale nelle utenze domestiche. Il suo funzionamento prevede che il flusso dell'acqua agisca direttamente sulla turbina, la cui rotazione aziona gli ingranaggi dell'orologeria (sommersi o meno, dipende dal tipo di contatore) restituendo il valore della portata transitata leggibile nei rulli del quadrante. I condotti di entrata e uscita si trovano sullo stesso piano orizzontale e l'acqua attraversa la camera misuratrice senza subire alcun spostamento in verticale, facilitando lo smaltimento di piccole impurità trascinate all'interno; inoltre, per la regolarità di deflusso del getto, la perdita di carico risulta essere assai bassa. Vengono prodotti di tre diverse tipologie, a seconda del grado di separazione dell'orologeria dal fluido e del conseguente metodo di trasmissione dell'energia dalla turbina al totalizzatore: a quadrante bagnato, a rulli protetti e a quadrante asciutto. Nel contatore a quadrante bagnato (Figura 2), l'albero della turbina è collegato direttamente all'orologeria, che risulta completamente immersa nel liquido, così come i rulli numeratori. Il vantaggio consiste nel fatto che la trasmissione di energia avviene direttamente nella camera di misurazione, evitando perdite dovute all'attrito e permettendo così di rilevare valori precisi anche a portate molto basse. A differenza dei contatori a quadrante asciutto, non può essere influenzato magneticamente dall'esterno, ma è adatto solo per acque limpide dato il pericolo di malfunzionamento in caso di impurità.

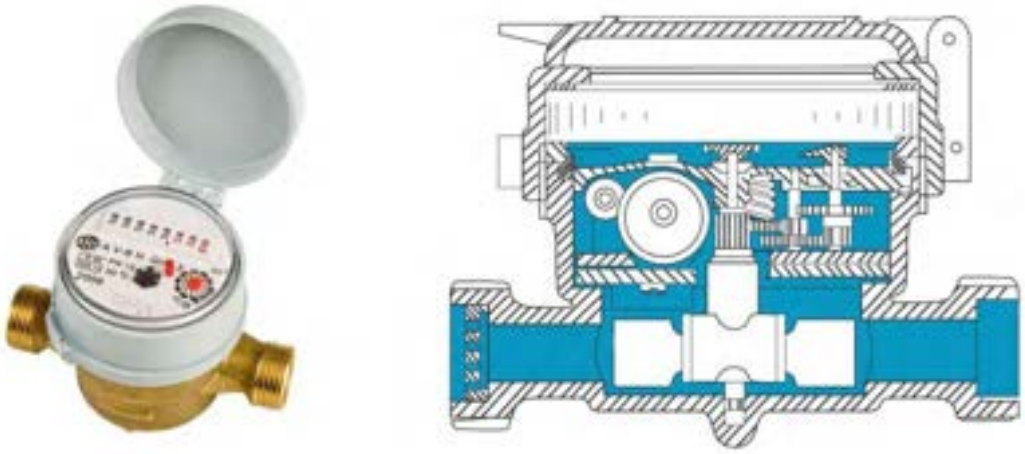

Figura 2. Contatore a getto singolo a quadrante bagnato (esterno e sezione verticale).

Il contatore a rulli protetti (Figura 3), può essere considerato uno sviluppo del modello a quadrante bagnato, nel quale, in particolari condizioni di utilizzo, si possono verificare infiltrazioni di particelle sospese e conseguenti depositi sull'intera zona del quadrante, che, in casi estremi, possono condurre ad una difficile lettura del contatore.

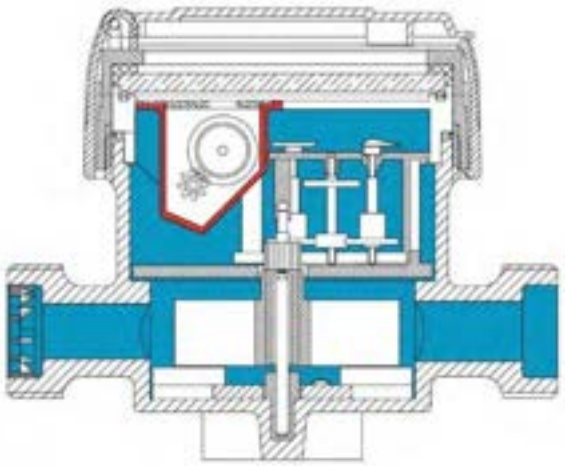

Figura 3. Contatore a getto singolo a rulli protetti (sezione verticale).

Il problema è stato risolto proteggendo i rulli numeratori in una camera di materiale plastico (in rosso nella figura), ermeticamente incapsulata e riempita con un liquido speciale di protezione. Dal momento che i rulli non vengono più a diretto contatto con l'acqua, il contatore è sempre ben leggibile e privo di depositi, anche nel caso di fluidi sporchi o ferrosi.

Infine, col contatore a quadrante asciutto (Figura 4), la trasmissione di energia avviene tramite un accoppiamento magnetico, cosicché solo la turbina lavora immersa nel fluido, mentre l'orologeria è separata dal flusso dell'acqua, evitando interferenze ed arresti causati da impurità. Entrambe le parti, quella sommersa e quella protetta, sono infatti collegate ad un sistema a trascinamento che sfrutta le proprietà delle due calamite: il magnete interno, solidale alla turbina, trasmette il moto al magnete esterno collegato all'orologeria, che procede con la misurazione del volume totale transitato. Questo accorgimento è particolarmente utile in presenza di acque soggette a variazioni di qualità.

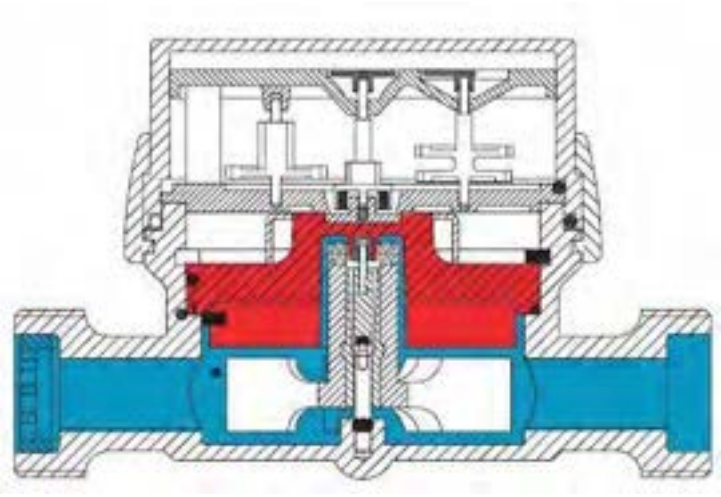

Figura 4. Contatore a getto singolo a quadrante asciutto (sezione verticale). In rosso la piastra di separazione.

Invece, il contatore a getto multiplo (Figura 5) viene utilizzato sia in ambito domestico che in ambito industriale per la sua capacità di misurare, con precisione e velocità di risposta, non sono le basse portate ma anche quelle di media entità, tanto da risultare la soluzione migliore per i collegamenti alla rete acquedottistica delle utenze residenziali.

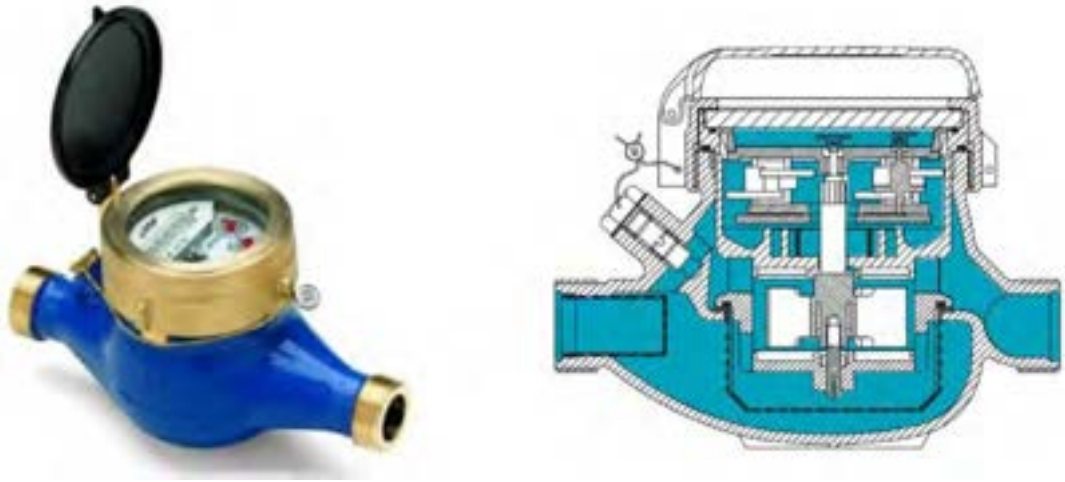

Figura 5. Contatore a getto multiplo a quadrante bagnato (esterno e sezione verticale).

Il flusso d'acqua, dopo essere entrato nel contatore, deve passare attraverso una serie di condotte che si trovano nella parte inferiore del distributore, prima di impattare la turbina con getti simmetrici e tangenziali che la mantengono in perfetto equilibrio, evitando così una sollecitazione unilaterale del perno di base, diversamente da quanto accade con gli altri principi di costruzione. L'acqua, in seguito, esce attraverso un'altra serie di condotti posizionati nella parte superiore del distributore stesso: la molteplicità dei canali, sia in ingresso che in uscita, favorisce una buona sensibilità di misurazione, garantendo, un vasto campo di misura delle portate (indicativamente da 3 a 30 m^3/h); grazie a questo funzionamento, inoltre, il corpo in ottone e la parte meccanica comprendente la turbina risultano meno esposti a fenomeni di usura nel tempo.
Analogamente a quanto visto per il monogetto, anche il contatore multigetto può essere realizzato non solo nella versione a quadrante bagnato, sopra rappresentata, ma anche in quelle a rulli protetti e a quadrante asciutto.
Infine il contatore Woltmann, il cui principio costruttivo è il medesimo applicato anche agli altri modelli visti fin qui, presenta come peculiarità fondamentale la conformazione della turbina che rileva la velocità del

flusso: si tratta di un mulinello ad alette elicoidali che occupa gran parte della sezione del contatore. Nonostante le notevoli dimensioni (in genere da Diametro Nominale DN50 mm a DN 500) e il fatto che sia stato progettato soprattutto per usi industriali (in media portate superiori a 15 m^3/h), la presenza di questa particolare elica garantisce un'elevata affidabilità nel contabilizzare anche modeste quantità d'acqua e soprattutto una maggiore stabilità di misurazione nel tempo rispetto alle altre tipologie di contatori. Si preferisce comunque installarlo nel caso di grosse utenze, per la capacità di gestire importanti picchi di portata con minime perdite di carico, o nei punti della rete dell'acquedotto in cui la differenza tra la portata diurna e la portata notturna è considerevole.
Il contatore Woltmann più diffuso è chiamato anche "parallelo" (Figura 6), in quanto l'albero della turbina e l'asse della tubatura cilindrica hanno la stessa direzione. Un giunto magnetico assicura la trasmissione del movimento del mulinello all'orologeria, dato che quest'ultima e il totalizzatore sono posizionati in una capsula con anticondensa completamente all'asciutto. Oltre al modello appena visto, esistono anche alcune importanti varianti del contatore Woltmann, che si adattano a particolari contesti di utilizzo sfruttando altre tecniche costruttive tra le quali si distingue il Woltmann verticale.

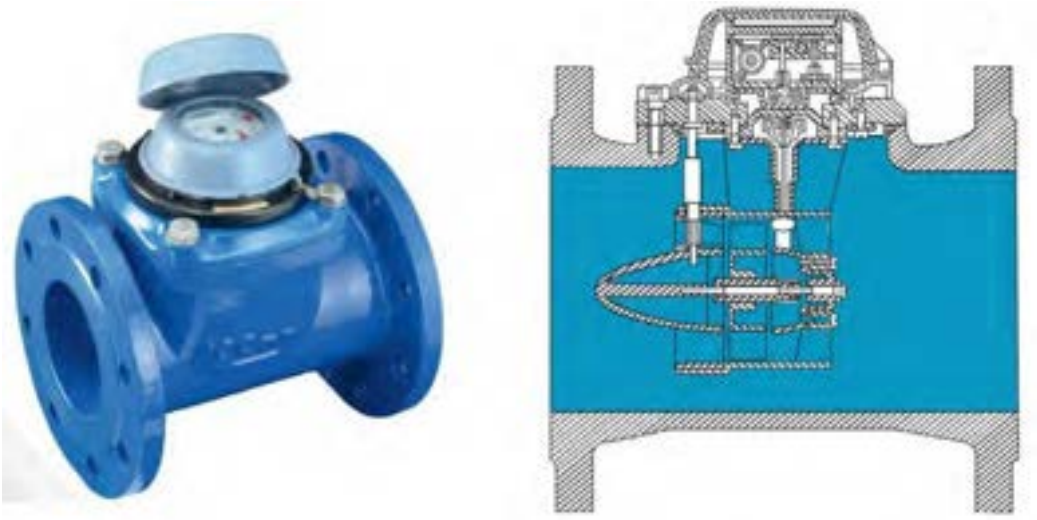

Figura 6. Contatore Woltmann parallelo (esterno e sezione verticale).

Questo modello è meno diffuso rispetto a quello precedentemente descritto e, come suggerisce il nome, l'albero della turbina è perpendicolare all'asse della condotta (risultando, appunto, verticale) e obbliga l'acqua ad attraversare il dispositivo dal basso verso l'alto compiendo una deviazione a forma di otto (Figura 7). Il vantaggio sta nel fatto che la rotazione dell'albero può essere trasmessa direttamente all'orologeria all'asciutto senza la necessità di meccanismi intermedi che ne cambino la direzione, sviluppando così una migliore sensibilità a basse portate e alle variazioni di flusso. Diversamente dal parallelo, però, è possibile installarlo solo con il quadrante verso l'alto, altrimenti le perdite di carico risulterebbero molto alte per il non corretto funzionamento della turbina.

