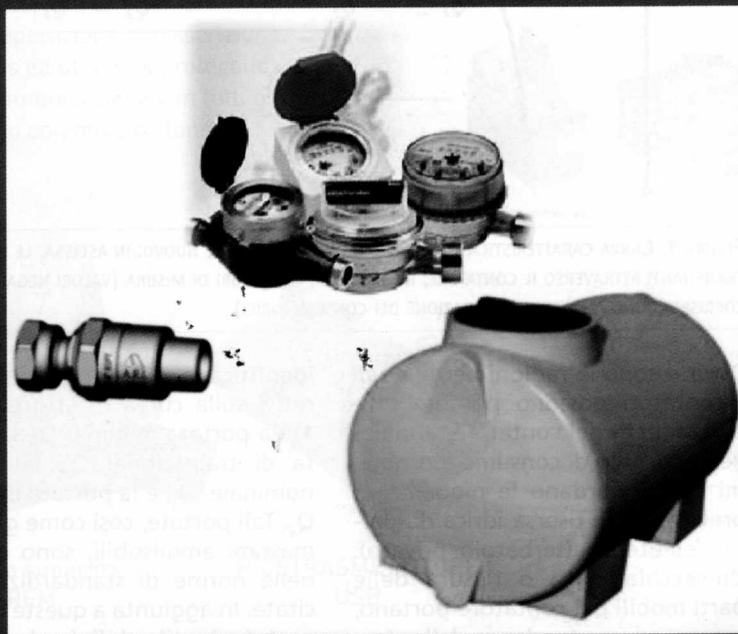


Le perdite apparenti e sottomisurazione

Durante gli ultimi due anni il gestore del servizio idrico di Palermo, AMAP S.p.A., e l'Università degli Studi di Palermo hanno esaminato la sottoregistrazione dei contatori domestici in presenza di serbatoi privati e gli effetti dell'introduzione dei dispositivi Unmeasured Flow Reducer (UFR). Una prima serie di misure è stata effettuata presso due diverse tipologie di utenza: una villetta unifamiliare ed un edificio. Le misure di portata in ingresso ed in uscita dal serbatoio e di pressione in rete sono state eseguite per circa una settimana; dopo tale periodo, le misure delle stesse grandezze idrauliche sono state ripetute in seguito all'installazione presso entrambe le utenze di un dispositivo UFR. Un secondo e diverso confronto delle misure effettuate prima e dopo l'introduzione degli UFR in un piccolo distretto di misura della rete di distribuzione della città di Palermo è stato eseguito nel 2008 (usando uno specifico software creato per questo tipo di analisi). Lo studio ha dimostrato che i dispositivi UFR riducono effettivamente la sottomisurazione dei contatori, anche se essi hanno un effetto limitato sui contatori molto vecchi.



■ di Marco Fantozzi, Antonio Criminisi, Chiara M. Fontanazza, Gabriele Freni, Allan Lambert

La gestione delle reti di distribuzione idrica deve essere basata sulla conoscenza approfondita dei costi, dei consumi di energia e di acqua, e del livello di perdite idriche. Ogni programma di controllo delle perdite ha in comune, come punto di partenza, il calcolo del Bilancio Idrico (Ismail & Puad, 2006). Come riportato nel Bilancio Idrico Standardizzato proposto dell'IWA (IWA, 2000), le perdite, calcolate come differenza tra il Volume Immesso in Rete ed il Consumo Autorizzato, consistono in Perdite Reali e Perdite Apparenti. Le perdite reali sono costituite dal volume fisicamente perso all'interno del sistema di distribuzione (perdite per sfioro dai serbatoi, nel-

le condotte principali ed in quelle si sviluppano tra i punti di connessione alle utenze fino al contatore). Esse consistono in Consumi non Autorizzati ed in tutti i tipi di Errori di Misura (Lambert, 2002). Negli ultimi anni sono stati fatti grandi sforzi per meglio comprendere i processi che sono alla base delle perdite reali al fine di ridurle a livelli economicamente convenienti. Soltanto recentemente, i gestori del servizio idrico hanno manifestato un evidente interesse nei confronti delle perdite apparenti. Queste, infatti, diversamente dalle perdite reali che sono perdite fisiche di volume, sono perdite di tipo economico e rappresentano un mancato guadagno dovuto ai

volumi consumati e non pagati dagli utenti.

