

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
CAMPUS DI RAVENNA

SCUOLA DI SCIENZE
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
ANALISI E GESTIONE DELL' AMBIENTE

GLI INDICATORI DI QUALITÀ TECNICA PER LO
STUDIO DELLE PERDITE IDRICHE DI RETE:
IL CASO DELLA RETE GESTITA DA CADF S.P.A (FE)

TESI DI LAUREA IN SISTEMI DI GESTIONE AMBIENTALE
DI POLITICA ED ECONOMIA AMBIENTALE

Relatore:
Prof. Dott. Diego Marazza

Presentata da:
Dott. Sandro Pelati

Correlatore:
Dott. Ing. Silvio Stricchi

Controrelatore:
Prof. Dott. Massimo Andretta

Sessione Unica
Anno Accademico 2018-2019
24 Luglio 2019

A mio figlio Francesco

A mia moglie Franca

[ABSTRACT]

L'obiettivo della tesi è quello di studiare le perdite di rete idrica, attraverso l'*Infrastructure Leakage Index* (ILI), costruito dall'International Water Association (IWA) e i relativi metodi e linee guida.

A partire da bilanci idrici e modelli georeferenziati della rete di adduzione e distribuzione, la tesi elabora le informazioni necessarie alla determinazione dell'indice sintetico e le sottopone ad un trattamento statistico.

Questo al fine di permettere il confronto con i risultati ottenuti dai gestori di rete e con quelli misurati con l'ILI. Inoltre la tesi mette a confronto i dati e le informazioni elaborate con il metodo dell'ILI rispetto alle informazioni messe a disposizione dai gestori e dall'Autorità di regolazione e controllo in Italia.

Viene esaminato il caso specifico dell'azienda pubblica "in house" CADF S.p.A., gestore del servizio idrico integrato di 11 Comuni della Provincia di Ferrara.

Sulla base dei dati forniti dall'azienda vengono elaborati gli indicatori di qualità tecnica stabiliti dall'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA) in merito alle perdite di rete idriche e messi a confronto con l'indicatore "Infrastructure Leakage Index" (ILI).

Sommario

Sommario	1
Unità di misura	3
Abbreviazioni	4
1 Introduzione	5
1.1 Definizione del problema	7
1.2 Obiettivi della tesi	15
2 Materiali e metodi	17
2.1 Metodi di calcolo degli indicatori stabiliti da ARERA	17
2.2 Metodo di calcolo dell'indicatore ILI	21
2.2.1.1 <i>Software per il calcolo del bilancio idrico sul modello IWA</i>	22
2.2.1.2 <i>Valutazione dell'incertezza dei dati del bilancio idrico</i>	23
2.2.1.3 <i>Calcolo dell'indicatore ILI</i>	25
2.2.1.4 <i>Campo di applicazione dell'equazione per il calcolo dell'UARL</i>	28
2.3 Raccolta e analisi dei dati	29
2.3.1 Volumi immessi nel sistema (Q_I).....	29
2.3.2 Consumi autorizzati (Q_A)	30
2.3.2.1 <i>Consumo complessivo fatturato esportato (Q_{BAce})</i>	30
2.3.2.2 <i>Consumo complessivo fatturato agli utenti (Q_{BAc})</i>	30
2.3.2.3 <i>Consumo non fatturato misurato (Q_{UAm})</i>	31
2.3.2.4 <i>Consumo non fatturato non misurato (Q_{UAnm})</i>	32
2.3.3 Perdite (Q_L)	33
2.3.3.1 <i>Perdite apparenti (Q_{AL})</i>	34
2.3.3.2 <i>Perdite reali (Q_{RL})</i>	37
2.3.4 Lunghezza della rete idrica (L_N)	38
2.3.4.1 <i>Stima della lunghezza complessiva degli allacciamenti (L_P)</i>	38
2.3.5 Pressione media di esercizio (P_A)	40
2.3.6 Dati economici e finanziari	41
3 Caso studio: CADF S.p.A.	43
3.1 Servizio acquedotto.....	43
3.1.1 La centrale di Serravalle (frazione del Comune di Berra)	44
3.1.2 La centrale di Ro Ferrarese.....	45
3.1.3 Rete idrica ed impianti di sollevamento e di accumulo	46
3.1.4 Attività per la riduzione delle dispersioni idriche e degli sprechi	47
3.1.5 Attività di contrasto alle dispersioni reali	47
3.1.6 Attività di contrasto alle dispersioni apparenti.....	48
3.1.7 Attività di contrasto agli usi impropri di acqua potabile.....	48
3.1.8 Strumenti a supporto della riduzione delle dispersioni.....	49
3.1.9 Modello idraulico e distrettualizzazione della rete acquedotto	50

4	Presentazione dei risultati	51
4.1	Calcolo indicatore M1	55
4.2	Bilancio idrico	55
4.2.1	Calcolo volumi immessi nel sistema (Q_I).....	56
4.2.2	Calcolo dei consumi autorizzati (Q_A).....	56
4.2.3	Calcolo delle perdite di rete.....	58
4.2.4	Calcolo dei parametri della rete idrica e degli allacciamenti	63
4.2.5	Calcolo della pressione media di esercizio.....	66
4.2.6	Calcolo parametri finanziari	70
4.2.7	Calcolo del bilancio idrico.....	71
4.2.8	Calcolo dei valori di incertezza del bilancio idrico	73
4.3	Calcolo indicatore ILI	75
4.4	Analisi di sensitività.....	77
5	Discussione	81
6	Conclusioni	93
	Bibliografia	95
	Indice delle figure	97

Unità di misura

Descrizione unità di misura usata	Simbolo unità di misura usata	Fattore di conversione e/o unità di misura SI
Chilometro cubo	km^3	$1km^3 = 10^9 m^3$
Chilometro quadrato	km^2	$1km^2 = 10^6 m^2$
Chilometro	km	$1km = 10^3 m$
Metro cubo	m^3	m^3
Metro	m	m
Litro	l	$1l = 10^{-3} m^3$
Anno	a	$1a = 31.536.000 s$
Giorno	d	$1d = 86.400 s$
Giorno con sistema in pressione	d_{wsp}	-
Ora	h	$1h = 3.600 s$
Secondo	s	s
Persona	p	-
Abitante	ab	-
Metro di colonna d'acqua	m_{H2O}	$1m_{H2O} = 9806.65 Pa$
Bar	bar	$1 bar = 10^5 Pa$
Utenza	ut	-
Allacciamento	al	-
Numero	n°	-
Euro	€	-

Abbreviazioni

ARERA	Autorità Regolazione Energia Reti e Ambiente
Autorità	Autorità Regolazione Energia Reti e Ambiente
Authority	Autorità Regolazione Energia Reti e Ambiente
BABE	Background And Bursts Estimates
CADF	Consorzio Acque Delta Ferrarese
CAPEX	Costi in conto capitale
CARL	Current Annual Real Losses
DN	Diametro Nominale
Gestore	Consorzio Acque Delta Ferrarese
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Position System
ILI	Infrastructure Leakage Index
ISTAT	Istituto Nazionale di Statistica
IWA	International Water Association
NRW	Non Revenue Water
ONU	Organizzazione delle Nazioni Unite
OPEX	Costi operativi
PI	Indicatori di Prestazione
Q	Portata
TLC	Sistema di Telecontrollo e Telerilevamento
UARL	Unavoidable Annual Real Losses
Utility	Consorzio Acque Delta Ferrarese
Utilities	Gestori del ciclo idrico integrato
WDS	Water Distribution System

1 Introduzione

«È ormai tempo di considerare l'accesso all'acqua potabile e ai servizi sanitari nel novero dei diritti umani, definito come il diritto uguale per tutti, senza discriminazioni, all'accesso ad una sufficiente quantità di acqua potabile per uso personale e domestico - per bere, lavarsi, lavare i vestiti, cucinare e pulire se stessi e la casa - allo scopo di migliorare la qualità della vita e la salute. Gli Stati nazionali dovrebbero dare priorità all'uso personale e domestico dell'acqua al di sopra di ogni altro uso e dovrebbero fare i passi necessari per assicurare che questa quantità sufficiente di acqua sia di buona qualità, accessibile economicamente a tutti e che ciascuno la possa raccogliere ad una distanza ragionevole dalla propria casa.» (Ufficio dell'Alto commissariato delle Nazioni Unite per i diritti umani, settembre 2007).

Con questa dichiarazione e con la successiva risoluzione, nel 2010, L'ONU riconosce l'accesso all'acqua come diritto fondamentale per l'uomo, come estensione del diritto alla vita, essendo l'acqua elemento imprescindibile alla vita dell'uomo.

Più di 55.000 km^3 di acqua dolce si rigenerano ogni anno sulla Terra, di cui se ne utilizzano poco meno del 7% e intorno alle quali si scatenano grandi interessi e inquietudini. Il problema è il difficile accesso a queste risorse: 13 paesi su 177 detengono il 64,4% delle risorse idriche mondiali, mentre la richiesta di acqua aumenta in maniera vertiginosa per soddisfare una sempre crescente domanda di produzione di cibo. Alla fine del 2011, l'89% della popolazione ha accesso a una fonte migliorata di acqua potabile e il 55% può ricevere acqua da sistemi intubati, più sicuri e regolari. Ancora 768 milioni di persone non ricevono acqua potabile e 185 milioni si affidano a risorse idriche superficiali inquinate e irregolari. (Cancelliere, 2014)

Dalla lettura della *global water footprint* è possibile rendersi immediatamente conto della disponibilità e dei consumi di acqua a livello globale. Spiccano alcuni dati:

- La *water footprint* media mondiale è 1.240 $m^3/a/p$;
- La *water footprint* italiana è 2.322 $m^3/a/p$ (quarta a livello mondiale);
- Il 70% dei consumi di acqua dolce è utilizzata in agricoltura;
- L'aumento dei prelievi di acqua degli ultimi decenni è dovuto alla crescente produzione di cibo.

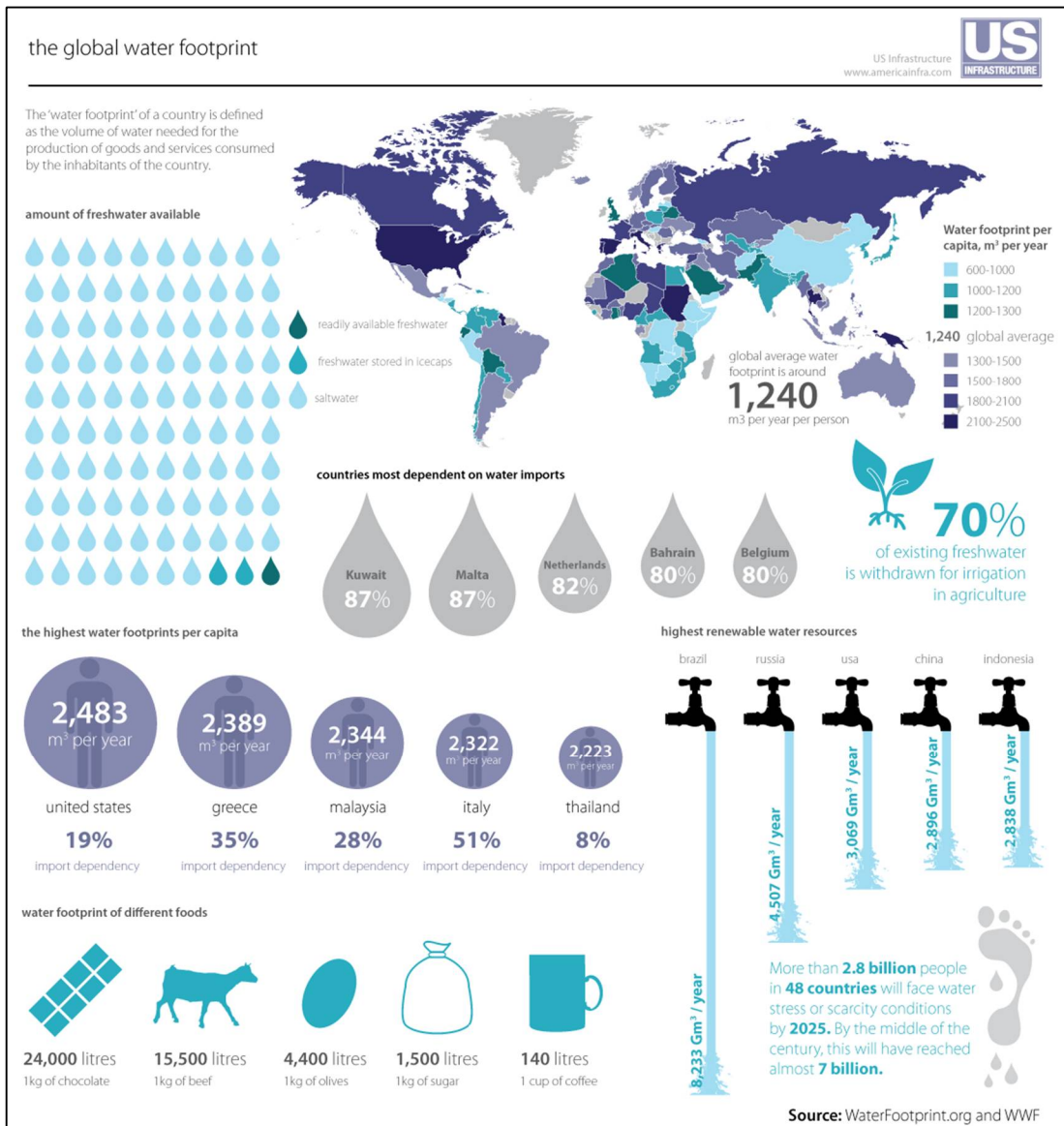


Figura 1 - Global Water Footprint (Water Footprint Network, 2019)

La situazione nel nostro paese, è ben rappresentata in una info grafica predisposta dall'ISTAT in occasione della giornata mondiale dell'acqua nel 2017. Il consumo di acqua potabile medio giornaliero è pari a 245 litri a persona. Anche in Italia il prelievo di acqua dolce serve principalmente all'agricoltura e allevamento (54%), all'industria e per la produzione di energia (26%), lasciando solamente il 20% per gli usi civili. Nella figura è inoltre rappresentata la mappa dell'Italia con indicate le percentuali di perdite complessive delle reti acquedottistiche dei capoluoghi di regione.

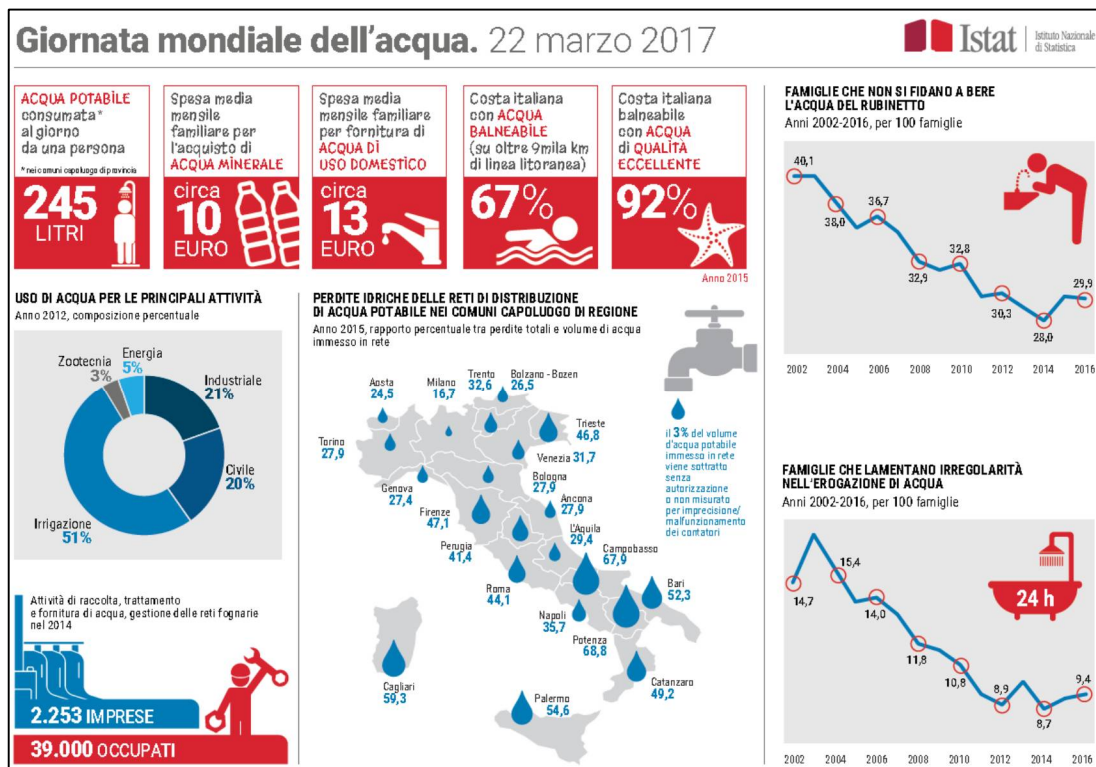


Figura 2 - Info grafica giornata mondiale dell'acqua 2017 (ISTAT, 2017)

1.1 Definizione del problema

L'acqua dolce e in particolare quella potabile, è una risorsa da preservare, in considerazione della sempre crescente domanda e della insicura e instabile disponibilità.

Focalizzando la nostra attenzione sull'acqua potabile, è evidente che, nonostante il maggior prelievo di acqua dolce avvenga per usi "non civili" (circa l'80%), è comunque necessario che i gestori delle reti acquedottistiche, operino politiche di riduzione dei consumi e di limitazione degli sprechi, nonché affrontino con attenzione e con strumenti scientifici appropriati, il complicato tema del contenimento delle perdite idriche di rete.

Dati ISTAT, riferiti al 2012, indicano che in Italia ogni giorno il volume di acqua potabile, immesso nelle reti di distribuzione, è pari a 22,9 milioni di metri cubi, corrispondente a un volume complessivo di 8,4 miliardi di metri cubi, corrispondenti mediamente a 385 litri per abitante al giorno. A fronte del volume di risorse idriche immesso in rete esiste una considerevole dispersione, pari mediamente al 37,4%,

dovuta all'obsolescenza e alla scarsa manutenzione delle infrastrutture di distribuzione; ciò determina uno scarto importante ma differenziato significativamente nel territorio. (Ministero della Salute, 2016)

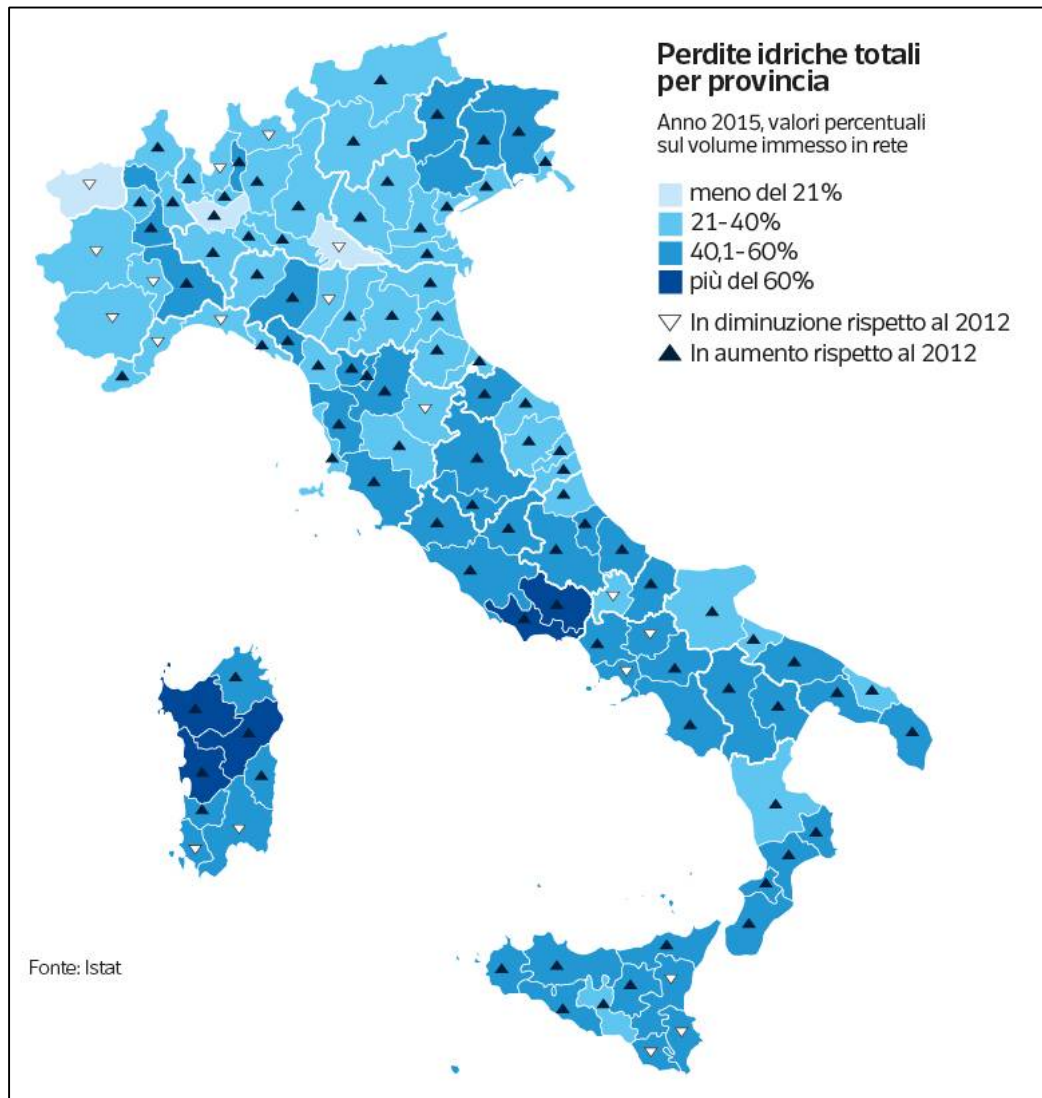


Figura 3 - Perdite idriche di rete per provincia (ISTAT, 2015)

In questo contesto, il volume complessivo di acqua a disposizione della popolazione (che contempla anche usi pubblici tra cui fontane pubbliche, innaffiamento di verde pubblico, pulizia delle strade) è pari a 14,3 milioni di metri cubi, corrispondente a 241 litri pro capite con una perdita netta media di 144 litri al giorno per abitante. (Ministero della Salute, 2016)

Il problema delle perdite idriche di rete, oltre ad essere un problema dal punto di vista prettamente ambientale è anche un problema economico e sociale in considerazione del fatto che per erogare acqua potabile il gestore del servizio spende risorse

economiche prelevate dai cittadini per mezzo delle tariffe. Dal punto di vista sociale invece il problema è da ricondursi alla errata e spesso forviante comunicazione fatta dai mass media, che non entrando nel merito del problema, si limitano a dare un giudizio approssimativo sui servizi erogati, aumentando in tal modo il grado di sfiducia dei cittadini nei confronti dei gestori.

È altresì evidente il paradosso che si genera nel contestare ai gestori di non investire abbastanza risorse per riparare o sostituire le condotte di rete, quando si chiede agli stessi di non aumentare le tariffe che rappresentano l'unica fonte di finanziamento per i gestori del servizio. Proprio per questa ragione è fondamentale per i gestori avere una profonda conoscenza del problema per orientare correttamente gli investimenti. Affrontare il problema delle perdite idriche di rete non significa quindi affrontare un problema prettamente tecnico ma assai più complesso e multidisciplinare.

Per fare un'attenta valutazione del problema perdite di rete serve innanzitutto comprendere cosa si intende per perdite di rete idrica e come vengono classificate.

Le perdite reali sono le perdite di acqua potabile, in un dato periodo, causate da rotture sulle condotte, da perdite in corrispondenza di snodi, giunti, valvole, contatori o altri pezzi speciali, nonché da traboccamenti di serbatoi o vasche di accumulo.

Le perdite reali possono verificarsi quindi su tutte le componenti del sistema, siano esse le condotte di adduzione o distribuzione, sugli allacciamenti o negli impianti di accumulo. In funzione della loro localizzazione all'interno del sistema e della natura stessa della perdita, avranno caratteristiche diverse tra loro sia in termini di portate disperse sia in termini di tempi medi di ripristino.

Generalmente le perdite reali sulla rete di adduzione e distribuzione sono caratterizzate da quantità disperse alte e tempi di ripristino brevi. Di converso, le perdite reali sugli allacciamenti sono caratterizzate da volumi relativamente modesti e tempi di ripristino elevati. Si evidenzia inoltre che statisticamente il maggior numero di perdite si registra sugli allacciamenti essendo questi caratterizzati da un numero elevato di pezzi speciali (valvole, riduzioni, contatori, flange, gomiti, ecc.) e spesso fatti con materiali diversi dalle condotte primarie di trasporto e distribuzione.

Le perdite reali che si possono avere negli impianti di stoccaggio sono dovute essenzialmente a straripamenti causati generalmente da anomalie dei sensori di livello o avarie nelle pompe di deflusso o nelle valvole di by-pass. Possono però essere causate anche da dispersioni dal fondo o dalle pareti dei bacini di stoccaggio a causa della non perfetta tenuta stagna degli stessi.

Per quanto concerne i tempi di ripristino essi sono composti da tre diverse tempistiche:

- Tempo trascorso dal momento della rottura al momento del rilevamento della stessa (t_a);
- Tempo trascorso dal momento del rilevamento della rottura al momento dell'intervento di riparazione (t_b);
- Tempo di esecuzione dell'intervento di riparazione (t_c).

Se i tempi t_b e t_c sono facilmente calcolabili e dipendenti esclusivamente dalle performance tecnico organizzative dell'azienda, il tempo t_a è assai variabile e di difficile determinazione. Un aspetto correlato alla determinazione del tempo t_a è certamente la tipologia di perdita, ovvero se la perdita è una perdita di fondo, non evidente in superficie o evidente in superficie. Esiste quindi una correlazione tra la tipologia di perdita, la portata ed i tempi di ripristino, come meglio illustrato nella figura seguente.

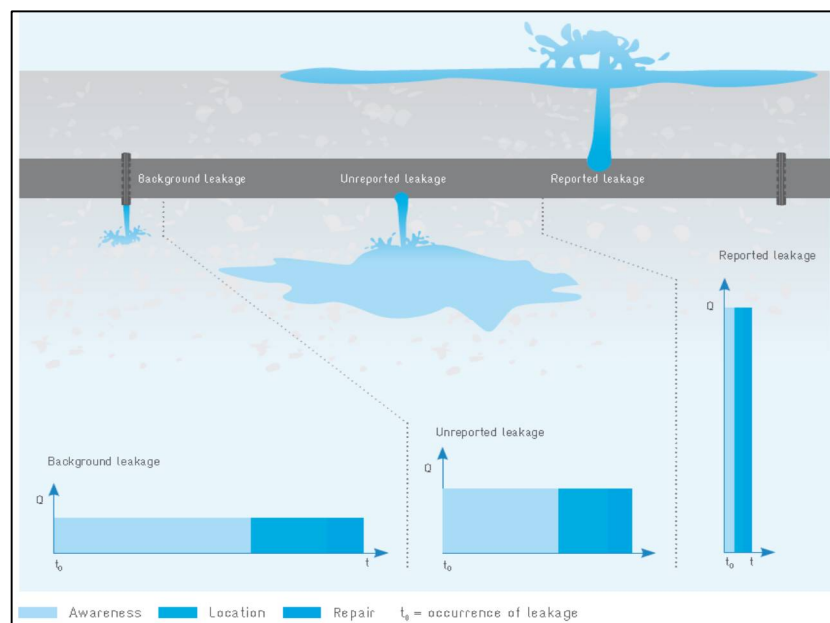


Figura 4 - Tipi di perdite e rapporto tra portata (Q) e tempo di riparazione (t)
(Patrick Fallis et al., 2011)

Le perdite segnalate o visibili in superficie sono causate principalmente da improvvise esplosioni o rotture di giunti in grandi condutture o tubi di distribuzione, caratterizzate quindi da portate importanti. In funzione della pressione della condotta, delle caratteristiche del suolo e delle dimensioni della rottura, l'acqua arriverà abbastanza rapidamente in superficie e sarà quindi visibile e rilevabile.