Figura 7. Esempio di contatore Woltmann verticale.

Un particolare esempio di "collaborazione" fra due strumenti di misura già presentati è il contatore combinato (Figura 8), costituito da un Woltmann parallelo collegato ad un contatore a getto multiplo e ad una valvola di commutazione. Alle basse portate, la valvola chiude il passaggio principale e fa passare l'acqua solamente nel canale secondario, dirigendola verso il contatore a getto multiplo; quando poi la quantità d'acqua aumenta oltre il valore pre-impostato di apertura della valvola, il condotto principale viene sbloccato ed entra in funzionamento anche il contatore Woltmann. Questo permette una contabilizzazione alle basse portate molto più precisa rispetto al Woltmann tradizionale, rendendo il contatore combinato utile nel caso di flussi estremamente variabili (scuole, uffici, edifici pubblici, linee di approvvigionamento in aree residenziali, ecc.).

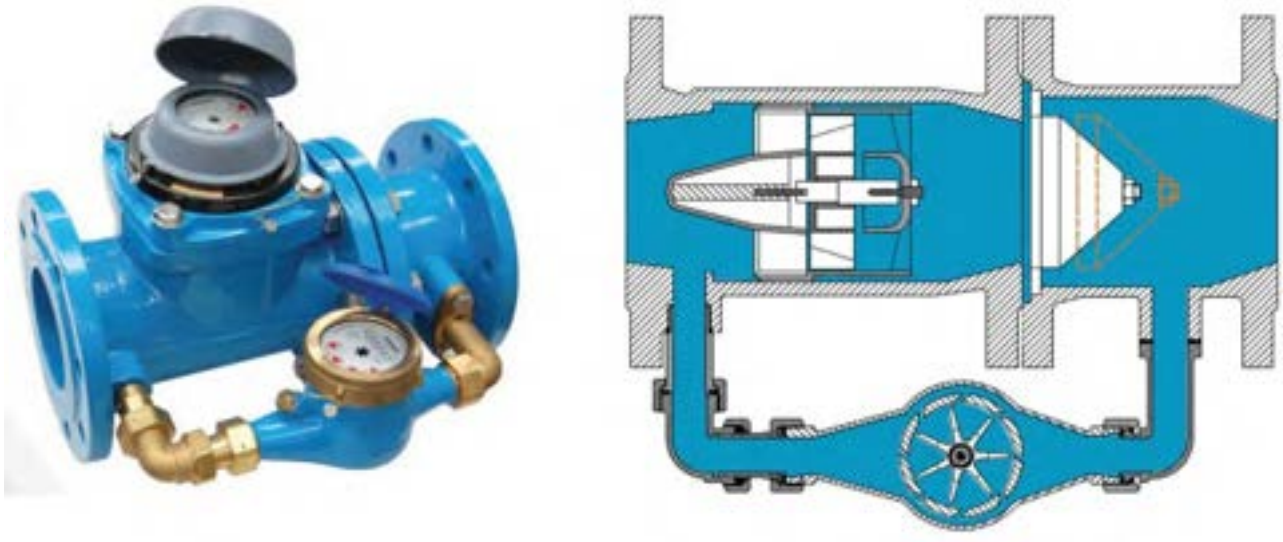

Figura 8. Contatore combinato (esterno e sezione orizzontale).

In seguito all'introduzione del modello combinato, è stata sviluppata una versione evoluta dello stesso, ossia il contatore combinato estraibile (Figura 9), nel quale il contatore principale, quello secondario e la valvola di commutazione sono tutti assemblati in un'unica piastra. Contrariamente alla tipologia standard, può rimanere installato nella linea durante le eventuali manutenzioni e, in caso di malfunzionamento, si

può sostituire solo il gruppo misuratore estraendo la piastra comune, senza che ci sia la necessità di togliere il tronchetto della tubazione. Proprio per questo è adatto ad ambienti in cui è più facile l'usura e il degrado, come ad esempio condotte interessate da portate con oscillazioni estreme, e per particolari usi industriali. La regola comune a tutti i tipi di contatore combinato è che, come vuole la logica, per determinare l'esatta misurazione dell'acqua consumata, si devono sommare i valori di lettura sia del contatore Woltmann parallelo che del contatore secondario a getto multiplo.

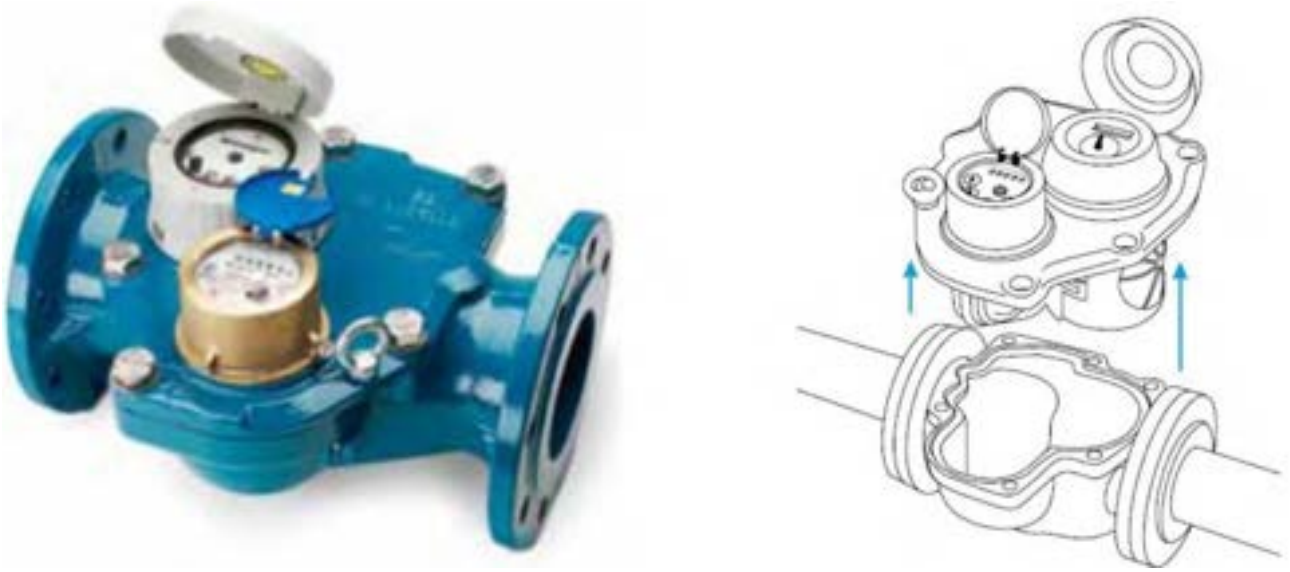

Figura 9. Esempio di contatore combinato estraibile.

I contatori elettromagnetici

In letteratura tecnica, viene mostrato come i contatori per la contabilizzazione dei consumi idrici fin qui descritti, a causa dell'inevitabile processo di usura delle parti meccaniche che si presenta progressivamente con l'invecchiamento dello strumento, tendano a fornire misure sottostimate soprattutto nei dintorni delle portate minime. Tale affermazione trova conferma nei risultati di parecchie indagini svolte in laboratori metrologici nazionali e internazionali (supportati da studi teorici sul modello di *performance degradation*), che indicano, per i contatori meccanici, un periodo di esercizio sostenibile mediamente intorno ai 10 anni. Altri studi, come ad esempio quello realizzato a cura dello "Studio Marco Fantozzi" (membro della "*Water Loss Task Force*" dell'*International Water Association*), con lo scopo di definire il periodo ottimale per il cambio dei contatori in base al rapporto costi/benefici, hanno documentato i benefici ottenibili da un cambio programmato del parco contatori [6]. Anche la normativa italiana, riconoscendo gli eventuali limiti dei contatori installati da parecchio tempo, con l'entrata in vigore del Decreto 30.10.2013 n. 155 (vigente dal 23/01/2014) che regola i criteri per l'esecuzione dei controlli successivi sui contatori dell'acqua, ha stabilito la periodicità della verificazione periodica dei contatori dell'acqua: i contatori dell'acqua meccanici devono essere sottoposti a verifica entro 10 anni a decorrere dall'anno in cui sono state apposte la marcatura CE e la marcatura metrologica supplementare [7]. Al fine di soddisfare i requisiti imposti da tale decreto, e tenuto conto che l'insieme delle operazioni necessarie alla verifica periodica comporterebbero sia costi di gestione piuttosto elevati al gestore del servizio acquedottistico (dovuti per esempio alle operazioni di smontaggio degli strumenti di misura, alla verifica degli strumenti a banco prova, ecc.), che un notevole disagio per gli utenti finali, alcune aziende che gestiscono il SII stanno organizzando veri e propri piani per la sostituzione dei contatori di loro competenza.

Inoltre, con il recepimento in Italia (G.U. n.64 del 17/3/2007) della Direttiva sugli strumenti di misura (meglio nota come "MID: *Measuring Instruments Directive*", direttiva 2004/22/CE) sono stati introdotti notevoli cambiamenti nel settore del *metering*, riguardanti i dispositivi di nuova produzione [8]. Se per le normative precedentemente in vigore (CEE 75/33 per acque fredde e CEE 79/830 per acque calde) i contatori dell'acqua venivano classificati, omologati e prodotti sulla base del principio fisico di misura e

sulla loro applicabilità a determinati settori della metrologia legale, con il nuovo approccio promosso dalla direttiva MID, le misurazioni nel campo fiscale (metrologia legale) devono essere indipendenti dalla tecnologia di misura. In altre parole, mentre le normative precedentemente in vigore, applicabili ai soli contatori meccanici, erano impostate sulle caratteristiche costruttive degli strumenti piuttosto che sulle prestazioni, la direttiva MID determina che una certa prestazione deve essere valida per verificare tutti gli strumenti appartenenti ad una stessa famiglia, tralasciando l'aspetto costruttivo. In questo modo, non è più necessario costruire e omologare contatori dell'acqua basandosi su rigide tecniche di misura (prevalentemente di tipo meccanico, come nel passato), ma è possibile utilizzare qualsivoglia principio fisico di misura che le aziende produttrici abbiano verificato come affidabile per la specifica applicazione, purché vengano garantite le necessarie prestazioni metrologiche, ossia il rispetto degli Errori Massimi Tollerati (MPE: *Maximum Permissible Errors*) [9]. Pertanto questo "svincolo" dal principio fisico di misura ha consentito di lasciare ampio spazio all'evoluzione scientifica e a scelte progettuali sempre più all'avanguardia, cosicché le aziende del settore hanno favorito l'introduzione sul mercato di contatori d'utenza che utilizzano come principio fisico di misura quello statico. Questi ultimi, non presentando parti meccaniche in movimento al proprio interno, offrono tutta una serie di vantaggi, tra cui l'assenza di attriti che provocano un deterioramento dello strumento ovvero un decadimento delle prestazioni. In questa tipologia di contatori si collocano i contatori elettromagnetici (Figura 10), già apprezzati da tempo nel contesto delle reti di adduzione e di distribuzione. Il principio di misura dei contatori elettromagnetici si basa essenzialmente sulla legge di induzione di Faraday che attesta una generazione di tensioni indotte quando un conduttore (in questo caso il fluido) attraversa un campo magnetico. In particolare quando la direzione del fluido è perpendicolare al campo magnetico, quest'ultimo induce nel fluido una forza elettromotrice perpendicolare sia al campo, sia alla direzione del fluido. Pertanto, disponendo di elettrodi in un piano diametralmente perpendicolare al campo magnetico, è possibile captare, grazie alla legge di Faraday, una forza elettromotrice indotta che risulta proporzionale alla velocità del fluido e di conseguenza alla portata.

Figura 10. Esempio di contatore elettromagnetico d'utenza.

Generalmente, i contatori di questa tipologia, impiegati nel contesto delle reti di adduzione e di distribuzione, necessitano per il loro funzionamento di una fonte energetica (il campo magnetico viene generato da bobine che richiedono alimentazione elettrica). Invece, per i contatori d'utenza, tale limite è stato superato con l'introduzione di un magnete permanente.
Oltre a non essere soggetti a usura, i contatori elettromagnetici d'utenza mostrano altri vantaggi di notevole rilevanza rispetto ai contatori meccanici: possiedono dei costi cumulativi inferiori rispetto ai

contatori meccanici tradizionali in quanto, nonostante il maggior costo di acquisto iniziale, permettono un apprezzabile risparmio in termini di acqua contabilizzata, mantenendo inalterata nel tempo la loro qualità metrologica in tutto il campo di portata (soprattutto per portate molto basse).
Inoltre sono dotati di un modulo radio integrato ovvero di un'unità di comunicazione capace di rendere disponibili, anche a distanza, i dati di lettura dei consumi. Grazie a questa prerogativa, a oggi essenziale nell'ottica dello "*smart metering*", vengono etichettati come "*smart meter*".

