

POLITECNICO DI TORINO



CORSO DI LAUREA MAGISTRALE

In Ingegneria Civile

Orientamento Idraulica

Analisi di alcuni aspetti legati alla gestione delle acque
a scala urbana e scala di edificio

Relatore:

Prof. Roberto Revelli

Prof.ssa Ilaria Butera

Candidato:

Aziz Laabouki

Anno Accademico 2019/2020

RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento particolare va ai miei relatori, professor Roberto Revelli e professoressa Ilaria Butera, che durante questi mesi di intenso lavoro, hanno saputo guidarmi, dandomi suggerimenti pratici e seguendomi nelle ricerche e stesura dell'elaborato.

Ringrazio infinitamente i miei familiari, soprattutto i miei genitori che mi sono sempre stati accanto e mi hanno sempre sostenuto con pazienza e saggezza, è grazie al loro sostegno e incoraggiamento che sono riuscito a raggiungere oggi questo importante traguardo.

.

ABSTRACT

Più di due miliardi di persone vivono in paesi soggetti a tassi elevati di stress idrico, mentre circa quattro miliardi di persone devono affrontare situazioni di grave scarsità idrica per almeno un mese all'anno. La pressione sulle risorse idriche mondiali è cresciuta di circa l'1% all'anno a partire dagli anni '80. Secondo le previsioni WWAP (World Water Assessment Programme), la domanda globale di acqua continuerà a crescere ad un tasso simile fino al 2050, superando di circa il 20-30% i livelli di utilizzo attuali. Tra i motivi che hanno una grande influenza su questi cambiamenti: l'aumento esponenziale della popolazione mondiale, lo spostamento economico, cambiamento climatico e la crescente domanda a livello domestico. A fronte di una disponibilità sempre più ridotta, il continuo consumo di acqua ai tassi attuali comporterà un inevitabile aumento dei prezzi dell'acqua, nonché di tutti gli altri costi, diretti e indiretti, associati ai suoi uso e trattamento. È possibile controllare il consumo di acqua per uso domestico grazie alle nuove tecnologie e alla riduzione degli sprechi. L'obiettivo di questa tesi è quello di esplorare tali soluzioni evidenziandone pregi e difetti. Minimizzare il consumo di acqua a livello di edificio utilizzando sistemi di trattamento e riutilizzo delle acque grigie, la raccolta delle acque meteoriche con lo scopo di ridurre l'immissione delle acque nelle fognature. In ultimo è realizzato il progetto nel dettaglio di un sistema RWH acqua piovana, il cui scopo è il riuso dell'acqua raccolta in ambito residenziale.

INDICI

<i>INDICI</i>	<i>I</i>
<i>INDICE DELLE FIGURE</i>	<i>III</i>
<i>INDICE DELLE TABELLE</i>	<i>V</i>
<i>INTRODUZIONE</i>	<i>1</i>
1 SCARSITA IDRICA NEL MONDO	2
1.1 Attualità e scenario previsto	2
1.2 Domanda dell'acqua	5
2 SCALA GEOLOGICA DELL'ACQUA	7
2.1 La distribuzione idrica al livello mondiale	7
2.2 La distribuzione idrica a livello europeo	12
2.3 La distribuzione idrica a livello nazionale	13
3 BILANCIO IDRICO A SCALA DI CITTA'	18
3.1 Norme sulle risorse idriche	19
3.2 La rete di distribuzione e le perdite	20
3.3 Bilancio Idrico secondo IWA	23
3.4 Valutazione della perdita di acqua (WLA)	25
3.4.1 Metodo del Minimum Night Flow (MNF).....	27
3.4.2 Metodo Burst and Background Estimates (BABE)	31
3.4.3 L'approccio Top-Down Water Balance	36
3.5 Caso di studio dell'approccio top-down	39
3.6 Bilancio Idrico Comunale	43
3.7 Caso di studio: Partizionamento della rete idrica basato su Ottimizzazione dei costi e dell'energia	52