Le perdite che non sono visibili in superficie sono invece molto difficili da rilevare perché sono nella parte bassa delle condotte o dei giunti e di solito sono rotture più piccole e quindi caratterizzate da minor portata. Per tali motivi può passare anche molto tempo prima che il gestore si renda conto della presenza della rottura. È stato quantificato che mediamente le perdite non visibili hanno una portata superiori a 250 l/h a una pressione di 50 m_{H_2O} , ma a causa di condizioni sfavorevoli non appaiono comunque in superficie (Farley et al., 2001).

La presenza di perdite nascoste può essere identificata analizzando l'andamento dei consumi all'interno di una determinata zona di approvvigionamento idrico, inoltre è disponibile un'ampia gamma di strumenti acustici e non acustici per rilevare le perdite nascoste. Se tali perdite però sono piccole perdite, come ad esempio gocciolamenti da giunti o valvole, risultano irrilevabili anche dalla strumentazione acustica per la ricerca fughe, ciò sta ad indicare come l'individuazione di tante perdite reali di piccola entità sia molto difficile, se non impossibile.

I professionisti della gestione delle perdite riconoscono infatti che è impossibile eliminare completamente le perdite reali da un grande sistema di distribuzione. Deve quindi esserci un qualche valore di "perdite reali annue inevitabili" che potrebbero essere raggiunte alle attuali pressioni operative se non ci fossero vincoli finanziari o economici. Tali perdite vengono chiamate *Unavoidable Annual Real Losses (UARL)* (Lambert et al., 1999).

È evidente quindi che una certa quantità di perdite reali rimarrà sempre presente, in qualsiasi sistema di approvvigionamento idrico.

Oltre alle perdite reali esistono anche un'altra famiglia di perdite, le cosiddette *perdite apparenti*. Le perdite apparenti sono anche chiamate *perdite commerciali* perché sono sostanzialmente volumi d'acqua potabile regolarmente consegnata ma non fatturata,

generando quindi una “perdita” solo dal punto di vista economico. Le perdite apparenti possono essere causate da:

- Sotto misurazione dei contatori degli utenti;
- Errori gestionali nella contabilità o nelle letture dei contatori;
- Consumi non autorizzati e abusivi.

Le perdite apparenti generano quindi costi di produzione senza generare le corrispondenti entrate, ma non generano perdite fisiche d’acqua potabile dalla rete.

Le perdite apparenti non sono di facile determinazione perché essendo quantità di acqua potabile non fatturata, quasi sempre non viene misurata. Le perdite apparenti rappresentano però un fattore molto importante per la corretta stima delle perdite reali essendo quest’ultime ottenute per sottrazione dalle perdite totali delle perdite apparenti.

Quindi una corretta stima delle perdite apparenti è di fondamentale importanza per il gestore, al fine di quantificare con buona precisione il valore delle perdite reali e di conseguenza anche delle perdite reali inevitabili (UARL).

I gestori dei sistemi idrici hanno quindi l’esigenza di avere a disposizione strumenti in grado di agevolare il rilevamento e la quantificazione delle diverse tipologie di perdite di rete e valutare le proprie performance sia a livello nazionale che internazionale.

Per tale ragione, in tutto il mondo, sono stati costruiti indicatori di performance (PI) finalizzati alla valutazione delle diverse utility che gestiscono reti idriche.

I PI tradizionali di base, per la valutazione delle perdite reali, più utilizzati in diverse parti del mondo sono:

- % del volume di input;
- Volume perso per lunghezza della rete per unità di tempo;
- Volume perso per proprietà per unità di tempo;
- Volume perso per allacciamento per unità di tempo;

- Volume perso per lunghezza del sistema per unità di tempo (dove lunghezza del sistema = lunghezza della rete + lunghezza delle connessioni di servizio fino al punto di misurazione del cliente).

Gli IP tradizionali per le perdite reali sembrano essere selezionati sulla base della semplicità del calcolo, o della tradizione del paese, o della disponibilità dei dati per il calcolo, o anche del PI che produce la migliore “impressione” di rendimento. Tuttavia, le differenze possono essere notevoli. Il criterio di scelta dovrebbe essere il PI che fornisce la base tecnica più razionale per i confronti. La tabella seguente mostra come i PI tradizionali non tengano conto dei fattori locali chiave (diversi dalle condizioni del terreno) che influenzano le perdite reali (Lambert et al., 1999).

Basic traditional PI for real losses	Continuity of supply	Length of mains	Number of service connections	Location of customer meters on services	Average operating pressure
% of Volume input	No	No	No	No	No
Litres/property/day	No	No	Only if 1 property/conn	No	No
Litres/service connection/day	No	No	Yes	No	No
m ³ /km mains/day	No	Yes	No	No	No
m ³ /km of system/day	No	Yes	Possibly	Yes	No

Figura 5 - Valutazione dei parametri locali per gli indicatori di performance (PI) tradizionali (Lambert et al., 1999)

La pratica comune di esprimere le perdite reali come % dei volumi in input dovrebbe essere rifiutata come PI tecnico, poiché non tiene conto di nessuno di questi fattori ed è fortemente influenzato dal consumo. Dal punto di vista pratico, tuttavia, molti gestori (e organi di controllo nazionali, n.d.r) insistono ancora sul fatto che si utilizzi la % di input di sistema, nel qual caso si suggerisce almeno di integrarla con altri due PI più significativi (Lambert et al., 1999):

- Litri/allacciamento/giorno;
- ILI (*Infrastructure Leakage Index*).

L'ILI è un indicatore di performance elaborato dall'*International Water Association* (IWA) che è un'organizzazione senza scopo di lucro e centro di conoscenza per il settore idrico, con oltre 60 anni di esperienza, che collega professionisti dell'acqua in

tutto il mondo. IWA comprende società di servizi e aziende leader nei settori dei servizi idrici, dell'ingegneria delle infrastrutture e della consulenza; conta oltre 10.000 iscritti. L'IWA è anche membro dell'*International Council for Science*. L'IWA ha formato un gruppo di specialisti denominato *Water Loss Task Force* allo scopo di sviluppare metodi pratici, condividere teorie e promuovere soluzioni sui temi delle perdite idriche e la loro gestione. La *Water Loss Task Force* comprende più di 200 rappresentanti provenienti da 35 Stati che operano in alcune tra le maggiori società e con le più diverse caratteristiche in tema di perdite idriche del mondo. La Task Force ha sviluppato un metodo di bilancio idrico comune, una terminologia comune e un sistema di indicatori di performance applicabili in qualsiasi paese del mondo.

Oltre ai citati problemi tecnici di corretta individuazione e classificazione delle perdite, i gestori devono anche rispettare vincoli normativi e regolamentari imposti dai governi nazionali, locali o da enti di controllo appositamente costituiti (Authority) ai quali sono stati attribuiti compiti di regolazione, vigilanza e controllo sulla corretta erogazione dei servizi.

In Italia è stata costituita nel 1995, L'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA) con il compito di tutelare gli interessi dei consumatori e di promuovere la concorrenza, l'efficienza e la diffusione di servizi con adeguati livelli di qualità, attraverso l'attività di regolazione e di controllo.

ARERA al fine di esercitare le proprie attività di regolazione e controllo ha costruito degli indicatori con i quali misurare le performance dei gestori sotto diversi aspetti (tra i quali anche le perdite di rete) e stabilire il livello tariffario e la regolazione degli investimenti finalizzati al raggiungimento di prefissati obiettivi di miglioramento.

Tutti i gestori italiani sono quindi tenuti a rendicontare all'Authority, con cadenza solitamente annuale, le proprie performance tecniche ed economiche, attraverso la compilazione di *format* elaborati direttamente dall'Authority e messi a disposizione dei gestori per la loro compilazione.

1.2 Obiettivi della tesi

Gli obiettivi della presente tesi sono i seguenti:

- Valutare il problema delle perdite idriche di rete, esaminando un caso studio reale, utilizzando indicatori di misura consolidati in ambito internazionale (ILI) e confrontare i risultati con quanto richiesto a livello nazionale dall'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA);
- Comparare la performance del gestore studiato rispetto ad altri gestori in tutto il mondo, per mezzo dell'indicatore ILI;
- Valutare la sensitività delle variabili indipendenti necessarie per il calcolo dell'indicatore ILI;
- Evidenziare la diversa struttura e significato dei due indicatori studiati da un punto di vista tecnico e ambientale;
- Valutare il significato dei due indicatori da punto di vista economico;
- Evidenziare il diverso impatto sociale generato dalla comunicazione dei risultati ottenuti a seguito dell'applicazione dei due indicatori.

2 Materiali e metodi

Verranno di seguito analizzati i parametri ed i metodi di calcolo dei due indicatori che si intende confrontare. L'indicatore messo a punto dall'autorità nazionale ARERA si chiama M1, mentre l'altro indicatore scelto è l'ILI.

I due indicatori, pur avendo la stessa finalità, hanno struttura e procedure di calcolo molto diverse tra loro.

Vedremo come l'indicatore M1 sia composto da due sotto indicatori chiamati M1a e M1b, mentre l'ILI necessita, per essere calcolato, la redazione di un vero e proprio bilancio idrico.

In una prima fase sono state individuate tutte le variabili indipendenti e le relative equazioni che permettono di calcolare le variabili dipendenti.

Per la fase di acquisizione dati è richiesto, per entrambi gli indicatori, che le variabili indipendenti siano possibilmente tutte misurate, ma è anche ammesso, qualora la misura non sia possibile, stimare taluni valori giustificando, possibilmente, la procedura di stima. È utile sottolineare che il grado di precisione e attendibilità dei risultati dipende dalla precisione e attendibilità dei dati in origine.

2.1 Metodi di calcolo degli indicatori stabiliti da ARERA

Verranno ora descritte le modalità di calcolo dell'indicatore M1 afferente alle perdite idriche, nello specifico vedremo come vengono calcolati i due sotto indicatori M1a e M1b.

L'indicatore M1a è pari al rapporto tra volume delle perdite idriche totali e la lunghezza complessiva della rete di acquedotto nell'anno considerato. La formula per il calcolo dell'indicatore è la seguente (unità di misura indicata tra parentesi a fianco dell'espressione):

$$M1a^a = \frac{WL^a_{TOT}}{365 \times Lp^a} [m^3/km/d] \quad Eq. 1$$

Dove:

- $WL^a_{TOT} = \sum W^a_{IN} - \sum W^a_{OUT}$ rappresenta il volume perso complessivamente nell'anno a nelle fasi del servizio di acquedotto gestite, definito come differenza tra la somma dei volumi in ingresso nel sistema di acquedotto (dall'ambiente o importata da altri sistemi) e la somma dei volumi in uscita dal medesimo sistema (consumi autorizzati, fatturati o non fatturati, ed esportazioni verso altri sistemi); tra i volumi in uscita è possibile contabilizzare anche le perdite di trattamento, a condizione che sia misurato (e non stimato) il flusso in ingresso e in uscita dagli impianti di potabilizzazione; si specifica che il volume perso comprende le c.d. perdite apparenti (m^3);
- Lp^a è lo sviluppo lineare totale delle condotte di adduzione e distribuzione, escluse le derivazioni d'utenza (o condotte di allaccio), gestite alla data del 31 dicembre dell'anno a (km). (ARERA, 2017)

L'indicatore M1b che rappresenta le perdite idriche percentuali, che vengono calcolate come rapporto tra volume delle perdite idriche totali e volume complessivo in ingresso nel sistema di acquedotto nell'anno considerato.

Quindi per ciascun anno a , l'indicatore M1b è esplicitato secondo la formulazione che segue, espressa in percentuale:

$$M1b^a = \frac{WL^a_{TOT}}{\sum W^a_{IN}} * 100 \quad Eq. 2$$

$M1b^a$ = perdite idriche percentuali nell'anno a

WL^a_{TOT} = volume perso nell'anno a (m^3)

$\sum W^a_{IN}$ = somma dei volumi in ingresso al sistema nell'anno a (m^3)

Per il calcolo degli indicatori M1a e M1b è necessario reperire i seguenti dati:

- $\sum W^a_{IN}$: sommatoria dei volumi in ingresso al sistema (m^3)
- $\sum W^a_{OUT}$: sommatoria dei volumi in uscita dal sistema (m^3)
- Lp^a : lunghezza rete di adduzione e distribuzione (km)

La sommatoria dei volumi in ingresso ($\sum W^a_{IN}$) è rappresentata da:

- Acqua prelevata dall'ambiente
- Acqua importata da altri sistemi (altri gestori).

La sommatoria dei volumi in uscita ($\sum W^a_{OUT}$) è rappresentato da:

- Consumi autorizzati, fatturati o non fatturati
- Volumi esportazioni verso altri sistemi (altri gestori)
- Volumi d'acqua per la potabilizzazione solo se misurato.

Nella calcolo della lunghezza complessiva della rete (L_p^a) richiesto da ARERA non è compresa la lunghezza degli allacciamenti. (ARERA, 2017)

Dopo aver calcolato i due sotto indicatori, è stabilito che: “...L'Ente di governo dell'ambito, per ciascun gestore in relazione all'anno a, al fine di definire la classe di appartenenza e l'obiettivo di miglioramento/mantenimento per il macro-indicatore M1 relativo alla conservazione della risorsa idrica nel servizio di acquedotto, determina gli indicatori M1a e M1b... Il macro-indicatore M1 si applica a tutti i gestori del servizio di acquedotto, compresi i gestori grossisti per le sole fasi del servizio da essi gestite. Le classi di appartenenza per il macro-indicatore M1, definite in funzione dei valori assunti dai due indicatori M1a ed M1b, sono riportate nella Tabella seguente...” (ARERA, 2017)

Tabella 1 - Classi di appartenenza per il macro indicatore M1 (ARERA, 2017)

		Perdite idriche lineari (mc/km/gg)				
		M1a <15	15 ≤ M1a <25	25 ≤ M1a <40	40 ≤ M1a <60	M1a ≥60
Perdite idriche percentuali	M1b <25%	A	B	C	D	E
	25% ≤ M1b <35%					
	35% ≤ M1b <45%					
	45% ≤ M1b <55%					
	M1b ≥55%					

Per ciascuna classe ARERA ha stabilito obiettivi di miglioramento rappresentati nella tabella seguente.

Tabella 2 - Obiettivi di miglioramento per classi dell'indicatore M1 (ARERA, 2017)

ID	Indicatore	Categoria tariffaria	ID Classe	Obiettivi
M1	M1a - Perdite idriche lineari [mc/km/gg] M1b – Perdite idriche percentuali [%]	RES	A	Mantenimento
			B	-2% di M1a annuo
			C	-4% di M1a annuo
			D	-5% di M1a annuo
			E	-6% di M1a annuo

“...In funzione delle risultanze per l'anno a , il relativo posizionamento dei gestori all'interno di tutte le classi e, in particolare, nell'ambito della classe A, deriva, in primo luogo, dal singolo valore assunto dall'indicatore M1a nell'anno; in caso di parità di performance si terrà in considerazione la maggior quota di volumi misurati rispetto a quelli totali (misurati e stimati)...Per il successivo anno, l'obiettivo dell'indicatore M1 è esplicitato come segue...” (ARERA, 2017)

$$M1a^{a+1} \leq M1a^a * (1 - \sigma_{M1}^{a+1})$$

$M1a^{a+1}$ = indicatore M1a all'anno $a+1$ ($m^3/km/d$)

$M1a^a$ = indicatore M1a all'anno di riferimento a ($m^3/km/d$)

σ_{M1}^{a+1} = obiettivo per l'anno $a+1$ (%)

Eq. 3

Un indicatore utile al gestore, ma non richiesto dall'autorità, è il calcolo del risparmio annuo da raggiungere (denominato R_L^{a+1}), in m^3/a . Per tale calcolo possiamo applicare la formula inversa del calcolo dell'indicatore M1a e sottrarre il risultato dalla quantità di perdite totali all'anno a , secondo la seguente equazione:

$$R_L^{a+1} = WL_{TOT}^a - (M1a^{a+1} * 365 * L_p^a)$$

R_L^{a+1} = riduzione perdite all'anno $a+1$ (m^3/a)

WL_{TOT}^a = perdite totali all'anno a (m^3/a)

$M1a^{a+1}$ = indicatore M1a all'anno $a+1$ ($m^3/km/d$)

L_p^a = lunghezza della rete all'anno a (km)

Eq. 4

2.2 Metodo di calcolo dell'indicatore ILI

Per il calcolo dell'indicatore ILI (*Infrastructure Leakage Index*), invece, la procedura di acquisizione dati è stata molto più complessa e impegnativa trattandosi di un indicatore che tiene in considerazione molti parametri, sia di natura tecnica che economica.

Per comprendere la struttura dell'indicatore ILI è necessario partire dallo studio di diverse pubblicazioni scientifiche, linee guida e manuali di buone pratiche, messi a disposizione da diverse fonti. Per il calcolo dell'ILI è necessario quindi adottare un vero e proprio metodo di calcolo basato sulla costruzione del bilancio idrico. La struttura del bilancio idrico proposta dall'IWA è rappresentata nella figura seguente.

System Input Volume	Authorised Consumption	Billed Authorised Consumption	Billed Metered Consumption (including water exported)	Revenue Water
			Billed Unmetered Consumption	
		Unbilled Authorised Consumption	Unbilled Metered Consumption	Non- Revenue Water (NRW)
			Unbilled Unmetered Consumption	
	Water Losses	Apparent* Losses	Unauthorised Consumption	
			Metering Inaccuracies	
		Real* Losses	Leakage on Transmission and/or Distribution Mains	
			Leakage and Overflows at Utility's Storage Tanks	
	Leakage on Service Connections up to the measurement point			

Figura 6- Struttura e terminologia del bilancio idrico IWA (Lambert and Hirner, 2000)

Un importante revisione della struttura del bilancio IWA è stata pubblicata nel 2016 e riguarda principalmente la parte relativa alle perdite apparenti. La nuova struttura del bilancio idrico così modificata è illustrata nella figura seguente.

Volume from Own Sources (corrected for known errors)	System Input Volume (corrected for known errors)	Authorised Consumption	Billed Authorised Consumption (includes Water Exported)	Revenue Water	Billed Metered Consumption	Billed Water Exported (corrected for known errors)	Water Supplied
			Unbilled Authorised Consumption		Billed Unmetered Consumption	Billed Metered Consumption excluding Water Exported	
Water Imported (corrected for known errors)	Water Losses	Apparent (Commercial) Losses	Real (Physical) Losses	Non-Revenue Water	Unbilled Metered Consumption		
					Unbilled Unmetered Consumption	Unauthorised Consumption	
					Customer Metering Errors		
					Errors in Estimate of Unmetered Consumption		
					Errors throughout the Data Acquisition Process		
					Leakage on Transmission and Distribution Mains		
					Leakage and Overflows at Utility's Storage Tanks		
					Leakage on Service Connections up to point of customer metering		

Figura 7 - Struttura del bilancio IWA dopo la revisione del 2016 (Michel Vermersch, et al., 2016)

2.2.1.1 Software per il calcolo del bilancio idrico sul modello IWA

Per la compilazione del bilancio idrico è suggerito l'utilizzo di software applicativi appositamente sviluppati e alcuni forniti gratuitamente. In particolare il software WB-EasyCalc versione 5.18 del Agosto 2018, messo a disposizione da Liemberger & Partners è stato aggiornato con la struttura sopra descritta della revisione 2016. (Liemberger & Partners, 2019)

La prima versione di WB-EasyCalc è stata progettata nel 2006 per aiutare le società di servizi idrici e i consulenti ad applicare correttamente la *Water Loss Specialist Group Methodology* elaborata da IWA. Negli ultimi 10 anni è diventato lo strumento di analisi NRW preferito per i servizi idrici di tutto il mondo (Liemberger & Partners, 2019) e supportato dal *World Bank Institute* (WBI). (Tsitsifli and Kanakoudis, 2010)

Nonostante il software WB-EasyCalc sia risultato di facile applicazione, per tutti i calcoli presentati in questa tesi è stato utilizzato Microsoft Excel perché in questo modo è stato possibile comprendere meglio le relazioni tra le diverse variabili in gioco, che purtroppo nel software WB-EasyCalc non sono evidenti.

I parametri da utilizzare ed i dati da rilevare o stimare per la redazione del bilancio idrico, ricomprenderanno anche i dati necessari per il calcolo degli indicatori MI_a e MI_b richiesti dall'autorità ARERA. Pertanto, verranno di seguito descritte tutte le fasi di acquisizione dati e successiva elaborazione, finalizzate alla redazione del bilancio idrico secondo il modello IWA del 2016.

2.2.1.2 Valutazione dell'incertezza dei dati del bilancio idrico

La precisione e l'incertezza della stima delle componenti del bilancio idrico, nonché degli indicatori di prestazione (PI), nei sistemi di distribuzione dell'acqua (WDS) dipende dalla precisione e dall'incertezza dei dati di input (misurati). Dati con grande incertezza possono portare a conclusioni errate e quindi a decisioni gestionali errate. È necessario valutare la qualità dei dati di input in termini di affidabilità dell'origine dei dati e accuratezza di misurazione (Babić et al., 2014).

Per quanto riguarda il calcolo dell'incertezza associato alle variabili del bilancio idrico annuale, un limite importante è dovuto alla scarsità di informazioni ed al fatto che per ciascuna variabile è disponibile solo una misura o stima (non un massimo e un minimo). Pertanto, poiché non è possibile utilizzare la deviazione standard della media come incertezza di queste variabili, vengono utilizzate, nel calcolo del bilancio idrico annuale, le fasce di incertezza raccomandate dall'IWA. Le fasce di incertezza per ciascun componente sono specificate dall'azienda, utilizzando le sue conoscenze specialistiche sulle fonti di incertezza. Si può concludere che questo approccio è il metodo migliore per calcolare le incertezze per i componenti del bilancio idrico (Silva et al., 2018).

Tabella 3- Bande di incertezza raccomandate per bilanci IWA (Alegre and Coelho, 2005)

Uncertainty band	Error associated with the data provided
0-5%	Better or equal to $\pm 5\%$
5-20%	Worse than $\pm 5\%$, but better or equal to $\pm 20\%$
20-50%	Worse than $\pm 20\%$, but better or equal to $\pm 50\%$
50-100%	Worse than $\pm 50\%$, but better or equal to $\pm 100\%$
100-300%	Worse than $\pm 100\%$, but better or equal to $\pm 300\%$
>300%	Worse than $\pm 300\%$

Per ogni variabile misurata o stimata è stato quindi definito un valore percentuale di incertezza (*accuracy band AB*), in base alle schede tecniche delle strumentazioni utilizzate o stimando tali valori in base all'esperienza degli operatori che direttamente conducono o manutenzionano gli impianti, avvalendosi laddove possibile anche di strumenti informatici come il GIS, il modello idraulico o il sistema TLC.

La procedura per valutare il grado di incertezza dei singoli componenti del bilancio idrico, stabilito dagli esperti di perdite idriche, è l'uso di limiti di confidenza del 95%. Questi limiti di confidenza del 95% si basano su distribuzioni normali, che condividono tutte la proprietà che il 95% delle osservazioni rientra nell'intervallo di $\pm 1,96$ deviazioni standard (σ) attorno al valore medio (Patrick Fallis et al., 2011).

Per ogni componente misurato o stimato del bilancio idrico, devono quindi essere definite bande di precisione ($\pm X\%$) entro le quali il valore reale si trova con una probabilità del 95%. Più accurati sono i dati, più piccoli saranno i limiti inferiore e superiore della banda di precisione (Patrick Fallis et al., 2011).

Inoltre, la varianza (varianza $V = \sigma^2$) può essere determinata, per ciascun componente del bilancio idrico, in base ai limiti di confidenza del 95%. I componenti con una grande varianza avranno il maggiore impatto sulla precisione dei volumi derivati. I volumi derivati del bilancio idrico avranno, quindi, un livello di incertezza accumulato in base alle variazioni nei rispettivi dati di input (Patrick Fallis et al., 2011).

L'analisi del grado di incertezza aiuta ad identificare i componenti con una grande varianza e quindi i maggiori impatti sulla precisione dei risultati finali del bilancio idrico. Una volta identificati, dovrebbero essere prese misure per migliorare l'accuratezza dei componenti con l'impatto maggiore, ad es. installando ulteriori dispositivi di misurazione (Patrick Fallis et al., 2011).

La deviazione standard è calcolata come:

$$\sigma = \frac{Q * AB}{1.96}$$

σ = Deviazione standard
 Q = Componente del bilancio idrico (m^3)
 AB = Banda di accuratezza assegnata al componente del bilancio idrico (%)

Eq. 5

Successivamente, viene calcolata la varianza di ogni componente del bilancio idrico:

$$V = \sigma^2$$

V = Varianza
 σ = Deviazione standard

Eq. 6

La varianza accumulata delle componenti derivate del bilancio idrico sono ottenute dalla somma delle varianze delle singole componenti elementari. Ad esempio la varianza accumulata dei consumi fatturati sono dati dalla somma delle varianze dei consumi fatturati misurati, fatturati non misurati e fatturati esportati.

Applicando le formule inverse alle varianze cumulate si ottiene il grado di incertezza cumulato della componente del bilancio idrico.

Per tutti gli altri casi, per valutare la propagazione dell'incertezza, sono state utilizzate le regole classiche della teoria degli errori.

2.2.1.3 Calcolo dell'indicatore ILI

Terminato il bilancio idrico è possibile procedere al calcolo dell'indicatore ILI per mezzo di due altri parametri denominati CARL e UARL.

IL CARL (*Current Annual Real Losses*) è l'espressione delle perdite reali dell'anno considerato tenendo in considerazione i giorni in cui il sistema era in pressione. L'equazione per il calcolo del CARL è:

$$CARL = \frac{Q_{RL} * 10^3}{d_{wsp}}$$

Eq. 7

$CARL$ = Current Annual Real Losses (m^3/d_{wsp})
 Q_{RL} = volume perdite reali (m^3)
 d_{wsp} = numero di giorni in cui il sistema era in pressione

L'UARL (*Unavoidable Annual Real Losses*) è un parametro introdotto dall'IWA per stimare la quantità di perdite inevitabili ovvero che per sua natura è quasi impossibile identificare e riparare. Questo concetto è accettato a livello internazionale dai maggiori esperti del settore in considerazione anche del fatto che pur adottando una strategia di ricerca e riparazione delle fughe ed investendo su tale struttura ingenti somme di denaro, non è possibile annullare del tutto le perdite reali.

Un approccio economico semplificato per determinare un'intensità appropriata di controllo attivo delle perdite è rappresentato nella figura seguente.

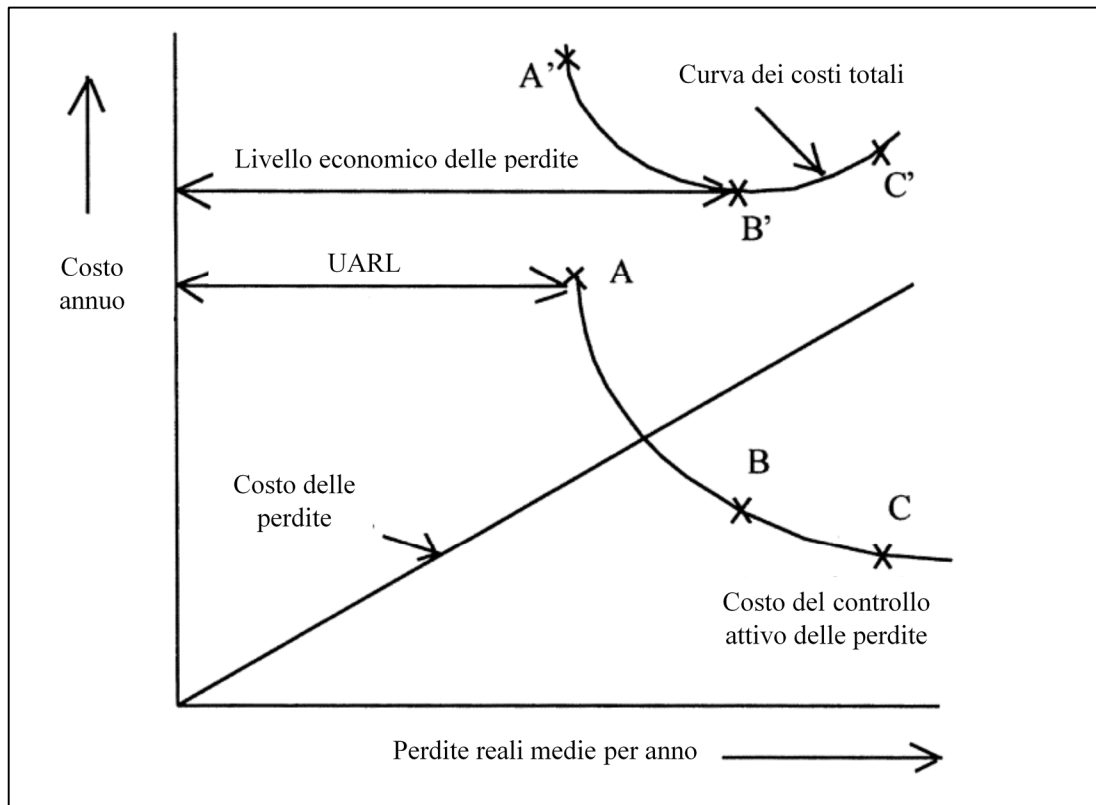


Figura 8 - Grafico della relazione tra costi annui e perdite reali annue al fine della determinazione del livello ottimale di controllo (Lambert et al., 1999)

All'aumentare dell'intensità del controllo delle perdite attive ($C > B > A$), aumenta il costo annuale del controllo delle perdite (asse y); le perdite reali medie (asse x) si riducono asintoticamente verso un certo livello base; il costo annuale dell'acqua perduta diminuisce al diminuire del volume medio delle perdite reali. Il livello economico delle perdite si verifica quando la curva del costo totale ($A' > B' > C'$), che è la somma del costo dell'acqua persa e il costo del controllo attivo delle perdite, è al minimo (punto B'). Se, in termini semplicistici, assumiamo che:

- L'infrastruttura di rete è in buone condizioni;
- Il punto A rappresenta lo "stato dell'arte" tecnico per il controllo attivo delle perdite;
- Tutte le perdite rilevabili sono identificate e riparate rapidamente ed efficacemente.