I contatori intelligenti

I contatori intelligenti sono strumenti che misurano e trasmettono in tempo reale i dati di consumo e, a differenza dei misuratori tradizionali che rilevano solo i consumi totali di un'utenza, registrano "quando e quanto" una risorsa viene consumata. Per di più i contatori d'utenza elettromagnetici possono essere dotati di ulteriori due unità: quella di memorizzazione (*data-storage* o *data-logger*) che consente di accumulare le serie temporali dei consumi misurati, e quella di elaborazione (microprocessore) in grado di eseguire semplici algoritmi che forniscono informazioni più dettagliate relativamente ai consumi.
L'avvento dei contatori elettromagnetici d'utenza che, come introdotto precedentemente, necessitano di alimentazione elettrica (batteria integrata) sia per adempiere alla tecnologia di misura, sia per trasmettere i dati di consumo rilevati, ha favorito la diffusione sul mercato di settore di alcuni dispositivi innovativi in grado di rendere intelligenti anche i tradizionali contatori meccanici, essendo la "*smartness*" di uno strumento di misura una peculiarità legata non tanto al principio fisico di misura, quanto alla capacità di comunicare.
Difatti, il mercato di settore per rendere più "*smart*" questi contatori, ha introdotto un modulo di comunicazione in grado di leggere i dati provenienti da un emettitore d'impulsi collegato al contatore meccanico (Figura 11).

Figura 11. Esempio di emettitore d'impulsi installato su un contatore meccanico.

L'emettitore d'impulsi è un contatto elettrico permanentemente aperto che viene azionato (quindi chiuso) dal passaggio del magnete che trasmette la rotazione della turbina ai meccanismi dell'orologeria: solo i modelli a quadrante asciutto, provvisti dell'accoppiamento magnetico, possono usufruire di questa tecnologia. Essendo i passaggi del magnete proporzionali al valore della portata istantanea, anche la quantità d'impulsi emessa dal dispositivo lo è, consentendo, una volta convertito il segnale, la contabilizzazione dei consumi. Ogni azienda produttrice crea una linea di contatori dotati di questo dispositivo, o comunque predisposti alla sua installazione qualora il cliente decidesse di installare l'accessorio in un secondo momento. Pertanto, quasi tutti i modelli a quadrante asciutto visti in precedenza sono disponibili nella doppia versione tradizionale e "*smart*", a partire dagli apparecchi residenziali fino ad arrivare ai contatori industriali Woltmann.
Alcune aziende propongono, in alternativa all'emettitore d'impulsi, un sensore di tipo ottico, attivato da un impulso basato sulla rifrazione di un segnale luminoso integrato nell'orologeria. In entrambi i casi, è possibile scegliere quale valore dare all'unità dell'impulso in relazione alle esigenze di impiego. In generale sia gli emettitori d'impulsi che i sensori ottici, vengono poi collegati via cavo a una centralina di raccolta che

funge da ricevitore, chiamata anche SCT (*Signal Counter Transceiver*). L'SCT rileva gli impulsi analogici in ingresso dai sensori tramite cavetti e li trasforma in formato digitale (Figura 12). Una sola centralina è in grado di ricevere i dati provenienti da diversi contatori e memorizza i consumi sia in un intervallo predefinito dal gestore (periodo di fatturazione), sia quelli complessivi, disponibili in ogni momento della raccolta dati. L'alimentazione è fornita da una batteria al litio che deve garantire il funzionamento anche dei sensori.

Figura 12. Esempio di centralina di raccolta e collegamento a più contatori.

Tale soluzione viene utilizzata prevalentemente per la raccolta dati in contesti condominiali, data la necessità di collegare via cavo ciascun contatore all'unità di ricezione.
In alternativa ai dispositivi sopracitati (emettitore d'impulsi o sensore ottico e centrale di ricezione), si può fissare sul contatore un *transponder* (Figura 13), il quale è in grado di trasmettere via *wireless* i consumi.

Figura 13. Esempi di contatori meccanici dotati di *trasponder*.

Difatti, consiste in un piccolo dispositivo che al suo interno ingloba il sensore (emettitore d'impulsi o sensore ottico), l'elettronica della STC, l'antenna radio e la batteria e deve essere posizionato in modo che i rulli dei quadranti rimangano ben visibili in caso di lettura manuale.
Esistono quindi due diversi approcci allo *smart metering*: il primo più innovativo, basato sull'impiego di tecniche di misura digitali (con principio fisico di tipo statico), in presenza delle necessarie funzioni *smart* di elaborazione e di trasmissione dei dati; il secondo più conservativo basato sull'impiego delle tradizionali tecniche di misura meccaniche (con principio fisico di tipo meccanico), con l'aggiunta dell'unità elettronica (*smart*) di comunicazione dei dati. È evidente che i due diversi approcci non vanno visti in antitesi o in contrapposizione, ma al contrario rappresentano l'espressione di diverse soluzioni tecnologiche e innovative.

3 Identificazione dell'architettura di un sistema per il rilevamento, archiviazione e restituzione delle informazioni inerenti i consumi idrici residenziali.

Ormai è ampiamente diffuso che con il termine "*smart metering*" si definiscono tutti quei sistemi che consentono la telelettura e la telegestione dei contatori di energia elettrica, gas e acqua, permettendo un monitoraggio in tempo reale dei consumi. I vantaggi offerti dall'implementazione di tali sistemi sono notevoli e variano in funzione dell'architettura adottata.
Di recente, lo *smart metering* ha visto accrescere l'interesse di diversi gestori del SII, i quali, stimolati probabilmente dal successo di tale sistema di monitoraggio nel contesto del servizio elettrico italiano (definito da un recente report della Commissione europea come il più efficiente), hanno avviato svariati progetti pilota al fine di verificarne le potenzialità ovvero eventuali limiti. Questo interessamento è stato favorito anche dall'AEEGSI, la quale dal 2013 (con Delibera AEEGSI 393/2013/R/GAS) ha promosso la sperimentazione della telegestione multiservizio di misuratori di gas naturale e di altri servizi di pubblica utilità tra cui il servizio idrico.
I diversi progetti pilota avviati nell'ambito del servizio idrico, oltre a prevedere l'utilizzo degli *smart meter* precedentemente descritti, vedono l'impiego di costosissime architetture che, tipicamente, richiedono l'adozione di strumentazione proprietaria, fornita dagli stessi produttori dei contatori intelligenti. In particolare i sistemi di monitoraggio dei consumi idrici a oggi impiegati possono essere distinti in due tipologie, a seconda o meno che sia previsto l'intervento umano. Il primo, definito sistema RMR (*Remote Meter Reading*), prevede che il rilevamento dei dati avvenga in prossimità degli *smart meter* a opera del letturista provvisto di adeguata strumentazione proprietaria. La lettura dei consumi viene quindi effettuata localmente via radio, tramite un ricetrasmettitore di dati portatile che attraverso un'interfaccia *Bluetooth* trasferisce i dati di consumo dal contatore *smart* a un palmare, previa richiesta al contatore stesso. Oltre al valore del volume totalizzato, interrogando il contatore intelligente vengono fornite informazioni aggiuntive relative ad eventuali situazioni critiche quali l'esaurimento della batteria, la presenza di una presunta perdite interna all'edificio (stabilita essenzialmente impostando un valore soglia) e la manomissione dello strumento di misura, tutte informazioni riferite all'istante temporale in cui si interroga lo *smart meter*. Inoltre, qualora il contatore intelligente lo consenta, è possibile richiedere anche uno storico dei consumi a passo mensile. Solo se lo *smart meter* è dotato anche di unità di memorizzazione (*data-logger*), è possibile acquisire anche l'intera serie temporale dei consumi registrati con passo prefissato. Ovviamente, indipendentemente dalla presenza o meno dell'unità di memorizzazione dei dati, con l'utilizzo di un'architettura di questa tipologia non è possibile svolgere un vero e proprio monitoraggio in tempo reale dei consumi idrici, in quanto i dati possono essere disponibili solamente a seguito del passaggio dell'operatore.
La fase di trasferimento dati dal contatore al palmare può avvenire in due modalità: se l'operatore svolge le letture transitando a piedi si parla di modalità *walk-by* (Figura 14), invece viene definita *drive-by* la modalità per cui il letturista provvede agli spostamenti, utenza per utenza, spostandosi con un autoveicolo (Figura 15).

Figura 14. Architettura RMR in modalità *walk-by*.

Figura 15. Architettura RMR in modalità *drive-by*.

L'esperienza pratica ha mostrato che, durante la fase di trasferimento dei dati (in particolare delle intere serie temporali dei consumi delle utenze) dal misuratore al palmare, in taluni casi, si possono verificare alcune problematiche dovute plausibilmente alla difficoltà di comunicazione tra la strumentazione proprietaria e i misuratori intelligenti, qualora questi ultimi siano ubicati in pozzetti aventi caratteristiche particolari (come ad esempio in pozzetti ricoperti da pesanti chiusini da riempimento tipicamente costituiti da porfido o autobloccante) oppure siano completamente sommersi d'acqua all'interno dei pozzetti.
I dati raccolti sul palmare, successivamente possono essere scaricati su PC con apposito software proprietario e resi disponibili per la fatturazione. Questo sistema di lettura presenta il vantaggio di non dover accedere all'interno delle unità abitative, mantenendo costi contenuti per la lettura dei dati (contatori).
L'alternativa al sistema appena descritto consiste nell'architettura AMR (*Automatic Meter Reading*), nel quale i dati rilevati da più *smart meter* vengono inviati a intervalli di tempo prefissati, via radio ad un concentratore locale, detto anche unità di rete (Figura 16), sfruttando ancora una volta il modulo di comunicazione dei quali sono dotati i contatori intelligenti stessi. Ovviamente, maggiore è l'area da monitorare e maggiore sarà il numero di concentratori richiesti. Al fine di ridurre i costi dell'intera infrastruttura è quindi opportuno svolgere un'analisi approfondita riguardo al posizionamento più efficiente dei concentratori, in modo da rilevare i segnali provenienti dalla totalità dei contatori intelligenti, minimizzando al contempo il numero delle unità di rete necessarie.

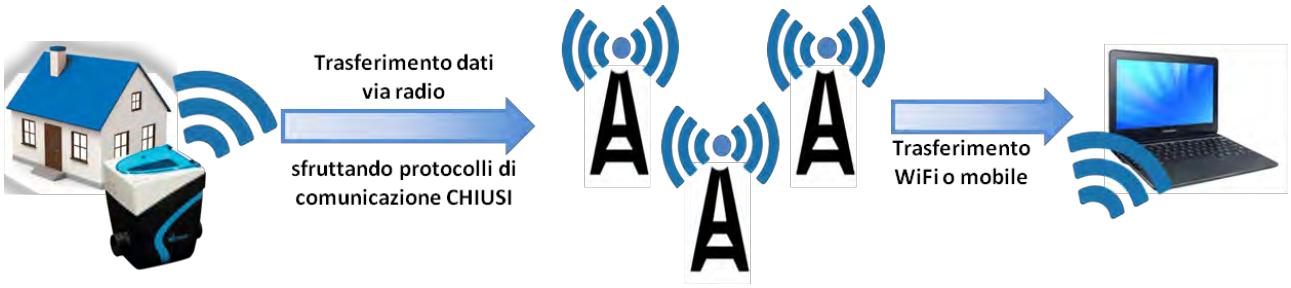

Figura 16. Architettura AMR.

Per far ciò è possibile avvalersi anche di opportuni dispositivi, detti *repeater*, in grado di estendere la copertura radio dei concentratori e di facilitare la ricezione dei dati provenienti dai contatori più isolati. In altre parole, se da un lato tale sistema di monitoraggio risulta teoricamente più vantaggioso poiché permette di ricevere i dati inviati da più misuratori intelligenti con un'unica unità di rete, dall'altro esso può essere soggetto ad alcune complicazioni dovute alla distribuzione dei misuratori nell'area da monitorare (come ad esempio nel caso di misuratori isolati), piuttosto che alle stesse difficoltà di trasferimento dati già evidenziate nel caso dell'architettura RMR e dovute principalmente alle caratteristiche costruttive di alcuni pozzetti. Per di più, bisogna anche ricordare che affinché l'architettura assolva alla sua funzione, tutti i dispositivi coinvolti nel sistema di monitoraggio (gli strumenti di misura, i concentratori locali ed eventualmente i *repeater*) devono essere compatibili tra loro, ovvero forniti dallo stesso produttore, il che rappresenta una grossa limitazione per i gestori del SII.
Una volta ricevuti i dati inviati dagli *smart meter*, i concentratori locali li trasmettono al server centrale per mezzo di reti *Wi-Fi* o *mobile* (GSM, GPRS, 3G ecc.). Accumulate tutte le informazioni relative ai consumi

all'interno di tale server, esse possono essere visualizzate attraverso un apposito software proprietario ed eventualmente esportate al fine di essere integrate all'interno dei software di fatturazione del gestore del servizio idrico. Oltre ai vantaggi offerti dal sistema RMR, l'architettura AMR permette il monitoraggio in tempo reale dei consumi idrici, ne favorisce una fatturazione più coerente ed elimina i costi operativi legati alla lettura dei contatori.

Un'alternativa al sistema di monitoraggio di tipo AMR appena descritto, potrebbe prevedere la sostituzione dei concentratori locali con dei dispositivi di ricezione, da installare presso ciascuna utenza e in grado di acquisire i dati di consumo, anziché attraverso protocolli proprietari, sfruttando protocolli di comunicazione aperti come l'OMS (*Open Meter Standard*) *Wireless M-Bus* (Figura 17). Questo protocollo radio, implementato nella maggior parte degli *smart meter*, è pensato appositamente per il *metering* e può operare alle frequenze 169 e 868 MHz della banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). Essendo un protocollo di comunicazione aperto, permette la ricezione dei dati di consumo provenienti da qualsiasi contatore che lo implementi, a prescindere dal produttore. Ovviamente questo si traduce in una maggior libertà del gestore del SII nella scelta dei dispositivi di misura intelligenti da utilizzare a valle della propria rete di distribuzione, permettendogli, a differenza della tradizionale architettura AMR e a seconda delle proprie esigenze, di installare all'interno di uno stesso distretto, *smart meter* di marche diverse.