4	<i>BILANCIO A SCALA RESIDENZIALE</i>	59
4.1	Ciclo integrato delle acque	59
4.2	Consumo e spreco dell'acqua	61
4.3	Il risparmio idrico negli edifici: una gestione efficiente	64
4.3.1	Differenti consumi d'acqua negli edifici.....	64
4.3.2	Consigli per il risparmio idrico	65
4.4	Tariffe dell'acqua	70
4.4.1	Concetti generali	70
4.4.2	Sistema Tariffario Idrico in Italia.....	70
4.4.4	Definizione del moltiplicatore tariffario e determinazione dei corrispettivi all'utenza ..	71
4.4.5	Esempio di tariffe del servizio idrico nel territorio veronese.....	72
4.4.6	Le tariffe del servizio idrico al livello europeo	75
4.4.7	Tariffe e consumi	76
5	<i>BILANCIO IDRICO RESIDENZIALE: ALCUNE CASI</i>	78
5.1	Caso di studio: il bilancio idrico di due edifici dotati di un sistema di raccolto UHA e trattamento e riutilizzo di acque grigie	78
5.2	Raccolta ed utilizzo d'acqua piovana, Domestic Rain Water Harvesting (DRWH)	95
5.2.1	Dimensionamento ottimale delle vasche di stoccaggio per la raccolta dell'acqua piovana domestica in Sicilia	100
6	<i>CONCLUSIONE E COMMENTI</i>	105
7	<i>BIBLIOGRAFIA</i>	107
8	<i>SITOGRAFIA</i>	112

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1: RISCHIO IDRICO COMPLESSIVO NEI PAESI EUROPEI, AFRICANI E MEDIO ORIENTE, [FONTE: (AQUEDUCT , 2019)].....	3
FIGURA 2:PREVISIONE DEL RISCHIO IDRICO COMPLESSIVO NEI PAESI EUROPEI, AFRICANI E MEDIO ORIENTE NEL 2030, [FONTE: (AQUEDUCT , 2019)]	4
FIGURA 3: LE STIME DI EVOLUZIONE DELLA POPOLAZIONE NEL MONDO TRA IL 1950 E IL 2100, FONTE:	5
FIGURA 4:PRELIEVI DI ACQUA DOLCE PER L'AGRICOLTURA, L'INDUSTRIA E GLI USI COMUNALI, FONTE: [(AQUASTAT , N.D)].....	6
FIGURA 5:DISTRIBUZIONE DELL'ACQUA SULLA TERRA	7
FIGURA 6: UTILIZZO DI ACQUA DOLCE PER REGIONE AGGREGATA, DAL 1901 AL 2010, FONTE[(FLÖRKE , 2013), (AUS DER BEEK , 2010), (ALCAMO , 2003)]	9
FIGURA 7:CONSUMO MEDIO DI ACQUA PER PERSONA AL GIORNO FONTE: [UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAM - HUMAN DEVELOPMENT, DATA360.ORG].....	11
FIGURA 8:PRELIEVI DI ACQUA PER USO POTABILE, ANNI 1999-2018,FONTE:[(ISTAT , 2020)]	14
FIGURA 9: PRELIEVO NAZIONALE DI ACQUA PER USO POTABILE SECONDO IL TIPO DI SORGENTE, ANNO 2018, FONTE: [(ISTAT , 2020)]	14
FIGURA 10: PRELIEVO NAZIONALE DI ACQUA PER USI POTABILI PER TIPO DI SORGENTE E ZONA IDROGRAFICA, ANNO 2018,FONTE:[(ISTAT , 2020), CENSIMENTO DELLE ACQUE PER USO CIVILE]	15
FIGURA 11:PRELIEVO IDRICO PER USO AGRICOLO, CIVILE E INDUSTRIALE IN ITALIA ,FONTE:[(AQUASTAT , N.D) , (WORLDOMETERS , N,D)	17
FIGURA 12: STANDARD INTERNAZIONALE DI BILANCIO IDRICO E TERMINOLOGIA (ADATTATO DA LAMBERT E HIRNER (LAMBERT-HIRNER , 2000))	23
FIGURA 13:FASI DI VALUTAZIONE DELLA PERDITA D'ACQUA.	25
FIGURA 14: VARIAZIONE DI PORTATA (CHE INDICA MNF), PRESSIONE E PERDITA IN UN DMA (PER GENTILE CONCESSIONE DI LAMBERT A, LIEMBERGER R. E THORNTON J.).....	27
FIGURA 15: APPROCCIO TOP-DOWN UTILIZZANDO IL BILANCIO IDRICO IWA	39
FIGURA 16:SCHEMA DEL SERVIZIO ACQUEDOTTO, CENTRALI E SERBATOI IN ESAME DEL COMUNE DI VARESE	47
FIGURA 17:CONSUMI IDRICI ANNO 2008 IN [M3] - COMUNE DI VARESE.....	49
FIGURA 18: PERCENTUALE DISPERSIONE RETE IDRICA NELLE CITTÀ CAPOLUOGO DI REGIONE, 2018, FONTE: (LEGAMBIENTE , 2019).....	51
FIGURA 19:DIAGRAMMA DI FLUSSO DELLA METODOLOGIA PROPOSTA PER OTTENERE IL DIAGRAMMA DSS	54
FIGURA 20:LA FILIERA DEL SERVIZIO IDRICO, FONTE :[ECOMALU.IT].....	60
FIGURA 21:PERCENTUALE DI PRELIEVO IDRICO PER SETTORE, 1962-2014. FONTE: [(WORLD RESOURCES INSTITUTES (WRI) , 2020)]	62
FIGURA 22: RIPARTIZIONE DEI CONSUMI IDRICI PER USI DOMESTICI-FONTE: [(WATERWISE , 2007)].....	63
FIGURA 23:USO DOMESTICO DELL'ACQUA, FONTE: ((EEA) ,2018)	64
FIGURA 24:IL RISPARMIATORE D'ACQUA" HIPPO"	65
FIGURA 25:CASSETTA WC A DOPPIO TASTO DI SCARICO 3/6 - 6/9 LITRI.....	66
FIGURA 26:RIDUTTORE DI FLUSSO DELLA DOCCIA, RISPARMIO IDRICO FINO AL 4 L/MIN.....	67
FIGURA 27:SOFFIONE DOCCIA A RISPARMIO IDRICO.....	67