Le perdite reali per il punto A corrispondono quindi a perdite reali annue inevitabili (UARL). I livelli effettivi o economici di perdite reali dovrebbero sempre trovarsi a destra o al punto A. (Lambert et al., 1999)

L'approccio "BABE" (*background and bursts estimates*) per i calcoli delle componenti delle perdite reali, utilizzato con successo in una serie di studi specifici in diversi paesi (inclusi i progetti della Banca mondiale), considera, ai fini di modellizzazione e calcolo, le perdite reali suddivise in tre categorie:

- Perdite di fondo dovute a perdite non rilevabili (in genere caratterizzate da flusso idraulico basso e lunga durata);
- Perdite da rotture e scoppi segnalati (in genere caratterizzate da flussi idraulici elevati e durate limitate);
- Perdite da scoppi non segnalati (il flusso e la durata dipendono dal metodo e dall'intensità del controllo attivo delle perdite).

Utilizzando la tecnica BABE, è possibile prevedere con ragionevole precisione complessiva, per ogni singolo sistema, il valore dell'UARL medio a qualsiasi pressione specificata. (Lambert et al., 1999)

Oltre al parametro della pressione di esercizio, nell'equazione di calcolo dell'UARL vengono considerati parametri caratteristici dell'infrastruttura presa in esame. Tali parametri sono:

- Lunghezza della rete;
- Numero degli allacciamenti;
- Lunghezza totale degli allacciamenti posti in proprietà privata.

Esaminando diversi casi reali a livello internazionale di aziende con livelli molto elevati ed efficienti di ricerca e riparazione delle perdite idriche, sono stati determinati i 3 coefficienti per le tre componenti suddette ed è stata formulata la seguente equazione per il calcolo dell'UARL (Lambert et al., 1999):

$$UARL = (k_1 * L_N + k_2 * N_C + k_3 * L_P) * P_A$$

$UARL$ = Unavoidable Annual Real Losses (l/d_{wsp})

$k_1 = 18$ ($l/km * d_{wsp} * m_{H2O}$) coefficiente perdite inevitabili sulla rete

L_N = lunghezza totale della rete (km)

$k_2 = 0.80$ ($l/al * d_{wsp} * m_{H2O}$) coefficiente perdite inevitabili sugli allacciamenti

N_C = numero totale di allacciamenti (al)

$k_3 = 25$ ($l/km * d_{wsp} * m_{H2O}$) coefficiente perdite inevitabili su allacciamenti in area privata

L_P = lunghezza complessiva degli allacciamenti in proprietà privata (km)

P_A = pressione media di esercizio (m_{H2O})

Eq. 8

L'indicatore di prestazione adimensionale ILI è una misura dell'efficacia delle azioni messe in atto dal gestore per contrastare il problema delle perdite idriche, tenendo conto delle condizioni locali dell'infrastruttura e delle modalità gestionali adottate. L'ILI viene quindi calcolato come:

$$ILI = \frac{CARL}{UARL}$$

ILI = Infrastructure Leakage Index
 CARL = Current Annual Real Losses (l/d_{wsp})
 UARL = Unavoidable Annual Real Losses (l/d_{wsp})

Eq. 9

Il target per il gestore sarà quindi di far tendere il valore dell'ILI a 1, che equivale ad affermare che il livello delle perdite reali è pari al valore minimo di perdite riparabili. Tale obiettivo però è di natura tecnica e deve quindi essere integrato anche da valutazioni economiche che ne garantiscano il raggiungimento e la sostenibilità anche da un punto di vista finanziario, tenendo altresì in considerazione che per un'azienda pubblica le risorse che possono essere usate per investimenti sono contingentate e regolate, al fine di contenere le tariffe entro valori anch'essi imposti.

2.2.1.4 *Campo di applicazione dell'equazione per il calcolo dell'UARL*

Allo stato attuale, l'equazione UARL non può ancora essere raccomandata per:

- Sistemi con meno di 5000 allacciamenti; perché il numero di nuovi guasti può essere talmente basso da inficiare il concetto di portata media di alcune tipologie di perdite;
- Sistemi con pressione media di esercizio minore di 25 m_{H2O} ; perché l'assunzione di una relazione lineare può essere discutibile a pressioni così basse per tutti i sistemi costituiti da condotte totalmente metalliche, o completamente non metalliche;
- Sistemi con densità di allacciamenti inferiori a 20 al/km ; poiché finora sono stati trovati pochissimi sistemi completamente controllati per testare adeguatamente le previsioni e le ipotesi UARL a densità di connessione così basse (Lambert and McKenzie, 2002).

2.3 Raccolta e analisi dei dati

Per la raccolta dati è stato elaborato un piano di rilievo e acquisizione, strutturato secondo lo schema del bilancio idrico IWA. Le principali aree di indagine sono le seguenti:

- Volumi immessi nel sistema
- Consumi fatturati
- Consumi non fatturati
- Consumi non autorizzati
- Imprecisione misura contatori e errori sui dati
- Rete e allacciamenti
- Pressione media di esercizio della rete
- Informazioni finanziarie.

Tutti i dati raccolti sono stati successivamente esaminati ed organizzati al fine della redazione del bilancio idrico ed il calcolo degli indicatori di performance.

2.3.1 Volumi immessi nel sistema (Q_I)

Il dato di partenza per elaborare il bilancio idrico è rappresentato dal volume in input del sistema considerato.

I dati relativi ai volumi d'acqua immessi nel sistema, sono stati ricavati dal sistema TLC (telecontrollo e telerilevamento), interrogando i misuratori posizionati in entrata alle centrali di potabilizzazione (quantità prelevate dall'ambiente, dette acque gregge) e nel punto di interscambio con un altro sistema idrico adiacente, per quantificare l'acqua importata nel sistema.

Quindi il valore del volume complessivo immesso nel sistema è pari a:

$$Q_I = Q_{IA} + Q_{IM}$$

Q_I = volume immesso nel sistema (m^3/a)
 Q_{IA} = volume prelevato dall'ambiente (m^3/a)
 Q_{IM} = volume importato da altri sistemi (m^3/a)

Eq. 10

2.3.2 Consumi autorizzati (Q_A)

I consumi autorizzati, espressi in m^3/a , sono suddivisi in:

- Consumo autorizzato fatturato (Q_{BA}) che a sua volta può essere composto da:
 - Consumo complessivo fatturato esportato (Q_{BAce}) composto da:
 - Consumo fatturato esportato misurato (Q_{BAem})
 - Consumo fatturato esportato non misurato (Q_{BAenm})
 - Consumo complessivo fatturato agli utenti (Q_{BAc}), composto da:
 - Consumo fatturato agli utenti misurato (Q_{BAm})
 - Consumo fatturato agli utenti non misurato (Q_{BAnm})
- Consumo autorizzato non fatturato (Q_{UA})
 - Consumo non fatturato misurato (Q_{UAm})
 - Consumo non fatturato non misurato (Q_{UANm}).

La componente Q_{BA} è anche detta “Revenue Water” ovvero “acqua che dà ricavi”.

2.3.2.1 Consumo complessivo fatturato esportato (Q_{BAce})

La quantità d’acqua esportata verso altri sistemi, ovvero verso reti acquedottistiche gestite da altri gestori, è composta dalle due componenti Q_{BAem} e Q_{BAenm} , che indicano rispettivamente i volumi di acqua potabile esportati che vengano misurati o non misurati nel nodo di interscambio tra i sistemi. Il consumo Q_{BAce} è espresso in m^3/a e viene quindi calcolato secondo la seguente equazione:

$$Q_{BAce} = Q_{BAem} + Q_{BAenm}$$

Q_{BAce} = consumo complessivo fatturato esportato (m^3/a)

Q_{BAem} = consumo fatturato esportato e misurato (m^3/a)

Q_{BAenm} = consumo fatturato esportato e non misurato (m^3/a)

Eq. 11

2.3.2.2 Consumo complessivo fatturato agli utenti (Q_{BAc})

Il consumo complessivo fatturato agli utenti è dato da due componenti Q_{BAm} e Q_{BANm} che indicano il consumo fatturato misurato e non misurato.

Queste quantità però sono calcolate come differenza tra le letture periodiche effettuate, che dal punto di vista temporale, non coincidono mai con l’anno solare (365 giorni).

Tali rilevazioni sono state quindi annualizzate, ovvero sono state riportate al periodo di 365 giorni. Per fare questa operazione sono state prese tutte le letture fatte per ciascuna utenza, nel periodo immediatamente antecedente al 01 Gennaio 2017 e immediatamente conseguente il 31 Dicembre 2017. Per determinare le quantità annualizzate è stata applicata la seguente formula:

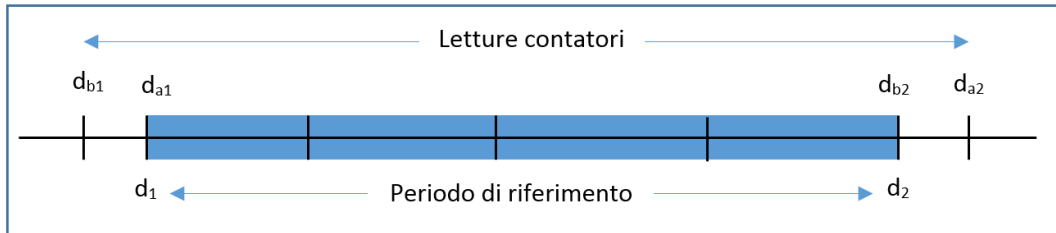


Figura 9 - Schema annualizzazione letture contatori

$$V(d_1, d_2) = V(d_{b1}, d_{a1}) * \frac{d_{a1} - d_1}{d_{a1} - d_{b1}} + V(d_{a1}, d_{b2}) + V(d_{b2}, d_{a2}) * \frac{d_2 - d_{b2}}{d_{a2} - d_{b2}}$$

$V(d_1, d_2)$ = volume annualizzato (m^3)

$V(d_{b1}, d_{a1})$ = volume antecedente il periodo considerato (m^3)

$V(d_{a1}, d_{b2})$ = volume riferito al periodo considerato (m^3)

$V(d_{b2}, d_{a2})$ = volume post periodo considerato (m^3)

d_1 = inizio periodo considerato (01/01/2017)

d_2 = fine periodo considerato (31/12/2017)

Eq. 12

Quindi il valore finale dei volumi fatturati e misurati è di:

$$Q_{BAC} = Q_{BAm} + Q_{BANm}$$

Q_{BAC} = consumo complessivo fatturato agli utenti (m^3/a)

Q_{BAm} = consumo fatturato agli utenti e misurato (m^3/a)

Q_{BANm} = consumo fatturato agli utenti non misurato (m^3/a)

Eq. 13

2.3.2.3 Consumo non fatturato misurato (Q_{UAm})

La voce Q_{UAm} rappresenta i volumi di acqua potabile misurati che però non vengono fatturati. Si divide in due gruppi di consumi:

- Acqua di manutenzione;
- Approvvigionamento idrico gratuito.

Il consumo di manutenzione è comune a tutti i servizi idrici: pulizia dei serbatoi, pulizia dei tubi (o lavaggio), scarico dell'acqua per preservare la qualità dell'acqua, test

di pressione e idranti, dispositivi specifici per il trattamento dell'acqua (ad esempio cloratori di rete) e altri.

L'approvvigionamento idrico gratuito può essere determinato da molti casi specifici a seconda delle disposizioni contrattuali con i clienti o le abitudini locali. In alcuni casi, l'Utility non è autorizzata a fatturare acqua per alcuni tipi di utilizzo per legge (ad esempio la lotta agli incendi). In alcuni altri casi, l'Utility non desidera fatturare a se stessa (Vermersch et al., 2016).

2.3.2.4 Consumo non fatturato non misurato (Q_{UAnn})

Il consumo Q_{UAnn} è generato essenzialmente da consumi derivanti da operazioni di manutenzione della rete e delle infrastrutture come ad esempio pulizia dei serbatoi, scarico dell'acqua di lavaggio post intervento, test di flusso idrico e di pressione, ecc. e da consumi a seguito di erogazione di acqua gratuita per particolari esigenze di solito ad uso collettivo come ad esempio gli idranti, le fontane, irrigazione di parchi e giardini pubblici e altri casi analoghi.

Essendo quantità non misurate è necessaria una stima di queste quantità, che può essere fatta utilizzando le indicazioni contenute nell'appendice 2 “Non-Revenue Water and Unbilled Authorised Consumption” della pubblicazione “Guidance notes on apparent losses and water loss reduction planning” del 15 Settembre 2016 (Vermersch et al., 2016).

Tabella 4 - Stima dei volumi autorizzati non fatturati e non misurati (Vermersch et al., 2016).

Source Country of Default Assessment	Unbilled Authorised Consumption				Expressed as a percentage of		
	Year or Source of Data	Metered	Unmetered	Total	System Input Volume	Water Supplied WS (excludes water exported)	Billed Metered Consumption BMC (excluding exports)
23 England & Wales Companies: analysis of OFWAT published data	2002--03			Yes		0% to 2.5% Median 1.25%	
WSAA: Water Services Association of Australia	2009-10		Yes			0.5% of Water Supplied	
New Zealand Water & Wastes Association	2010		Yes			0.5% of Water Supplied	
European Union 'Good Practices on Leakage Management' quick	2015			Yes			0.5% of BMC (excluding Exports)
North America: AWWA M36 Manual, 4th Edition, Water Audits and Loss Control Programs	2016		Yes			1.25% of Water Supplied	

Il volume di acqua non fatturata e non misurata è stato quindi stimato pari al 0.5% del volume di acqua fatturato (esclusa la quantità esportata).

Ora che sono state calcolate tutte le componenti dei consumi autorizzati è possibile calcolare i volumi autorizzati fatturati, i volumi autorizzati e non fatturati ed infine il volume complessivo dei consumi autorizzati.

I consumi autorizzati fatturati sono pari a:

$$Q_{BA} = Q_{BAce} + Q_{BAc}$$

Q_{BA} = consumo fatturato (m^3/a)
 Q_{BAce} = consumo complessivo fatturato esportato (m^3/a)
 Q_{BAc} = consumo complessivo fatturato agli utenti (m^3/a)

Eq. 14

I consumi autorizzati ma non fatturati sono pari a:

$$Q_{UA} = Q_{UAm} + Q_{UANm}$$

Q_{UA} = consumo non fatturato (m^3/a)
 Q_{UAm} = consumo non fatturato e misurato (m^3/a)
 Q_{UANm} = consumo non fatturato e non misurato (m^3/a)

Eq. 15

I consumi autorizzati complessivi sono pari a:

$$Q_A = Q_{BA} + Q_{UA}$$

Q_A = consumo autorizzato (m^3/a)
 Q_{BA} = consumo autorizzato fatturato (m^3/a)
 Q_{UA} = consumo autorizzato non fatturato (m^3/a)

Eq. 16

2.3.3 Perdite (Q_L)

Le perdite sono ricavate per differenza tra i volumi immessi nel sistema ed i consumi autorizzati. Quindi tutti i volumi non autorizzati sono da considerarsi perdite siano essi derivanti da rotture sulle condotte, allacciamenti abusivi, errori di misurazione, ecc.

Le perdite delle reti idriche sono classificate in due grandi famiglie:

- Perdite apparenti (Q_{AL})
- Perdite reali (Q_{RL}).

2.3.3.1 Perdite apparenti (Q_{AL})

Le perdite apparenti sono classificate in:

- Consumi non autorizzati (Q_{ALuc})
- Errori di misurazione contatori e di trasferimento dati (Q_{ALem})

I consumi non autorizzati (Q_{ALuc}) sono tutti quei consumi dovuti sostanzialmente a frodi, manomissioni, furti ma anche a errori di registrazione nel database clienti.

Un elenco indicativo e non esaustivo delle possibili cause è il seguente:

- Connessione non registrata nel database clienti;
- Seconda connessione non registrata;
- Errore nell'aggiornamento del database clienti;
- Gestione errata dell'acquisizione misure;
- By-pass misuratore;
- Intercettazione non autorizzata a monte del contatore;
- Riattivazione non autorizzata di una connessione chiusa;
- Riattivazione non autorizzata di una connessione interrotta;
- Misuratore rimosso;
- Misuratore rotto;
- Uso non autorizzato di bacini idrici pubblici;
- Uso non autorizzato di idranti o connessioni;
- Furto d'acqua su valvole di scarico.

L'elenco mostra che la questione del consumo non autorizzato non può essere risolta solo attraverso la verifica degli allacciamenti, ma necessita anche di un attento monitoraggio e costante aggiornamento del database clienti (Carteado and Vermersch, 2016).

Per eseguire una stima dei fenomeni suddetti è stato esaminato il database storico dei clienti per evidenziare casi particolari, quali:

- Numero di clienti senza contatori;
- Numero di clienti con contatore piombato;

- Numero di consumi zero;
- Numero di consumi anormalmente bassi;
- Numero di clienti interrotti che non hanno richiesto la riconnessione.

Non disponendo di dati analitici di dettaglio, è stato stimato, valutando altri casi a livello internazionale, che la quantità della voce consumi non autorizzati derivanti da allacci abusivi o sottrazioni non misurate operate da utenze domestiche e non domestiche, ammonti mediamente a circa l'1% del consumo fatturato escludendo la quantità esportata (Lambert et ., al1999).

Per la stima delle manomissioni o by-pass dei contatori di utenze registrate, è stata invece stimata sulla base del numero delle utenze con consumo annuo zero o anormalmente basso ($< 3 m^3/a$). Si ipotizza infatti, che consumi nulli o molto ridotti possano nascondere prelievi idrici abusivi soprattutto per quelle abitazioni dove dai registri anagrafici comunali, risultano persone regolarmente residenti o quelle attività produttive regolarmente attive. Prendendo il dato ISTAT nazionale dei consumi medi giornalieri che è pari a $245 l/d \cdot p$, $3 m^3$ rappresentano un uso di acqua potabile di circa 12 giorni all'anno, ovvero 1 giorno al mese, il che è abbastanza improbabile per un utenza residente. Può invece essere accettabile per utenze saltuarie (es. case per le vacanze) o per usi discontinui degli immobili. Per tale ragione tutte le utenze saltuarie o discontinue verranno escluse dalla stima.

Per quanto riguarda invece la quantificazione degli errori di misurazione contatori e di trasferimento dati (Q_{ALem}) sono state considerate le seguenti voci:

- Errore di sottocontazione contatori utenza;
- Errore di sottocontazione misuratore export;
- Errore di sottostima delle letture rilevate.

L'errore di misurazione di un contatore ad una determinata portata è definito come la differenza tra il volume registrato dal contatore dell'acqua e il volume effettivo consumato. L'errore è solitamente espresso in percentuale del volume effettivo passato attraverso il misuratore. Gli errori di misurazione sono fonte di preoccupazione per i servizi idrici perché i contatori non riescono a ottenere prestazioni metrologiche perfette nelle condizioni di lavoro variabili solitamente presenti sul campo. Infatti, ci

sono portate per le quali il sensore del contatore non si muoverà o non rileverà alcun flusso, il che implica che il contatore ha un errore del -100%. In altri casi gli errori di misurazione del contatore possono diventare trascurabili. Questa variabilità delle prestazioni nell'intero intervallo di misurazione porta a una situazione in cui i contatori dell'acqua non registrano il volume esatto dell'acqua consumata (è estremamente difficile stabilire quale potrebbe essere esattamente quella quantità). La curva di errore è il parametro che definisce il modo in cui gli errori di misura variano con la portata (De La Cruz, 2016).

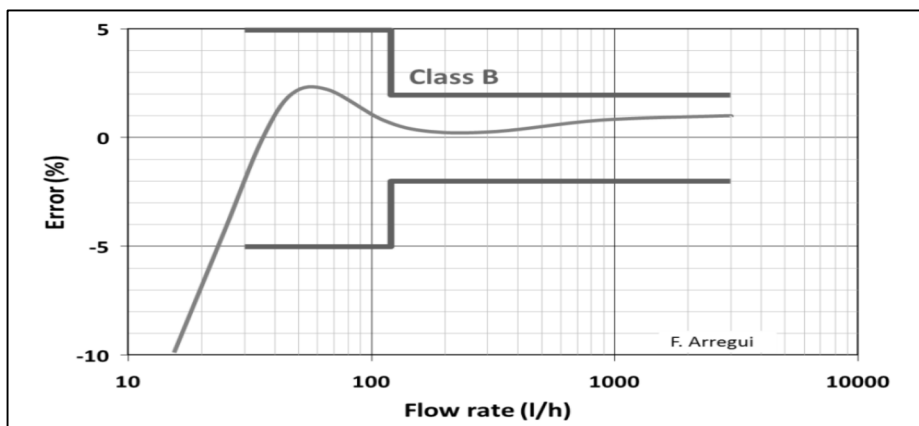


Figura 10 - Curva di errore di un nuovo contatore domestico Classe B a getto singolo (De La Cruz, 2016)

La forma dettagliata della curva di errore di ogni contatore non è nota e le informazioni sull'errore sono limitate a portate molto specifiche, in genere associate ai parametri metrologici definiti negli standard costruttivi. Le prestazioni metrologiche di un nuovo contatore non sono uniformi nell'intero intervallo di misurazione e gli errori dipendono dalla portata che attraversa il misuratore. Quando i contatori invecchiano, il modo in cui la curva di errore si evolve nel tempo e/o con il volume totale dipenderà dalle condizioni di lavoro del misuratore, dalla sua tecnologia di misurazione e dalla qualità dell'acqua che attraversa il contatore. L'elevato numero di parametri che influiscono sull'invecchiamento del contatore dell'acqua è uno dei motivi principali per cui è impossibile effettuare una previsione affidabile senza eseguire il test dei contatori in laboratorio o sul campo. In effetti, non è inusuale trovare lo stesso modello di misuratore che si comporta in modo completamente diverso (De La Cruz, 2016).

Possono essere commessi errori anche nella fase di rilevazione delle letture dei contatori presso i clienti. Di fatto, possono verificarsi due principali categorie di errori relativi al processo di lettura del contatore:

- Errori casuali nel processo di lettura del contatore, inclusa la trasmissione e la registrazione dei dati. La maggior parte di essi può essere rilevata dal software di fatturazione o dal cliente. Procedure appropriate di addestramento del personale addetto consentono di controllarle e minimizzarle.
- Errori sistematici dovuti a errori intenzionali: corruzione, accordo illegale tra il cliente e il letturista di contatori, ecc.

Molte soluzioni possono essere considerate nel quadro della lotta alla corruzione e alle pratiche illegali. Si va dall'assegnazione di specifici controllori di lettura dei contatori fino alla completa eliminazione dei lettori, introducendo la lettura automatica. Altre tecniche possono essere considerate come l'assegnazione di percorsi di lettura dei contatori ai lettori o l'uso di computer portatili che rendono la frode più difficile e minimizzano gli errori di registrazione dei dati (Vermersch and Carteado, 2016).

Il totale delle perdite apparenti Q_{AL} viene calcolato con la seguente equazione:

$$Q_{AL} = Q_{ALuc} + Q_{ALem}$$

Q_{AL} = perdite idriche apparenti (m^3)
 Q_{ALuc} = consumi non autorizzati (m^3)
 Q_{ALem} = errori di misurazione contatori e trasferimento dati (m^3)

Eq. 17

2.3.3.2 Perdite reali (Q_{RL})

Le perdite reali sono le cosiddette “perdite tecniche” ovvero causate dalla presenza di rotture sulla rete. Questa quantità è calcolata per differenza tra il volume immesso nel sistema e la somma dei consumi autorizzati con le perdite apparenti:

$$Q_{RL} = Q_I - (Q_A + Q_{AL})$$

Q_{RL} = perdite reali (m^3/a)
 Q_I = volume immesso nel sistema (m^3/a)
 Q_A = consumo autorizzato (m^3/a)
 Q_{AL} = perdite apparenti (m^3/a)

Eq. 18

2.3.4 Lunghezza della rete idrica (L_N)

Per quanto riguarda la rete idrica, è richiesta la misura delle tre componenti principali:

- Lunghezza rete di adduzione
- Lunghezza rete di distribuzione
- Lunghezza allacciamenti

Le misure della rete di adduzione e distribuzione sono state ricavate dal sistema GIS aziendale. Si ritiene che lo strumento GIS abbia un ottimo grado di precisione, essendo costruito sulla base di rilievi GPS georeferiti su ortofoto ad alta risoluzione. Pertanto non è stata stimata nessuna sottovalutazione nella misura della lunghezza delle reti.

2.3.4.1 Stima della lunghezza complessiva degli allacciamenti (L_p)

Per quanto concerne invece il dato relativo alla lunghezza degli allacciamenti, intesa come la distanza esistente tra il confine di proprietà e la posizione del contatore all'interno delle proprietà private, non essendo tale dato disponibile ed essendo molto dispendioso e costoso da rilevare direttamente sull'intero territorio, si è deciso di eseguire la stima della lunghezza media degli allacciamenti in proprietà privata utilizzando il *Metodo Monte Carlo*. Tale metodo è un metodo statistico che permette di stimare un valore partendo dall'individuazione di un intervallo di valori ($L_{min} - L_{max}$), che dovrebbero rappresentare il massimo range entro al quale è compreso il valore che stiamo cercando. Individua quindi i valori estremi superiore ed inferiore che il parametro può assumere.

Anche la determinazione di detti valori minimi e massimi non è certamente agevole considerando l'alta estensione territoriale esaminata e la grande variabilità di situazioni da considerare. Si è cercato quindi di pianificare un rilievo, a partire dalla cartografia presente sul GIS, che fosse il più rappresentativo possibile soprattutto per il valore massimo. Infatti il valore minimo è di facile determinazione perché può essere posto pari alla lunghezza minima di $1m$ che è la dimensione minima per effettuare la posa del contatore all'interno delle proprietà private.

È stato quindi scelto un campione statistico formato da 60 utenze, prese a caso tra zone urbane, periurbane o rurali, delle quali è stata misurata la lunghezza L_p in metri.

Per stimare il valore più probabile di L_p sull'intera popolazione delle utenze, serve stabilire anche la funzione di distribuzione della probabilità ed effettuare la simulazione con un congruo numero di estrazioni fittizie casuali.

In funzione del valore della deviazione standard e dell'errore massimo ammissibile, assunto pari al 2% della lunghezza media, è stato calcolato il numero di estrazioni casuali necessario per operare la simulazione, utilizzando la seguente formula:

$$n = (3\sigma * \varepsilon^{-1})^2$$

n = numero di estrazioni necessarie
 σ = deviazione standard
 ε = errore

Eq. 19

Per la simulazione è stata ipotizzata una distribuzione normale della funzione di densità di probabilità che risponde alla formula:

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

μ = media
 σ = deviazione standard

Eq. 20

La simulazione è stata fatta utilizzando Microsoft Excel su un congruo numero di estrazioni casuali, generate dalla funzione "CASUALE()" e confrontate con la funzione di distribuzione della probabilità normale. Tutti i valori sottesi alla funzione normale sono stati accettati e classificati in classi di lunghezza in modo da costruire un istogramma che rappresenti le diverse frequenze per le classi suddette.