Le perdite apparenti sono causate da furti d'acqua, errori di lettura dei contatori ed errori di fatturazione, sottomisurazione dei contatori (Rizzo et al., 2007). I furti d'acqua sono dovuti a connessioni illegali alla rete, *bypass* dei contatori ed al danneggiamento volontario di questi ultimi. Gli errori di lettura e fatturazione derivano da errori umani: i contatori possono non essere letti correttamente ed i dati possono essere gestiti in un modo sbagliato nel sistema di fatturazione del gestore. La sottomisurazione dei contatori è dovuta agli errori propri dei contatori che variano con la portata che li attraversa.

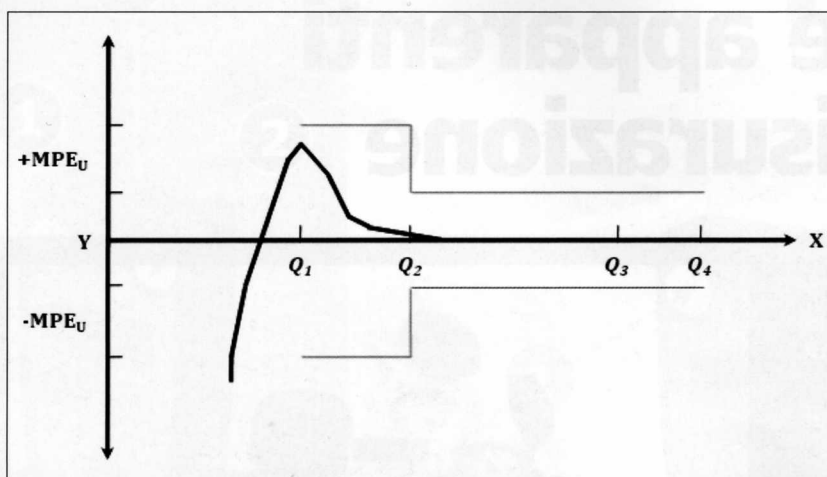


FIGURA 1: CURVA CARATTERISTICA DEGLI ERRORI DI UN CONTATORE NUOVO: IN ASCISSA, LE PORTATE TRANSITANTI ATTRAVERSO IL CONTATORE; IN ORDINATA, GLI ERRORI DI MISURA (VALORI NEGATIVI CORRISPONDONO ALLA SOTTOMISURAZIONE DEI CONSUMI IDRICI)

Diverse sono le ragioni per le quali i contatori possono perdere efficienza: l'età del contatore, anomalie nel profilo di consumo e problemi che riguardano le modalità di prelievo della risorsa idrica da parte dell'utenza (serbatoio privato). L'invecchiamento o l'usura delle parti mobili del contatore portano, spesso, ad una tendenza dello strumento a sotto misurare i volumi transitati; i serbatoi privati ubicati tra il contatore e la rete interna dell'utenza modificano il tipico profilo di consumo domestico, riducendo la domanda istantanea, la portata che attraversa il contatore, e portando ad un incremento degli errori di misura. In breve, mentre i furti d'acqua, gli errori di lettura dei contatori e di fatturazione sono direttamente connessi alla gestione e possono essere rimossi con procedure appropriate, gli errori di misura sono considerati la causa più significativa delle perdite apparenti e sono i più difficili da quantificare e ridurre (Rizzo & Cilia, 2005). Per valutare i volumi effettivamente consumati dall'utenza, ma non misurati dal contatore, è necessario conoscere le performance metrologiche del contatore alle diverse portate ed il profilo di consumo dell'utenza, che si modifica nel caso di presenza di serbatoio privato.