FIGURA 28:TARIFFA DELL'ACQUA MEDIA ANNUA PER FAMIGLIA (LE CIFRE FORNITE SONO RELATIVE AL PERIODO COMPRESO TRA IL 2012 E 2015) FONTE: [(EURÉAU , 2017)]	75
FIGURA 29:ANDAMENTO DEL PREZZO DELL'ACQUA E DEL CONSUMO DI ACQUA PER USO DOMESTICO IN UNGHERIA. FONTE: [(EAA , 2009)].....	77
FIGURA 30: VARIABILI CHE INFLUENZANO IL CICLO DELL'ACQUA A LIVELLO DI EDIFICIO, FONTE:((AGUDELO-VERA E AL. 2013))	79
FIGURA 31:RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DEL SISTEMA IDRICO DELL'UNITÀ ABITATIVA O DELL'EDIFICIO, COMPRESO IL SOTTOSISTEMA PER IL RICICLAGGIO DELLE ACQUE GRIGIE E LA RACCOLTA DELL'ACQUA PIOVANA	81
FIGURA 32:SIMULAZIONI SIMDEUM PER I DUE TIPI DI EDIFICI, PER UNA DOMANDA CONVENZIONALE E MINIMIZZATA, FONTE: (AGUDELO-VERA E AL. 2013).....	88
FIGURA 33:PANORAMICA DELLA DOMANDA TOTALE ALL'UNITÀ IMMOBILIARE (D), DELLA DOMANDA NON POTABILE (DQ2) E DEL POTENZIALE DI RICICLAGGIO PER CINQUE GIORNI CASUALI CONSECUTIVI,FONTE: (AGUDELO-VERA E AL. 2013).....	90
FIGURA 34:RISORSE RACCOLTE (RH) PER I DUE TIPI DI EDIFICI.	92
FIGURA 35:SCHEMA DEL SISTEMA DRWH, FONTE: (CAMPISANO E MODICA , 2012).....	96
FIGURA 36: VALORI DI RISPARMIO IDRICO (F = 50%) PER LE 17 STAZIONI PLUVIOMETRICHE ESAMINATE IN FUNZIONE DELLA FRAZIONE DI DOMANDA D E (A) FRAZIONE DI ACCUMULO MODIFICATA S_M	102
FIGURA 37: VALORI DI SCARICO DI TROPPOPIENO (F = 50%) PER LE 17 STAZIONI PLUVIOMETRICHE ESAMINATE IN FUNZIONE DELLA FRAZIONE DI DOMANDA D E DELLA FRAZIONE DI STOCCAGGIO MODIFICATA S_M	102