È ora necessario valutare il numero complessivo degli allacciamenti presenti sulla rete, siano essi attivi o disattivati. Gli allacciamenti attivi sono solitamente pari al numero di utenze fatturate.

Il numero di allacciamenti inattivi è invece più complesso da valutare in considerazione del fatto che spesso non è presente un database degli allacciamenti e quindi sarà necessario procedere ad una stima di questa quantità.

Per operare tale stima si è pensato di partire da una elaborazione GIS basata sull'analisi dei fabbricati e dei numeri civici presenti nel territorio servito. Tale scelta è dettata dal fatto che nel territorio gestito, non risultano esserci abitazioni sprovviste di acqua

potabile. Ciò significa che tutti gli immobili sono allacciati al servizio acquedotto. Ne deriva che siccome ad ogni immobile è attribuito un numero civico, teoricamente gli allacci dovrebbero essere pari alla quantità di numeri civici presenti. Serve però tener conto anche del fatto che spesso, laddove esistono diversi numeri civici sul medesimo fabbricato, identificati solitamente con una numerazione con subalterno (es. 13/A, 13/B, ecc.), è probabile che sullo stesso allacciamento possano insistere più di un contatore (quindi più utenze sullo stesso allaccio). Il grado di “aggregazione” dei numeri civici con subalterno è stata stimata in termini percentuali tenendo in considerazione la presenza sul territorio di tipologie edilizie aggregate come ad esempio condomini orizzontali, case a schiera, case plurifamiliari. È stata quindi assegnata a ciascun Comune una percentuale di aggregazione e successivamente è stato calcolato il valore presunto del numero totale di allacciamenti presenti sulla rete, dal quale si è poi ricavato il numero degli allacci non più attivi.

2.3.5 Pressione media di esercizio (P_A)

Per calcolare la pressione media di esercizio è consigliabile procedere nel modo seguente:

- Suddividere il territorio servito in zone omogenee sia per altimetria del suolo che per le caratteristiche idrauliche delle condotte adduttrici;
- Per ogni singola zona, calcolare la quota media ponderata del terreno in prossimità di alcuni componenti chiaramente definiti dell'infrastruttura (collegamenti di servizio, o condutture, idranti);
- Vicino al centro di ogni zona, identificare un punto di misurazione conveniente con la stessa quota media ponderata del terreno;
- Misurare la pressione nel punto medio della zona e utilizzarla come surrogato della pressione media nella zona.

Per ottenere le pressioni medie per interi sistemi, calcolare il valore medio ponderato della pressione, preferibilmente utilizzando il numero di connessioni di servizio in ciascuna zona come fattore di ponderazione. Nei casi in cui sono disponibili modelli di analisi di rete, questo calcolo può essere basato sui dati provenienti dai nodi di rete (Lambert and McKenzie, 2002).

2.3.6 Dati economici e finanziari

I dati economici e finanziari sono stati ricavati dal bilancio consuntivo 2017 approvato e dai documenti contabili di supporto e approfondimento dello stesso.

I dati economici raccolti riguardano:

- Il prezzo medio di vendita dell'acqua potabile ($\text{€}/\text{m}^3$)
- Il costo di produzione dell'acqua potabile ($\text{€}/\text{m}^3$) ricavato dai valori di:
 - OPEX (costi operativi)
 - CAPEX (costi in conto capitale)
- Il costo marginale dell'acqua potabile ($\text{€}/\text{m}^3$).

Il prezzo medio di vendita dell'acqua potabile è stato ottenuto dalla media pesata del fatturato per tipologia di utenza per le relative quantità di acqua fatturate.

Il costo della produzione è composto da diverse voci raggruppate in due grandi categorie chiamate OPEX e CAPEX, che rappresentano rispettivamente i costi operativi e i costi in conto capitale sostenuti nell'anno di riferimento.

Generalmente le due categorie di costi contengono le seguenti voci (Patrick Fallis et al., 2011):

Spese operative (costo corrente) OPEX:

- Lavoro (manodopera interna)
- Costo dell'acqua importata (grezzo / trattato)
- Costo dell'energia elettrica
- Costo di astrazione e trattamento
- Costo materiale
- Costi di trasmissione, stoccaggio e distribuzione
- Costo di gestione dei contatori
- Costo del controllo attivo delle perdite
- Costo dei servizi in outsourcing

Spese in conto capitale CAPEX:

- Ammortamenti
- Interessi netti (differenza tra interessi passivi e interessi attivi).

Il costo della produzione è calcolato con la seguente equazione:

$$C_p = \frac{CAPEX + OPEX}{Q_I}$$

C_p = costo di produzione ($\text{€}/\text{m}^3$)
 $CAPEX$ = costi in conto capitale (€)
 $OPEX$ = costi operativi (€)
 Q_I = volume immesso nel sistema (m^3)

Eq. 21

Il costo marginale è stato calcolato valutando tutti i costi specifici e diretti legati alla produzione di acqua potabile e che variano al variare della quantità di acqua prodotta. Tali costi riguardano principalmente i consumi di energia elettrica, gli additivi per la potabilizzazione e l'onere di smaltimento dei fanghi di potabilizzazione.

3 Caso studio: CADF S.p.A.

CADF S.p.A. è una società per azioni a totale capitale pubblico, che opera nel settore del servizio idrico integrato (acquedotto, depurazione e fognatura). L'impianto e la gestione dell'intero ciclo di produzione, distribuzione, raccolta e depurazione dell'acqua per usi multipli, per il controllo, trattamento e difesa delle risorse idriche dall'emungimento al rilascio, nel territorio dei Comuni soci.

3.1 Servizio acquedotto

CADF S.p.A. opera su un territorio che presenta un'estensione di circa 1300 km^2 (l'area urbana ed extraurbana dei 11 Comuni appartenenti alla Provincia di Ferrara, ai quali l'azienda presta il proprio servizio), con una popolazione residente di circa 102.000 unità che nel periodo estivo diventa pari a circa 200.000 unità, grazie ai numerosi turisti che popolano i sette lidi ferraresi.

La densità territoriale degli abitanti ammonta a 133,8 ab/km^2 , nettamente al di sotto della media nazionale (197,5 ab/km^2) e di quella del Nord - Est (184,5 ab/km^2). Con circa 70.000 utenze, fornisce ogni anno acqua potabile per circa 10 milioni di m^3 .

Erogare il servizio relativo all'acquedotto comporta la gestione della fase della captazione e produzione e della fase di distribuzione, entrambe direttamente gestite da CADF: dalla fonte primaria della risorsa idrica fino alla disponibilità per il singolo utente dell'acqua potabile.

Il servizio Acquedotto consente di dotare l'utenza di acqua per:

- Uso civile domestico
- Uso civile non domestico, inteso come consumi pubblici (scuole, ospedali, edifici pubblici, centri sportivi, ecc.)
- Altri usi, relativi ai settori commerciali, artigianali e terziario in genere.

L'analisi delle caratterizzazioni riguardanti le strutture e le infrastrutture che sostanziano il servizio acquedotto gestito da CADF si possono ricondurre a tre ambiti:

- Centrali di approvvigionamento (captazione) e di potabilizzazione della risorsa idrica, intercettata da acquiferi superficiali e da acquiferi di falda profonda;
- Serbatoi pensili o vasche di accumulo con impianti di spinta;
- Rete di adduzione e distribuzione.

Nei Comuni di Ro Ferrarese (FE) e Berra (FE) sono presenti due centrali, nelle quali avviene il processo di captazione della risorsa idrica, di potabilizzazione e di immissione nella rete di distribuzione dell'acqua potabile destinata ai cittadini e alle aziende del territorio.

Le centrali consentono, quindi, di eseguire, nell'ambito del servizio acquedotto, la preliminare fase di captazione e di trattamenti mirati ad assicurare che le caratteristiche dell'acqua da immettere in rete siano conformi a quelle previste dalle normative nazionali ed europee per l'acqua destinata al consumo umano.

Le centrali sono collegate da una condotta di grosso diametro che, consentendone interscambi, ne ottimizza l'utilizzo in funzione delle caratteristiche delle acque da potabilizzare, delle richieste dell'utenza e della necessità di preservare e tutelare le fonti di approvvigionamento.

Poste a 25 km di distanza l'una dall'altra, assicurano la continuità del servizio in caso di indisponibilità temporanea di una delle due fonti. I prelievi avvengono per circa il 50% da falde profonde e per il 50% da acque superficiali (fiume Po).

3.1.1 La centrale di Serravalle (frazione del Comune di Berra)

La centrale di potabilizzazione di Serravalle (FE) preleva l'acqua greggia direttamente dal fiume Po. Prima di essere immessa in rete l'acqua viene raccolta e trattata in bacini di decantazione e filtrazione per abbattimento delle sostanze in sospensione; gli eventuali composti organici presenti nell'acqua greggia vengono abbattuti da filtri a carboni attivi. Il prelievo massimo è di 550 l/s.



Figura 11 - Centrale di potabilizzazione di Serravalle (FE) (CADF S.p.A., 2019)

3.1.2 La centrale di Ro Ferrarese

La centrale di potabilizzazione di Ro Ferrarese (FE), preleva l'acqua greggia da falda. L'impianto di captazione è costituito da n° 28 pozzi, di cui 11 dislocati all'esterno dall'area di pertinenza della Centrale, in fregio all'argine destro del fiume Po, n° 7 pozzi ubicati all'interno dell'area della Centrale stessa e n° 10 nell'area golenale del fiume Po in località Guarda Ferrarese.

L'acqua emunta dalla falda viene sollevata da elettropompe sommerse, installate all'interno dei pozzi e condotta direttamente mediante tubazioni al collettore principale della Centrale. In funzione della richiesta di acqua si procede all'avviamento e/o spegnimento dei pozzi eseguendo tutte le operazioni dalla sala di controllo della Centrale.

L'acqua greggia prelevata viene successivamente raccolta e trattata per l'abbattimento delle sostanze indesiderate prima di essere immessa in rete; gli eventuali composti organici presenti nell'acqua greggia vengono abbattuti da filtri a carboni attivi; il prelievo massimo è di 500 l/s.



Figura 12 - Centrale di potabilizzazione di Ro Ferrarese (FE) (CADF S.p.A., 2019)

3.1.3 Rete idrica ed impianti di sollevamento e di accumulo

Assicurare la distribuzione dell'acqua potabile a tutti gli utenti comporta la gestione delle condotte e degli impianti di sollevamento e di accumulo in grado di consentire l'attuazione dei processi che vanno dall'adduzione all'allacciamento della singola utenza.

La rete primaria di condotte adduttrici a servizio degli impianti di sollevamento e di accumulo si snoda all'interno del territorio d'influenza dell'azienda raggiungendo una lunghezza complessiva di circa 336 km.

Sulla rete sono presenti 19 impianti di sollevamento e di accumulo, aventi un volume di stoccaggio complessivo di circa 36.170 m³ ai quali si deve aggiungere la capacità di stoccaggio delle centrali di ulteriori 8.100 m³. Tali riserve idriche svolgono la funzione di compensare adeguatamente le variazioni giornaliere delle richieste d'acqua delle utenze.

Il processo di distribuzione dell'acqua potabile alle utenze locali è da ultimo reso possibile da una capillare rete di condotte distributrici la cui lunghezza complessiva è pari a circa 1.672 km.

3.1.4 Attività per la riduzione delle dispersioni idriche e degli sprechi

La limitazione delle dispersioni rende possibili benefici diretti e indiretti sotto diversi aspetti fra loro strettamente correlati: di ordine economico, energetico, ecologico. Diretti, perché concorre a limitare all'origine gli sprechi della limitata risorsa idrica; indiretti perché rende possibili risparmi sui costi economici di gestione basati sulla riduzione dei consumi energetici, nonché apprezzabili riduzioni delle emissioni in atmosfera legate ai processi di utilizzo energetico.

In una rete idrica destinata a movimentare diversi milioni di metri cubi di acqua potabile ogni anno, utilizzando tubazioni e infrastrutture spesso interrato in presenza di sensibili stress fisico-chimici, l'aspetto "dispersioni" assume dunque rilevanza strategica. Per contenerne l'entità ai livelli più bassi possibili CADF ha negli ultimi anni messo in campo diverse iniziative dirette a favorire una progressiva diminuzione del valore delle dispersioni idriche del servizio acquedotto, con l'obiettivo di arrivare a valori "fisiologici".

Entrando più nello specifico, CADF fronteggia il tema della riduzione delle dispersioni attraverso due direttrici di azione: le attività di contrasto alle dispersioni reali e le attività di contrasto alle dispersioni apparenti.

3.1.5 Attività di contrasto alle dispersioni reali

Al fine di contrastare l'entità delle dispersioni reali della rete acquedotto CADF svolge un intenso programma di ricerca, manutenzione e prevenzione. In quest'ottica, risulta opportuno dare evidenza al fatto che il Piano di Tutela delle Acque della Regione Emilia-Romagna indicava il limite di 3500 m^3/km per anno sulle perdite di rete per zone non urbane come obiettivo da conseguire entro il 2016. E, quindi, risulta opportuno dare rilievo al fatto che CADF S.p.A. ha raggiunto tale obiettivo già nel 2005, continuando in una politica volta all'efficientamento della propria rete.

Ulteriori iniziative riguardano la sostituzione delle prese antincendio senza contatore con prese antincendio con contatore e la regolarizzazione delle utenze ancora prive di contatore ai fini di attenuare le dispersioni correlate con i "furti d'acqua".

3.1.6 Attività di contrasto alle dispersioni apparenti

Si tratta di attività essenzialmente centrate su un programma di sostituzione e ammodernamento dei contatori installati. Programma nella sostanza volto a ridimensionare in modo significativo lo spinoso tema delle dispersioni apparenti, ossia di quelle dispersioni che non si configurano come vere e proprie perdite di acqua, ma come errori di misura in difetto dei volumi di acqua effettivamente erogati alle utenze rispetto ai volumi misurati da contatori obsoleti. Ciò in considerazione tanto dei riflessi economici che discendono per CADF dalla mancata fatturazione di volumi di acqua potabile erogata ma non contabilizzata; quanto dei riflessi di immagine che discendono per CADF dalla quantificazione delle perdite lineari calcolate al netto dei consumi autorizzati ma non misurati (volumi di acqua utilizzati dall'azienda per scopi propri).

In via del tutto generale, può essere di utilità tener presente che le prestazioni metrologiche dei contatori risentono, in particolare:

- Dalle caratteristiche costruttive dei misuratori (i.e. classe di precisione, modello, materiali utilizzati);
- Dall'età del dispositivo, il tempo di esercizio, l'entità dei volumi registrati e la qualità dell'acqua.

CADF, allo scopo di effettuare una stima della sottocontazione volumetrica ed economica a causa dell'imprecisione dei contatori d'utenza in esercizio, ha affidato un incarico all'Azienda HR Wallingford. I risultati verranno trattati in seguito nel paragrafo relativo alla valutazione delle perdite apparenti.

3.1.7 Attività di contrasto agli usi impropri di acqua potabile

Un'ulteriore attività, complementare alle precedenti, riguarda la valorizzazione del concetto di differenziazione degli utilizzi delle acque con l'obiettivo di preservare le acque potabilizzate (e dunque, destinate al consumo umano) da utilizzi impropri; ciò promuovendo delle azioni sul territorio finalizzate a limitarne l'utilizzo in quei casi che non richiedono le caratteristiche di potabilità, come ad esempio quelli che riguardano l'irrigazione di verde pubblico e di impianti sportivi.

A riguardo è allo studio un progetto pilota diretto a promuovere sul territorio la realizzazione di pozzi di prima falda che, pescando dalla falda più superficiale l'acqua, implicano benefici multipli tra i quali:

- Limitare l'impiego di acqua di rete potabile e, per converso, aumentare la disponibilità dell'acqua potabile fornita dal servizio acquedotto;
- Diminuire i costi di gestione del servizio acquedotto conseguenti alla limitazione degli utilizzi impropri dell'acqua potabile;
- Diminuire i costi per gli utenti pubblici e privati grazie ai risparmi conseguibili attraverso l'utilizzo di acque di prima falda a fronte dell'utilizzo di acqua potabile (i cui costi sono sensibilmente superiori);
- Limitare lo sfruttamento delle risorse acquifere profonde per usi non pregiati;
- Attuare una protezione attiva sulle falde profonde, creando un effetto di richiamo di sostanze di origine antropica che, in assenza di prelievi dalla prima falda, potrebbero pervenire alle falde più profonde.

3.1.8 Strumenti a supporto della riduzione delle dispersioni

CADF dispone di un sistema di telecontrollo e telerilevamento (TLC) finalizzato al duplice obiettivo di assicurare elevati standard di qualità del servizio acquedotto e di contrastare il fenomeno delle dispersioni.

CADF ha nel tempo implementato una rete di telecomunicazione (giovandosi anche dell'utilizzo di circa 145 *km* di rete in fibra ottica, concepita primariamente per le operazioni di telerilevamento (ossia per le operazioni deputate a raccogliere in tempo reale i dati dell'intero processo) e per le operazioni di telecontrollo della rete idrica (ossia per le operazioni deputate ad aggiornare i parametri di regolazione, a comandare, attivare operazioni di apertura/chiusura o di regolazione degli organi elettromeccanici, in ogni nodo della rete distributiva e degli impianti).

Il sistema di telecontrollo e telecomando, utilizzando un centro di supervisione e un numero elevato di periferiche installate in punti strategici delle 2 centrali di potabilizzazione e nella rete distributiva, consente di monitorare tutte le fasi del trattamento e distribuzione dell'acqua potabile, in funzione dei parametri impostati e delle esigenze delle utenze.

3.1.9 Modello idraulico e distrettualizzazione della rete acquedotto.

Per la gestione efficiente della rete e degli impianti che compongono i sistemi di adduzione e di distribuzione idropotabili CADF ha nel tempo implementato un software idraulico che consente la modellizzazione matematica dell'intero sistema. Questo, supportato dai sistemi TLC, consente di conoscere nel dettaglio il comportamento idraulico delle reti e degli impianti in ogni condizione di funzionamento, di progettare ogni intervento e opera di adeguamento e completamento, di disporre di strumenti di decisione per ottimizzarne il funzionamento e la gestione economica.

Sulla base del modello idraulico si è potuto iniziare a pianificare sia l'attività di individuazione e di definizione dei distretti idraulici di misura finalizzati a poter implementare un controllo attivo delle perdite fisiche tramite il monitoraggio della portata minima notturna; sia l'ottimizzazione energetica degli impianti di sollevamento.

Oltre al modello idraulico, CADF dispone anche di un sistema GIS che riporta i dati geometrici e le caratteristiche dell'intera rete, oltre alla georeferenziazione dei nodi e degli impianti.

4 Presentazione dei risultati

Essendo gli indicatori calcolati su base annua è stato scelto come anno di riferimento il 2017.

Per rendere più agevole la lettura delle risultanze dei calcoli delle numerose variabili richieste sia per il calcolo dell'indicatore M1 che l'indicatore ILI, si riporta di seguito una tabella riepilogativa con l'indicazione degli acronimi utilizzati e delle relative unità di misura.

Tabella 5 - Parametri utilizzati per il calcolo dei due indicatori con relative unità di misura

DESCRIZIONE VARIABILE	SIGLA INDICATORE ILI	SIGLA INDICATORE M1	UNITA' DI MISURA
CONSUMO FATTURATO ESPORTATO MISURATO	Q_{BAem}		m^3/a
CONSUMO FATTURATO ESPORTATO NON MISURATO	Q_{BAenm}		m^3/a
CONSUMO COMPLESSIVO FATTURATO ESPORTATO	Q_{BAce}		m^3/a
CONSUMO FATTURATO A CLIENTI MISURATO	Q_{BAm}		m^3/a
CONSUMO FATTURATO A CLIENTI NON MISURATO	Q_{BAnm}		m^3/a
CONSUMO COMPLESSIVO FATTURATO A UTENTI	Q_{BAc}		m^3/a
CONSUMO AUTORIZZATO FATTURATO	Q_{BA}		m^3/a
CONSUMO NON FATTURATO MISURATO	Q_{UAm}		m^3/a
CONSUMO NON FATTURATO NON MISURATO	Q_{UANm}		m^3/a
CONSUMO AUTORIZZATO NON FATTURATO	Q_{UA}		m^3/a
CONSUMI AUTORIZZATI	Q_A	W^a_{OUT}	m^3/a
VOLUME PRELEVATO DALL'AMBIENTE	Q_{IA}		m^3/a
VOLUME IMPORTATO DA ALTRI SISTEMI	Q_{IM}		m^3/a
VOLUME IMMESSO NEL SISTEMA	Q_i	W^a_{IN}	m^3/a
PERDITE	Q_L	WL^a_{TOT}	m^3/a
N° ALLACCI ABUSIVI DOMESTICI	A_{Ld}		n°
N° ALLACCI ABUSIVI - ALTRI TIPI	A_{Lv}		n°
N° MANOMISSIONI SU UTENZE REGistrate	A_{Lm}		n°
N° PERSONE MEDIE PER UTENZA DOMESTICA	N_{pers}		n°
CONSUMO MEDIO PROCAPITE	Q_{pers}		$l/d/p$
CONSUMO MEDIO ALLACCIMAMENTO NON DOMESTICO	Q_{and}		$l/d/al$
CONSUMO MEDIO CLIENTE GIORNO	Q_{all}		$l/d/al$
CONSUMO ANNUO UTENZE ABUSIVE DOMESTICHE	Q_{ad}		m^3/a
CONSUMO ANNUO UTENZE ABUSIVE NON DOMESTICHE	Q_{and}		m^3/a
CONSUMO ANNUO MANOMISSIONI UTENZE REGISTRATE	Q_{man}		m^3/a
CONSUMI NON AUTORIZZATI	Q_{ALuc}		m^3/a
ERRORE DI SOTTOSTIMA MISURATORI UTENZA	E_{mis}		%
VOLUME SOTTOSTIMA CONTATORI UTENZA	Q_{mis}		m^3/a
ERRORE DI SOTTOSTIMA MISURATO NON FATTURATO	E_{nmis}		%
VOLUME SOTTOSTIMA MISURATO NON FATTURATO	Q_{nmis}		m^3/a
ERRORE DI SOTTOSTIMA MISURATO NON ESPORTATO	E_{exp}		%
VOLUME SOTTOSTIMA MISURATO ESPORTATO	Q_{exp}		m^3/a
ERRORI CONTATORI UTENTI	Q_{ALem}		m^3/a
PERDITE APPARENTI (COMMERCIALI)	Q_{AL}		m^3/a
PERDITE REALI	Q_{RL}		m^3/a

Tabella 5 – segue

DESCRIZIONE VARIABILE	SIGLA INDICATORE ILI	SIGLA INDICATORE M1	UNITA' DI MISURA
NUMERO DI GIORNI CON SISTEMA IN PRESSIONE	N_{dwp}		d
CURRENT ANNUAL REAL LOSSES	CARL		$l/dwps$
LUNGHEZZA RETE DI ADDUZIONE	L_{Na}		km
LUNGHEZZA RETE DI DISTRIBUZIONE	L_{Nd}		km
LUNGHEZZA OTALE DELLA RETE	L_N	L_p^a	km
NUMERO CONNESSIONI ATTIVE	N_{Ca}		n°
NUMERO CONNESSIONI NON ATTIVE	N_{Ci}		n°
NUMERO TOTALE CONNESSIONI	N_C		n°
LUNGHEZZA MEDIA CONNESSIONE PRIVATA	L_c		m
NUMERO ALLACCI ILLEGALI	A_{Li}		n°
LUNGHEZZA COMPLESSIVA DELLE CONNESSIONI PRIVATE	L_p		km
CALCOLO PRESSIONE MEDIA DI ESERCIZIO			
1 - PRESSIONE MEDIA NODO DI SERRVALLE	P_{A1}		m_{H2O}
2 - PRESSIONE MEDIA NODO DI COPPARO	P_{A2}		m_{H2O}
3 - PRESSIONE MEDIA NODO DI MIGLIARINO	P_{A3}		m_{H2O}
4 - PRESSIONE MEDIA NODO MESOLA	P_{A4}		m_{H2O}
5 - PRESSIONE MEDIA NODO LIDI	P_{A5}		m_{H2O}
6 - PRESSIONE MEDIA NODO GORINO	P_{A6}		m_{H2O}
7 - PRESSIONE MEDIA NODO SPINA	P_{A7}		m_{H2O}
1 - UTENZE NODO DI SERRVALLE	U_1		n°
2 - UTENZE NODO DI COPPARO	U_2		n°
3 - UTENZE NODO DI MIGLIARINO	U_3		n°
4 - UTENZE NODO MESOLA	U_4		n°
5 - UTENZE NODO LIDI	U_5		n°
6 - UTENZE NODO GORINO	U_6		n°
7 - UTENZE NODO SPINA	U_7		n°
PRESSIONE MEDIA DI ESERCIZIO INTERA RETE	P_A		m_{H2O}
UNAVOIDABLE REAL LOSSES	UARL		$l/dwps$
UNAVOIDABLE ANNUAL REAL LOSSES	UARL _y		m^3/a

Tabella 5 – segue

DESCRIZIONE VARIABILE	SIGLA INDICATORE ILI	SIGLA INDICATORE M1	UNITA' DI MISURA
INDICATORI TECNICI			
INFRASTRUCTURE LEAKAGE INDEX	ILI		-
INDICATORE PERDITE LINEARI		M_{1a}^a	m³/km/d
INDICATORE PERDITE PERCENTUALI		M_{1b}^a	%
MIGLIORAMENTO RICHIESTO ALL'ANNO a+1			
MIGLIORAMENTO PERDITE LINEARI		MM1a	m ³ /km/d
MIGLIORAMENTO PERDITE PERCENTUALI		MM1b	%
MIGLIORAMENTO COMPLESSIVO RICHIESTO		MM1	%
INDICATORE M1a TARGET ALL'ANNO a+1		M _{1a} ^{a+1}	m ³ /km/d
VOLUME DA RECUPERARE ALL'ANNO a+1		V _R	m ³ /a
INDICATORI ECONOMICI			
COSTI IN CONTO CAPITALE	CAPEX		€/a
COSTI OPERATIVI	OPEX		€/a
COSTO DELLA PRODUZIONE	C _p		€/m ³
TARIFFA MEDIA	TAR		€/m ³
COSTO MARGINALE	C _{mar}		€/m ³
COSTO PER LA RICERCA ATTIVA DELLE FUGHE	C _{ALC}		€/m ³
MIGLIORAMENTO ANNUO SULLE PERDITE APPARENTI	S _{PA1}		€/a
MIGLIORAMENTO ANNUO SULLE PERDITE TECNICHE	S _{PA2}		€/a
MIGLIORAMENTO POTENZIALE ANNUO	S _{PA}		€/a
COMPONENTE NRW			
CONSUMO NON FATTURATO MISURATO	V _{QUAm}		€/a
CONSUMO NON FATTURATO NON MISURATO	V _{QUAnm}		€/a
PERDITE COMMERCIALI	V _{QAL}		€/a
PERDITE PER IMPRECISIONE CONTATORI E ERRORI DATI	V _{QALem}		€/a
CONSUMI NON AUTORIZZATI	V _{QALuc}		€/a
PERDITE TECNICHE			
VOLUME GIORNALIERO	PT _d		m ³ /d
VALORE DELLE PERDITE TECNICHE	VPT		€/a
VALORE TOTALE NRW	VNRW		€/a

4.1 Calcolo indicatore M1

L'indicatore M1 relativo alle perdite idriche è suddiviso nei due sotto indicatori $M1a$ e $M1b$ che riguardano le perdite lineari di rete e le perdite percentuali.

Utilizzando le equazioni indicate nel precedente capitolo sono stati calcolati i due indicatori che valgono:

$$M1a^a = \frac{5.884.769}{365 \times 2.008} = 8.03 [m^3/km/d]$$

$$M1b^a = \frac{5.884.769}{15.979.992} * 100 = 36,8\%$$

CADF S.p.A. nel 2017 era classificata in fascia C, avendo un valore di perdite lineari di $8.03 m^3/km/d$ e un valore di perdite percentuali pari al 36.8%.