Per la realizzazione del dispositivo di ricezione si potrebbero adottare componenti hardware largamente diffusi sul mercato, tali da fornire una grande capacità di calcolo a prezzi contenuti come ad esempio i *Single Board Computer* (SBC), ovvero apparecchi dalle ridotte dimensioni e dai ridotti consumi, ma con capacità di elaborazione paragonabili ad un *Personal Computer*. Mentre per la realizzazione della componente software del dispositivo in questione si potrebbero impiegare tecnologie *Open Source* le quali, in generale, presentano numerosi vantaggi come ad esempio una maggiore affidabilità garantita dal supporto che può dare una grande comunità di sviluppatori diffusa a livello mondiale e in grado di aggiornare e migliorare rapidamente il software, un'elevata versatilità in quanto insieme al software viene rilasciato il codice sorgente e pertanto ogni programma risulta modificabile secondo le proprie esigenze e una riduzione dei costi del dispositivo di ricezione ovvero dell'intero sistema di monitoraggio.

Sulla base di quanto fin qui evidenziato in merito al sistema di monitoraggio in tempo reale dei consumi idrici proposto è chiaro che, sebbene l'architettura presentata necessiterebbe dell'installazione di un dispositivo di ricezione in prossimità di ciascuna utenza, permetterebbe comunque ai gestori del SII di godere di notevoli benefici: dalla notevole flessibilità nella gestione dei parchi contatori di loro competenza data dall'impiego di un sistema di monitoraggio in grado di sfruttare protocolli di comunicazione aperti (che come si vedrà in seguito favorirebbero anche il monitoraggio in tempo reale multiservizio) alla fruizione di uno strumento affidabile e dai costi ridotti data dall'impiego di innovative soluzioni hardware e software.

Figura 17. Architettura AMR proposta.

Inoltre, essendo i SBC pensati appositamente per facilitare l'integrazione di moduli radio aggiuntivi, come ad esempio il modulo radio *Wireless M-Bus*, fondamentale per la ricezione dei dati dagli *smart meter*, e il modulo *Wi-Fi/3G*, necessario per la trasmissione dei dati, le informazioni di consumo potrebbero essere trasferite dal dispositivo di ricezione a una piattaforma che sfrutta i servizi di *Cloud Computing*, ovvero utilizza una modalità di erogazione di un servizio che prevede l'accesso diffuso, agevole e a richiesta, attraverso la rete, a un insieme condiviso e configurabile di risorse di elaborazione (hardware e software).

In altre parole, gli utenti finali (ovvero le *utility* e gli utenti del servizio idrico), dai propri dispositivi (PC, tablet e smartphone) potrebbero consultare i dati inviati, archiviati, memorizzati ed elaborati nella piattaforma *cloud*, semplicemente collegandosi alla rete internet.
Anche questa architettura per il monitoraggio dei consumi idrici può ritenersi del tipo AMR, ma rispetto alla precedente offre innumerevoli vantaggi. Nello specifico, consentirebbe all'azienda che si occupa del SII una gestione proattiva del sistema acquedottistico, permettendo nel caso di dati provenienti dal monitoraggio d'interi distretti, la definizione di bilanci idrici sempre aggiornati e, di conseguenza, l'identificazione delle perdite reali. Inoltre, consentendo anche agli utenti del servizio idrico di consultare, in tempo reale le informazioni legate al proprio consumo e a segnalazioni di possibili rotture o perdite interne all'edificio, si favorirebbe una trasformazione sociale legata all'aumento di consapevolezza dei consumatori, che tra l'altro beneficerebbero anche del fatto di poter disporre di una bolletta più chiara e trasparente.
Inoltre, analizzando nel dettaglio i vari componenti che definiscono l'intera infrastruttura, ripercorrendo l'ordine di trasferimento dei dati dal contatore intelligente agli utenti finali, è immediato comprendere che, oltre ai benefici legati al risparmio idrico e alla sostenibilità, l'architettura proposta risulterebbe conveniente anche dal punto di vista economico. Difatti, come precedentemente introdotto, il gestore del SII sarebbe libero d'installare nel parco contatori di propria competenza qualsiasi tipologia di *smart meter* a prescindere dal marchio di fabbrica, all'unica condizione che i contatori siano in grado di sfruttare protocolli di comunicazione aperti. Questo aspetto è sostanziale non solo nell'ottica della gestione del servizio idrico, bensì nella prospettiva del monitoraggio in tempo reale multiservizio: se la generica utenza fosse provvista di *smart meter* che sfruttano protocolli di comunicazione aperti per il rilevamento di ciascun servizio fornito (acqua, gas ed energia elettrica) e se all'interno della stessa utenza venisse installato il dispositivo di ricezione proposto, il gestore di una data *multi-utility* riuscirebbe a disporre in tempo reale delle informazioni di tutti i tipi di consumo. Ovviamente questo implicherebbe tutta una serie di benefici, quale la riduzione, rispetto alla gestione separata, dei costi relativi alla gestione delle infrastrutture necessarie per la rilevazione a distanza dei dati di consumo. Per di più, il dispositivo di ricezione proposto risulterebbe decisamente più economico rispetto alle unità di rete che vengono utilizzate attualmente nel contesto delle tradizionali infrastrutture di tipo AMR (in linea di massima il dispositivo di ricezione proposto presenterebbe un costo d'acquisto inferiore rispetto ai concentratori locali di uno o due ordini di grandezza), riducendo sensibilmente i costi d'investimento iniziali che il gestore dovrebbe sostenere con lo scopo di equipaggiarsi per monitorare i consumi d'interi distretti. Anche l'utilizzo della piattaforma *cloud* presenterebbe una certa convenienza per l'azienda che gestisce il SII: difatti utilizzando un servizio di *Cloud Computing* in generale si riducono le spese di capitale associate all'acquisto di hardware e software e alla configurazione e alla gestione di data center locali che tipicamente richiedono rack di server, elettricità 24 ore su 24 per alimentazione e raffreddamento ed esperti IT per la gestione dell'infrastruttura.

4 Studio delle informazioni deducibili dal sistema di monitoraggio dei consumi idrici proposto con riferimento al caso reale di Gorino Ferrarese (FE).

Per valutare i benefici che potrebbero derivare dall'implementazione del sistema di monitoraggio proposto nella sezione precedente, che consente la memorizzazione della serie temporale dei consumi a livello di singola utenza (con passo temporale variabile fra cinque minuti e l'ora), è stato realizzato un laboratorio di campo presso Gorino Ferrarese (FE), località situata nel Parco del Delta del Po (Figura 18), avente un'estensione di poco superiore ai 3 Km^2 e in cui risiedono all'incirca 650 abitanti. A Gorino Ferrarese, la gestione del SII è di competenza CADF S.p.A., società costituita nel 2001 a seguito della trasformazione del Consorzio Acque Delta Ferrarese e che, in generale, si occupa del servizio idrico nei Comuni di Berra, Codigoro, Comacchio, Copparo, Fiscaglia, Formignana, Goro, Jolanda di Savoia, Lagosanto, Mesola, Ostellato, Ro Ferrarese e Tresigallo.

Figura 18. Inquadramento territoriale del laboratorio di campo realizzato.

Nella primavera 2016, CADF S.p.A. ha provveduto all'acquisto di *smart meter* di tipo elettromagnetico, dotati anche di unità di memorizzazione (in grado di svolgere la funzione di *data-logging*), al fine di sostituire i vecchi contatori meccanici d'utenza (Figura 19) e quindi osservare quanto prescritto dal Decreto 30.10.2013 n. 155. In seguito all'installazione dei contatori di nuova generazione è stata avviata una campagna di raccolta dati, avvalendosi di un sistema di tipo RMR in modalità *walk-by* (Tabella 1). Nella frazione di Gorino, al momento dell'installazione dei contatori di nuova generazione, in totale erano presenti 292 utenze delle quali 275 di tipo residenziale e 17 appartenenti a servizi pubblici e ad attività commerciali o turistiche. Inizialmente, ciascun misuratore è stato programmato (attraverso la strumentazione proprietaria acquistata dal gestore) per registrare le serie dei consumi con passo temporale di 5 minuti, rendendo necessario un *download* del *data-logger* ogni due settimane, fondamentale per evitare l'esaurimento della memoria del dispositivo (intorno ai 6000 record al massimo).

Figura 19. Contatori meccanici rimossi (a sinistra) e contatori elettromagnetici installati (a destra) a Gorino Ferrarese.

Tabella 1. Tabella di consistenza delle serie temporali dei consumi idrici delle singole utenze acquisite con passo temporale di 5 minuti (in giallo) e con passo temporale di un'ora (in verde). In grigio sono stati riportati i giorni corrispondenti alle fasi di programmazione dei contatori d'utenza.

ANNO	MESE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2016	Giugno																															
	Luglio																															
	Agosto																															
	Settembre																															
	Ottobre																															
	Novembre																															
	Dicembre																															
2017	Gennaio																															
	Febbraio																															
	Marzo																															
	Aprile																															
	Maggio																															
	Giugno																															
	Luglio																															
	Agosto																															
	Settembre																															

In seguito, per garantire una maggiore durata della batteria dei contatori, si è deciso di ridurre la frequenza degli scaricamenti, essendo la fase di trasferimento di grosse quantità di dati onerosa dal punto di vista del consumo energetico. Pertanto, il passo di acquisizione dei dati è stato settato a un'ora, permettendo di eseguire un *download* del *data-logger* ogni 8 mesi. In sintesi, come mostra la Tabella 1, da fine giugno 2016 fino agli inizi di gennaio 2017, sono state raccolte le serie temporali a passo 5 minuti dei consumi delle singole utenze; dopodiché, fino a fine settembre 2017 sono state acquisite quelle a passo orario. In particolare, sono stati raccolti oltre 18.000.000 record all'interno di InfluxDB ovvero una banca dati che rientra nella categoria dei *Time Series Database* (TSDB), appositamente progettata e ottimizzata per catalogare serie temporali di dati. Ovviamente, sfruttando un sistema per la raccolta dati di tipo RMR non è stato possibile svolgere un'analisi in tempo reale dei consumi idrici delle utenze (cosa che invece sarebbe avvenuta sfruttando l'architettura proposta precedentemente), e le elaborazioni sono state eseguite solo a seguito delle varie fasi di *download*.

Dal punto di vista idraulico, la frazione di Gorino corrisponde a un distretto naturale, alimentato dalla rete adduttrice in un unico punto nel quale avviene la misura delle condizioni idrauliche al contorno (portata e pressione) e dal quale si estende l'intera rete di distribuzione (Figura 20).
In particolare, il consumo dell'intero distretto viene monitorato attraverso un misuratore di portata elettromagnetico collegato via cavo a un'unità elettronica (convertitore) alimentata da rete elettrica e in grado di trasformare il segnale elettrico proveniente dallo strumento di misura. Il misuratore presenta DN80 ed è in grado di misurare un segnale ogni 200 ms.
Questo implica che, per disporre della serie temporale a passo 5 minuti del consumo richiesto dall'intero distretto, il convertitore è stato settato per mediare 1500 valori misurati di differenza di potenziale. Come mostra la Tabella 2, la serie di cui sopra si dispone all'incirca per tutto il periodo in cui è stata eseguita la campagna di raccolta dati delle singole utenze appartenenti al distretto. Tutti i dati raccolti, sono stati conseguentemente analizzati ed elaborati al fine di mostrare in maniera esaustiva tutti i vantaggi che trarrebbero gli utenti del SII e i gestori dello stesso utilizzando un sistema di monitoraggio come quello proposto nel paragrafo precedente.

Figura 20. Schema idraulico del distretto di Gorino Ferrarese.

Tabella 2. Tabella di consistenza della serie temporale della portata in ingresso al distretto acquisita con passo temporale di 5 minuti.

ANNO	MESE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2016	Luglio																															
	Agosto																															
	Settembre																															
	Ottobre																															
	Novembre																															
	Dicembre																															
2017	Gennaio																															
	Febbraio																															
	Marzo																															
	Aprile																															
	Maggio																															
	Giugno																															
	Luglio																															
	Agosto																															
	Settembre																															

Con riferimento agli utenti del servizio acquedottistico, al fine di caratterizzare il comportamento di consumo delle utenze residenziali e di individuare la presenza di eventuali perdite interne alle abitazioni o altri tipi di anomalie, sono state analizzate singolarmente le serie temporali dei consumi di ciascun'utenza. Tale analisi è stata eseguita mediante un opportuno linguaggio di programmazione che ha consentito di visualizzare sia l'andamento del consumo totalizzato (unica informazione che sarebbe stata visibile se fosse stato utilizzato il software proprietario) sia quello del consumo incrementale (andamento della portata nel tempo). Difatti, come si vedrà nel seguito, è solo dall'analisi combinata dell'andamento del volume

cumulativo e della portata che è possibile comprendere se un'utenza è caratterizzata da un comportamento corretto di consumo oppure se risulta affetta da anomalie o fughe d'acqua.
In generale, per quanto riguarda il comportamento di consumo della maggior parte delle utenze residenziali, come mostra l'andamento della richiesta idrica dell'utenza A nella Figura 21, è stato rilevato un andamento standard. Tale comportamento, tipico delle utenze di tipo domestico, è caratterizzato da momenti di maggior consumo, che si verificano principalmente nelle ore diurne, intervallati da momenti in cui il consumo diminuisce, arrivando ad assumere anche valori nulli, come accade nelle ore notturne. Per alcune utenze domestiche, invece, sono stati individuati comportamenti particolari.