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1:RISORSE IDRICHE, FONTE[(GLEICK , 1996)].....	8
TABELLA 2:USO DI ACQUA DOLCE ALL'ANNO : FONTE[(FLÖRKE , 2013), (AUS DER BEEK , 2010), (ALCAMO , 2003)].	9
TABELLA 3:RISORSE INTERNE DI ACQUA DOLCE RINNOVABILI PRO CAPITE ([M3]), FONTE: [(WORLD BANK – WORLD DEVELOPMENT INDICATORS , N.D).....	10
TABELLA 4:RISORSE DI ACQUA DOLCE INTERNE RINNOVABILI PRO CAPITE [M3]. FONTE [(WORLD BANK – WORLD DEVELOPMENT INDICATORS , N.D); (AQUASTAT , N.D);FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION]	12
TABELLA 5: PRELIEVI DI ACQUA PER USO POTABILE PER TIPOLOGIA DI FONTE E REGIONE. ANNO 2015 (VOLUMI IN MILIONI [M ³], PRO CAPITE IN [L/ AB .GG]),FONTE :[(ISTAT , 2020), CENSIMENTO DELLE ACQUE PER USO CIVILE].....	16
TABELLA 6:PRELIEVO ANNUALE DI ACQUA PRO CAPITE PER USI DIVERSI IN [M ³ / CAP. ANNO] IN DIVERSE MACROREGIONI, FONTE:[((ANPA) , 2001), (IRSA-CNR , 1999) , (ISTAT , 1991)]	17
TABELLA 7: CONVERSIONE DEI COMPONENTI DI VOLUME NRW IN COSTI.....	41
TABELLA 8: CONVERSIONE DI COMPONENTI DI VOLUME NRW IN COSTI (RIVISTO).....	41
TABELLA 9:FABBISOGNI POTABILI CALCOLATO IN CONDIZIONI DI MASSIMO CONSUMO DEL COMUNE DI VARESE FONTE: [PRG VIGENTE ; ASPEM SPA]	44
TABELLA 10:PORTATE MEDIE ANNUALI IMMESSI DAI POZZI.....	45
TABELLA 11:PORTATE MEDIE ANNUALI IMMESSI DAI POZZI.....	46
TABELLA 12:VOLUMI ACCUMULATI DAI SERBATOI DI VARESE	46
TABELLA 13:DISPONIBILITÀ IDRICA DEL COMUNE DI VARESE (L/S)	48
TABELLA 14:CONSUMI IDRICI ANNO 2008 IN [M3] - COMUNE DI VARESE.....	48
TABELLA 15:BILANCIO IDRICO TOTALE DEL COMUNE DI VARESE	49
TABELLA 16:MATRICE DI PESO W COMPOSTA DA COMBINAZIONI DI PESOVERTEX-EDGE ω_α E ω_β	56
TABELLA 17: CONSUMO IDRICI DOMESTICO GIORNALIERO IN ITALIA [L/AB.GG], FONTE: (LEGAMBIENTE , 2019).....	61
TABELLA 18:CONSUMO PRO CAPITE DI LITRI AL GIORNO IN EUROPA FONTE: (IWA , 2016).....	62
TABELLA 19:LE TARIFFE DEL SERVIZIO IDRICO INTEGRATO SU TUTTO IL TERRITORIO DELL'ATO VERONESE–FONTE: [(ARERA , 2018)].....	73
TABELLA 20: VALORI DEL MOLTIPLICATORE TARIFFARIO –FONTE: [(ARERA , 2018)].....	74
TABELLA 21:TABELLA: PREZZO MEDIO NEI VARI PAESI DELL'EUROPA FONTE: [(EURÉAU , 2018)]	76
TABELLA 22 : DESCRIZIONE DELLE UNITÀ IMMOBILIARI SELEZIONATE (AGUDELO-VERA ET AL. 2013).....	87
TABELLA 23:FABBISOGNO IDRICO GIORNALIERO PER TIPO DI FAMIGLIA PER UNA SITUAZIONE CONVENZIONALE E MINIMIZZATA, FONTE: (AGUDELO-VERA E AL. 2013).....	87
TABELLA 24:VALORI ANNUALI PER TIPO DI EDIFICIO PER UNA SITUAZIONE CONVENZIONALE E MINIMIZZATA SIMULATA CON SIMDEUM,FONTE: (AGUDELO-VERA E AL. 2013).....	89
TABELLA 25: CARATTERISTICHE DEL SOTTOSISTEMA	91
TABELLA 26:PRECIPITAZIONI MEDIE MENSILI	100
TABELLA 27:PRECIPITAZIONI MEDIE ANNUE E NUMERO MEDIO DI GIORNI PIOVOSI N _R , FIGURA: [DIPARTIMENTO DELL'ACQUA E DEI RIFIUTI – REGIONE SICILIANA].....	101

INTRODUZIONE

L'acqua di qualità necessaria per gli utilizzi quotidiani, pulita ed eventualmente potabile è indubbiamente poca e distribuita in modo irregolare, sicuramente la situazione peggiorerà, a causa dell'aumento demografico, cambiamento climatico globale ed anche a causa del comportamento irresponsabile dell'uomo. Delle percezioni estremamente errate ci illudono ovvero l'abbondanza di sorgenti, corsi d'acqua, acquiferi e infrastrutture di distribuzione. Mentre questo bene prezioso è sempre più in pericolo, il cui venir meno non è scontato e il rischio è che questo possa avvenire senza essere preceduto da segnali tali da scongiurare l'emergenza improvvisa.