Nel caso di CADF S.p.A. l'obiettivo imposto dall'autorità ARERA è la diminuzione del 4% del valore dell'indicatore $M1a$ annuo all'anno $a+1$. Sostituendo con i valori otteniamo:

$$M1a^{a+1} = 8.03 * (1 - 4\%) = 7,7080421 [m^3/km/d]$$

Che equivalgono ad un volume annuo da recuperare pari a:

$$R_L^{a+1} = 5.884.769 - (7,7080421 * 365 * 2.008) = 235.391 [m^3/a]$$

Quindi, in base a quanto calcolato, CADF S.p.A. nel 2018 aveva l'obiettivo di ridurre le perdite di rete di $235.391 m^3$ per ottemperare a quanto richiesto da ARERA.

4.2 Bilancio idrico

Per poter calcolare l'indicatore ILI è necessario procedere al calcolo del bilancio idrico annuale del gestore considerato al fine di determinare il valore delle perdite reali presenti sull'infrastruttura. Nei paragrafi seguenti verranno descritte tutte le modalità di calcolo delle varie componenti del bilancio idrico di CADF.

4.2.1 Calcolo volumi immessi nel sistema (Q_I)

CADF dispone di due centrali di potabilizzazione, una situata nel Comune di Ro Ferrarese (FE) e una a Serravalle nel Comune di Berra (FE). La centrale di Ro Ferrarese preleva l'acqua da pozzi artesiani, mentre la centrale di Serravalle dalle acque del fiume Po.

Le misure prelevate dal sistema TLC si riferiscono alla data del 01/01/2017 ore 00:15:00 e alla data 01/01/2018 ore 00:15:00 (il sistema TLC preleva i dati ogni 15 minuti). Dalla differenza delle misure sono state ricavate le quantità d'acqua immessa nel sistema che sono rispettivamente:

- Quantità totale prelevata dall'ambiente: $Q_{IA} = 15.665.857 \text{ m}^3/a$;
- Quantità importata da altri sistemi acquedottistici: $Q_{IM} = 324.135 \text{ m}^3/a$.

I misuratori di portata sono tutti di tipo elettromagnetico, marca Hendress + Hauser, modello Promag Proline 50. Sono installati a coppie sia presso le centrali che nel punto di interscambio. Nella centrale di Ro Ferrarese son installati su due tubazioni DN 400 DIN/EN PN 10, mentre nella centrale di Serravalle sono installati uno su una condotta DN 300 e l'altro su una condotta DN 350 DIN/EN PN 10.

Il totale dei volumi in ingresso nel sistema, per l'anno 2017 valgono:

$$Q_I = 15.665.857 + 324.135 = 15.979.992 \text{ m}^3/a$$

4.2.2 Calcolo dei consumi autorizzati (Q_A)

I consumi autorizzati sono espressi in m^3/a e come detto nel capitolo precedente sono suddivisi in:

- Consumo autorizzato fatturato (Q_{BA}) che a sua volta può essere composto da:
 - Consumo complessivo fatturato esportato (Q_{BAce}) composto da:
 - Consumo fatturato esportato misurato (Q_{BAem})
 - Consumo fatturato esportato non misurato (Q_{BAenm})
 - Consumo complessivo fatturato agli utenti (Q_{BAc}), composto da:
 - Consumo fatturato agli utenti misurato (Q_{BAm})
 - Consumo fatturato agli utenti non misurato (Q_{BAnm})

- Consumo autorizzato non fatturato (Q_{UA})
 - Consumo non fatturato misurato (Q_{UAm})
 - Consumo non fatturato non misurato (Q_{UAnn}).

Nel caso di CADF S.p.A. non sono presenti le tipologie di consumi Q_{BAAnn} e Q_{BAenn} che quindi non verranno considerate. Di seguito verranno esaminate le altre voci di consumo.

La quantità d'acqua esportata è composta dalle due componenti Q_{BAem} e Q_{BAenn} , ma nel caso di CADF, essendo la componente Q_{BAenn} pari a zero, la quantità di acqua esportata verso altri sistemi idrici è completamente misurata e fatturata all'altro gestore. Questa voce deriva quindi da una lettura del misuratore di portata installato nel nodo di scambio ed è pari a:

$$Q_{BAce} = 318.691 + 0 = 318.691 \text{ m}^3/\text{a}.$$

Il consumo complessivo fatturato agli utenti nel caso di CADF S.p.A., è pari alla sola componente Q_{BAm} essendo la componente Q_{BAAnn} pari a zero. Il consumo complessivo fatturato agli utenti è quindi completamente misurato e rappresenta di fatto tutta l'acqua potabile venduta (consumata) alle utenze, siano esse di tipo domestico, non domestico o ad uso pubblico.

Le quantità Q_{BAm} annualizzate, ricavate dall'ufficio utenza di CADF S.p.A., sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 6 - Volumi fatturati e annualizzati per tipologia di utenza

UTENZE DOMESTICHE RESIDENTI	5.371.768 m^3
UTENZE DOMESTICHE NON RESIDENTI	1.196.157 m^3
COMUNITA'	104.232 m^3
ATTIVITA'	2.519.958 m^3
ANTINCENDIO	21.751 m^3
ALLEVAMENTO	281.334 m^3
UTENZE COMUNALI	121.772 m^3
CONSUMO TOTALE FATTURATO ANNUALIZZATO 2017	9.616.972 m^3

Il volume fatturato complessivo è pari a:

$$Q_{BAc} = 9.616.972 + 0 = 9.616.972 \text{ m}^3.$$

Nella voce Q_{UAm} è compresa solo la quantità di acqua utilizzata per i lavaggi delle condotte che viene misurata da CADF. Questa quantità è pari a:

$$Q_{UAm} = 111.475 \text{ m}^3.$$

Il volume di acqua non fatturata e non misurata è stato quindi stimato pari al 0.5% del volume di acqua fatturato (esclusa la quantità esportata) che è $9.616.972 \text{ m}^3$.

Il valore complessivo stimato della componente Q_{UAnm} è pari a:

$$Q_{UAnm} = 48.085 \text{ m}^3$$

$$Q_{BA} = 9.616.972 + 318.691 = 9.935.663 \text{ m}^3/a$$

$$Q_{UA} = 111.475 + 48.085 = 159.560 \text{ m}^3/a$$

$$Q_A = 9.935.663 + 159.560 = 10.095.223 \text{ m}^3/a$$

4.2.3 Calcolo delle perdite di rete

Il calcolo delle perdite di rete consiste sostanzialmente nel dividere la quantità di perdite complessive Q_L , ricavate per sottrazione tra volumi immessi nel sistema e volumi in uscita dal sistema, nella tipologia perdite apparenti Q_{AL} (commerciali) e perdite reali Q_{RL} (tecniche). Le perdite tecniche vengono calcolate per differenza tra le perdite complessive e le perdite apparenti, quindi resta da quantificare solo quest'ultime. E' evidente l'importanza di una buona stima delle perdite apparenti al fine di avere una buona affidabilità del dato delle perdite reali.

Ricordiamo che le perdite apparenti sono date principalmente da:

- Consumi non autorizzati (Q_{ALuc})
- Errori di misurazione contatori e di trasferimento dati (Q_{ALem})

Verrà di seguito effettuata una stima di questi due valori ed infine calcolato il valore complessivo delle perdite apparenti Q_{AL} .

Il consumo non autorizzato, (Q_{ALuc}), come spiegato nella sezione dei metodi, è stato stimato pari all'1% del consumo fatturato che vale quindi 96.180 m^3 . Abbiamo inoltre

la necessità di valutare anche il numero di allacciamenti abusivi corrispondenti, che sono stati calcolati in base ai consumi medi ponderati sia per le utenze domestiche che non domestiche, come illustrato nella tabella seguente.

Tabella 7 - Consumo medio giornaliero per tipologia di utenza

TIPOLOGIA DI UTENZA	NUMERO UTENZE (n°)	CONSUMI (m ³ /a)	CONSUMI PER UTENZA (m ³ /a)	CONSUMI PER UTENZA (l/d)	N° MEDIO PERSONE PER UTENZA DOM. (n°)	CONSUMO MEDIO PROCAPITE (l/d)	PESO PERCENTUALE (%)	MEDIA PESATA (l/ut/d)
UTENZE DOMESTICHE RESIDENTI	40.983	5.371.768	131	359	2,3	180	59,4%	330
UTENZE DOMESTICHE NON RESIDENTI	21.675	1.196.157	55	151	2,3	76	31,4%	
COMUNITA'	124	104.232	841	2.303			0,2%	1.327
ATTIVITA'	5.267	2.519.958	478	1.311			7,6%	
ANTINCENDIO	242	21.751	90	246			0,4%	
ALLEVAMENTO	123	281.334	2.287	6.266			0,2%	
UTENZE COMUNALI	539	121.772	226	619			0,8%	
SOMMA TOTALE	68.953	9.616.972					100%	
MEDIA PESATA			139	382				

Dividendo il valore complessivo stimato in modo proporzionale tra utenze domestiche e non domestiche si ottengono i seguenti risultati:

- Numero allacciamenti abusivi domestici: 725.
- Numero di allacciamenti abusivi non domestici: 18.

Un altro dato importante è la stima delle manomissioni o by-pass dei contatori di utenze registrate, che è stata fatta estraendo dal database delle utenze attive il numero di utenze con consumi ≤ 3 m³/a.

Il risultato dell'estrazione, opportunamente organizzato per tipologia di utenza e per classi di consumi è rappresentato nel grafico seguente.

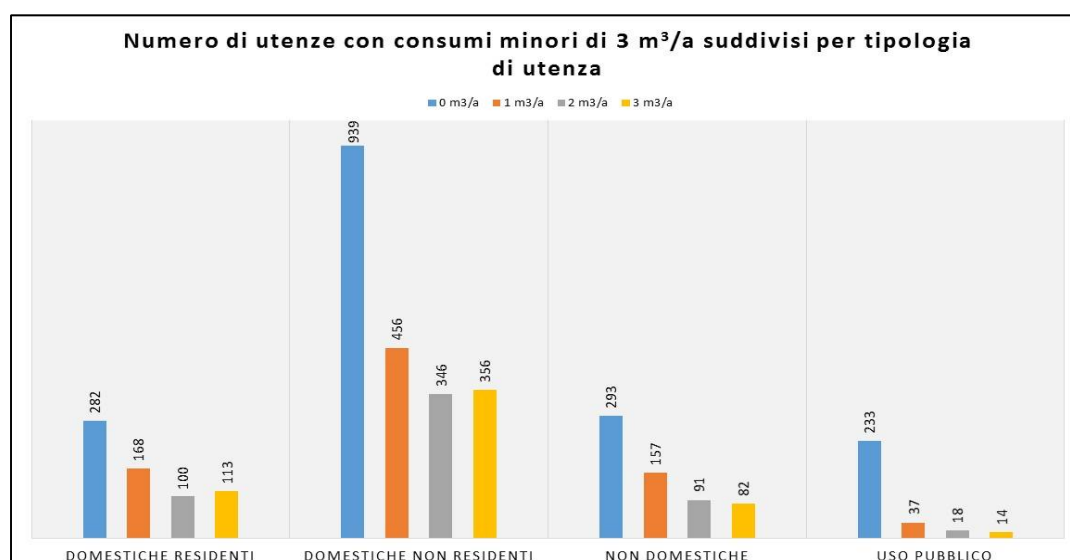


Figura 13 - Grafico del numero di utenze per classi di consumo da zero a 3 m³/a

Il numero complessivo di utenze con consumi $<$ di $3 \text{ m}^3/\text{a}$ è pari a 3685 pari al 5,3% del totale delle utenze registrate nel database clienti. La tipologia di utenza con il maggior numero di consumi $<$ di $3 \text{ m}^3/\text{a}$ è la categoria delle utenze domestiche non residenti che probabilmente è giustificabile dalla presenza di molti alloggi usati ai fini turistici quindi con aperture stagionali o comunque per periodi molto brevi se non addirittura sempre chiusi. Le categorie non domestiche sono per loro natura utenze che possono essere caratterizzate da forti discontinuità di consumi o possono in taluni casi essere attività anch'esse stagionali legate ad esempio al turismo o alle attività agricole. Le utenze di uso pubblico rappresentano invece categorie particolari di utenze che per loro natura possono godere di convenzioni contrattuali particolari (consumo fatturato pari a zero o di quantità simboliche) o possono essere caratterizzate da consumi molto bassi come ad esempio le fontanelle pubbliche o le fontane dotate di ricircolo dell'acqua.

Per tali ragioni si è deciso di concentrarci sulla categoria delle utenze domestiche residenti perché in questo caso, se è vero che in detti fabbricati risiedono stabilmente delle persone è anomalo registrare consumi così esigui se non addirittura nulli. In via cautelativa, per non rischiare una sovrastima delle manomissioni o by-pass si è deciso di considerare solo il numero delle utenze domestiche residenti con consumi pari a zero. Tale stima ammonta quindi a un numero di manomissioni o by-pass di utenze registrate pari a 282. Moltiplicando tale numero per il consumo medio giornaliero per utenza, pari a 382 l/ut*d , otteniamo un consumo annuo non autorizzato dovuto a manomissioni o by-pass pari a 39.319 m^3 .

La stima complessiva delle quantità di consumo non autorizzato ammonta quindi a:

$$Q_{ALuc} = 96.180 + 39.319 = 135.499 \text{ m}^3.$$

Per la quantificazione della sottocontazione dei contatori utenza si è fatto riferimento ai risultati di una prova in campo e presso i laboratori metrologici dello studio HR Wallingford, con sede ad Asti.

HR Wallingford è una società internazionale di ricerca e consulenza specializzata in ingegneria idraulica, civile ed ambientale, operativa dal 1947. La società, con sede principale in Inghilterra, è un centro di ricerca e consulenza riconosciuto a livello

mondiale e il suo statuto di no-profit ne garantisce i riscontri tecnici indipendenti. (HR Wallingford, 2019)

Lo studio ha in primo luogo provveduto ad effettuare una ricognizione riguardante il parco contatori in relazione alla portata e in relazione all'età.

Lo studio ha quindi provveduto ad effettuare una stima della sottocontazione volumetrica ed economica dovuta all'imprecisione dei contatori d'utenza in esercizio, focalizzando l'attenzione sui contatori di calibro DN13 $Q = 3 \text{ m}^3/\text{h}$ (tipologia installata in oltre il 90% dei casi), trascurando gli altri contatori di calibro maggiore. Tale stima si avvale di misure certificate da un ufficio metrico su un campione di contatori in esercizio appositamente smontati dal parco contatori e inviati all'ufficio metrico di Asti.

Sulla base dei test effettuati sul campione di contatori, la perdita presunta è stata statisticamente estesa all'intero parco contatori. Partendo dal considerare che il volume totale transitato sull'intero parco contatori DN 13 risulta pari a $6.251.848 \text{ m}^3$ e successivamente applicando al calcolo dei volumi persi le curve di perdita e sensibilità approssimate si ottengono i seguenti valori di volumi non misurati (sottocontazione contatori utenza):

Tabella 8 - Stima degli errori di misurazione dei contatori secondo lo studio HR Wallingford

	Volume (metri cubi)	% (su tot transitato)
Errore di misura dei contatori	164 304	2,8
prelievi sotto la soglia di sensibilità	371 562	6,4
TOTALE non misurato	535 866	9,2

Il valore di sottocontazione dei misuratori meccanici è pari mediamente al 9.2% del volume misurato (fatturato e non fatturato).

L'errore di sottocontazione del misuratore di export è stato invece considerato pari all'errore strumentale dichiarato dalla casa costruttrice ovvero pari a 0.5%.

Riepilogando quindi, gli errori di sottocontazione dei volumi misurati dai contatori installati presso gli utenti ed in generale di tutti quei consumi misurati tramite

contatori, siano essi volumi fatturati o non fatturati, sono stati quantificati nel modo seguente:

- Errore di sottocontazione contatori meccanici installati presso le utenze è pari al 9.2% del volume fatturato;
- Errore di sottocontazione contatori meccanici per misura di consumi non fatturati è pari al 9.2% del volume misurato non fatturato;
- Errore di sottocontazione contatore elettromagnetico in corrispondenza del nodo di interscambio con altri sistemi è pari a 0.5% del volume scambiato.

Traducendo le espressioni in valori numerici otteniamo rispettivamente:

- $Q_{\text{mis}} = 9.616.972 / (1 - 9.2\%) * 9.2\% = 974.407 \text{ m}^3/\text{a};$
- $Q_{\text{nmis}} = 111.475 / (1 - 9.2\%) * 9.2\% = 11.295 \text{ m}^3/\text{a};$
- $Q_{\text{exp}} = 318.691 / (1 - 0.5\%) * 0.5\% = 1.601 \text{ m}^3/\text{a};$

Il valore complessivo dei volumi persi per errori di misura così calcolato è pari a:

$$Q_{\text{ALem}} = 987.303 \text{ m}^3/\text{a}.$$

Infine non si è ritenuto necessario stimare l'errore di eventuale sottostima che può avvenire in fase di rilevamento delle letture dei contatori perché la procedura adottata dall'azienda ha un buon grado di controllo e perché si ritiene che tale errore, nel caso specifico, possa comunque avere valori irrilevanti ai fini del bilancio idrico complessivo.

Possiamo ora calcolare il valore delle perdite apparenti che è dato dalla somma di Q_{ALuc} e Q_{ALem} :

$$Q_{\text{AL}} = 135.499 + 987.303 = 1.122.802 \text{ m}^3/\text{a}.$$

Infine calcoliamo il valore delle perdite reali che è pari alla differenza tra volume immesso nel sistema e la somma tra consumi e perdite apparenti:

$$Q_{\text{RL}} = 15.979.992 - (10.095.223 + 1.122.802) = 4.761.967 \text{ m}^3/\text{a}.$$

Dai registri del settore manutenzioni e riparazioni è stato ricavato il dato del numero degli interventi di riparazione effettuati sulla rete nel 2017 che ammontano a:

- 186 interventi sulla rete di distribuzione e adduzione;
- 1485 interventi di riparazione sugli allacciamenti;
- 1671 interventi complessivi.

Volendo ripartire il valore delle perdite reali in modo proporzionale alle estensioni della rete e degli allacciamenti otteniamo che:

$$Q_{RLrete} = 530.057 \text{ m}^3/\text{a.}$$

$$Q_{RLallacciamenti} = 4.231.910 \text{ m}^3/\text{a.}$$

4.2.4 Calcolo dei parametri della rete idrica e degli allacciamenti

Le misure della rete di adduzione e distribuzione sono state ricavate dal sistema GIS aziendale che ha fornito i seguenti valori:

- Rete di adduzione: 336,20 km
- Rete di distribuzione: 1.671,80 km

Pertanto la lunghezza complessiva della rete è pari a:

$$L_N = 2.008 \text{ km}$$

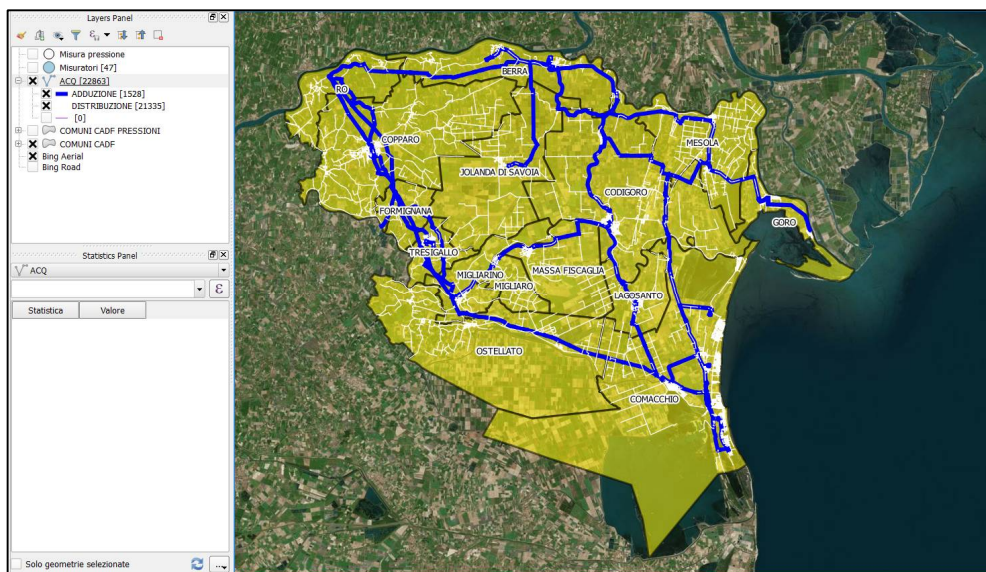


Figura 14 - Rappresentazione in Qgis del territorio servito e della rete di adduzione e distribuzione di CADF S.p.A.

Per il calcolo del valore della lunghezza totale degli allacciamenti presenti in proprietà privata (lunghezza dalla linea di confine e la posizione del contatore), è stato eseguito un campionamento su 60 allacciamenti scelti in modo casuale, per determinare un range di valori entro ai quali si presume ci sia il valore medio più probabile. Il rilievo ha dato i seguenti risultati:

Tabella 9 - Valori minimo, massimo e di deviazione standard della misura a campione delle lunghezze degli allacciamenti

$L_{\min} (m)$	1
$L_{\max} (m)$	34
$L_{\text{media}} (m)$	6,14
Deviazione standard	5,79

Il numero di estrazioni casuali necessarie nel caso specifico, assumendo un errore massimo pari al 2% della lunghezza media (L_{media}), è pari a:

$$n = (3 * 5.79 / 6.14 * 0.02)^2 \approx 20.000.$$

La stima è stata calcolata con il Metodo Monte Carlo sulla base di 20.000 valori casuali generati dal software, compresi nel range indicato e confrontati con la funzione di distribuzione normale prescelta. Il risultato della simulazione è illustrato nei due grafici seguenti.

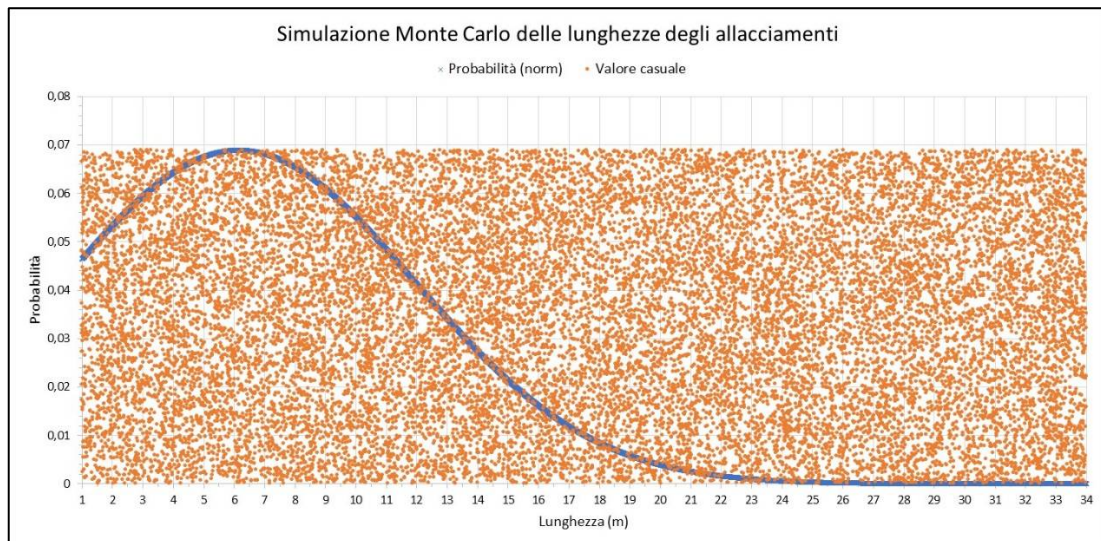


Figura 15 - Simulazione Monte Carlo con 20.000 valori casuali e funzione di distribuzione normale

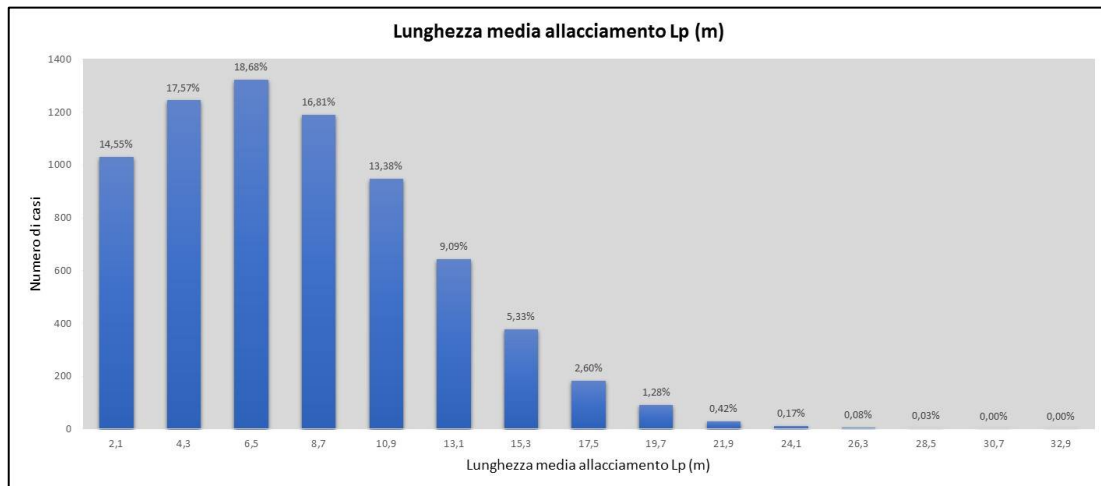


Figura 16 - Istogramma della probabilità suddivisa per classi di lunghezze medie

È stato scelto come valore più probabile della lunghezza degli allacciamenti il valore con probabilità maggiore, pertanto:

$$L_p = 6.5 \text{ m.}$$

Per valutare il numero complessivo degli allacciamenti presenti sulla rete, sono stati considerati attivi gli allacciamenti delle utenze fatturate ovvero 68.953 allacciamenti. Quelli inattivi sono stati stimati in base alla valutazione dei numeri civici presenti sul territorio, valutando per ogni comune uno stato di aggregazione dei numeri civici insistenti sul medesimo fabbricato che quindi fanno riferimento ad un allacciamento condiviso.

Il numero complessivo di allacci (N_c) presenti sulla rete risulta essere pari a 77.767. Essendo gli allacciamenti attivi (N_{ca}) 68.953, ne deriva che gli allacciamenti inattivi (N_{ci}) sulla rete sono circa 8.814 pari a circa l'11% del totale.

Tabella 10 - Stima del numero di allacciamenti dismessi per Comune servito

Nome Comune	Numero allacci attivi (n°)	Quantità di numeri civici presenti (n°)	Numeri civici senza subalterni (n°)	Numeri civici con subalterni (n°)	Stima percentuale di subalterni aggregati (%)	Stima quantità di subalterni aggregati (n°)	Stima numero complessivo allacci (n°)	Stima allacci dismessi (n°)
BERRA	2.545	3.468	2.925	543	20%	434	3.359	814
CODIGORO	6.289	9.070	6.767	2.303	50%	1.152	7.919	1.630
COMACCHIO	28.621	35.509	25.982	9.527	60%	3.811	29.793	1.172
COPPARO	8.730	10.397	7.964	2.433	50%	1.217	9.181	451
FISCAGLIA	4.765	6.865	5.762	1.103	50%	552	6.314	1.549
FORMIGNANA	1.473	1.814	1.559	255	30%	179	1.738	265
GORO	1.773	2.555	2.343	212	30%	148	2.491	718
IOLANDA DI S.	1.497	2.256	1.674	582	20%	466	2.140	643
LAGOSANTO	2.442	2.796	2.091	705	30%	494	2.585	143
MESOLA	3.492	4.177	3.592	585	30%	410	4.002	510
OSTELLATO	3.237	3.869	3.001	868	30%	608	3.609	372
RO FERRARESE	1.632	2.108	1.690	418	20%	334	2.024	392
TRESIGALLO	2.457	2.744	2.100	644	20%	515	2.615	158
Totale	68.953	87.628	67.450	20.178		10.317	77.767	8.814

Dobbiamo inoltre tener conto del numero stimato di allacciamenti abusivi che risulta essere, come sopra spiegato, pari a $725 + 18 = 743$.