I requisiti metrologici di ogni tipo di misuratore per acqua fredda sono stabiliti attraverso la definizione di quattro portate (ISO 4064-1, 2005; EN 14154-1+A1, 2007), che

identificano differenti campi operativi sulla curva di errore (figura 1): la portata minima, Q_1 , la portata di transizione, Q_2 , la portata nominale, Q_3 , e la portata massima, Q_4 . Tali portate, così come gli errori massimi ammissibili, sono definite nelle norme di standardizzazione citate. In aggiunta a queste quattro portate è utile definire la portata di avviamento del contatore, Q_0 , portata alla quale lo strumento inizia a misurare il volume transitato, anche se il grado di precisione è praticamente nullo (gli errori di misura sono dell'ordine del -100%). Tale portata non è definita dalle norme tecniche ISO ma è particolarmente rilevante nella valutazione degli errori di misura dei contatori e, soprattutto, di quelli che da tempo sono in esercizio. Quando un contatore vetusto è accoppiato ad un serbatoio privato, il volume non misurato dal contatore raggiunge anche il 50% di quello transitato (Criminisi et al., 2009).

L'effetto del serbatoio privato sulla sottomisurazione dei contatori domestici può essere valutato analizzando il suo ciclo di svuotamento - riempimento prodotto da una valvola a galleggiante che lo alimenta e che, spesso, induce portate inferiori alla portata di avviamento del contatore.

A causa dell'impossibilità dei contatori di misurare le basse portate, negli ultimi anni sono apparsi sul mercato diversi dispositivi idraulici finalizzati a controllare e ridurre le

perdite apparenti. Una possibile soluzione per eliminare l'effetto del serbatoio è l'introduzione di valvole che modificano il processo di riempimento del serbatoio stesso. L'UFR (*Unmeasured Flow Reducer*) installato a monte o a valle del contatore cambia il modo in cui l'acqua transita all'interno del contatore: alle basse portate l'UFR trasforma queste in impulsi di portata che superano la portata di avviamento del contatore, a portate alte fa transitare l'acqua senza intervenire. Negli ultimi due anni, l'AMAP SpA, gestore del Servizio Idrico Integrato della Città di Palermo, e l'Università degli Studi di Palermo hanno condotto una serie di studi sulla sottomisurazione dei contatori installati a monte dei serbatoi privati e sull'effetto dell'introduzione delle valvole di riduzione della portata non misurata (UFR). Un primo studio è stato effettuato a livello di singola utenza, monitorando alcune grandezze idrauliche (pressione in rete, portata in ingresso ed in uscita dal serbatoio) di un'abitazione monofamiliare e di un edificio per civile abitazione. Le misure sono state effettuate in continuo per un periodo di tempo pari ad una settimana. Questa fase del monitoraggio è stata seguita dall'installazione del dispositivo UFR e da una nuova campagna di misure delle stesse grandezze per un'ulteriore settimana. La stessa procedura di analisi, costituita da due fasi di misura di portate e pressione di cui la seconda preceduta dall'installazione del dispositivo UFR, è stata applicata ad un piccolo distretto di misura della rete di distribuzione della città di Palermo.

ANALISI SPERIMENTALE A LIVELLO DI SINGOLA UTENZA

Per valutare le capacità dell'UFR di ridurre le perdite apparenti dovute alla sottomisurazione dei contatori a valle dei quali si trova un serbatoio privato è stata eseguita una campagna di monitoraggio su 2 abitazioni della città di Palermo.

Le due abitazioni selezionate (villetta unifamiliare, A, ed edificio, B) nel passato sono state soggette a frequenti razionamenti della risorsa idrica pertanto gli utenti, per