Innanzitutto, discutiamo in breve di questo problema molto attuale, inoltre parliamo della domanda d'acqua mondiale, e facciamo delle previsioni, per comprendere la gravità dello stesso. Vediamo brevemente come questa risorsa è distribuita nel mondo, in Europa e in fine in Italia. Dopodiché parliamo del bilancio idrico a diverse scale, uno strumento essenziale per comprendere gli sprechi, i motivi da cui sono derivati, ridurli, ed eventualmente evitarli.

Gli sprechi possono essere derivati da perdite, quindi malfunzionamento delle condotte, a scala delle città questi possono essere individuati da diversi metodi, ad esempio IWA che tratteremo in seguito. Inoltre, gli sprechi possono essere derivati anche da risorse usate, riutilizzabili ma non sfruttate, ad esempio le acque grigie, risorse non sfruttate affatto come le acque piovane che finiscono molto spesso direttamente nelle reti fognarie.

Infine, trattiamo anche due modelli, Urban Harvesting Approach (UHA) e Domestic Rain Water Harvesting (DRWH), per progettare in modo efficiente ed economico sistemi per sfruttare le risorse sopracitate.

1 SCARSITA IDRICA NEL MONDO

1.1 Attualità e scenario previsto

Secondo ultimo rapporto delle Nazioni Unite sullo sviluppo dell'acqua nel mondo (UN WWDR ,2020), i mutamenti climatici incideranno negativamente su la disponibilità idrica, alterando non solo la quantità dell'acqua stessa ma anche la sua qualità tale scenario costituisce una vera minaccia al godimento del diritto umano all'acqua e ai servizi igienico-sanitari potenzialmente per miliardi di persone. I cambiamenti idrologici causati dai cambiamenti climatici rappresenteranno una sfida che si aggiungerà alla gestione sostenibile delle risorse idriche, che sono già sotto grande pressione in molte regioni del mondo.

La sicurezza alimentare, produzione di energia, e la crescita economica ed ecosistemi dipendono tutti dalle risorse idriche, risultando quindi vulnerabili agli impatti dei cambiamenti climatici. Pertanto, l'adattamento e la mitigazione dei cambiamenti climatici attraverso la gestione delle risorse idriche è fondamentale per lo sviluppo sostenibile e necessario per raggiungere gli obiettivi stabiliti nell'Accordo di Parigi sui cambiamenti climatici.

Negli ultimi 100 anni l'utilizzo di acqua nel mondo è aumentato di sei volte (Wada , 2016) e continua a crescere costantemente ad un tasso di circa l'1% all'anno (Aquastat , n.d) . Questa tendenza non solo aggraverà la situazione nelle regioni già sottoposte a stress idrico ma incederà anche sulle regioni con risorse idriche abbondante come l'africa centrale e l'Asia orientale.

Gli effetti combinati della crescita demografica, dell'aumento dei redditi, del cambiamento dei modelli di consumo e dell'espansione delle città vedranno aumentare significativamente la domanda di acqua, combinata con una domanda più irregolare e un'offerta incerta. Questo può generare stress idrico in regioni con risorse idriche attualmente abbondanti, come l'Africa centrale e l'Asia orientale (World Bank , 2016).

I sistemi idrici del mondo si trovano di fronte a minacce formidabili. Più di un miliardo di persone attualmente vive in regioni con scarsità d'acqua, e ben 3,5 miliardi di persone potrebbero soffrire di carenza idrica entro il 2025. Secondo l'istituto Aqueduct che fa luce sui punti caldi a rischio acqua nella regione del Medio Oriente e del Nord Africa (MENA), che ospita 12 dei 17 paesi che devono affrontare uno stress "estremamente elevato", gli esperti hanno individuato la scarsità d'acqua come una forza che può aggravare i conflitti e le migrazioni già in atto. Inoltre Quasi l'80% delle malattie nei cosiddetti paesi "in via di sviluppo" sono associati all'acqua, causando circa tre milioni di morti precoci. Ad esempio, 5.000 bambini muoiono ogni giorno.