Moltiplicando il valore di L_p per il numero complessivo degli allacciamenti otteniamo il valore del parametro L_p espresso in km, che è pari a:

$$L_p = (77.767 + 743) * 6.5 * 1 * 10^{-3} = 510.31 \text{ km.}$$

4.2.5 Calcolo della pressione media di esercizio

La pressione media di esercizio è stata ricavata da misure effettuate da alcuni misuratori di portata, opportunamente scelti per la loro posizione sulla rete e per la loro significatività. Per individuare i misuratori è stato utilizzato il modello idraulico aziendale, cercando di scegliere punti rappresentativi e che seguissero l'andamento del flusso di distribuzione, partendo dalle centrali di potabilizzazione (dove si registra la pressione massima), verso i punti più periferici (dove si registra la pressione minima). In totale sono stati scelti 7 punti di misura: 2 in corrispondenza delle centrali, 2 nei punti più lontani dalle centrali e 3 in nodi intermedi. I punti di misura individuati sono:

1. N_1 - Serravalle
2. N_2 - Copparo
3. N_3 - Migliarino
4. N_4 - Mesola
5. N_5 - Lidi
6. N_6 - Gorino
7. N_7 - Spina

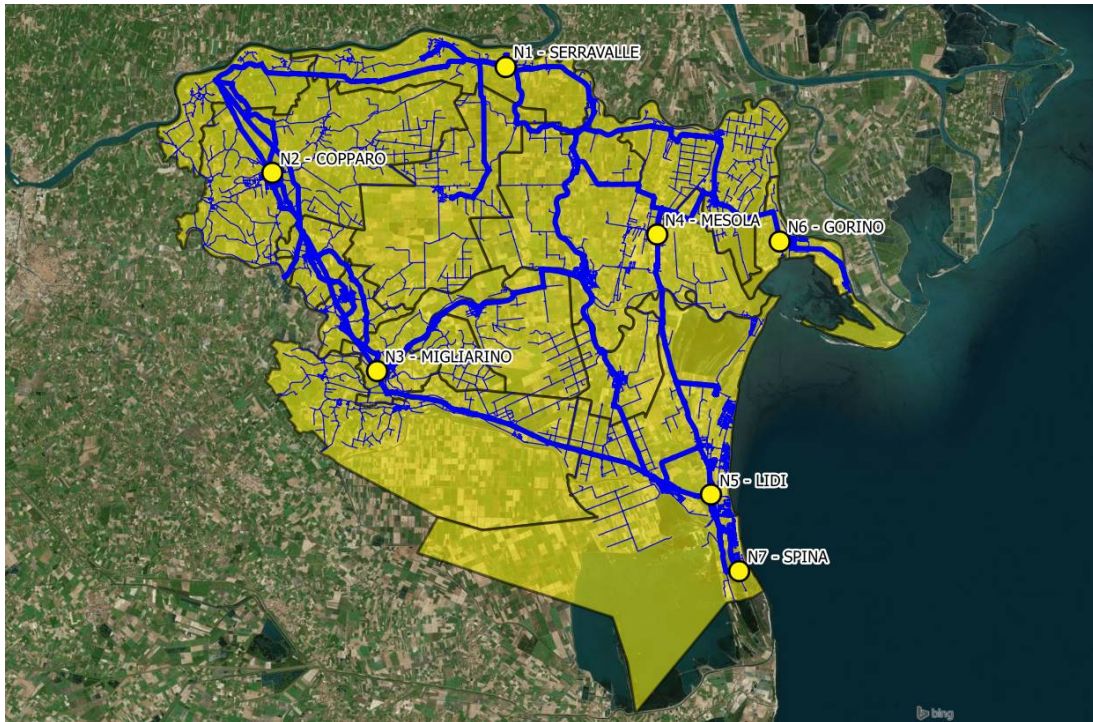


Figura 17 - Punti di misurazione pressione

Per ciascun punto di misura, per mezzo del sistema di telecontrollo e telerilevamento, sono state acquisite circa 900 misure di pressione (espresse in *bar*), registrate nel corso dell'intero anno 2017. Per ciascun nodo è stata calcolata la media mensile della pressione. Le misure rilevate in *bar* sono poi state convertite in m_{H_2O} (metri di colonna d'acqua).

Per valutare in modo più preciso le pressioni medie di esercizio, esse sono state “pesate” in base al numero di utenze servite. Per fare questa analisi è stato utilizzato il SIT dell'azienda con il quale sono state costruite 7 zone omogenee riferite ai 7 punti di rilevamento sopra descritti. Il numero complessivo di utenze è stato quindi ripartito tra le 7 zone individuate.

Dalle misurazioni ricavate dal sistema TLC sono state calcolate, per i sette punti di misura, le pressioni medie mensili rilevate in *bar* e poi trasformate in m_{H_2O} . I risultati sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 11 - Valori medi mensili della pressione, rilevati nei punti di misura e loro medie annuali per mese e per nodo, espresse sia in bar che in m_{H_2O} (Elaborazione da dati CADF S.p.A.)

2017	Serravalle	Copparo	Migliarino	Mesola	Lidi	Gorino	Spina	Media (bar)	Media (m_{H_2O})
Gennaio	4,2	2,8	2,6	3,8	3,6	2,6	2,7	3,2	32,5
Febbraio	4,2	2,8	2,4	3,8	3,5	2,6	2,7	3,1	32,1
Marzo	4,3	3,0	2,5	3,8	3,4	2,7	2,7	3,2	32,7
Aprile	4,3	2,9	2,6	3,7	3,4	2,8	2,7	3,2	32,8
Maggio	4,4	2,9	2,4	3,6	3,3	2,7	2,7	3,2	32,2
Giugno	4,4	3,1	2,5	4,1	3,7	2,6	2,4	3,3	33,2
Luglio	4,4	3,1	2,6	4,5	4,2	2,6	2,3	3,4	34,5
Agosto	4,7	3,4	2,5	4,4	4,2	2,6	2,1	3,4	34,6
Settembre	4,6	2,9	2,6	3,9	3,6	2,6	2,5	3,2	33,1
Ottobre	4,6	2,8	2,6	3,9	3,5	2,5	2,6	3,2	32,9
Novembre	4,4	2,7	2,7	3,8	3,5	2,6	2,6	3,2	32,6
Dicembre	4,4	2,7	2,6	3,8	3,5	2,7	2,6	3,2	32,5
Media (bar)	4,4	2,9	2,6	3,9	3,6	2,6	2,6		
Media (m_{H_2O})	45,0	29,9	26,0	40,0	36,9	26,9	26,0		

Nota 1: Sul nodo di Gorino i valori dei mesi di Gennaio e Febbraio non sono stati rilevati per un guasto al misuratore e i 2 valori mancanti sono stati sostituiti con i valori medi del nodo.
 Nota 2: 1 bar = 10,19784 m_{H_2O} = 10⁵ Pa.

Dalla rappresentazione grafica dei dati riportati in tabella è possibile individuare chiaramente l'andamento delle pressioni su ciascun nodo. Da notare il flesso di pressione nel nodo N_7 - Spina durante i mesi estivi, causato oltre che dal fatto che è il punto in assoluto più lontano dalle due centrali di potabilizzazione, anche dal fatto che essendo una località turistica, nei mesi estivi i consumi salgono in modo importante.

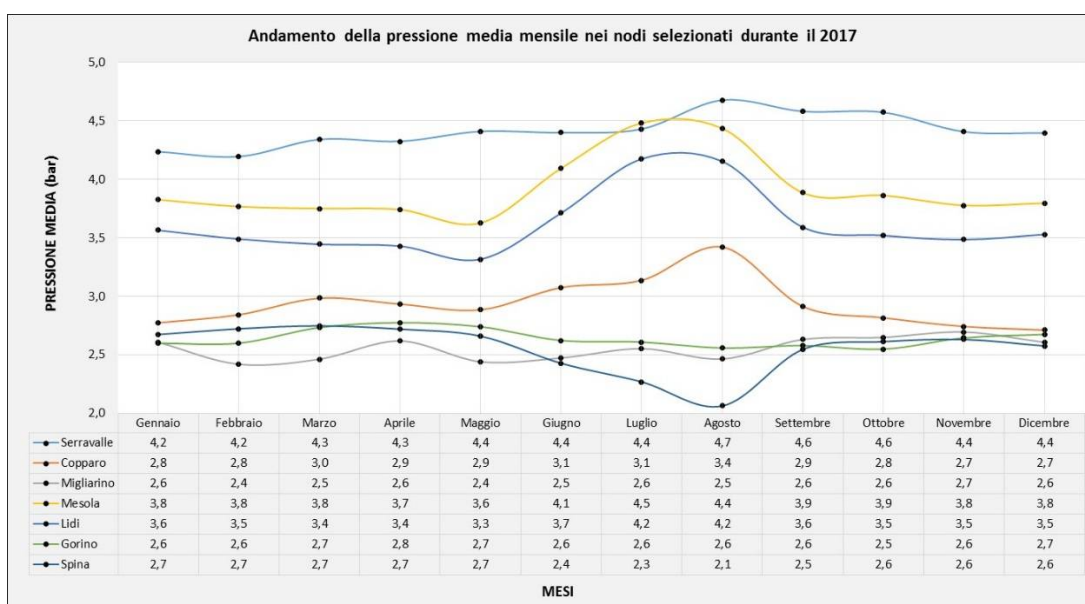


Figura 18 - Andamento della pressione media mensile, durante il 2017, per ciascun nodo di misurazione (Elaborazione da dati CADF S.p.A.)

Successivamente è stata calcolata la media mensile di tutti i 7 nodi di rilevamento. La pressione media durante l'anno passa da un minimo a Febbraio di 32.1 m_{H_2O} a 34.6 m_{H_2O} ad Agosto. L'escursione di pressione media durante l'anno è quindi di 2.5 m_{H_2O} . La pressione media annua di esercizio è quindi pari a 33.0 m_{H_2O} .

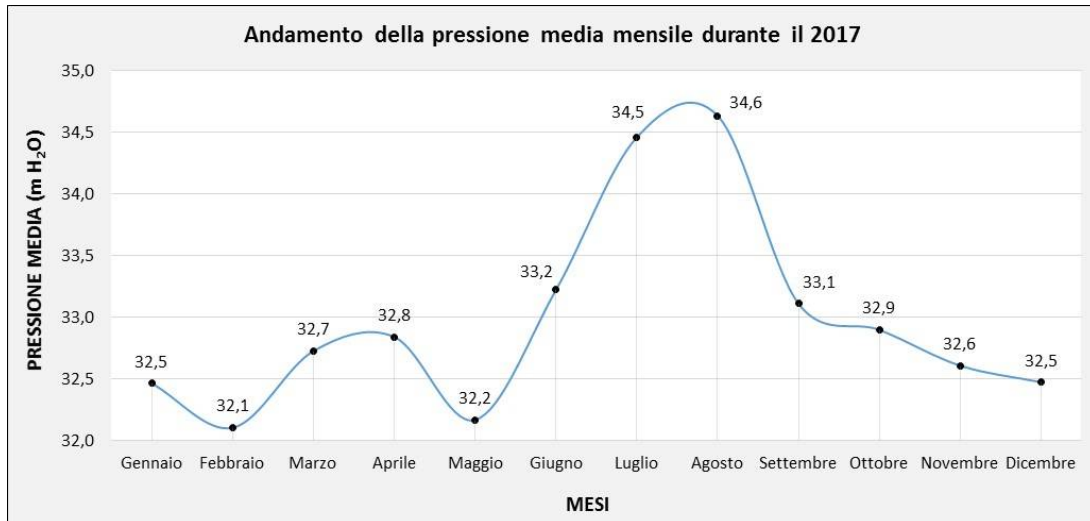


Figura 19 - Andamento della pressione media mensile durante il 2017
(Elaborazione da dati CADF S.p.A.)

La pesatura delle pressioni medie di esercizio sul numero di utenze servite è rappresentata nella tabella seguente.

Tabella 12 - Ripartizione del numero totale di utenze sui 7 punti di misura della pressione di esercizio

Comune	n° totale allacciamenti per Comune	Serravalle	Copparo	Migliarino	Mesola	Lidi	Gorino	Spina
Berra	2545	2545						
Codigoro	6289			6289				
Copparo	8730		8730					
Comacchio	28621					23621		5000
Fiscaglia	4765			4765				
Formignana	1473		1473					
Goro	1773						1773	
Jolanda di Savoia	1497	1497						
Lagosanto	2442					2442		
Mesola	3492				3492			
Ostellato	3237			3237				
Ro Ferrarese	1632		1632					
Tresigallo	2457		2457					
Totale	68953	4042	14292	14291	3492	26063	1773	5000

Per la determinazione della pressione media di esercizio viene calcolata la media pesata delle pressioni rilevate in ciascun nodo messe in relazione con il corrispondente numero di utenze attribuite. Il risultato è pari a:

$$P_A = 32.8 \text{ m}_{H_2O}.$$

4.2.6 Calcolo parametri finanziari

Il prezzo medio di vendita dell'acqua potabile, ovvero la tariffa media (TAR) per il 2017 è stato calcolato facendo la media delle tariffe medie applicate alle diverse tipologie di utenza. Il valore medio è:

$$TAR = 1.52 \text{ €/m}^3$$

Tabella 13 - Determinazione del prezzo medio di vendita nel 2017

Tipo di utenza	N° di utenze	Quantità fatturata (m ³)	Importo fatturato (€)	Tariffa media (€/m ³)
Utenze domestiche residenti	40.983	5.371.768	€ 7.957.548,35	€ 1,48
Utenze domestiche non residenti	21.675	1.196.157	€ 1.607.037,70	€ 1,34
Utenze di comunità	124	104.232	€ 159.834,45	€ 1,53
Utenze non domestiche	5.267	2.519.958	€ 4.632.834,91	€ 1,84
Utenze per antincendio	242	21.751	€ 51.773,89	€ 2,38
Utenze per allevamenti	123	281.334	€ 213.751,75	€ 0,76
Utenze delle amministrazioni comunali	539	121.772	€ 161.528,61	€ 1,33
TARIFFA MEDIA				€ 1,52

Il costo complessivo annuo di gestione della rete acquedottista gestita da CADF nell'anno 2017, che è dato dalla somma di OPEX (costi operativi) e CAPEX (costi in conto capitale) è stato di €22.331.728 dei quali il CAPEX valeva €4.838.865 e l'OPEX valeva €17.492.863.

Il costo unitario della produzione vale quindi:

$$C_P = (4.838.865,25 + 17.492.863,08) / 15.979.992 = 1.397 \text{ €/m}^3.$$

Il costo marginale per l'anno 2017, calcolato considerando le voci di costo riportate nella tabella seguente, che riguardano la produzione di acqua potabile è pari a:

$$C_{\text{mar}} = 0.222 \text{ €/m}^3.$$

Tabella 14 - Determinazione del costo marginale nel 2017

Costi diretti legati alla produzione acqua potabile – Anno 2017	Importi
Energia elettrica centrali	€ 2.068.743,35
Energia elettrica sollevamenti	€ 344.990,32
Acido cloridrico	€ 25.631,48
Clorito di sodio	€ 194.728,90
Ipoclorito di sodio	€ 426.610,82
Policloruro	€ 155.609,83
Polielettrolita	€ 13.835,06
Smaltimento fanghi	€ 243.825,68
TOTALE	€ 3.473.975,44
Quantità di acqua potabilizzata (m³)	15.655.857
Costo marginale (€/ m³)	€ 0,222

4.2.7 Calcolo del bilancio idrico

Tutti i dati calcolati nei paragrafi precedenti sono stati raggruppati e rappresentati nello schema di bilancio idrico proposto da IWA, leggermente modificato, che riporta tutti i simboli delle diverse componenti del bilancio idrico utilizzate nella presente tesi.

Il risultato più importante del bilancio idrico è il valore delle perdite reali (Q_{RL}) che vale:

$$Q_{RL} = 4.761.967 \text{ m}^3/\text{a}.$$

BILANCIO IDRICO CADF ANNO 2017 SUL MODELLO IWA 2016 MODIFICATO (tutti i dati sono in m ³ /a)							
VOLUME PRELEVATO DALL'AMBIENTE (Q _A)	VOLUME IMMESSO NEL SISTEMA (Q _I)	CONSUMI AUTORIZZATI (Q _A)	CONSUMO AUTORIZZATO FATTURATO (Q _{BA})	CONSUMO COMPLESSIVO FATTURATO ESPORTATO (Q _{BAce})	CONSUMO FATTURATO ESPORTATO MISURATO (Q _{BAem})	ACQUA CHE DA' REDDITO (Q _{BA})	ACQUA ESPORTATA (Q _{BAce})
			9.935.663	318.691	318.691		318.691
15.655.857		10.095.223	CONSUMO AUTORIZZATO NON FATTURATO (Q _{UA})	CONSUMO COMPLESSIVO FATTURATO A UTENTI (Q _{BAc})	CONSUMO FATTURATO A CLIENTI MISURATO (Q _{BAm})	9.935.663	
			159.560	9.616.972	9.616.972		
VOLUME IMPORTATO DA ALTRI SISTEMI (Q _M)	15.979.992	PERDITE (Q _L)	CONSUMO AUTORIZZATO NON FATTURATO (Q _{UA})	CONSUMO NON FATTURATO MISURATO (Q _{UAm})	CONSUMO FATTURATO A CLIENTI NON MISURATO (Q _{BAnm})	ACQUA CHE NON DA' REDDITO (NRW)	ACQUA FORNITA
			1.122.802	111.475	0		
324.135	5.884.769	PERDITE REALI (Q _{RL})	CONSUMI NON AUTORIZZATI (Q _{ALuc})	CONSUMO NON FATTURATO NON MISURATO (Q _{UAnm})	0	6.044.329	15.661.301
			4.761.967	48.085	0		
			PERDITE APPARENTI (COMMERCIALI) (Q _{AL})	ERRORI CONTATORI UTENTI (Q _{ALem})			
				ERRORI DI STIMA CONSUMI NON MISURATI			
				ERRORI AQUISIZIONE DATI			
				PERDITE SULLA RETE DI DISTRIBUZIONE			
				PERDITE NEI SERBATOI			
				PERDITE SU ALLACCIAMENTI			

Figura 20 - Bilancio idrico di CADF S.p.A. secondo il modello IWA modificato

4.2.8 Calcolo dei valori di incertezza del bilancio idrico

Tutte le variabili considerate nel bilancio idrico sono tutte affette da un grado di incertezza essendo tutte grandezze misurate o stimate. Pertanto per ciascuna di esse è stato valutato una percentuale di incertezza.

L'assegnazione del grado di incertezza ed i risultati dei calcoli della propagazione dell'incertezza sono riportati nella tabella seguente, ove per ciascuna variabile, oltre al grado di incertezza, vengono anche indicati i valori arrotondati alla prima cifra significativa sia del valore della variabile che del valore dell'incertezza corrispondente. Le righe evidenziate indicano le variabili dipendenti.

Tabella 15 - Calcolo propagazione incertezza nelle variabili

SIGLA INDICATORE ILI	SIGLA INDICATORE M1	UNITA' DI MISURA	VALORE	GRADO DI INCERTEZZA (± %)	ERRORE RELATIVO (ε _r)	INCERTEZZA (I)	VALORE ARROTONDATO	INCERTEZZA ARROTONDATA	DEV. STD. NORMALE (σ)	VARIANZA (V)
Q _{BAem}		m ³ /a	318.691	0,5%	1,57E-08	1.593	319.000	2.000	813	6,61E+05
Q _{BAenm}		m ³ /a	0	0,5%						
Q _{BACE}		m ³ /a	318.691	0,5%	1,57E-08	1.593	319.000	2.000	813	6,61E+05
Q _{BAm}		m ³ /a	9.616.972	5%	5,20E-09	480.849	9.600.000	500.000	245.331	6,02E+10
Q _{BAnm}		m ³ /a	0	20%						
Q _{BAC}		m ³ /a	9.616.972	5%	5,20E-09	480.849	9.600.000	500.000	245.331	6,02E+10
Q _{BA}		m ³ /a	9.935.663	4,8%	4,87E-09	480.851	9.900.000	500.000	245.332	6,02E+10
Q _{UAm}		m ³ /a	111.475	0,5%	4,49E-08	557	111.500	600	284	8,09E+04
Q _{UANm}		m ³ /a	48.085	20%	4,16E-06	9.617	50.000	10.000	4.907	2,41E+07
Q _{UA}		m ³ /a	159.560	6%	3,78E-07	9.633	160.000	10.000	4.915	2,42E+07
Q _A	W ^a _{OUT}	m ³ /a	10.095.223	5%	4,72E-09	480.948	10.100.000	500.000	245.381	6,02E+10
Q _{IA}		m ³ /a	15.655.857	0,5%	3,19E-10	78.279	15.660.000	80.000	39.938	1,60E+09
Q _{IM}		m ³ /a	324.135	0,5%	1,54E-08	1.621	324.000	2.000	827	6,84E+05
Q _I	W ^a _{IN}	m ³ /a	15.979.992	0,5%	3,07E-10	78.296	15.980.000	80.000	39.947	1,60E+09
Q _L	WL ^a _{TOT}	m ³ /a	5.884.769	8%	1,41E-08	487.279	5.900.000	500.000	248.612	6,18E+10
A _{id}		n°	/25	20%	2,76E-04	145	700	100	/4	5,47E+03
A _v		n°	18	20%	1,11E-02	4	20	4	2	3,37E+00
A _{lm}		n°	282	20%	7,09E-04	56	280	60	29	8,28E+02
N _{pers}		n°	2,3	0,1%	4,35E-04	0,002	2,300	0,002	0,001	1,38E-06
Q _{pers}	l/d/p		143,7	0,1%	6,96E-06	0,1	143,7	0,1	0,1	5,38E-03
Q _{and}	l/d/al		1327	0,1%	7,54E-07	1	1.327	1	1	4,58E-01
Q _{all}	l/d/al		382	0,1%	2,62E-06	0,4	382,0	0,4	0,2	3,80E-02
Q _{ad}	m ³ /a		87.461	0,03%	2,99E-09	23	87.460	20	12	1,37E+02
Q _{and}	m ³ /a		8.718	0,4%	4,65E-07	35	8.720	40	18	3,25E+02
Q _{man}	m ³ /a		39.319	0,03%	6,61E-09	10	39.320	10	5	2,72E+01
Q _{ALuc}	m ³ /a		135.499	0,03%	2,36E-09	43	135.500	40	22	4,89E+02
E _{mis}		%	9,2%							
Q _{mis}	m ³ /a		974.407	5%	5,13E-08	48.720	970.000	50.000	24.857	6,18E+08
E _{nmis}		%	9,2%							
Q _{nmis}	m ³ /a		11.295	0,5%	4,43E-07	56	11.300	60	29	8,30E+02
E _{exp}		%	0,5%							
Q _{exp}	m ³ /a		1.601	0,5%	3,12E-06	8	1.600	8	4	1,67E+01
Q _{ALem}	m ³ /a		987.303	5%	5,00E-08	48.720	990.000	50.000	24.857	6,18E+08
Q _{AL}	m ³ /a		1.122.802	4%	3,86E-08	48.720	1.120.000	50.000	24.857	6,18E+08
Q _{RL}	m ³ /a		4.761.967	10%	2,16E-08	489.709	4.800.000	500.000	249.851	6,24E+10

Da notare che le variabili E_{mis}, E_{nmis} e E_{exp}, in realtà non sono “errori” nell’accezione della “Teoria degli Errori Sperimentali”, ma li chiamiamo tali perché rappresentano valori di sottostima delle misurazioni dei contatori. Ma come tali, per la “Teoria degli Errori” sono grandezze fisiche primarie, non errori. Quindi alle grandezze da essi

derivate, Q_{mis} , Q_{nmis} e Q_{exp} , è stato applicato l'errore relativo della misura alla quale la sottostima si riferisce.

Il bilancio idrico può quindi essere illustrato tenendo conto del grado di incertezza calcolata per le sue componenti principali utilizzando la stessa struttura utilizzata nel paragrafo precedente.

BILANCIO IDRICO CADF ANNO 2017 SUL MODELLO IWA 2016 MODIFICATO CON INCERTEZZE (tutti i dati sono in m ³ /a)							
VOLUME PRELEVATO DALL'AMBIENTE (Q_{jA})	VOLUME IMMESSO NEL SISTEMA (Q_i)	CONSUMI AUTORIZZATI (Q_A)	CONSUMO AUTORIZZATO FATTURATO (Q_{BA})	CONSUMO COMPLESSIVO FATTURATO ESPORTATO (Q_{BAce})	CONSUMO FATTURATO ESPORTATO MISURATO (Q_{BAem})	ACQUA CHE DA' REDDITO (Q_{BA})	ACQUA ESPORTATA (Q_{BAce})
			9.900.000 ± 500.000 (4,8%)	319.000 ± 2.000 (0,5%)	319.000 ± 2.000 (0,5%)		319.000 ± 2.000 (0,5%)
15.660.000 ± 80.000 (0,5%)	15.980.000 ± 80.000 (0,5%)	10.100.000 ± 500.000 (5%)	CONSUMO COMPLESSIVO FATTURATO A UTENTI (Q_{BAc})	CONSUMO FATTURATO A CLIENTI MISURATO (Q_{BAm})	CONSUMO FATTURATO ESPORTATO NON MISURATO (Q_{BAenm})	± 400.000 (4,8%)	
			9.600.000 ± 500.000 (5%)	9.600.000 ± 500.000 (5%)	0		
			CONSUMO AUTORIZZATO NON FATTURATO (Q_{UA})	CONSUMO NON FATTURATO MISURATO (Q_{UAm})	CONSUMO NON FATTURATO NON MISURATO (Q_{UAnm})	ACQUA CHE NON DA' REDDITO (NRW)	ACQUA FORNITA
			160.000 ± 10.000 (6%)	111.500 ± 600 (0,5%)	50.000 ± 10.000 (20%)		
VOLUMI IMPORTATO DA ALTRI SISTEMI (Q_{im})		PERDITE (Q_L)	PERDITE APPARENTI (COMMERCIALI) (Q_{AL})	CONSUMI NON AUTORIZZATI (Q_{ALuc})	ERRORI CONTATORI UTENTI (Q_{ALem})	6.000.000 ± 500.000 (8%)	15.700.000 ± 500.000 (0,5%)
			1.120.000 ± 50.000 (4%)	135.500 ± 40 (0,03%)	990.000 ± 50.000 (5%)		
324.000 ± 2.000 (0,5%)		5.900.000 ± 500.000 (8%)	PERDITE REALI (Q_{RL})	ERRORI DI STIMA CONSUMI NON MISURATI	ERRORI ACQUISIZIONE DATI		
			4.800.000 ± 500.000 (10%)	0	0		
			PERDITE SULLA RETE DI DISTRIBUZIONE	PERDITE NEI SERBATOI	PERDITE SU ALLACCIAMENTI		
			534.000 ± 6.000 (1%)	0	4.300.000 ± 400.000 (9%)		

Figura 21 - Bilancio idrico con indicazione del valore delle incertezze calcolate

La risultanza più importante del bilancio idrico, rappresentata dal valore delle perdite tecniche (o reali), è quindi affetto da un grado di incertezza pari a $\pm 10\%$ pari a $\pm 500.000 \text{ m}^3/\text{a}$.

In genere l'intervallo di incertezza per le perdite reali si assesta tra $\pm 20\%$ a $\pm 35\%$ (Lambert and McKenzie, 2002). È quindi possibile affermare che nel caso di CADF i dati raccolti hanno un buon grado di attendibilità.

4.3 Calcolo indicatore ILI

Per il calcolo dell'ILI è necessario prima calcolare il CARL e l'UARL. Il CARL è il valore delle perdite reali espresse in litri per giorno con sistema in pressione:

$$\text{CARL} = (4.761.967 * 10^3) / 365 = 13.046.485 \text{ l}/d_{\text{wps}}$$

L'UARL rappresenta le cosiddette perdite inevitabili e tiene conto di fattori locali dell'infrastruttura di rete gestita. L'UARL è pari a:

$$\text{UARL} = (18 * 2.008 + 0.80 * 78.510 + 25 * 510,315) * 32,783 = 3.662.196 \text{ l}/d_{\text{wps}}$$

L'ILI è dato dal rapporto tra CARL e UARL ed è uguale a:

$$\text{ILI} = 13.046.485 / 3.662.196 = 3,562.$$

Il valore trovato può essere classificato secondo la tabella elaborata dalla Banca Mondiale nel 2005.

Developed Countries	BAND	Calculated ILI for this System	General description of Real Loss Management Performance Categories for Developed and Developing Countries
ILI range			
Less than 2	A		Further loss reduction may be uneconomic unless there are shortages; careful analysis needed to identify cost-effective improvement
2 to < 4	B	3,562	Potential for marked improvements; consider pressure management, better active leakage control practices, and better network maintenance
4 to < 8	C		Poor leakage record; tolerable only if water is plentiful and cheap; even then, analyze level and nature of leakage and intensify leakage reduction efforts
8 or more	D		Very inefficient use of resources; leakage reduction programs imperative and high priority

Figura 22 – Performance di CADF secondo la classificazione dell'ILI adottata dalla Banca Mondiale nel 2005. (Lambert et al., 2014)

Inoltre il valore dell'ILI trovato può essere confrontato con altri data set rilevati a livello Europeo dall'IWA.