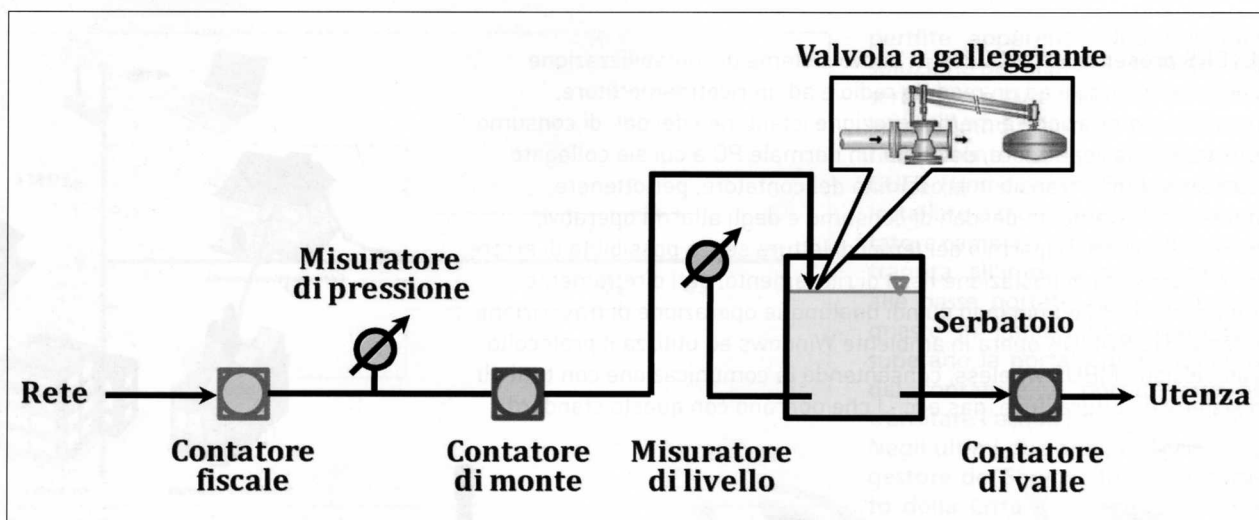


FIGURA 2: SCHEMA D'INSTALLAZIONE DEGLI STRUMENTI PER IL MONITORAGGIO

svincolarsi dalla discontinuità del servizio, hanno adottato serbatoi privati di accumulo. Negli ultimi 5 anni la maggiore disponibilità di risorsa ed il miglioramento del sistema di distribuzione hanno fortemente ridotto le aree della città in cui ancora oggi, in alcuni periodi dell'anno, l'erogazione è di tipo intermittente; ciò nonostante, tanti utenti ancora conservano i serbatoi per aumentare la loro resilienza in caso di scarsità idrica.

La campagna di monitoraggio è suddivisibile in due periodi: in principio i volumi idrici, misurati a monte ed a valle del serbatoio, la pressione in rete ed il livello idrico del serbatoio (solo presso l'utenza A) sono stati misurati prima dell'installazione del dispositivo UFR, quindi, le stesse misure sono state ripetute in seguito alla sua installazione. L'età dei contatori delle due utenze A e B si attesta tra i 5 ed i 10 anni. La strumentazione utilizzata era

costituita da: un sensore di pressione, un misuratore di livello a cella piezometrica e due contatori volumetrici di classe C nuovi e calibrati (figura 2). Il sensore di pressione è stato installato a monte del contatore fiscale, per misurare e registrare la pressione in rete ogni 15 minuti. I contatori di classe C (diametro 15 mm), installati a monte e a valle del serbatoio privato accoppiati con *data logger*, registravano le misure di volume in ingresso ed in uscita dal serbatoio ogni minuto. L'installazione è stata eseguita secondo le specifiche riportate nella norma EN 14154-1+A1 (2007). Solo presso l'abitazione A è stato, inoltre, misurato ogni 15 minuti il livello nel serbatoio, attraverso una cella piezometrica accoppiata con un *data logger*.

Il primo ed il secondo periodo di monitoraggio dell'utenza A sono durati 6 giorni, rispettivamente dal 15 al 20 dicembre 2007 e dal 7

al 12 febbraio 2008. Le misure di pressione in rete hanno mostrato che, durante i due periodi di monitoraggio, il servizio pubblico di erogazione della risorsa è stato di tipo continuo. Il serbatoio privato, quindi, era sempre quasi pieno, la valvola a galleggiante parzialmente aperta e la portata in ingresso al serbatoio molto bassa. La differenza tra il volume registrato dai contatori a monte ed a valle del serbatoio è stata molto elevata, circa -45% alla fine del primo periodo di monitoraggio (tabella 1). Nel secondo periodo di monitoraggio un dispositivo UFR è stato installato a monte del serbatoio e del nuovo contatore di classe C. Trasformando le basse portate in impulsi di entità superiore alla portata di avviamento del contatore, l'effetto dell'UFR è stato quello di consentire al contatore di monte di misurare la maggior parte del volume transitato. La tabella 1 mostra che la differenza tra il volume misurato a monte e a valle del serbatoio in seguito all'installazione dell'UFR si è notevolmente ridotta (da -45% a -7%). I due periodi di monitoraggio dell'utenza B hanno avuto luogo, rispettivamente, tra il 25 ottobre ed il 6 novembre 2007 e tra il 20 ed il 26 marzo 2008. Alla fine del primo periodo (prima dell'installazione dell'UFR) la differenza tra i volumi registrati a monte ed a valle del serbatoio è stata pari a circa -12%. Questo risultato è dovuto all'andamento della pressione in rete, pros-