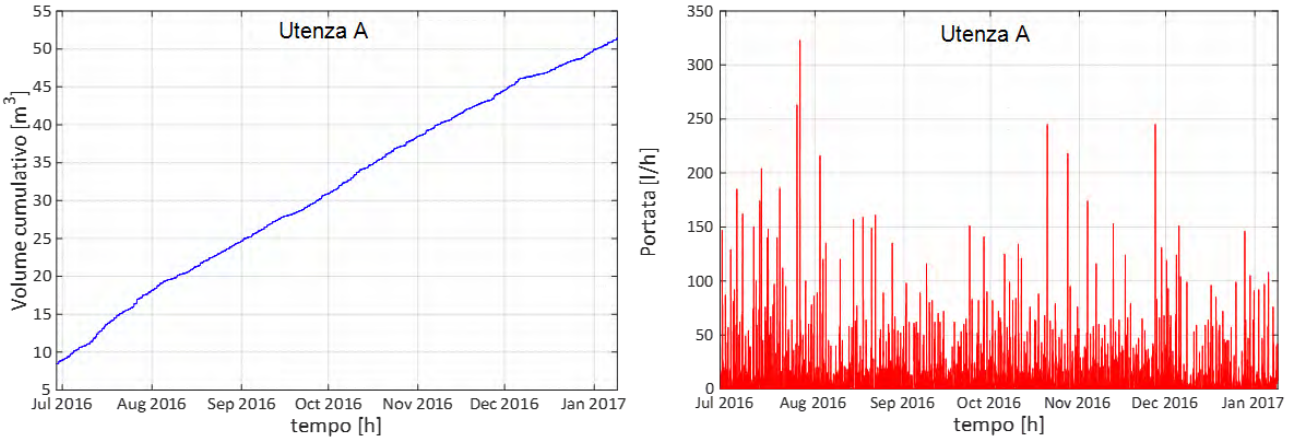

Figura 21. Andamento nel tempo: del volume cumulativo (a sinistra) e della portata oraria (a destra) di un'utenza caratterizzata da un comportamento standard di consumo.

Ad esempio, in Figura 22 è raffigurato l'andamento di consumo dell'utenza B, abitata esclusivamente in alcuni periodi dell'anno (popolazione fluttuante). Difatti, osservando l'andamento del volume cumulativo, ossia della portata oraria propria dell'utenza, è possibile notare come si verifichino degli interi periodi in cui il volume cumulativo non varia, ovvero la portata si mantenga nulla.

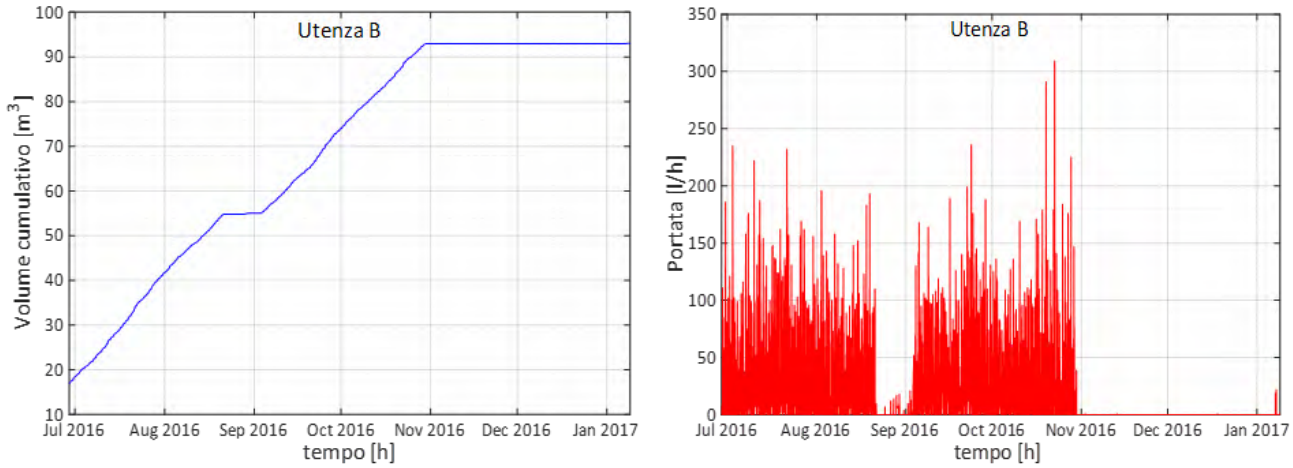

Figura 22. Andamento nel tempo: del volume cumulativo (a sinistra) e della portata oraria (a destra) di un'utenza abitata solo in alcuni periodi dell'anno.

Per quanto riguarda l'identificazione di perdite interne alle abitazioni, l'analisi delle serie dei consumi delle singole utenze ha permesso di individuare diverse tipologie di fughe d'acqua, differenti tra loro per entità e comportamento. Ad esempio, di seguito si riportano due casi di fughe d'acqua di grossa entità. In particolare, in Figura 23 è stato riportato il caso di una perdita interna, verificatasi all'interno dell'utenza C per un periodo di tempo limitato (circa 3 giorni). Dall'analisi dell'andamento dei consumi è infatti possibile

rilevare una brusca variazione della pendenza del volume cumulativo nei primi giorni di dicembre 2016 ovvero un andamento della portata oraria che, nello stesso periodo assume valori molto elevati (tra gli 800 e i 1000 l/h) in modo continuativo. Si noti che, a riparazione della rottura, il trend di consumo torna a essere in linea con quello che l'utenza presentava antecedentemente la perdita. Peraltro la riparazione è avvenuta proprio su indicazione del gestore il quale a sua volta era stato avvisato dell'anomalia in conseguenza dell'analisi della serie temporale.

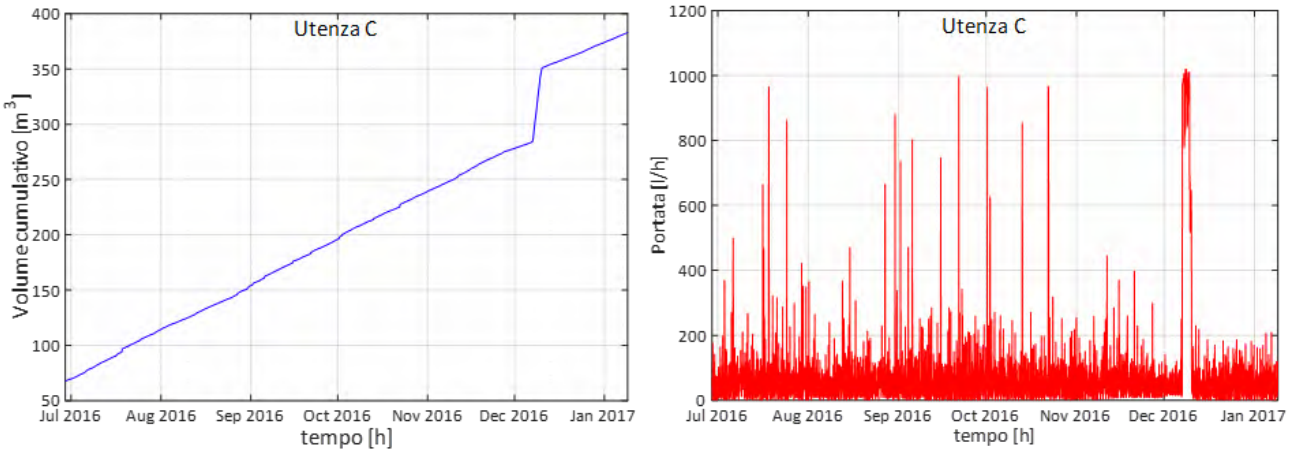

Figura 23. Andamento nel tempo: del volume cumulativo (a sinistra) e della portata oraria (a destra) di un'utenza affetta da una considerevole fuga d'acqua per un breve periodo di tempo.

Anche il caso mostrato in Figura 24 rappresenta una fuga d'acqua di grossa entità dovuta a una rottura interna all'utenza D, ma manifestatasi con comportamento differente da quella appena descritta (utenza C). In questo particolare caso si rilevano due bruschi aumenti della pendenza del grafico raffigurante il volume cumulativo, in corrispondenza ad un aumento a gradino dell'intensità della portata, la quale per un periodo di tempo superiore al mese non si annulla mai, evidenziando la presenza di una perdita di acqua formatasi in due step.

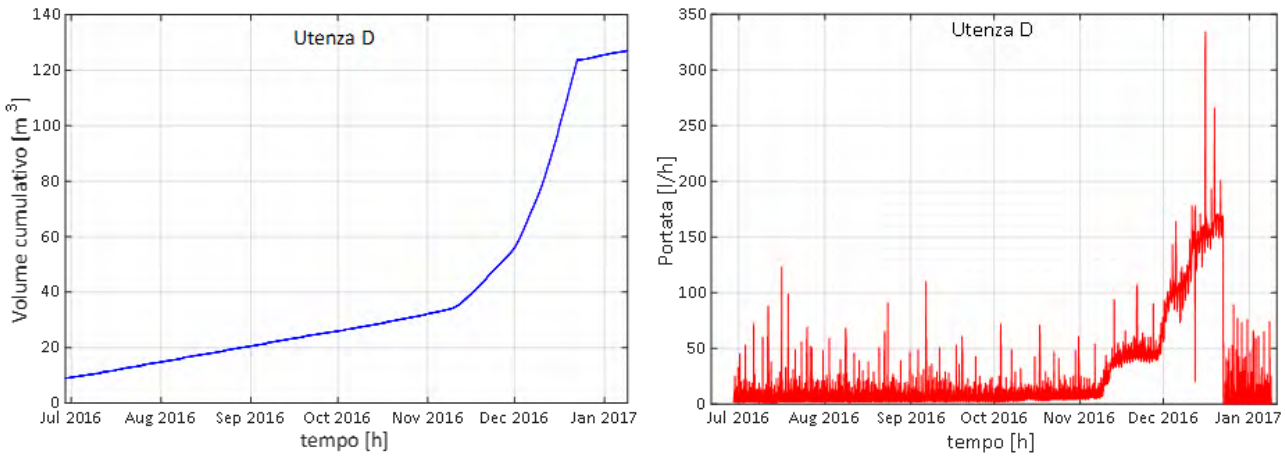

Figura 24. Andamento nel tempo: del volume cumulativo (a sinistra) e della portata oraria (a destra) di un'utenza affetta da una fuga d'acqua sviluppatasi in due step.

Un'altra tipologia di perdite individuata corrisponde a fughe d'acqua più contenute. Tali perdite sono imputabili principalmente a un non corretto funzionamento degli impianti idrosanitari, come il caso riportato in Figura 25. Anche nel caso in esame la perdita d'acqua è osservabile sia analizzando l'andamento del volume cumulativo, che tra ottobre e dicembre 2016 presenta un aumento di pendenza rispetto al resto del periodo osservato, sia dall'andamento dei consumi incrementali, dove si vede chiaramente che i minimi non si annullano mai.

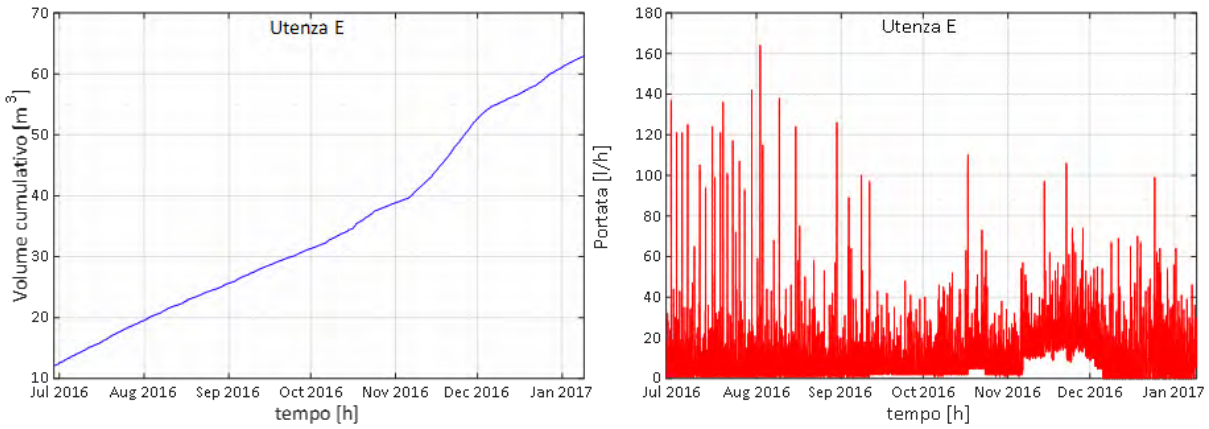

Figura 25. Andamento nel tempo: del volume cumulativo (a sinistra) e della portata oraria (a destra) di un'utenza affetta da una fuga d'acqua dovuta a un non corretto funzionamento degli impianti idrosanitari.

Ulteriormente, sono state individuate anche utenze caratterizzate da perdite d'acqua dell'ordine di 1 – 2 l/h, come il caso riportato in Figura 26 che riporta l'andamento di consumo dell'utenza domestica E. Nello specifico la perdita in questione non si distingue analizzando l'andamento dei consumi cumulativi, che cresce pressoché linearmente, ma osservando la serie incrementale dove si rileva che, per la maggior parte del periodo di osservazione, la portata non si annulla mai.