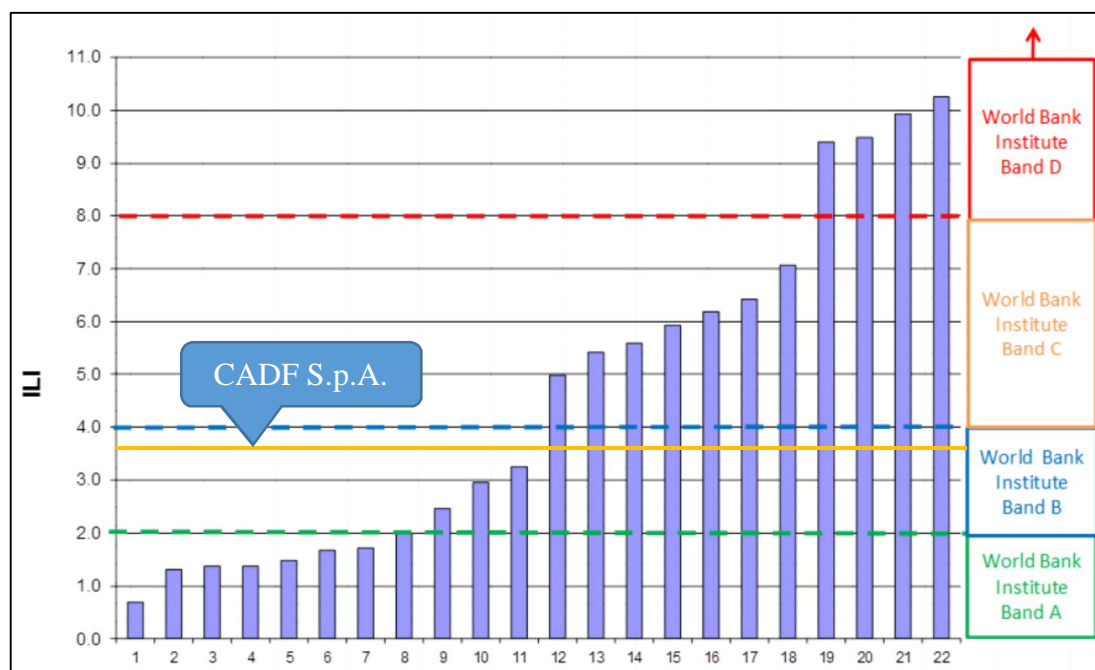


Figura 23 - Data set di 22 ILI di 12 Paesi Europei, 2005 (Lambert et al., 2014)

A livello nazionale, nel 2008 l'ing. Marco Fantozzi, membro del gruppo di specialisti dell'IWA, ha raccolto una serie di dati di 67 ILI in parte validati, in Piemonte, Emilia Romagna e Toscana, che vanno da 1,5 a 16 (mediana 5.0) (Lambert et al., 2014).

Paesi Sviluppati	BANDA	Numero di sistemi in ogni banda					Descrizione generale delle categorie di performance nella gestione delle perdite reali per Paesi Sviluppati e in via di sviluppo
		Inghilterra e Galles 2003	Europa 2005	Italia 2008	Nord America 2011	Australia 2011	
ILI range							
< 2	A	7	7	7	6	43	Ulteriori riduzioni delle perdite possono non essere economici a meno di carenza idrica; è necessaria un'analisi dettagliata per identificare miglioramenti cost-effective
Tra 2 e 4	B	13	3	15	11	7	Potenziale per significativi miglioramenti; considerare la gestione della pressione, migliori modalità per il controllo attivo della pressione e migliore manutenzione della rete
Tra 4 e 8	C	2	7	32	2	2	Scarsa gestione delle perdite; tollerabile solo se l'acqua è abbondante e poco costosa. Comunque analizzare il livello e la natura delle perdite e intensificare gli sforzi per la riduzione delle perdite
8 o più	D	0	4	13	2	0	Uso molto inefficiente della risorsa; programmi di riduzione delle perdite sono imperativi e rappresentano una priorità assoluta
Totale sistemi		22	21	67	21	52	

Figura 24 - Confronto dei data set italiani dell'ILI con altri paesi del Mondo (Fantozzi, 2012)

4.4 Analisi di sensitività

Per completare lo studio dei due indicatori è stata fatta un'analisi di sensitività locale, utilizzando il metodo standard OAT (*one factor at a time*), rispetto a valori di riferimento (*baseline*), che in questo caso sono le risultanze dei calcoli dei due indicatori.

Sono quindi stati considerati i valori di *baseline* di tutte le variabili indipendenti e si è ipotizzato una loro variazione di +1% al fine di valutare gli effetti di tale cambiamento sulle variabili dipendenti, in particolare sull'ILI e l' M_{1a}^a e M_{1b}^a . Si è quindi fatto variare una alla volta ogni variabile indipendente, lasciando invariate tutte le altre e per ciascuno *step* è stata valutata la sensitività dei due indicatori alla variazione di ciascuna variabile indipendente.

Nella tabella seguente sono illustrate tutte le variabili indipendenti considerate nell'analisi con la loro denominazione, unità di misura, valore di baseline e grado di incertezza stimato (ove presente).

Tabella 16 - Variabili indipendenti con valori della baseline e relativo grado di incertezza stimato

DESCRIZIONE VARIABILE	NOME VARIABILE	UNITA' DI MISURA	VALORE	GRADO DI INCERTEZZA (\pm %)
CONSUMO FATTURATO ESPORTATO MISURATO	Q_{BAem}	m^3/a	318.691	0,5%
CONSUMO FATTURATO ESPORTATO NON MISURATO	Q_{BAenm}	m^3/a	0	0,5%
CONSUMO FATTURATO A CLIENTI MISURATO	Q_{BAm}	m^3/a	9.616.972	5%
CONSUMO FATTURATO A CLIENTI NON MISURATO	Q_{BANm}	m^3/a	0	20%
CONSUMO NON FATTURATO MISURATO	Q_{UAm}	m^3/a	111.475	0,5%
CONSUMO NON FATTURATO NON MISURATO	Q_{UANm}	m^3/a	48.085	20%
VOLUME PRELEVATO DALL'AMBIENTE	Q_{IA}	m^3/a	15.655.857	0,5%
VOLUME IMPORTATO DA ALTRI SISTEMI	Q_{IM}	m^3/a	324.135	0,5%
N° ALLACCI ABUSIVI DOMESTICI	A_{Ld}	n°	725	20%
N° ALLACCI ABUSIVI - ALTRI TIPI	A_{Lv}	n°	18	20%
N° MANOMISSIONI SU UTENZE REGISTRATE	A_{Lm}	n°	282	20%
N° PERSONE MEDIE PER UTENZA DOMESTICA	N_{pers}	n°	2,3	0,1%
CONSUMO MEDIO PROCAPITE	Q_{pers}	$l/d/p$	143,7	0,1%
CONSUMO MEDIO ALLACCIMAMENTO NON DOMESTICO	Q_{and}	$l/d/al$	1327	0,1%
CONSUMO MEDIO CLIENTE GIORNO	Q_{all}	$l/d/al$	382	0,1%
ERRORE DI SOTTOSTIMA MISURATORI UTENZA	E_{mis}	%	9,2%	
ERRORE DI SOTTOSTIMA MISURATO NON FATTURATO	E_{nmis}	%	9,2%	
ERRORE DI SOTTOSTIMA MISURATO NON ESPORTATO	E_{exp}	%	0,5%	
NUMERO DI GIORNI CON SISTEMA IN PRESSIONE	N_{dwp}	d	365	
NUMERO CONNESSIONI ATTIVE	N_{Ca}	n°	68.953	0,01%
NUMERO CONNESSIONI NON ATTIVE	N_{Ci}	n°	8.814	20%
LUNGHEZZA MEDIA CONNESSIONE PRIVATA	L_c	m	6,50	20%
NUMERO ALLACCI ILLEGALI	A_{Li}	n°	743	20%
1 - PRESSIONE MEDIA NODO DI SERRVALLE	P_{A1}	m_{H2O}	45,02	0,5%
2 - PRESSIONE MEDIA NODO DI COPPARO	P_{A2}	m_{H2O}	29,94	0,5%
3 - PRESSIONE MEDIA NODO DI MIGLIARINO	P_{A3}	m_{H2O}	26,02	0,5%
4 - PRESSIONE MEDIA NODO MESOLA	P_{A4}	m_{H2O}	39,98	0,5%
5 - PRESSIONE MEDIA NODO LIDI	P_{A5}	m_{H2O}	36,89	0,5%
6 - PRESSIONE MEDIA NODO GORINO	P_{A6}	m_{H2O}	26,90	0,5%
7 - PRESSIONE MEDIA NODO SPINA	P_{A7}	m_{H2O}	26,00	0,5%
1 - UTENZE NODO DI SERRVALLE	U_1	n°	4.042	10%
2 - UTENZE NODO DI COPPARO	U_2	n°	14.292	10%
3 - UTENZE NODO DI MIGLIARINO	U_3	n°	14.291	10%
4 - UTENZE NODO MESOLA	U_4	n°	3.492	10%
5 - UTENZE NODO LIDI	U_5	n°	26.063	10%
6 - UTENZE NODO GORINO	U_6	n°	1.773	10%
7 - UTENZE NODO SPINA	U_7	n°	5.000	10%
COSTI IN CONTO CAPITALE	CAPEX	$\text{€}/a$	4.838.865	
COSTI OPERATIVI	OPEX	$\text{€}/a$	17.492.863	
TARIFFA MEDIA	TAR	$\text{€}/m^3$	1,52	
COSTO MARGINALE	C_{mar}	$\text{€}/m^3$	0,22	
COSTO PER LA RICERCA ATTIVA DELLE FUGHE	C_{ALC}	$\text{€}/m^3$	0,00	

Partendo dai valori di *baseline* ogni variabile indipendente è stata fatta variare del +1% per valutare cosa succede al risultato finale. I nuovi valori ottenuti sono poi stati divisi per i relativi valori di *baseline* al fine di calcolare il tasso di variazione percentuale rispetto alla *baseline* stessa. I risultati sono rappresentati nei grafici seguenti che

raffigurano solo le variabili indipendenti che sono risultate sensibili (valori fino alla quinta cifra decimale).

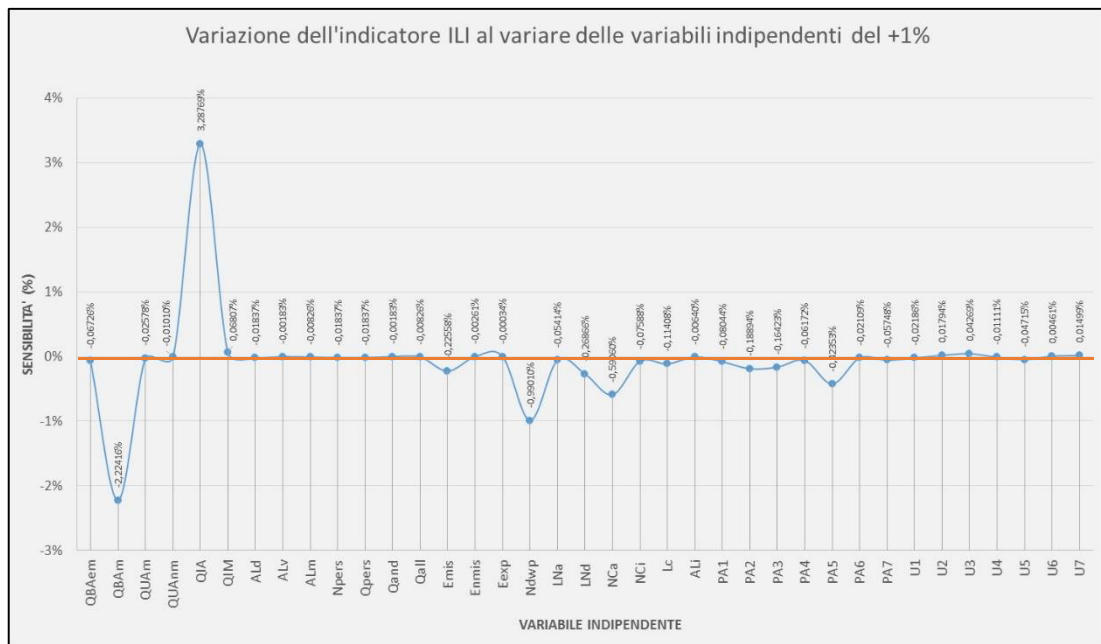


Figura 25 - Grafico dell'analisi di sensitività dell'indicatore ILI

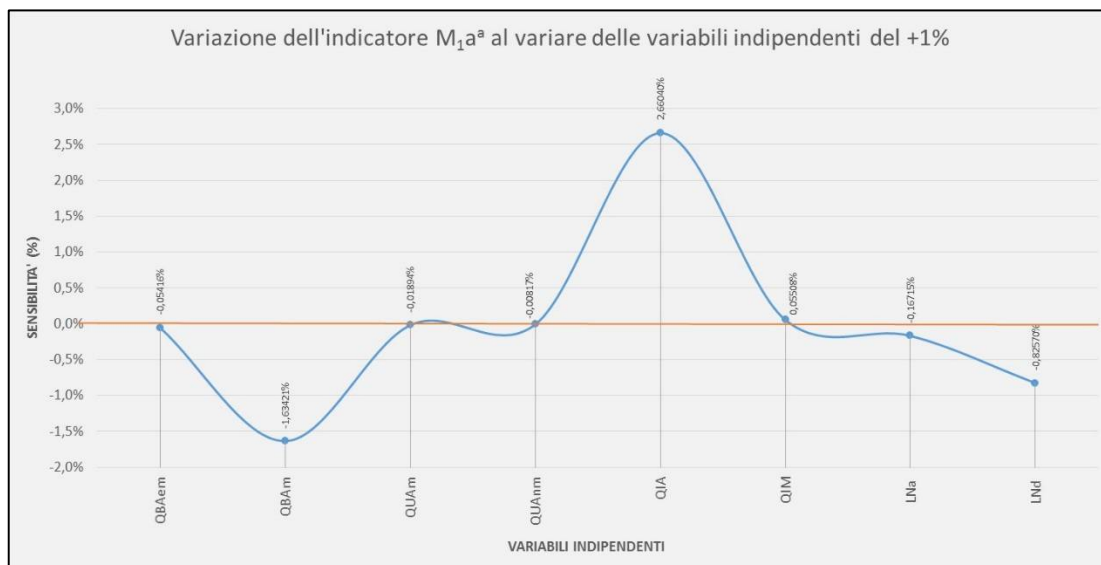


Figura 26 - Grafico dell'analisi di sensitività dell'indicatore M1a

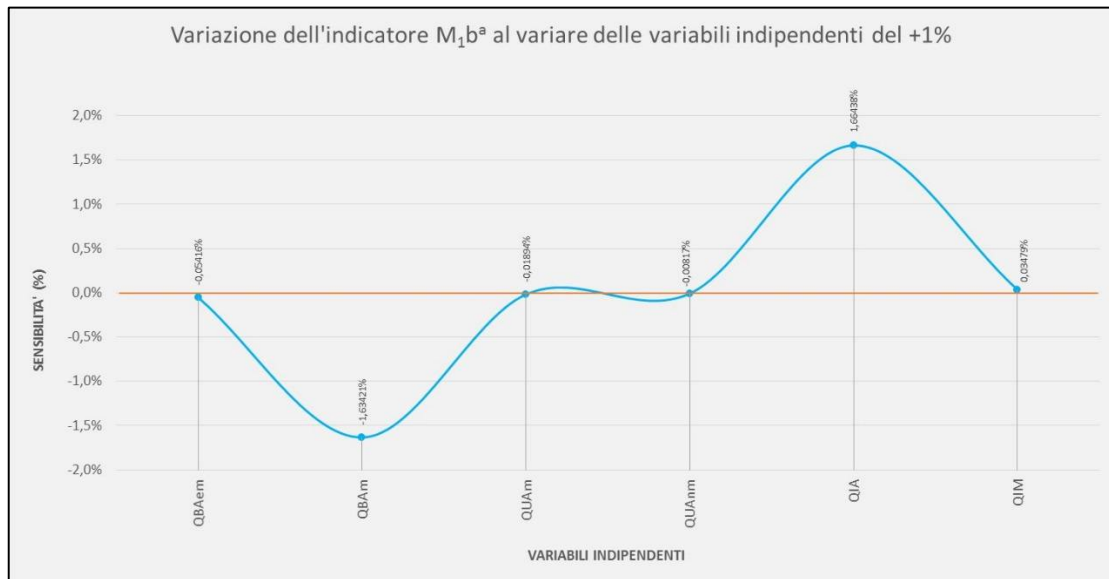


Figura 27 - Grafico dell'analisi di sensitività dell'indicatore M_{1b}^a

Dalle risultanze dell'analisi di sensitività si evince innanzitutto la sostanziale differenza in termini di numero di parametri considerati per il calcolo dei due indicatori. L'ILI è sensibile a 37 variabili indipendenti, mentre M_{1a}^a a 8 e M_{1b}^a a solamente 6. Tutti gli indicatori sono maggiormente sensibili alle quantità fatturate (sensibilità negativa) e ai volumi immessi nel sistema (sensibilità positiva).

Nell'ILI, grazie al maggior dettaglio, è possibile apprezzare anche come vi siano altri parametri sensibili negativamente (che quindi fanno abbassare gli indicatori), come ad esempio le pressioni di esercizio, i giorni in cui il sistema è in pressione, gli errori di misurazione, il numero degli allacciamenti e altri.

Il gestore dovrà quindi prestare molta attenzione a questi parametri e potrà agire su di essi per operare azioni correttive che portino come risultato finale l'abbassamento degli indicatori e di conseguenza una miglior performance in termini di riduzione delle perdite idriche.

5 Discussione

È ormai convinzione consolidata che le risorse idriche in generale e a maggior ragione quelle riservate all'uso umano siano da tutelare e preservare.

In tale ottica è compito dei gestori delle reti acquedottistiche cercare di migliorare le performance delle proprie infrastrutture al fine di limitare il più possibile le perdite idriche.

Il tema delle perdite idriche è un argomento complesso e ad alto impatto economico, sociale ed ambientale e per tali ragioni merita di essere affrontato con attenzione, utilizzando le *best practice* di settore oggi presenti a livello internazionale.

I gestori delle reti acquedottistiche devono inoltre sottostare a regolamentazioni e controlli a livello nazionale che ne valutano le performance e ne indicano gli obiettivi di miglioramento. In Italia tali funzioni vengono svolte da ARERA.

In tale scenario nella presente tesi, partendo da un caso studio reale, sono stati calcolati i due indicatori M1, imposto dall'autorità nazionale e l'indicatore ILI scelto come indicatore di confronto.

I due indicatori sono notevolmente diversi tra loro e per tale ragione si riporta di seguito una tabella riassuntiva delle principali differenze riscontrate, raggruppandole nelle seguenti 4 categorie:

- Struttura dell'indicatore;
- Modalità di implementazione e utilizzo;
- Risultati ottenuti;
- Divulgazione dei risultati.

Tabella 17 - Confronto tra l'indicatore ILI e M1

CLASSE	DESCRIZIONE	ILI	M1	
			M1a	M1b
STRUTTURA DELL'INDICATORE	N° di parametri richiesti per il calcolo dell'indicatore	39	3	2
	Sono considerati i volumi in input e output?	SI	SI	SI
	È considerata la lunghezza della rete?	SI	SI	NO
	È considerata la lunghezza degli allacciamenti?	SI	NO	NO
	È considerato il numero degli allacciamenti?	SI	NO	NO
	È considerata la pressione media di esercizio?	SI	NO	NO
	È considerato il n° di giorni con il sistema in pressione?	SI	NO	NO
	Distingue le diverse tipologie di perdite?	SI	NO	NO
	Prevede il calcolo delle perdite apparenti?	SI	NO	NO
	Tiene in considerazione le perdite inevitabili?	SI	NO	NO
	Valuta il grado di errore nei dati?	SI	NO	NO
	Analizza aspetti economici del problema?	SI	NO	NO
	Quante variabili sono risultate sensibili? (*)	37	8	6
IMPLEMENTAZIONE E UTILIZZO	Può essere calcolato per tutti i sistemi?	NO	SI	SI
	Tiene conto di erogazioni discontinue?	SI	NO	NO
	Ci sono procedure per la raccolta dati?	SI	NO	NO
	Ci sono procedure di calcolo codificate?	SI	NO	NO
	Esistono guide o manuali?	SI	SI	SI
	Esistono pubblicazioni scientifiche a supporto?	SI	NO	NO
	L'attività di raccolta dati è dispendiosa?	SI	NO	NO
	L'indicatore è facile da calcolare?	NO	SI	SI
RISULTATI	Esistono software a supporto per il calcolo?	SI	NO	NO
	Hanno una buona base scientifica?	SI	NO	NO
	Possono essere usati per confronti con altri gestori italiani?	SI	SI	NO
	Possono essere confrontati con altri gestori internazionali?	SI	SI	NO
	Possono essere usati per calcolare altri indicatori?	SI	NO	NO
DIVULGAZIONE RISULTATI	Possono essere usati per pianificare azioni correttive?	SI	NO	NO
	I risultati sono facili da comunicare?	NO	SI	SI
	L'informazione ricavata ha basi scientifiche?	SI	NO	NO
	I risultati possono essere mal interpretati?	NO	SI	SI

(*): al fine di comparare la sensitività delle variabili nei due indicatori, anche per l'indicatore M1 sono state considerate le stesse variabili dell'ILI.

Alla luce di quanto emerso dal confronto è possibile affermare che l'indicatore ILI, seppur più complesso nella sua applicazione, ha basi scientifiche molto più robuste dell'indicatore M1. Molto probabilmente l'autorità ARERA, vista la complessità di implementazione dell'ILI e molto probabilmente valutando lo stato delle banche dati dei gestori italiani, ha dovuto optare per un indicatore più semplice da calcolare.

Ciò emerge chiaramente dal fatto che nel 2016, ARERA durante la prima campagna di acquisizione dati presso i gestori, chiedeva di rendicontare su un corposo numero di informazioni tra le quali veniva richiesto di indicare se il gestore avesse calcolato

l'indicatore ILI. Quindi ARERA era consapevole dell'esistenza dell'indicatore ILI, sia perché era stato usato in precedenza da ATO Emilia Romagna, sia perché durante la fase di consultazione con gli stakeholder il gruppo di lavoro IWA rilasciò una nota ad ARERA nella quale invitava la stessa a non adottare l'indicatore percentuale (Fantozzi, 2012).

Nonostante tali suggerimenti nel 2017, ARERA adottò l'indicatore M1, che contiene l'indicatore M1b, che valuta le perdite in percentuale sul volume immesso nel sistema.

È stato dimostrato a livello internazionale come l'indicatore di perdite calcolato come percentuale del volume immesso nel sistema, non sia di fatto confrontabile, perché le perdite reali sono troppo influenzabili dai livelli e dalle tipologie di consumi e per questa ed altre ragioni questo indicatore è stato nel tempo progressivamente abbandonato in molti paesi europei ed extraeuropei.

La figura seguente mostra un esempio di come le perdite reali, in questo caso considerate pari a 200 l/al/d, espresse come % del volume immesso in rete, può variare dal 44% al 2% in funzione del consumo medio in litri per allacciamento al giorno (Fantozzi, 2012).

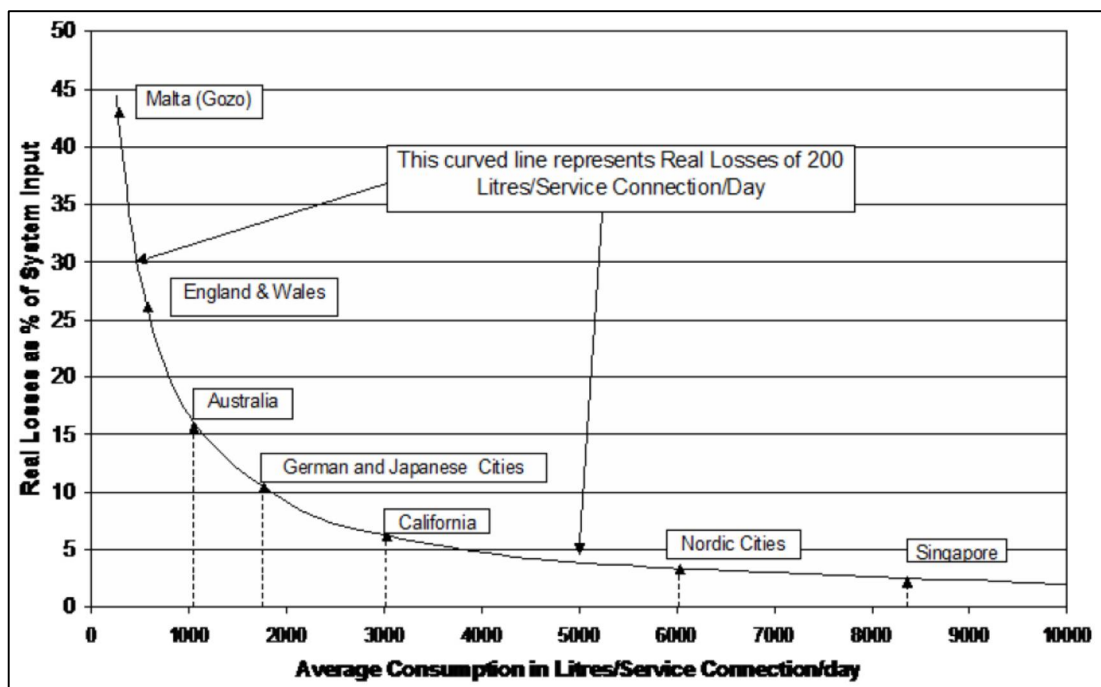


Figura 28 - Correlazione tra percentuale di perdite reali e consumi medi (Fantozzi, 2012)

L'ILI invece è risultato essere sostanzialmente confrontabile perché basato sulla costruzione del bilancio idrico e tiene in considerazione parametri locali chiave come: la continuità di servizio, la lunghezza della rete, il numero di allacciamenti, la posizione dei contatori dei clienti rispetto agli allacciamenti e la pressione operativa media.

Ciò detto è evidente che i due indicatori hanno differenze strutturali notevoli tra le quali la più importante è la definizione di perdita idrica.

Per l'indicatore M1 è perdita tutto ciò che non è venduto agli utenti, senza fare nessuna distinzione tra perdite apparenti (perdite commerciali) o perdite reali (tecniche).

Nell'ILI, non solo viene fatta una netta distinzione tra le due categorie di perdite, ma viene anche aggiunta una dettagliata descrizione sulla composizione delle due categorie al fine di poterne calcolare, con la massima precisione possibile, le varie componenti elementari.

Con l'ILI viene inoltre introdotto un concetto fondamentale innovativo rappresentato dal UARL che rappresenta il volume di perdite cosiddetto "inevitabile". L'UARL interpreta e quantifica ciò che gli esperti di reti acquedottistiche di tutto il Mondo affermano da sempre, ovvero che reti con perdite nulle non esistono. Fino a qualche decennio fa non era possibile quantificare tale volume di perdite "inevitabili", ma ora dopo quasi vent'anni di sperimentazione in tutto il Mondo dell'uso dell'equazione per il calcolo dell'UARL, è possibile farlo in modo attendibile.

Dal confronto dei due indicatori emerge quindi che l'indicatore M1 considera le perdite nel loro complesso, mentre l'indicatore ILI le analizza nel dettaglio, agevolando in tal modo le decisioni future sulle modalità di intervento per ridurre le perdite. È infatti cosa ben diversa pianificare la riduzione delle perdite apparenti, che di fatto sono perdite esclusivamente dal punto di vista commerciale, ma è acqua che viene erogata, consegnata e regolarmente consumata (ma non pagata), dal voler ridurre le perdite reali, costituite dalle vere rotture sulle condotte e allacciamenti, che provocano la vera perdita d'acqua.

Quindi se la finalità è in primis quella di riparare le rotture in modo che l'acqua non venga dispersa, dobbiamo concentrarci sulla riduzione delle perdite tecniche delle quali dall'indicatore M1 non abbiamo nessuna informazione.