Tabella 1. Volume misurato a monte ed a valle del serbatoio

Abitazione		Contatore a monte [l]	Contatore a valle [l]	Errore [%]
A	Volume cumulato senza UFR	806	1464	-45
	Volume cumulato con UFR	1088	1176	-7
B	Volume cumulato senza UFR	11460	13020	-12
	Volume cumulato con UFR	7349	7411	-1

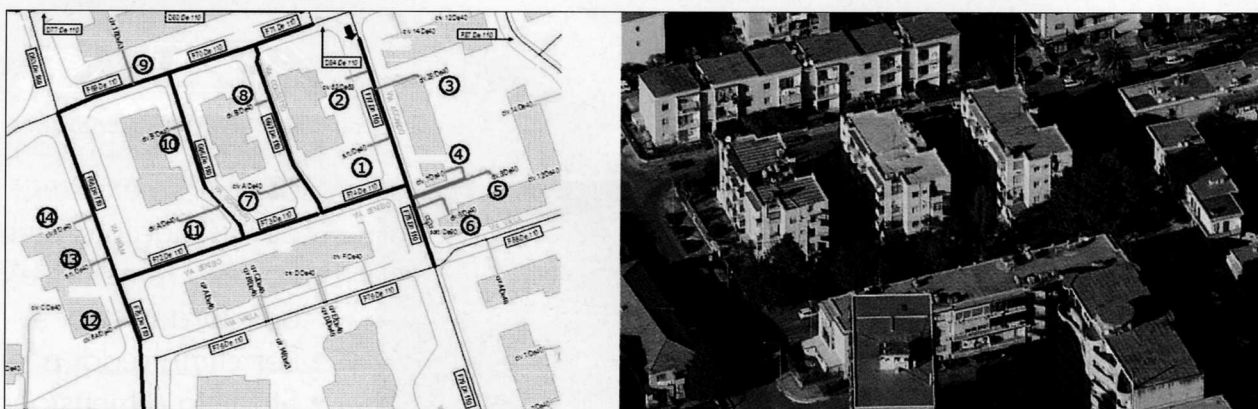


FIGURA 3: MAPPA E VISTA AEREA DEL PICCOLO DISTRETTO DI MISURA

Tabella 2. Lista delle verifiche preliminari all'esecuzione dei test nel distretto pilota

Checklist delle azioni necessarie per migliorare l'affidabilità del test	SI o NO
La portata in ingresso al distretto è misurata correttamente durante i test?	Si
Se si ritiene che nella zona vi sia sotto registrazione, ciò viene confermato dai grafici della portata in ingresso alla zona?	Si
Tutte le prese erano o misurate o chiuse durante i test?	Si
Sono stati sostituiti tutti i contatori non funzionanti prima dei test?	Si
Sono stati letti tutti i contatori della zona e le letture effettuate e verificate da almeno due lettori?	Si
La zona è stata controllata per identificare ed eliminare consumi non autorizzati prima dei test?	Si
Sono state identificate e riparate tutte le perdite segnalate e non segnalate prima e dopo i test?	Si

sima a zero durante la maggior parte del giorno e sufficiente ad assicurare il servizio di erogazione dalle 18 alle 10 del giorno seguente. Il serbatoio è, quindi, quasi del tutto svuotato dall'utenza durante il periodo di bassa pressione e si riempie rapidamente nel tardo pomeriggio, quando la pressione aumenta. Alla fine del secondo periodo di monitoraggio, caratterizzato dalla presenza dell'UFR, la differenza tra i volumi cumulati a monte ed a valle del serbatoio è stata pari a -1% (tabella 1).