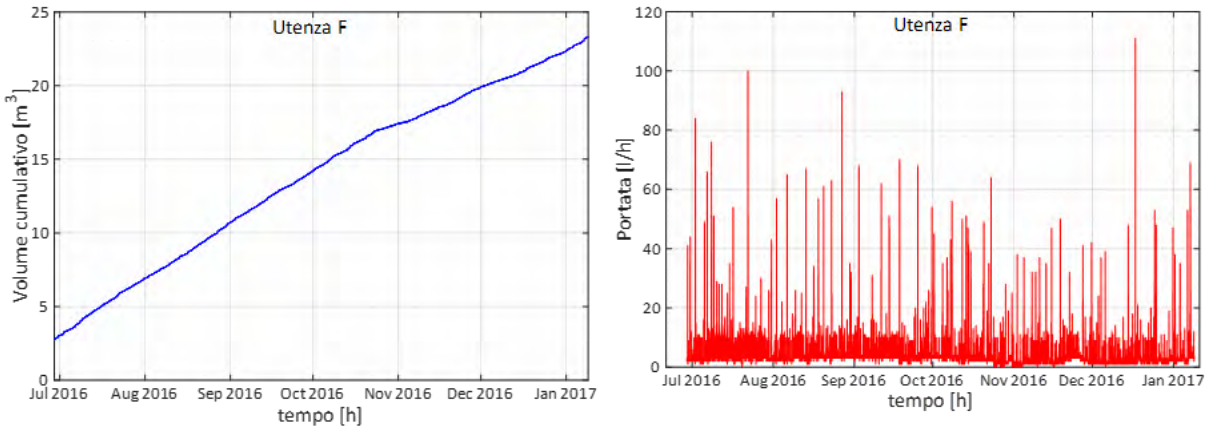

Figura 26. Andamento nel tempo: del volume cumulativo (a sinistra) e della portata oraria (a destra) di un'utenza affetta da una fuga d'acqua dovuta di 1 – 2 l/h.

Infine, sono state osservate anche fughe d'acqua inferiori al litro (Figura 27). Questa tipologia di perdite non è identificabile né osservando l'andamento del volume cumulativo, né analizzando il consumo incrementale a passo orario, che in generale presentano una certa regolarità. Viceversa, vengono rilevate analizzando le serie temporali dei consumi incrementali a passo fine.

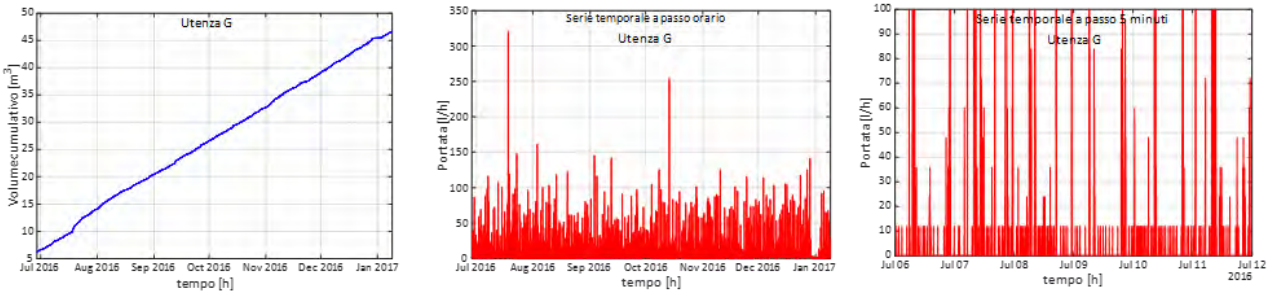

Figura 27. Andamento nel tempo: del volume cumulativo (a sinistra), della portata oraria (al centro) e della portata a passo 5 minuti (a destra) di un'utenza affetta da una fuga d'acqua inferiore a 1 l/h.

Infatti, analizzando il dettaglio di destra che raffigura l'andamento della portata a passo 5 minuti (per un periodo di tempo di qualche giorno) dell'utenza G è possibile notare come il consumo sia caratterizzato da un comportamento a denti di sega, dove si alternano a valori di consumo nulli, frequenti intervalli temporali in cui si registrano valori di 12 l/h (ovvero variazioni di volume di 1 litro in 5 minuti).
Inoltre l'analisi ha permesso di identificare anche casi di comportamenti di consumo particolari in cui la sola osservazione dell'andamento del volume cumulativo sarebbe stata forviante ovvero avrebbe suggerito la presenza di una perdita all'interno dell'utenza, come il caso di Figura 28. In realtà, analizzando le serie incrementali del consumo dell'utenza H viene chiarito che l'utenza in questione per un periodo di tempo ha aumentato la propria richiesta idrica, tanto che, osservando il dettaglio di destra, si riscontra un andamento standard di consumo, dove i momenti in cui la portata si annulla si alternano a momenti di consumo in cui massimi assumono valori più elevati rispetto al restante periodo di osservazione.

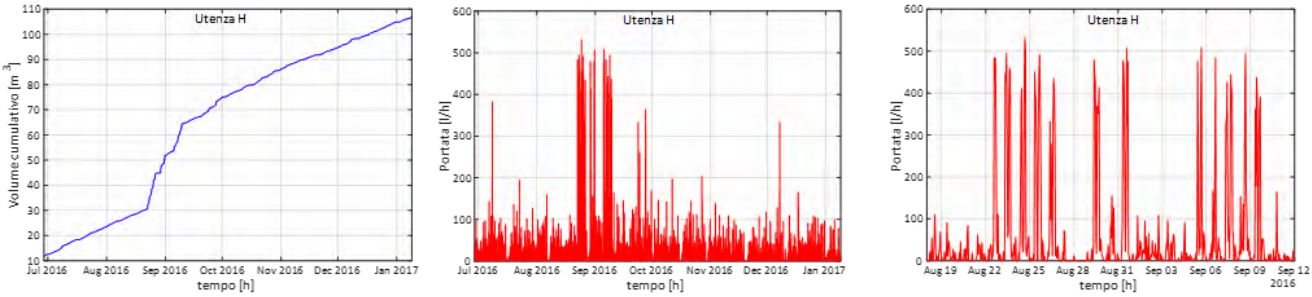

Figura 28. Andamento nel tempo: del volume cumulativo (a sinistra), della portata oraria (al centro e a destra) di un'utenza che per un periodo ha aumentato la propria richiesta idrica.

Ciò, unito al fatto che i consumi maggiori sono stati rilevati esclusivamente nei giorni feriali, spiega che probabilmente l'aumento di consumo è legato a qualche attività compiuta all'interno dell'utenza, come ad esempio un'eventuale ristrutturazione.
Infine, l'analisi sviluppata ha permesso di identificare alcuni casi di anomalia principalmente legati a un malfunzionamento degli strumenti di misura, come ad esempio quella riportata in Figura 29.

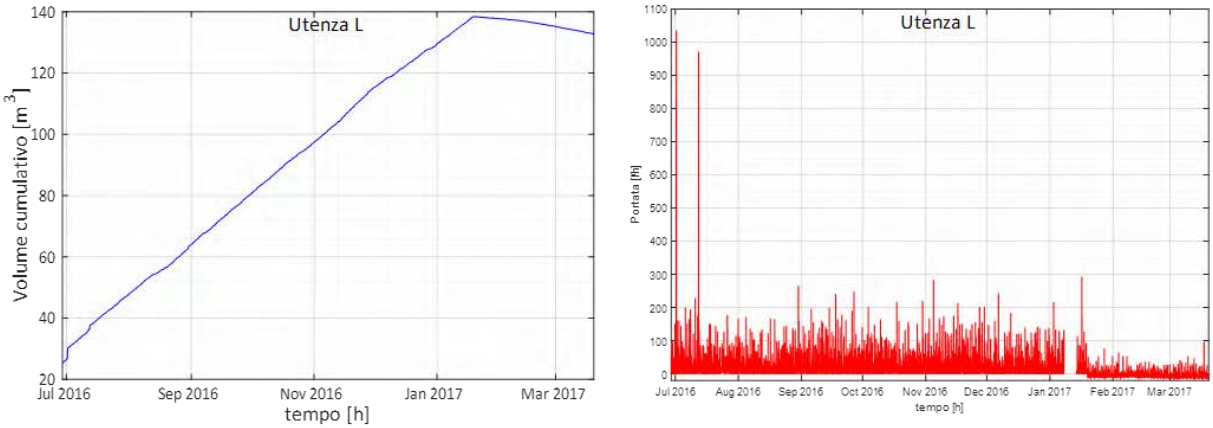

Figura 29. Andamento nel tempo: del volume cumulativo (a sinistra), della portata oraria (a destra) di un'utenza affetta da un'anomalia.

In particolare, l'utenza L mostra un consumo totalizzato che, a partire da metà gennaio 2017, diminuisce fino alla fine del periodo di osservazione. Ciò viene confermato dall'andamento della serie incrementale che, nel periodo in cui il volume cumulativo è diminuito di circa 10 m^3, è caratterizzata anche da valori negativi della portata oraria.
Durante il periodo di osservazione compreso tra fine giugno 2016 e fine marzo 2017, in totale sono state individuate 211 fughe d'acqua con andamenti analoghi a quelli sopra indicati. Nello specifico sono state identificate 26 perdite di intensità superiori ai 10 l/h, 101 comprese tra 1 e 10 l/h e 84 inferiori a 1 l/h.

Ovviamente, la possibilità di impiegare un sistema di monitoraggio come quello suggerito nel paragrafo precedente, potrebbe ridurre drasticamente questi inutili sprechi d'acqua, perché offrirebbe l'opportunità all'utente finale del SII di visualizzare in tempo reale i propri consumi e ricevere un messaggio d'allarme nel caso di perdite interne alla propria abitazione. Per di più, mettere l'utente nella condizione di visualizzare costantemente il proprio andamento di consumo si tradurrebbe nel concedergli concretamente gli strumenti per modificare, qualora lo ritenesse conveniente, le proprie abitudini di utilizzo dell'acqua e accrescere la propria consapevolezza.
Al contempo, il rilevamento immediato dei guasti e la comunicazione continua dello stato di funzionamento di ogni singolo strumento di misura permetterebbero al gestore di avere un controllo sul parco contatori di propria competenza che risulterebbe altrimenti più complicato. Pertanto, i problemi di gestione e rinnovamento dei misuratori esposti nel primo paragrafo, verrebbero plausibilmente affrontati con maggiore decisione dai gestori del SII, i quali godrebbero della possibilità di identificare in tempo reale, grazie agli avvisi inviati dall'architettura proposta, i dispositivi mal funzionanti, condizione che a sua volta gli consentirebbe, di procedere alla verifica o alla sostituzione degli strumenti di misura affetti da anomalie.
Tutte le analisi e le osservazioni sopra esposte sono state illustrate per presentare i vantaggi dei quali potrebbero giovare gli utenti del servizio acquedottistico qualora fosse impiegato un sistema di monitoraggio in tempo reale dei consumi idrici come quello proposto nel paragrafo precedente. Ipotizzando di adottare la stessa architettura nell'ottica del monitoraggio in tempo reale multiservizio, dove il dispositivo di ricezione diventerebbe quindi lo strumento pivot di un'unica infrastruttura di rete, in grado di raccogliere i dati provenienti sia dagli smart water meter che da smart meter idonei alla misura del consumo di altri servizi, le stesse analisi realizzate nel contesto dei consumi idrici potrebbero essere elaborate anche per i consumi del gas e dell'energia elettrica, permettendo agli utenti finali di beneficiare di un quadro completo dei proprio consumi e al gestore di controllare simultaneamente i contatori dei vari servizi.
Invece, con riferimento al gestore del SII, per tutto il periodo di osservazione, è stato svolto il bilancio idrico (Figura 30), finalizzato alla caratterizzazione del livello di perdita del distretto.

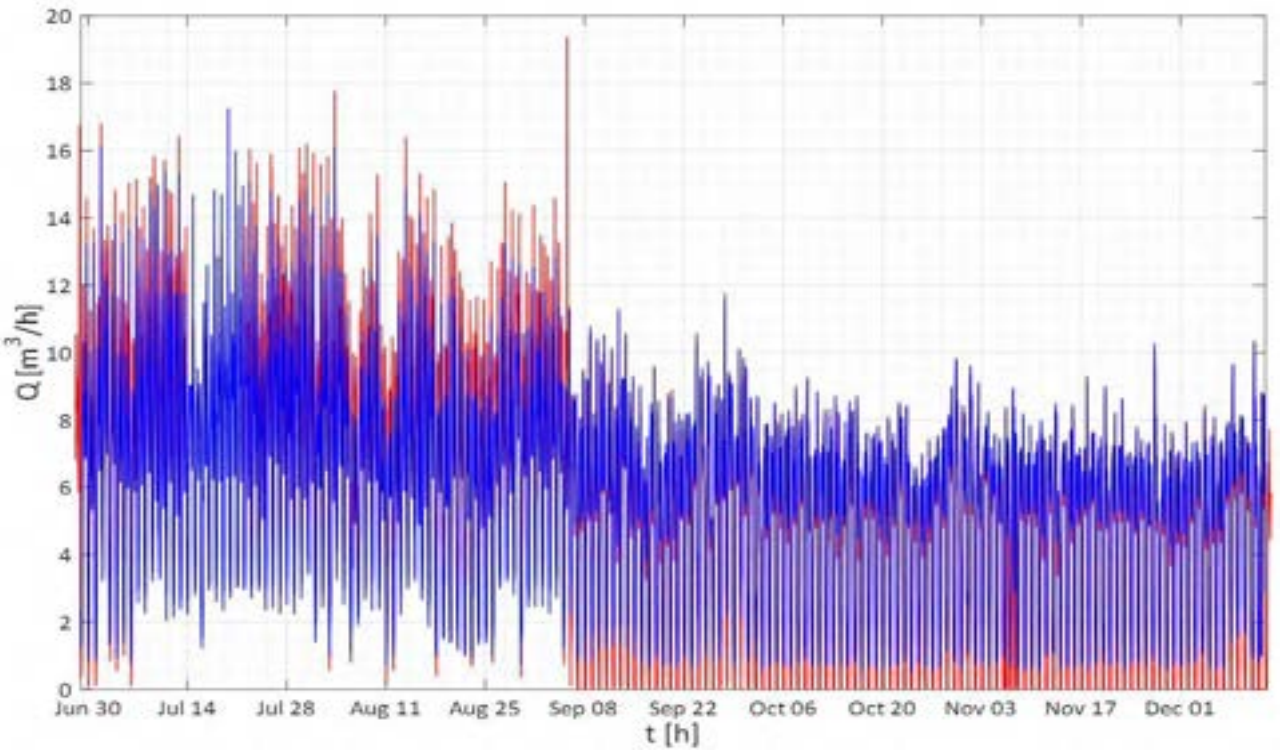

Figura 30. Bilancio idrico del distretto (rosso: portata immessa nel distretto; blu: consumo delle utenze).