Volendo fare una rapida simulazione a dimostrazione di quanto affermato, potremmo verificare cosa succede sostituendo al valore delle perdite totali il valore delle sole perdite tecniche e delle perdite tecniche recuperabili (detratta la quota di perdite inevitabili) per capire come diventerebbe l'indicatore M1 richiesto dall'autorità e quale classe raggiungerebbe CADF S.p.A.

Tabella 18 - Simulazione di calcolo dell'indicatore M1 di CADF con diversi tipi di perdite

Tipologia di perdite	Volume (m^3/a)	M1a ($m^3/km/d$)	M1b (%)	Classe ARERA
Perdite totali (Perdite tecniche + perdite apparenti)	5.884.769	8,03	37	C
Perdite tecniche (Rotture sulla rete che disperdono acqua)	4.761.967	6,50	32	B
Perdite tecniche recuperabili (Perdite tecniche – UARL)	3.425.265	4,67	25	A

Dalla simulazione si può evincere che se si considerassero le sole perdite tecniche recuperabili, l'utility potrebbe rientrare in classe A senza intervenire fisicamente sulla rete, che risulterebbe quindi già essere entro i parametri qualitativi richiesti, ma il gestore dovrebbe adoperarsi per ridurre le cosiddette perdite apparenti (consumi non fatturati) che ricordiamo non sono guasti o rotture sulla rete.

È interessante notare come anche ARERA ha di fatto accettato, in via indiretta, il fatto che vi siano perdite inevitabili, evidenziato dal fatto che per rientrare nella classe più performante (classe A), per la quale è richiesto solo il mantenimento e non un miglioramento, è necessario che il sistema abbia un valore di perdite lineari < a 15 $m^3/km/d$ e un valore di perdite percentuali < al 25% del volume immesso (quindi non zero). Nel caso di CADF ciò significa che per rientrare in classe A, le perdite totali dovrebbero scendere dagli attuali 5.884.769 m^3/a a un volume < di 3.994.998 m^3/a , ben superiore al valore dell'UARL annuale che vale 1.336.702 m^3/a .

La metodologia IWA, sottostante al calcolo ILI, contempla anche una valutazione di performance dell'utility dal punto di vista economico. Le valutazioni economiche si basano essenzialmente sul calcolo del costo di produzione tramite le componenti

CAPEX e OPEX, la quantificazione del costo marginale ed il prezzo medio di vendita dell'acqua potabile, al fine di determinare gli impatti economici delle varie componenti delle perdite idriche. Anche questa valutazione è di fondamentale importanza per il gestore al fine di pianificare correttamente gli investimenti per migliorare la qualità dell'infrastruttura e limitare le perdite.

Anche per l'analisi della parte economica si sottolinea l'importanza della distinzione che vi è tra perdite apparenti e perdite reali. La prima tipologia è paragonabile a un mancato incasso, anche se tra le perdite apparenti vi sono volumi di acqua non fatturati per scelta del gestore (es. particolari tipi di utenza) o per usi manutentivi (es. lavaggi condotte e campionamenti). È evidente che in questi casi è forviante parlare di perdite economiche perché è il gestore stesso o in alcuni casi enti esterni (enti di controllo) che impongono di non fatturare determinati volumi di acqua utilizzati per scopi ben precisi. Le perdite reali invece sono perdite economiche vere, essendo costituite da acqua già potabilizzata che va dispersa. Le perdite reali vanno calcolate al costo di produzione marginale essendo tale quantità un eccesso di produzione non richiesto proprio causato dalle rotture.

Nel caso di CADF l'impatto economico delle perdite è il seguente:

- Perdite apparenti: $1.122.802 (m^3/a) * 1.52 (€/m^3) = 1.706.659 (€/a)$
- Perdite reali: $4.761.967 (m^3/a) * 0.22 (€/m^3) = 1.047.633 (€/a)$
- Perdite inevitabili (UARL_y): $1.336.702 (m^3/a) * 0.22 (€/m^3) = 230.479 (€/a)$
- Perdite reali recuperabili: $1.047.633 (€/a) - 230.479 (€/a) = 817.154 (€/a)$.

Quindi CADF potrebbe recuperare 1.706.659 €/a agendo sulle perdite apparenti (fatturazione) e 817.154 €/a agendo sulle perdite tecniche recuperabili (riparazioni sulla rete).

Tra le perdite apparenti spicca certamente il mancato fatturato causato dalla sotto misurazione dei contatori installati presso gli utenti che per CADF vale:

$$987.303 (m^3/a) * 1.52 (€/m^3) = 1.500.700 (€/a).$$

Parte di tale somma potrebbe rappresentare un investimento per una campagna di sostituzioni dei misuratori più obsoleti o magari la sostituzione con tipologie di

contatori ad errore intrinseco minore. Tale investimento potrebbe essere calibrato in base alla stima di rientro immediato in termini di maggiori quantità fatturate all'utenza.

Per quanto riguarda le perdite tecniche invece, è necessario rafforzare ed efficientare le squadre di riparazione e manutenzione, per fare in modo che le perdite possano essere rilevate, individuate e riparate nel più breve tempo possibile. Purtroppo tale attività non influirà sulle perdite inevitabili che per loro natura non potranno essere individuate e quindi riparate.

C'è però un altro parametro sul quale si può agire per diminuire l'impatto economico delle perdite tecniche in generale: il costo marginale. È evidente che se il costo marginale scende si avrà un beneficio economico anche a parità di volumi persi. Serve quindi studiare la composizione del costo marginale per capire come intervenire.

Il costo marginale di CADF è composto come illustrato nel grafico seguente.

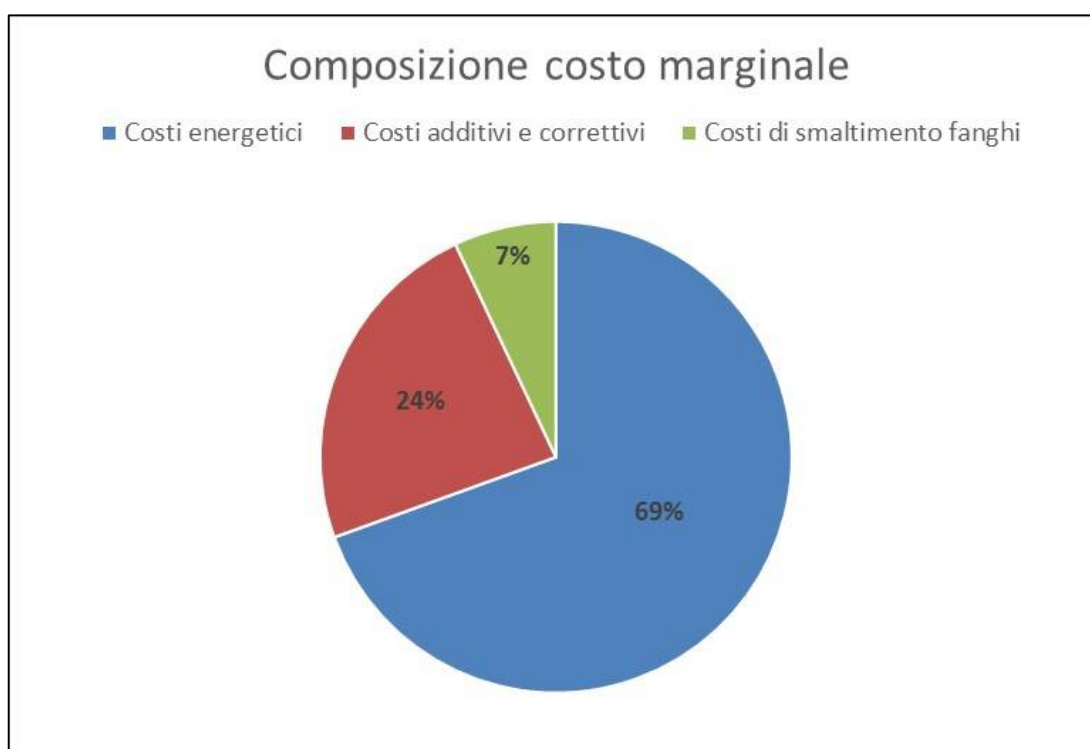


Figura 29 - Composizione del costo marginale di CADF S.p.A.

I costi energetici incidono per il 69% sul costo marginale (e anche sul costo di produzione). È quindi questo l'ambito sul quale intervenire per abbassare il costo marginale e di conseguenza l'ammacco economico dovuto alle perdite.

Un aspetto interessante del nesso energia-acqua è l'opportunità di allineare i sistemi di gestione delle perdite idriche e di gestione dell'energia. In questo contesto, l'implementazione degli standard internazionali ISO 50001: 2011 (per la gestione dell'energia) e ISO 50001: 2014 (per la gestione patrimoniale, con un impatto sulla gestione delle perdite idriche) può aumentare il coordinamento sia per l'efficienza energetica che idrica presso i gestori. Questi standard si basano sul modello del sistema di gestione ISO, seguendo il processo Plan-Do-Check-Act (PDCA) per il miglioramento continuo (Ribeiro et al., 2016).

Tutto ciò, suggerisce in generale, un approccio più strutturato che non vada solo ad investire in riparazioni delle perdite, ma anche in modalità gestionali differenti come ad esempio la regolazione delle pressioni di esercizio, la lotta alle truffe e alle manomissioni, alla sostituzione programmata dei misuratori presso i clienti e alla gestione integrata degli aspetti idrici con quelli energetici.

È quindi evidente come per far diminuire le perdite tecniche sia necessario un approccio integrato sull'intero sistema e non sia sufficiente implementare un sistema efficace di ricerca e riparazione delle perdite idriche.

Al fine di individuare i fattori più rilevanti può essere conveniente studiare le risultanze dell'analisi di sensitività dei due indicatori. È possibile infatti notare che oltre ai volumi in ingresso e le quantità fatturate, che sono certamente i valori più sensibili, è possibile operare su altre componenti del sistema, come:

- Riduzione degli errori di sottocontazione dei contatori
- Regolazione delle pressioni di esercizio
- Monitoraggio degli allacciamenti (principalmente quelli non attivi)
- Fatturazione delle quantità oggi non fatturate

Da sottolineare inoltre come nei settori maggiormente sensibili sia consigliabile effettuare misurazioni rigorose al fine di ridurre il grado di incertezza.

Dopo aver discusso degli aspetti tecnici ed economici, affrontiamo ora l'aspetto dell'implementazione e utilizzo dei due indicatori studiati. E' evidente che l'indicatore M1, vista la sua semplicità di calcolo, non comporta nessuna difficoltà di

implementazione e uso. Cosa ben diversa è per l'indicatore ILI che richiede invece una preparazione impegnativa e una campagna di raccolta dati non sempre agevole. Necessità inoltre di un certo grado di esperienza e conoscenza del sistema idrico che si intende studiare.

Nel caso specifico di CADF per la redazione del bilancio idrico sono stati coinvolti molti uffici dell'azienda come:

- Ufficio tariffa
- Ufficio letturisti
- Ufficio reti
- Ufficio impianti
- Ufficio manutenzioni
- Ufficio rendicontazioni.

Senza un attento supporto interno all'azienda sarebbe stato molto difficoltoso costruire il bilancio idrico, che come detto è l'elemento fondamentale per il calcolo dell'ILI. È quindi possibile affermare che l'attività più complicata e delicata è la raccolta dati.

Per quanto riguarda il calcolo dell'ILI i software messi a disposizione sono molto utili e anche facili da usare.

L'ILI ha alcune limitazioni applicative, che se non rispettate rischiano di invalidare i risultati. Per quanto concerne l'M1 non esistono invece limitazioni e può quindi essere applicato a qualsiasi sistema acquedottistico.

Per quanto concerne l'applicabilità dei due indicatori a sistemi ad erogazione discontinua (non tutti i giorni dell'anno), l'ILI, contemplando il parametro del numero di giorni con il sistema in pressione permette l'applicabilità mentre l'M1 no.

Dal punto di vista dell'implementazione è altresì evidente che la complessità maggiore dell'indicatore ILI è dovuto anche alla numerosa quantità di pubblicazioni scientifiche a supporto, che se da un lato sono garanzia di solidità delle procedure e quindi anche dei risultati finali, dall'altro costringono l'operatore ad uno studio preliminare molto approfondito. È comunque da preferirsi un approccio scientifico seppur complesso.

I risultati ottenuti sono ovviamente molto diversi tra loro. Per quanto riguarda l'M1 vengono calcolati solamente i due valori richiesti dall'autorità nazionale al fine di determinare una eventuale percentuale di miglioramento.

Per l'ILI la complessa procedura di rilevazione dati e di calcolo viene compensata da una serie di risultati molto utili al gestore del servizio idrico integrato. Avendo a disposizione un vero bilancio idrico è chiaramente identificabile ogni singola componente, con il rispettivo impatto sia quantitativo che economico. Inoltre gli indicatori che ne derivano possono essere confrontati sia a livello nazionale che internazionale, il che risulta molto utile al fine della ricerca sul panorama mondiale delle *best practice* di settore.

Un ultimo aspetto che si intende discutere riguarda la divulgazione dei risultati. Certamente l'M1 è semplice ed immediato sia da comunicare che da capire. Cosa ben diversa è comunicare le risultanze del bilancio idrico e degli indicatori conseguenti.

Si apre quindi una discussione su cosa sia più opportuno comunicare in funzione dei risultati di tematiche ambientali rilevanti come certamente è l'acqua potabile.

Una combinazione di diversi fattori, tra cui cambiamenti nel ruolo sociale della scienza, complessità e incertezza, ha contribuito alla nascita del pubblico in generale come attore importante nella gestione delle risorse idriche. In questo contesto, alcuni autori hanno persino suggerito che la percezione potrebbe benissimo diventare più importante della realtà (de França Doria, 2010).

Se la percezione a volte può addirittura superare la realtà, è certamente compito delle autorità nazionali fare buona informazione ovvero divulgare il più possibile informazioni scientificamente provate.

In tale contesto è evidente come la non informazione legata all'indicatore M1 induca l'opinione pubblica a giudizi approssimativi e forvianti. L'abusata generalizzazione di "*reti acquedotto colabrodo*" è l'unica informazione che l'opinione pubblica ricorda senza nemmeno conoscere le varie tipologie di perdite di rete, come peraltro non distinte nell'indicatore M1.

Una comunicazione più scientifica del problema potrebbe dare informazioni corrette e generare nell'opinione pubblica una corretta analisi e valutazione del problema.

Per fare un esempio pratico dell'impatto della diversa modalità di comunicazione, utilizzando i dati del caso studio, potremmo affermare che:

1. Le perdite di CADF sono il 36,83 % dell'acqua immessa nel sistema e pertanto l'azienda è classificata in classe C;
2. Le perdite dovute a rotture sulla rete di CADF che si possono riparare sono circa il 25% del volume immesso nel sistema e con questo valore CADF si classifica in classe A.

La comunicazione 2) che rappresenta quanto l'azienda può realmente recuperare riparando le rotture sulla rete, pone l'azienda nella massima classe stabilita dall'autorità quindi eccellenza a livello nazionale, mentre l'informazione ricavata dall'M1 la pone in classe C, ma il valore di perdite sotteso all'indicatore M1 non sono tutte perdite reali di rete.

Inoltre trattandosi di aziende pubbliche e di acqua pubblica, la disinformazione sulle performance dei gestori può influire negativamente sulla fiducia nei gestori stessi che è uno degli elementi che si sta cercando di incentivare, al fine di incrementare il consumo dell'acqua di rubinetto in luogo di quella in bottiglia.

È evidente a questo punto, come l'indicatore ILI sia da preferire all'indicatore M1. Si suggerisce tuttavia come possibile sviluppo dell'indicatore, la possibilità di rendere l'indicatore ILI dinamico dal punto di vista temporale, ovvero trasformare uno strumento di rilevazione e valutazione delle performance annuali in un modello dinamico di valutazione e previsione. A tale scopo si suggerisce l'uso di tecniche e strumenti di *system dynamics*.

6 Conclusioni

È rafforzata la convinzione che sia necessario preservare le riserve idriche di acqua dolce, come bene fondamentale alla vita. È altresì confermata la necessità di operare politiche di riduzione dei consumi di acqua potabile soprattutto per usi non alimentari.

L'Authority di controllo dei sistemi idrici integrati ARERA, ha imposto il calcolo di un indicatore sulle perdite di rete, chiamato M1, per valutare le performance delle utilities italiane. Nello scenario internazionale è invece molto diffuso l'utilizzo dell'indicatore ILI elaborato dall'IWA.

Analizzando un caso studio reale, sono stati messi a confronto i due indicatori ILI e M1. L'indicatore M1 classifica CADF S.p.A. in classe C secondo la classificazione di ARERA, mentre l'indicatore ILI pone l'azienda in classe B, secondo la classificazione adottata dalla Banca Mondiale.

Le perdite totali rilevate nel caso studio ammontano a $5.884.769 \text{ m}^3/\text{a}$ che danno un valore dell'indicatore $M1a = 8.03 \text{ m}^3/\text{km}/\text{d}$ e $M1b = 36,8 \%$ del volume in ingresso.

Le stesse perdite totali vengono suddivise, grazie al bilancio idrico, in:

- Perdite apparenti: $1.122.802 \text{ m}^3/\text{a}$
- Perdite reali: $4.761.967 \text{ m}^3/\text{a}$ di cui inevitabili: $1.336.702 \text{ m}^3/\text{a}$.

Dal bilancio idrico calcolato, risulta un valore di ILI pari a 3.562.

L'azienda CADF S.p.A., con un ILI di circa 3.6 ha un livello di performance decisamente superiore alla media nazionale (solo 7 casi su 67 analizzati sono più performanti di CADF). A livello europeo solo 21 gestori su 110 analizzati, hanno una performance migliore di CADF S.p.A.

L'analisi di sensitività effettuata sui due indicatori ha fornito ulteriori indicazioni sulle variabili indipendenti maggiormente sensibili, che sono risultate essere, oltre ai volumi in ingresso ed i volumi fatturati, anche la pressione media di esercizio, il numero di allacciamenti presenti sulla rete, la valutazione degli errori di misurazione dei contatori ed il numero di giorni nei quali il sistema è in pressione.

La mancata distinzione tra le diverse tipologie di perdite, rende l'indicatore MI impreciso e scientificamente debole. Inoltre non risultano documentazioni scientifiche a supporto di tale indicatore.

Di contro, per l'ILI esiste un'ampia letteratura scientifica a supporto e l'indicatore risulta essere scientificamente ben strutturato e costruito. Per tale ragione l'indicatore ILI si è rivelato essere più complesso da elaborare ma molto più robusto e preciso, sia perché è apparso più rigoroso nelle procedure di raccolta dati e nella valutazione del loro grado di incertezza, sia perché ha fornito importanti spunti sulle modalità di intervento al fine di diminuire le perdite di rete.

Dal punto di vista economico, è stato rilevato nel caso studio che le varie tipologie di perdite valgono rispettivamente:

- Perdite apparenti: 1.706.659 €/a
- Perdite reali: 1.047.633 €/a
- Perdite inevitabili (UARL_y): 230.479 €/a
- Perdite reali recuperabili: 817.154 €/a.

Per recuperare in modo significativo sulle perdite apparenti CADF S.p.A. potrà intervenire sulla voce predominante che riguarda la sotto misurazione dei contatori che ammonta a 1.500.700 €/a, mentre per recuperare sulle perdite tecniche è consigliabile un approccio integrato con le politiche energetiche dell'azienda, considerato che i costi energetici incidono per il 69 % sui costi marginali.

Infine è da sottolineare come l'indicatore ILI, essendo scientificamente più strutturato, dia buone informazioni per la divulgazione scientifica e anche per la corretta comunicazione verso gli utilizzatori del servizio.

Si suggerisce come futura implementazione del metodo ILI la possibilità di eseguire analisi dinamiche nel tempo, magari basate su modelli di *system dynamics* con i quali operare anche simulazioni predittive al fine di calibrare correttamente i piani di investimento.

Bibliografia

- Alegre, H., Coelho, S.T., 2005. Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição 329.
- ARERA, 2017. Regolazione della qualità tecnica del servizio idrico integrato ovvero di ciascuno dei singoli servizi che lo compongono (RQTI) - Allegato A.
- Babić, B., Stanić, M., Prodanović, D., Džodanović, B., Đukić, A., 2014. Reducing Uncertainty of Infrastructure Leakage Index – A Case Study. *Procedia Engineering* 89, 1577–1584. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.459>
- CADF S.p.A., 2019. Reti ed Impianti - CADF S.p.A. [WWW Document]. URL <http://www.cadf.it/reti-ed-impianti> (accessed 6.18.19).
- Cancelliere, G., 2014. Acqua: scarsità, conflitti e sostenibilità. Risorse in esaurimento *Ecoscienza*, 28–29.
- Carteado, F., Vermersch, M., 2016. Apparent Water Losses generated by Unauthorised Consumption: Assessment and Corrective Actions 18.
- de França Doria, M., 2010. Factors influencing public perception of drinking water quality. *Water Policy* 12, 1–19. <https://doi.org/10.2166/wp.2009.051>
- De La Cruz, F.A., 2016. Customers metering inaccuracies.
- Fantozzi, M., 2012. Contributo del Water Loss Specialist Group (IWA) nel gruppo di lavoro di ARERA per l'individuazione degli indicatori di qualità tecnica.
- Farley, M., Water, S., Supply, W., Council, S.C., Organization, W.H., 2001. Leakage management and control: a best practice training manual. Geneva: World Health Organization.
- HR Wallingford, 2019. HR Wallingford [WWW Document]. URL <http://www.hrwallingford.it/chi-siamo> (accessed 6.19.19).
- Lambert, A., Charalambous, B., Fantozzi, M., Kovac, J., Rizzo, A., John, S.G.S., 2014. 14 Years Experience of using IWA Best Practice Water Balance and Water Loss Performance Indicators in Europe 31.
- Lambert, A.O., Brown, T.G., Takizawa, M., Weimer, D., 1999. A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA* 48, 227–237. <https://doi.org/10.2166/aqua.1999.0025>
- Lambert, A.O., McKenzie, D.R.D., 2002. Practical Experience in using the Infrastructure Leakage Index 17.
- Liemberger & Partners, 2019. WB - EasyCalc [WWW Document]. URL <http://www.liemberger.cc/> (accessed 5.25.19).
- Ministero della Salute, 2016. Prelievo, distribuzione e regolazione delle acque potabili [WWW Document]. URL http://www.salute.gov.it/portale/temi/p2_6.jsp?lingua=italiano&id=4412&area=acque_potabili&menu=vuoto (accessed 5.18.19).
- Patrick Fallis, Katja Hübschen, Emmanuel Oertlé, Dörte Ziegler, Philipp Klingel, Axel Knobloch, Jörg Baader, Raül Trujillo, Christine Laures, 2011. Guidelines for water loss reduction - A focus on pressure management. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Ribeiro, R., Alegre, H., Loureiro, D., Mamade, A., 2016. The role of communication in the deployment of water loss and energy management strategies: the experience of collaborative research with water utilities. *Water Sci Technol Water Supply* ws2016198. <https://doi.org/10.2166/ws.2016.198>
- Silva, M.A., Amado, C., Loureiro, D., 2018. Propagation of uncertainty in the water balance calculation in urban water supply systems – A new approach based

- on high-density regions. *Measurement* 126, 356–368.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.05.061>
- Tsitsifli, S., Kanakoudis, V., 2010. Presenting a new user friendly tool to assess the performance level & calculate the water balance of water networks 9.
- Vermersch, M., Carteado, F., 2016. Non-Revenue Water and Errors throughout the Data Acquisition Process 21.
- Vermersch, M., Carteado, F., Lambert, A., 2016. Non-Revenue Water and Unbilled Authorised Consumption 9.
- Water Footprint Network, 2019. Water Footprint Network [WWW Document]. URL <https://waterfootprint.org/en/> (accessed 6.10.19).

Indice delle figure

<i>Figura 1 - Global Water Footprint (Water Footprint Network, 2019)</i>	6
<i>Figura 2 - Info grafica giornata mondiale dell'acqua 2017 (ISTAT, 2017)</i>	7
<i>Figura 3 - Perdite idriche di rete per provincia (ISTAT, 2015)</i>	8
<i>Figura 4 - Tipi di perdite e rapporto tra portata (Q) e tempo di riparazione (t)</i>	10
<i>Figura 5 - Valutazione dei parametri locali per gli indicatori di performance (PI) tradizionali (Lambert et al., 1999a)</i>	13
<i>Figura 6- Struttura e terminologia del bilancio idrico IWA (Lambert and Hirner, 2000)</i>	21
<i>Figura 7 - Struttura del bilancio IWA dopo la revisione del 2016 (Michel Vermersch, et al., 2016)</i> ..	22
<i>Figura 8 - Grafico della relazione tra costi annui e perdite reali annue al fine della determinazione del livello ottimale di controllo (Lambert et al., 1999a)</i>	26
<i>Figura 9 - Schema annualizzazione letture contatori</i>	31
<i>Figura 10 - Curva di errore di un nuovo contatore domestico Classe B a getto singolo</i>	36
<i>Figura 11 - Centrale di potabilizzazione di Serravalle (FE) (CADF S.p.A., 2019)</i>	45
<i>Figura 12 - Centrale di potabilizzazione di Ro Ferrarese (FE) (CADF S.p.A., 2019)</i>	46
<i>Figura 13 - Grafico del numero di utenze per classi di consumo da zero a 3 m³/a</i>	59
<i>Figura 14 - Rappresentazione in Qgis del territorio servito e della rete di adduzione e distribuzione di CADF S.p.A.</i>	63
<i>Figura 15 - Simulazione Monte Carlo con 20.000 valori casuali e funzione di distribuzione normale</i>	64
<i>Figura 16 - Istogramma della probabilità suddivisa per classi di lunghezze medie</i>	65
<i>Figura 17 - Punti di misurazione pressione</i>	67
<i>Figura 18 - Andamento della pressione media mensile, durante il 2017, per ciascun nodo di misurazione (Elaborazione da dati CADF S.p.A.)</i>	68
<i>Figura 19 - Andamento della pressione media mensile durante il 2017</i>	69
<i>Figura 20 - Bilancio idrico di CADF S.p.A. secondo il modello IWA modificato</i>	72
<i>Figura 21 - Bilancio idrico con indicazione del valore delle incertezze calcolate</i>	74
<i>Figura 22 – Performance di CADF secondo la classificazione dell'ILI adottata dalla Banca Mondiale nel 2005. (Lambert et al., 2014)</i>	75
<i>Figura 23 - Data set di 22 ILI di 12 Paesi Europei, 2005 (Lambert et al., 2014)</i>	76
<i>Figura 24 - Confronto dei data set italiani dell'ILI con altri paesi del Mondo (Fantozzi, 2012)</i>	76
<i>Figura 25 - Grafico dell'analisi di sensitività dell'indicatore ILI</i>	79
<i>Figura 26 - Grafico dell'analisi di sensitività dell'indicatore M_1a^a</i>	79
<i>Figura 27 - Grafico dell'analisi di sensitività dell'indicatore M_1b^a</i>	80
<i>Figura 28 - Correlazione tra percentuale di perdite reali e consumi medi (Fantozzi, 2012)</i>	83
<i>Figura 29 - Composizione del costo marginale di CADF S.p.A.</i>	87

[ACKNOWLEDGMENTS]

Ringrazio il mio Relatore, Professor Diego Marazza, per aver accettato di guidarmi in questo importante lavoro e per la grande disponibilità e professionalità dimostrata.

Un ringraziamento speciale va al Professor Andrea Contin, per il fondamentale supporto dato nell'analisi di sensitività e per i preziosi consigli forniti durante la costruzione della tesi.

Ringrazio il mio Controrelatore, Professor Massimo Andretta, per la disponibilità e grande precisione con la quale ha esaminato il mio lavoro.

Ringrazio il mio Correlatore, nonché fraterno amico, l'ing. Silvio Stricchi, Direttore Generale di CADF S.p.A., per avermi messo a disposizione i dati e per la splendida accoglienza a me riservata in azienda.

Ringrazio per la fondamentale collaborazione e l'infinita pazienza, tutti i dipendenti di CADF che mi hanno seguito passo passo nella raccolta dati; un grande grazie a Francesco, Annibale, Susanna, Giacomo, Nicola, Tristano e Alberto.

Infine, con affetto, ringrazio Tommaso Morsiani, grande amico e compagno di viaggio, socio onorario del club 18&lode, irriducibile scudiero, sempre pronto a supportarmi ad ogni esame, ad ogni progetto, ad ogni esperienza. Grazie Tommy.