ANALISI SPERIMENTALE IN UN PICCOLO DISTRETTO DI MISURA

Per testare l'efficienza e l'affidabilità dell'UFR è stato definito un piccolo distretto pilota all'interno della rete di distribuzione di Palermo. Il distretto fa parte di una sottorete denominata 'Noce-Uditore'. La sottorete è stata completamente rinnovata nel 2002, sostituendo tutte le vecchie condotte in ghisa con nuove tubazioni di polietilene PE100. Il distretto è costituito da 434 m di tubazione

DE110 e da 14 connessioni che servono 52 utenze singole di tipo residenziale (Figura 3). Sono presenti 33 contatori di classe C (alcuni dei quali nuovi ad altri con età non superiore a 10 anni), 17 contatori di classe B e 2 contatori di classe A (con età superiore a 10 anni). Quasi tutti gli utenti hanno serbatoi privati e di conseguenza una parte significativa del loro consumo avviene a basse portate. La metodologia di analisi di seguito descritta è stata applicata per valutare l'efficacia del dispositivo UFR a scala di distretto. Essa è costituita dai 5 passi sotto riportati.

● Passo 1 – Analisi dei consumi

Le analisi di campo hanno confermato che il distretto identificato è idraulicamente chiuso, che tutte le utenze sono dotate di contatore e che tutti i contatori installati sono regolarmente funzionanti. Per valutare i consumi misurati è stato creato un foglio di lavoro (in Excel) in parallelo con il sistema di fatturazione esistente.

Per verificare l'affidabilità dei test eseguiti per il distretto è stata pre-

parata ed applicata la lista di azioni riportata in tabella 2.

● Passo 2 – Contatore principale del distretto pilota

Per misurare la portata in ingresso al distretto è stato installato un contatore DN 50 mm di classe C.

● Passo 3 – Eliminazione di tutte le perdite reali e di alcune perdite apparenti prima del test

La scelta di individuare un distretto pilota all'interno della sottorete "Noce Uditore" deriva dal fatto che tutte le tubazioni e le prese di utenza sono state sostituite recentemente e non sono state evidenziate perdite esistenti nel sistema. Quindi, a parte le perdite inevitabili di sottofondo, tutte le altre componenti di perdita del bilancio idrico possono essere considerate nulle: consumi non autorizzati, perdite segnalate e perdite non segnalate.

● Passo 4 – Esecuzione dei test in campo

Il test in campo è stato eseguito in due fasi. Nella prima fase sono stati effettuate le letture dei contato-

ri domestici e del contatore principale, all'inizio ed alla fine del periodo di osservazione di due settimane. Il confronto delle misure del contatore principale e dei contatori domestici ha dato la percentuale di sottomisurazione dei contatori domestici. Nella seconda fase sono stati installati i dispositivi UFR presso tutte le utenze e sono state

effettuate nuovamente le misure. La sottomisurazione dei contatori domestici alla fine del periodo di monitoraggio è risultata inferiore.

● **Passo 5 – Bilancio idrico e confronto della sottoregistrazione (CMU) dei contatori domestici con e senza UFR**

Per applicare la metodologia di cal-

colo del bilancio idrico, calcolare e confrontare la sottomisurazione (CMU) dei contatori domestici con e senza UFR, è stato utilizzato il software UFRCalcs creato da ILMSS Ltd (figura 4).

I risultati ottenuti hanno evidenziato che la sottomisurazione dei contatori domestici (CMU) prima e dopo l'installazione degli UFR è