Operativamente, è stata quindi confrontata la serie temporale della portata immessa in rete, monitorata in ingresso al distretto, con quella ottenuta dalla somma delle serie temporali dei consumi delle singole utenze. Durante tutto il periodo di osservazione, confrontando l'andamento dell'immesso in rete (indicato in rosso in Figura 30) con l'andamento del consumo di tutte le utenze (in blu) in generale è stato possibile evidenziare il medesimo andamento ma, al contempo, sono state identificate tre situazioni distinte, verificatesi in tre diversi periodi temporali.
Nello specifico, durante il primo periodo di osservazione di cui se ne riporta il dettaglio in Figura 31, è stato rilevato un immesso in rete superiore rispetto al consumo della totalità delle utenze di una quantità all'incirca costante di 1.5 m^3/h, comportamento che ha messo in evidenza la presenza di perdite idriche in rete di distribuzione. Questa tendenza s'inverte esclusivamente nelle ore notturne quando la richiesta da parte dell'insieme delle utenze risulta inferiore alla sensibilità del misuratore in ingresso che, pertanto, sottostima la portata entrante, restituendone talvolta valori nulli.

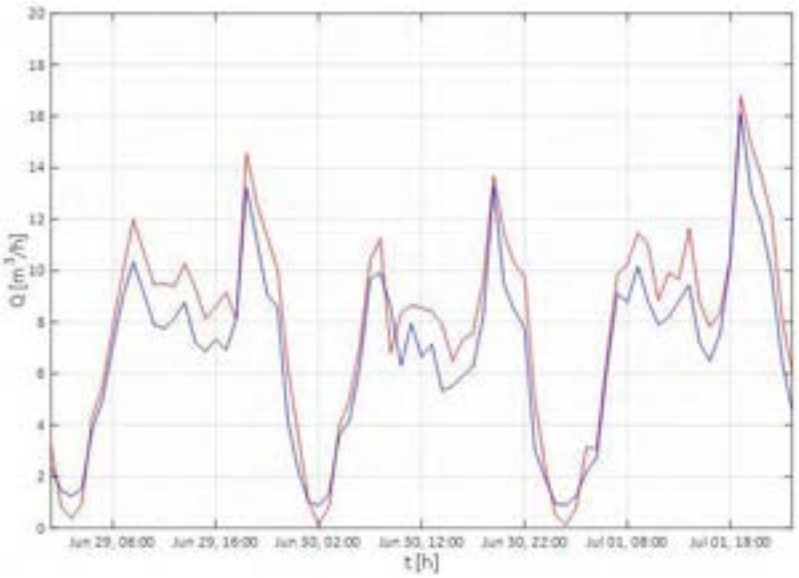

Figura 31. Dettaglio del bilancio idrico nel primo periodo d'indagine (rosso: portata immessa nel distretto; blu: consumo delle utenze).

Difatti, osservando l'andamento delle due curve riportato in Figura 32 legato al periodo di osservazione successivo, periodo puramente estivo in cui i consumi idrici in generale aumentano, è stata rilevata una portata in ingresso al distretto sempre superiore rispetto alla richiesta della totalità delle utenze. In altre parole, anche nelle ore notturne, la differenza tra le due curve ha assunto valori pressoché costanti sempre intorno a 1.5 m^3/h, rimarcando la presenza di perdite in rete.

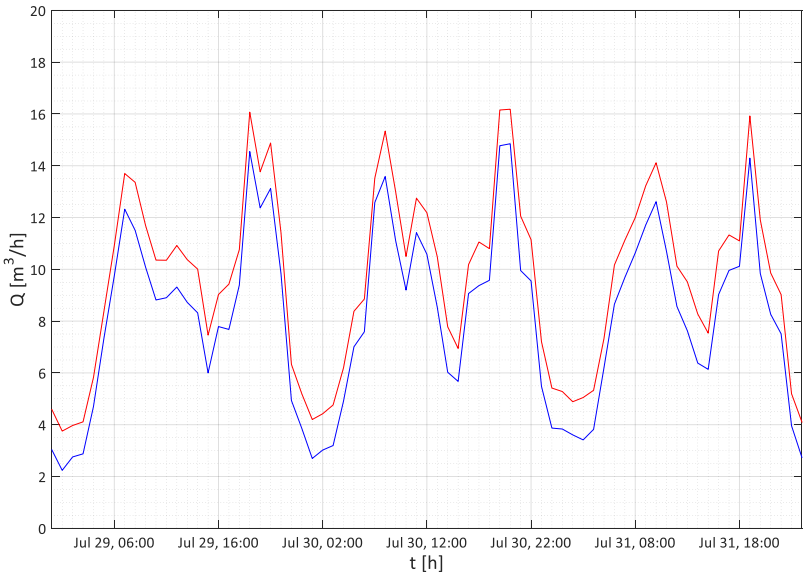

Figura 32. Dettaglio del bilancio idrico nel secondo periodo d'indagine, quando i consumi sono aumentati (rosso: portata immessa nel distretto; blu: consumo delle utenze).

Da inizio settembre, invece, si è registrata una diminuzione dei consumi ma, in particolare, come mostrato in Figura 33, il 5 settembre è stato rilevato un picco di consumo, misurato esclusivamente dallo strumento in ingresso e, a seguire, un cambiamento del comportamento di sopra descritto.

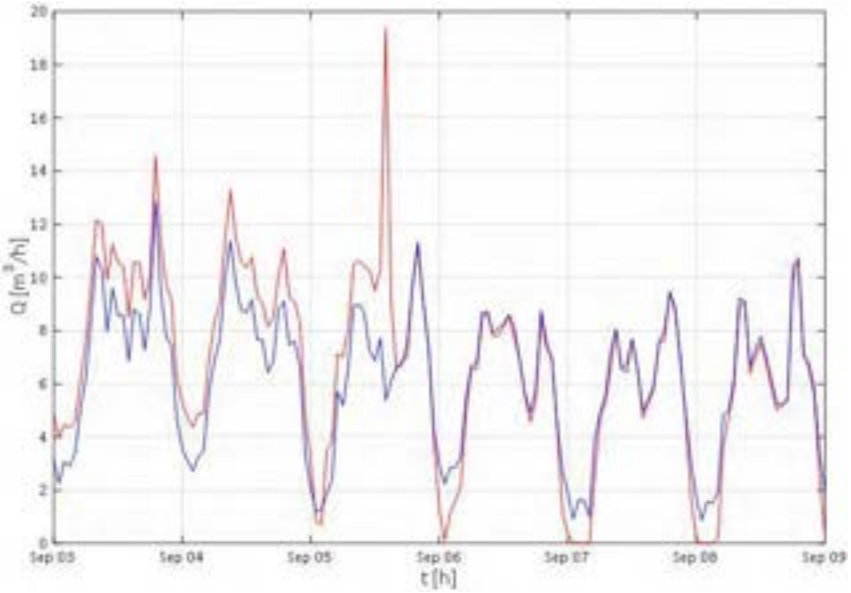

Figura 33. Dettaglio del bilancio idrico pre e post riparazione di una rottura nella rete di distribuzione (rosso: portata immessa nel distretto; blu: consumo delle utenze).

Nello specifico il suddetto picco di consumo è stato misurato durante la riparazione di una rottura presente nella rete di distribuzione tanto che, a seguito di tale manutenzione, il misuratore in ingresso ha sempre restituito valori di portata in linea con quelli dati dalla somma delle singole utenze, ad eccezione delle ore notturne, dove ha fornito valori sottostimati.

In sostanza, il bilancio idrico svolto ha permesso di avere un quadro costantemente aggiornato dell'entità delle perdite reali presenti nella rete di distribuzione di Gorino Ferrarese, nelle singole utenze e dei benefici prodotti dagli interventi di riparazione delle rotture.

Da quanto esposto, è piuttosto chiaro che, l'adozione di un sistema di monitoraggio come quello suggerito, incrementerebbe la sostenibilità idrica delle attuali reti, favorendone al contempo la trasformazione in reti

più evolute e intelligenti: così come nel settore dell'energia si sta affermando il concetto di *smart grid*, nel settore acquedottistico potrebbe diffondersi quello di *smart water grid*. Nello specifico, con il termine *smart grid* s'intende un sistema per la generazione, la trasmissione, la distribuzione e il consumo di energia elettrica che sia il più efficiente e affidabile possibile: dai centri di produzione fino ai terminali di utilizzo, la rete deve essere sempre più interattiva e capace di correggere i problemi in tempo reale. Ciò è possibile integrando alla struttura esistente una piattaforma ICT (*Information Communication Technology*), in modo che tutte le componenti che ne fanno parte possano comunicare e scambiare informazioni tra di loro. Per una rete elettrica ideale, infatti, è necessaria una perfetta corrispondenza tra domanda e offerta, mentre un eccesso da una parte o dall'altra favorirebbe il rischio di un blackout: il livello d'interattività tra produttori e consumatori, però, deve essere tale da sapere in qualsiasi momento qual'è il fabbisogno energetico e in che modo si può soddisfare. Viceversa, la rete tradizionale è progettata per la trasmissione di energia da poche grandi centrali di generazione a tanti utilizzatori lontani, senza essere programmata per gestire i picchi o le limitazioni di domanda, a causa della scarsa interazione con gli utenti. Il processo di evoluzione verso le *smart grid*, nel campo elettrico, è stato favorito dall'introduzione degli *smart meter* come contatori d'utenza, ancor più se si considera che negli ultimi anni molti destinatari del servizio (*consumer*) sono in grado di alimentare attivamente (*producer*) la rete grazie alla produzione da fonti rinnovabili (attraverso impianti fotovoltaici, ad esempio). Si passa, quindi da un sistema unidirezionale (esclusivamente dal produttore al consumatore) ad uno bidirezionale, in cui la comunicazione in tempo reale tra i nodi della struttura gerarchica è fondamentale per una corretta gestione e distribuzione. Ecco che un ragionamento analogo si potrebbe riproporre per la rete idrica, sebbene sia assai difficile ipotizzare una bi-direzionalità simile a quella elettrica, in quanto i *consumer*, cioè le utenze residenziali, commerciali e industriali, in questo caso non possono essere anche *producer* di risorsa idrica, data l'impossibilità di riutilizzare l'acqua consumata (se non per usi interni alle utenze come nel caso delle acque grigie e delle acque meteoriche). La realizzazione di una "*smart water grid*" sarebbe, tuttavia, di vitale importanza per la regolazione in tempo reale del flusso erogato. Difatti, ipotizzando che in un determinato distretto controllato da una qualsiasi *water utility*, tutti i contatori in attività fossero capaci di comunicare con un sistema di monitoraggio come quello proposto precedentemente, il quale riceve in tempo reale tutti i dati di consumo, i gestori avrebbero tutte le informazioni necessarie per avere un controllo continuo della domanda, la quale tipicamente sottopone la rete idrica a fluttuazioni giornaliere, caratterizzate dai picchi mattutini e serali, e stagionali, contraddistinte dai massimi consumi nei periodi caldi o siccitosi. Attraverso la realizzazione delle *smart water grid* questi picchi sarebbero quantificabili e individuabili con esattezza, e ipotizzando di includere all'interno della piattaforma cloud sofisticati modelli di previsione della richiesta idrica, come ad esempio quello proposto nel progetto di ricerca finanziato dalla Comunità Europea e denominato POWADIMA (POWADIMA - *Potable Water Distribution Management*), si potrebbe controllare in tempo reale proprio l'erogazione del flusso idrico [10]. Difatti, come ampliamente mostrato nel progetto summenzionato, note le serie temporali osservate di alcuni distretti monitorati, è possibile effettuare una previsione accurata e robusta delle richieste idriche orarie di ciascuno di essi, su di un intervallo temporale di 24 ore in avanti rispetto all'ora corrente, implementando un modello di previsione dei consumi flessibile e in grado di aggiornarsi continuamente, capace di preventivare le eventuali differenze tra i consumi previsti e quelli reali e di tener conto delle fluttuazioni periodiche della richiesta idrica grazie alla sua struttura modulare[1]. Ovviamente il fatto di poter prevedere il flusso idrico da erogare implica un miglior controllo della rete di distribuzione anche in termini di regolazione della pressione da mantenere. Attualmente, la rete di distribuzione è progettata al fine di assicurare i valori minimi di pressione durante tutto l'arco della giornata; tali minimi sono, però, raggiunti solo per brevi periodi di tempo, in corrispondenza dei momenti di maggior consumo. Di conseguenza durante gran parte della giornata la rete risulta sottoposta a un eccesso di pressione rispetto a quanto necessario. Invece l'implementazione di un modello per la previsione dei consumi idrici come quello sopra esposto, favorirebbe il controllo delle