PART A: ZONE WATER BALANCE WITHOUT UNMEASURED FLOW REDUCERS (UFRs)					Part B: ZONE WATER BALANCE WITH UFRs								
Period of 'Before UFR' Test		21,00	days	24-ott-08	to	14-nov-08	28,00	days	12-dic-08	to	09-gen-09		
Components of Zone Water Balance without UFRs installed			Volume m3	litres/ connection/ day	% of Corrected Zone Inflow	Components of Zone Water Balance with UFRs			Volume m3	lit/conn/day	% of Corrected Zone Inflow		
Inflow to Zone	Inlet meter recorded volume ZMRV =		458,09	419,5	100,0%	Inflow to Zone	ZMRV =		598,07	410,8	100,0%		
	Zone meter under-registration ZMU =		0,00%	0,00	0,0		0,0%	ZMU =		0,00	0,0	0,0%	
Corrected Zone Inflow CZI = ZMRV + ZMU =			458,09	419,5	100,0%	CZI =			598,07	410,8	100,0%		
Authorised consumption, Apparent losses and Real Losses in Zone	Customer meter recorded consumption CMRC =		323,31	296,1	70,6%	Authorised consumption, Apparent losses and Real Losses in Zone	CMRC =		475,59	326,6	79,5%		
	Other authorised consumption OAC =		0,00%	0,00	0,0		0,0%	OAC =		0,00	0,0	0,0%	
	Unauthorised consumption UC =		0,00%	0,00	0,0		0,0%	UC =		0,00	0,0	0,0%	
	Unavoidable background leakage UBL =		0,41	m ³ /day =	8,61		8,0	1,9%	UBL =		11,60	8,0	1,9%
	Additional background leakage ABL =		0,00	m ³ /day =	0,00		0,0	0,0%	ABL =		0,00	0,0	0,0%
	Detectable Unreported Leaks DUL =		0,00	m ³ /day =	0,00		0,0	0,0%	DUL =		0,00	0,0	0,0%
	Detectable Reported Leaks DRL =		0,00	m ³ /day =	0,00		0,0	0,0%	DRL =		0,00	0,0	0,0%
	Customer meter under-registration without UFRs installed =			126,08	115,5		27,5%	CMU =		110,89	76,2	18,5%	
	Customer Meter Under-registration CMU without UFRs =			39,02%	of Customer Meter Recorded Consumption		CMU with UFRs =		23,32%	of Customer Meter Recorded Consumption			
	Customer Meter Under-registration CMU without UFRs =			28,07%	of Best Estimate of Metered Consumption		CMU with UFRs =		18,91%	of Best Estimate of Metered Consumption			

FIGURA 4: BILANCIO IDRICO DEL DISTRETTO PILOTA

SISTEMI DI LETTURA DEI CONTATORI

Isidata, dal 2001, si occupa di metering nell'ambito dello sviluppo di sistemi e piattaforme per la gestione e validazione delle letture. I sistemi sviluppati sono interamente progettati e prodotti da Isidata. Offriamo soluzioni modulari in base alle esigenze del cliente

ISIDATA S.r.l.
 Progettazione e Sviluppo
 Via Galeno, 31 - 20126 Milano (MI) - Italy
 Tel +39 02 2550254 - Fax +39 02 25707945
 E-mail isidata@isidatasrl.it - Web www.isidatasrl.it

ISIDATA

I nostri palmari sono dotati di **fotocamera** integrata o esterna, **stampante** termica incorporata, **RF-Id** read/write, localizzatore **GPS** per soddisfare qualsiasi tipologia di lettura dei contatori.

pari a:

- CMU (senza UFR) = 28,06 % della miglior stima dei consumi misurati
- CMU (con UFR) = 18,91 % della miglior stima dei consumi misurati.

I valori elevati sono dovuti alla vetustà dei contatori ed alla presenza dei serbatoi privati. I test hanno dimostrato che l'efficienza dell'UFR nel ridurre la sottoregistrazione dei contatori domestici conduce al recupero del 9.15% delle perdite apparenti.

CONCLUSIONI

Lo studio ha analizzato una tra le possibili soluzioni per la riduzione della sottomisurazione dei contatori domestici nelle abitazioni in cui sono presenti serbatoi privati. In queste circostanze le perdite apparenti dovute alla sottomisurazione sono elevate principalmente per la presenza delle valvole a galleggianti, responsabili delle basse portate in ingresso al serbatoio, portate che sono spesso inferiori alla portata di avviamento del contatore.

In entrambi gli studi effettuati (analisi a livello di singola utenze e di distretto di misura), l'applicazione dei dispositivi UFR ha dimostrato la loro efficienza nella riduzione della sottomisurazione dei contatori domestici. Gli errori di misura dei contatori sono stati drasticamente ridotti nei casi in cui essi erano relativamente nuovi. Con contatori vecchi, il beneficio ottenuto è stato più modesto.

Il caso del piccolo distretto è emblematico perché l'installazione degli UFR ha portato ad una riduzione della sottoregistrazione dei contatori pari a -9.15%. Le perdite apparenti sono state ridotte ulteriormente, e quasi annullate, sostituendo i contatori più vecchi.

Dopo i test eseguiti e i risultati ottenuti, AMAP Palermo possiede ulteriori elementi conoscitivi sulla natura della differenza tra volume immesso in rete e i consumi autorizzati. Gli importanti risultati ottenuti attraverso la strategia combinata di sostituzione dei contatori e installazione degli UFR suggeriscono al gestore di effettuare una sperimentazione ad una scala più ampia al fine di avere maggiori elementi applicativi sulle strategie operative di contenimento delle perdite.

La politica di gestione qui descritta è in corso di ulteriore sviluppo per includere nel prossimo futuro anche un'analisi costi-benefici in funzione della precisione dei contatori, del

costo di sostituzione dei contatori stessi e di alcune altre variabili (il prezzo dell'acqua, la presenza e l'influenza dei serbatoi privati, il costo e l'efficacia degli UFR, ecc.). ■

GLI AUTORI

MARCO FANTOZZI

marco.fantozzi@email.it

Responsabile dello Studio Marco Fantozzi specializzato nella consulenza, formazione e software per la gestione di perdite e pressioni nei sistemi idrici, Marco Fantozzi è membro attivo della "Water Loss" Task Force dell'International Water Association (IWA) ed ha ampia esperienza nell'applicazione di soluzioni innovative per la gestione delle perdite idriche sia in Italia che a livello internazionale.

Dr. ing. ANTONIO CRIMINISI

antonio.criminisi@amapspa.it

A.M.A.P. S.p.A. - Palermo

Dr. ing. CHIARA M. FONTANAZZA

fontanazza@idra.unipa.it

Titolare di assegno di ricerca presso l'Università degli Studi di Palermo - Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Applicazioni Ambientali

Dr. ing. GABRIELE FRENI

freni@idra.unipa.it

Ricercatore - Università di Enna "Kore" - Facoltà di Ingegneria ed Architettura

ALLAN LAMBERT

AOandJGLambert@aol.com

È riconosciuto come uno dei maggiori esperti al mondo nella gestione delle perdite e delle pressioni con esperienza ventennale in progetti a livello internazionale. Ha originato i concetti BABE (Bursts and Background Estimates) delle componenti di perdita e i principali parametri che li influenzano. In qualità di primo Presidente della "Water Loss" Task Force IWA (1996-2000), ha sviluppato la formula delle "perdite inevitabili" (Unavoidable Real Losses), l'Infrastructure Leakage Index (ILI) ed il Bilancio Idrico standard IWA.

BIBLIOGRAFIA

Criminisi A., Fontanazza C.M., Freni G., La Loggia G. (2009). Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply. *Water Science and Technology*, 60(9), pp. 2373-2382.

EN 14154-1:2005+A1 (2007). *Water meters - Part 1: General requirements*.

International Water Association (IWA) (2000). *Losses from water supply systems: standard terminology and recommended performance measures*. International Water Association Task Force on Water Losses, London.

Ismail Z. & Puad W.F.W.A. (2006). *Non-Revenue Water Losses: A Case Study*. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 4(2), pp. 113-117.

ISO 4064-1, *Measurement of water flow in fully charged closed conduits - Meters for cold potable water and hot water. Part 1: Specifications*, 2005.

Lambert A.O. (2002). *International report: water losses management and techniques*. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2(4), pp. 1-20.

Rizzo A. & Cilia J. (2005). *Quantifying meter under-registration caused by the ball valves of roof tanks (for indirect plumbing systems)*. *Proceedings of the Leakage 2005 Conference, Halifax, Canada*.

Rizzo A., Bonello M. & Galea St. John (2007). *Trials to Quantify and Reduce in-situ Meter Under-Registration*. *Proceedings of the Water Loss 2007 Conference, Bucharest, September 23-26*.