[1] Il modello di previsione consta due moduli dei quali il primo consente la stima della richiesta media giornaliera nel giorno interessato dalle 24 ore di previsione tenendo conto della ciclicità stagionale e settimanale e della loro persistenza a breve termine; il secondo consente la stima delle richieste idriche nelle 24 ore successive all'ora corrente, tenendo conto della loro ciclicità giornaliera e della loro persistenza a breve termine

pressioni, minimizzando quanto più possibile i carichi piezometrici in eccesso pur assicurando valori sufficienti di pressione in tutto il sistema distributivo, tali da soddisfare in qualsiasi momento la domanda delle utenze servite. Ciò comporterebbe un funzionamento ottimale degli organi di controllo e ridurrebbe, di conseguenza, i costi energetici. Proprio in merito a quanto appena dichiarato, è bene puntualizzare che, in letteratura tecnica, è evidenziato che la maggior parte dei costi legati al consumo di energia elettrica nel settore del SII è provocata dal funzionamento dei sistemi di pompaggio [11 e 12]. L'ottimizzazione del funzionamento dei sistemi di pompaggio, ovvero la riduzione dei relativi costi di energia elettrica, potrebbe avvenire non solo sfruttando la variabilità temporale della tariffa energetica nell'arco del giorno, ma anche programmandone il funzionamento in modo tale che, come introdotto precedentemente, pur rispettando la richiesta da parte delle utenze, venga ridotto al minimo l'altezza del cielo piezometrico. Tale aspetto non è assolutamente da sottovalutare tenuto anche conto che lo sfruttamento delle risorse idriche dovuto al continuo aumento della popolazione e dello sviluppo socio-tecnologico e i mutamenti climatici, quale la siccità, stanno riducendo sensibilmente la disponibilità idrica e pertanto, per soddisfare la richiesta da parte delle utenze, potrebbe prospettarsi la necessità di accedere a fonti alternative a profondità o distanze maggiori, con conseguenze quali l'aumento dei costi d'esercizio. Infatti, alcune analisi svolte con la metodologia di *Life-Cycle Energy Analysis* (LCEA) e finalizzate alla caratterizzazione del legame tra la dimensione e la forma dei quartieri con i consumi idrici ed energetici degli stessi, hanno messo in evidenza che le reti acquedottistiche che comportano un maggior consumo di energia elettrica sono proprio quelle in cui le utenze sono più distanti dalle fonti di approvvigionamento idrico, a causa delle maggiori spese di pompaggio della risorsa idrica. Inoltre, è stato dimostrato che tali costi operativi aumentano anche con la diminuzione della densità della popolazione e con l'aumento dell'utilizzo di acqua potabile domestico e outdoor (dovuto all'irrigazione delle aree verdi proprie delle utenze), dimostrando ancora una volta come un sistema di monitoraggio pressoché in continuo per l'acquisizione dei dati di consumo idrico, come quello presentato, favorirebbe un'adeguata conoscenza dei consumi idrici e di conseguenza un'opportuna programmazione dei sistemi di pompaggio [13].
In aggiunta, una gestione razionale della pressione nella rete di distribuzione si tradurrebbe in una sensibile riduzione delle perdite occulte e di conseguenza in una diminuzione della frequenza e dei costi d'intervento per la riparazione.
Nel complesso, i benefici che deriverebbero dalla diffusione di un sistema di monitoraggio in tempo reale dei consumi idrici come quello proposto, dimostrano che, in futuro, quest'ultimo potrebbe concorrere alla definizione di città sempre più intelligenti che sfruttano le più avanzate tecnologie ICT per aumentare la sostenibilità ambientale e garantire al contempo una crescita sociale di tutte le figure coinvolte.

5 Conclusioni.

In questo rapporto, è stato prospettato un ipotetico sistema di *smart metering* per il monitoraggio pressoché in continuo dei consumi idrici, basato su alcune tecnologie innovative di tipo *Open Source* che recentemente si sono affermate nel settore ICT, e il cui cuore è rappresentato da un dispositivo di ricezione costituito da componenti hardware e software in grado di ricevere i dati di consumo dai nuovi *smart meter* e di trasmetterli a una piattaforma *Cloud* capace di elaborarli e di restituire in tempo reale informazioni utili agli utenti e ai gestori del SII. In particolare dall'analisi dei dati raccolti utilizzando un'architettura di tipo RMR in modalità *walk-by*, presso il laboratorio di campo di Gorino Ferrarese, è stato possibile valutare i benefici dei quali potrebbero godere gli utenti e il gestore se in futuro venisse applicato un sistema di monitoraggio come quello proposto.
Nello specifico, le elaborazioni mostrate hanno evidenziato che agli utenti verrebbe fornita l'opportunità di ridurre drasticamente inutili sprechi d'acqua dovuti a perdite interne agli edifici e di accrescere la propria consapevolezza relativamente al tema del risparmio idrico, grazie alla possibilità offerta dal sistema di monitoraggio di visualizzare in tempo reale il proprio consumo e di ricevere un messaggio d'allarme nel caso di fughe d'acqua a valle del contatore d'utenza.
Al gestore, invece, verrebbe fornito un valido strumento che, permettendogli di disporre di un quadro costantemente aggiornato dell'entità delle perdite presenti nella rete di distribuzione, gli consentirebbe di

gestire in modo ottimale il sistema, identificando tempestivamente la formazione di nuove perdite significative, potendo così intervenire per ridurne la durata e i relativi volumi persi.
Al contempo, il rilevamento immediato dei guasti e la comunicazione continua dello stato di funzionamento di ogni singolo strumento di misura d'utenza permetterebbe al gestore di avere un determinato controllo sul parco contatori di propria competenza in modo da ridurre, almeno in parte, anche le perdite amministrative dovute agli errori di misura.
Per di più, la piattaforma Cloud potrebbe implementare anche modelli di previsione della richiesta idrica per interi distretti a partire dalla conoscenza delle serie temporali dei consumi acquisiti dal sistema di monitoraggio proposto. Questo consentirebbe alla generica *Utility* di gestire in modo ottimale la rete di distribuzione potendo controllare le pressioni da mantenere in rete ovvero garantendo un funzionamento più efficiente degli organi di controllo presenti (valvole di regolazione e sistemi di pompaggio). Questo comporterebbe anche una riduzione dei consumi energetici oltre che un'ulteriore riduzione delle perdite occulte che molto spesso sono legate all'eccesso di pressione alle quali sono sottoposte le reti di distribuzione.
In altri termini, il sistema di monitoraggio in tempo reale dei consumi idrici presentato, rappresenterebbe uno strumento capace di supportare i processi decisionali che interessano qualunque gestore del servizio acquedottistico, e costituirebbe il punto di partenza per trasformare le attuali infrastrutture di distribuzione idrica nelle cosiddette *smart water grid*. Per di più, date le caratteristiche tecnologiche alla base dell'architettura dell'infrastruttura di tipo AMR proposta, nell'eventualità il gestore fornisse ai propri utenti anche le risorse energetiche, potrebbe fondere detta architettura con quella per monitorare i consumi di gas ed energia elettrica, ottenendo apprezzabili vantaggi anche in termini economici.

6 Riferimenti bibliografici.

1. D.L. 3 aprile 2006, n.152, in materia di "Norme in materia ambientale".
2. D.L. 6 dicembre 2011, n.201, convertito, con modificazioni in L. 22 dicembre 2011, n.214, in materia di "Disposizioni urgenti per la crescita, l'equità e il consolidamento dei conti pubblici".
3. Autorità per l'Energia Elettrica il Gas e il Sistema Idrico, Approvazione del metodo tariffario per il secondo periodo regolatorio MTI-2, 28 dicembre 2015.
   https://www.autorita.energia.it/allegati/docs/15/664-15.pdf
4. A. Cagiano, G. Mazzolani, "IoT per lo smart metering del servizio idrico", Servizi a Rete, n.1, 2017, pp. 70-71.
5. M. Battistella, "Contatori tradizionali e di tipo "smart". Analisi delle caratteristiche di funzionamento e del quadro normativo di riferimento". Tesi di laurea, Università degli Studi di Ferrara, a.a. 2011/2012.
6. M. Fantozzi, "Riduzione della sotto registrazione dei contatori domestici", Servizi a rete, n.1, 2010, pp. 99-104.
7. D.L. 30 ottobre 2013, n. 155, in materia di "Regolamento recante criteri per l'esecuzione dei controlli metrologici successivi sui contatori dell'acqua e sui contatori di calore".
8. Direttiva europea 2004/22/CE – M.I.D. (Measuring Instruments Directive)
9. F. Cascetta, O. Paleari, "Smart Water Metering: dalla misura analogica alla misura digitale", Servizi a Rete, n.5, 2013, pp. 58-61.
10. S. Alvisi, M. Franchini, A. Marinelli, "A short-term, pattern-based model for water-demand forecasting", Journal of Hydroinformatics, Vol. 9, n.1, 2007, pp 39-50.
11. L. H. Magalhães Costa, B.de Athayde Prata, H.M. Ramos,M.A.H. de Castro, "A Branch-and-Bound Algorithm for Optimal Pump Scheduling in Water Distribution Networks", Water Resources Management, Vol. 30, n.3, 2016, pp 1037-1052.

12. A. Marchi, A.R. Simpson, M.A. Thyer, S. Sutanto, N.C. Do, “Optimisation of pump operations in water distribution systems taking into account the seasonality of the demand”, 14th Water Distribution Systems Analysis Conference, 24-27 september 2012, Adelaide, Australia.
13. H. Wong, V. L. Speight, Y.R. Filion, “Examining the Role of Outdoor Water Use as a Driver of Energy Use in North American Neighbourhood Typologies”, International Computing & Control for the Water Industry Conference”, 7-9 november 2016, Amsterdam, Netherlands.

7 Abbreviazioni ed acronimi.

AEEGSI - Autorità per l'Energia Elettrica il Gas e il Sistema Idrico.
AMR - Automatic Meter Reading
DN - Diametro Nominale
ICT - Information Communication Technology
ISM - Industrial Scientific and Medical
LCEA - Life Cycle Energy Analysis
MID - Measuring Instruments Directive
OMS - Open Meter Standard
POWADIMA - Potable Wate Distribution Management
RMR - Remote Meter Reading
SBC - Single Board Computer
SCT - Signal Counter Transceiver
SII - Servizio Idrico Integrato
TSDB - Time Series Database

Appendice.

Curriculum Vitae dei responsabili scientifici del gruppo di lavoro:

Stefano Alvisi
Stefano Alvisi è Professore associato (settore scientifico-disciplinare ICAR/02 – Costruzioni Idrauliche e Marittime e Idrologia) presso il Dipartimento di Ingegneria, e svolge attività didattica nel Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile, dell'Università degli Studi di Ferrara. E' autore/coautore di oltre 100 pubblicazioni di cui la metà su riviste internazionali ISI. Ha lavorato nel contesto di diversi progetti di ricerca europei, nazionali e locali (POWADIMA-POtable WAter DIstribution MAnagement-Contract Number EVK1-CT-2000-00084; PRIN2008; PRIN2012) e in convenzioni con enti locali (ad esempio HERA S.p.A., TEA Acque s.r.l.). E' Associate Editor della rivista scientifica internazionale Urban Water Journal e guest editor della rivista scientifica internazionale Water . E' stato membro del Comitato Scientifico e/o chairman di diversi convegni internazionali e svolge intensa attività come revisore per oltre 20 riviste internazionali ISI.
E' stato insignito (1) del riconoscimento di eccellenza per il miglior articolo presentato nel contesto della "Battle of Water Calibration Network (BWCN)", in occasione della conferenza internazionale WDSA2010, (2) del premio conferito dalla Association of Logic Programming per il miglior articolo "Optimal Placement of Valves in a Water Distribution Network with CLP(FD)" presentato alla conferenza internazionale ICLP2011 e (3) del riconoscimento di eccellenza per il miglior lavoro nel contesto della "Battle of Background leakage Assessment for Water networks (BBLAWN)", in occasione della conferenza internazionale WDSA2014. E' stato inoltre insignito del riconoscimento di outstanding reviewer dalle riviste scientifiche internazionali Environmental Modelling and Software (Elsevier) e Journal of Water Resources Planning and Management (ASCE).

Marco Franchini
Il dott. ing. Marco Franchini è Professore di I Fascia dal 2001; insegna Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria di Ferrara; è stato presidente del Consiglio Unificato dei corsi di laurea di Ingegneria Civile e Ambientale (L), Ingegneria Civile (LM) negli anni 2001-2015; è stato dal 1992 al 2002 Editore Associato della rivista internazionale Journal of Hydrology; è attualmente editore associato della rivista Water (MDPI). E' stato segretario dal 1992 al 1996 del settore "Surface Hydrology" dell'European Geophysical Society (EGS). E' stato responsabile dell'U.O. 1.49 nell'ambito del progetto VAPI-RIVERS finanziato dal GNDCI. E' revisore per conto di più di dieci riviste internazionali ISI. Complessivamente ha coordinato e gestito circa 50 progetti di ricerca e convenzioni, nazionali e internazionali. E' presidente del Centro Studi Sistemi Acquedottistici. E' coordinatore scientifico del Consiglio Scientifico del Laboratorio T&A Tech dell'Università di Ferrara. E' Ricercatore Associato del CNR-IRPI di Perugia. E' autore di oltre 240 pubblicazioni su atti di convegni e riviste, sia nazionali, sia internazionali. E' stato membro del comitato scientifico di una decina di convegni nazionali e internazionali. Ha ricevuto i seguenti riconoscimenti: (1) "Certificate of excellence to recognize excellence and outstanding achievement as the best paper nominee in the Battle of the Water Calibration Network (BWCN)" - Tucson, Arizona, 2010; (2) ICLP 2011 Best paper Award, Association for Logic Programming, (3) Certificate of excellence to recognize excellence and outstanding achievement as the best paper nominee in the Battle of Background leakage assessment for Water Networks" - Bari, Italia, 2014, (4) The program chair of the international Joint conference on Artificial intelligence, Best Paper in sister conference, 2013, Bejing, Cina.