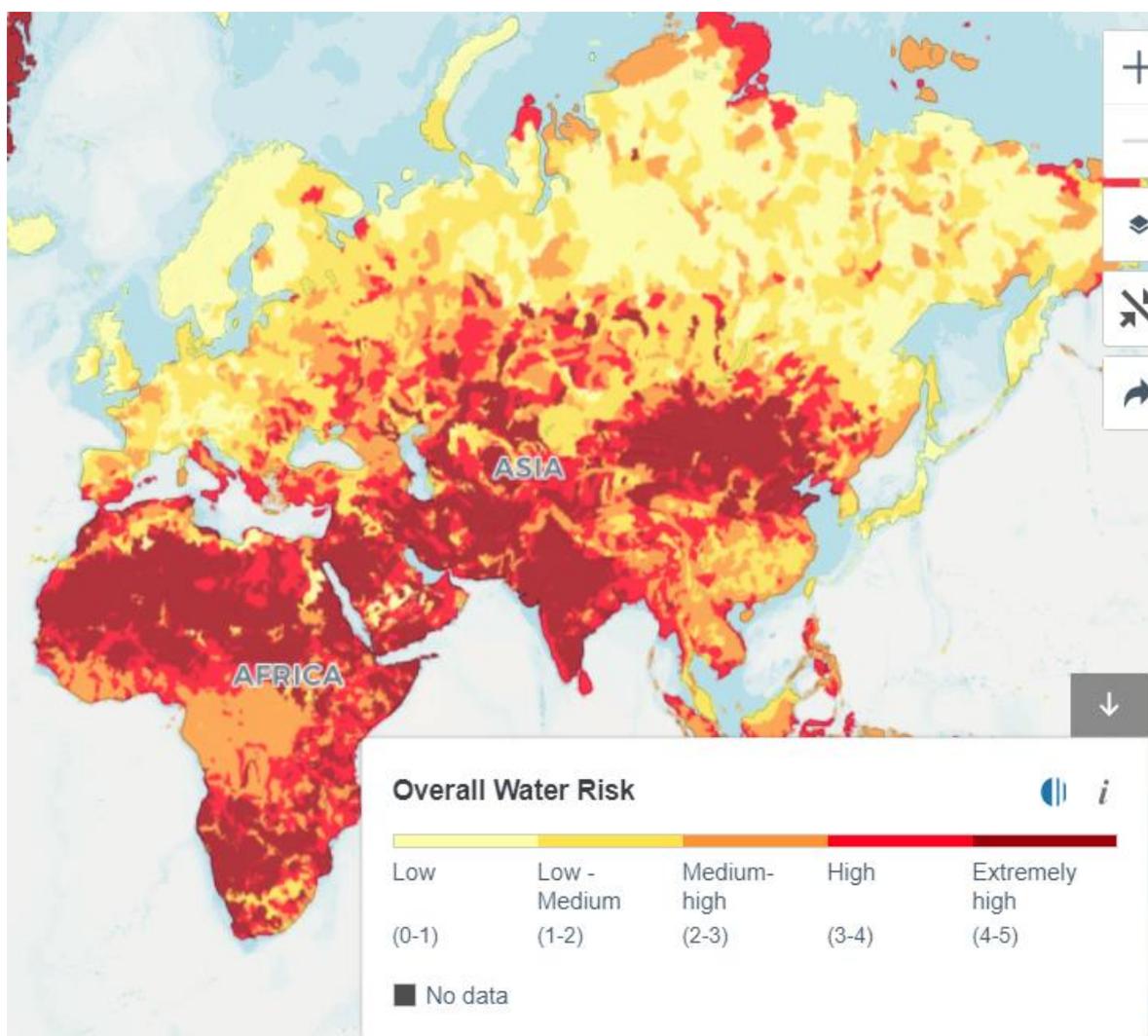


Figura 1: rischio idrico complessivo nei paesi europei, africani e Medio Oriente, [Fonte: (Aqueduct , 2019)]

Secondo il comitato europeo, Il cambiamento climatico è pronto ad alterare lo schema delle precipitazioni e ad accelerare il riscaldamento globale, portando contemporaneamente allo scioglimento dei ghiacciai e all'innalzamento del livello del mare. Questo può causare inondazioni, erosione, alterazione delle riserve idriche e siccità.

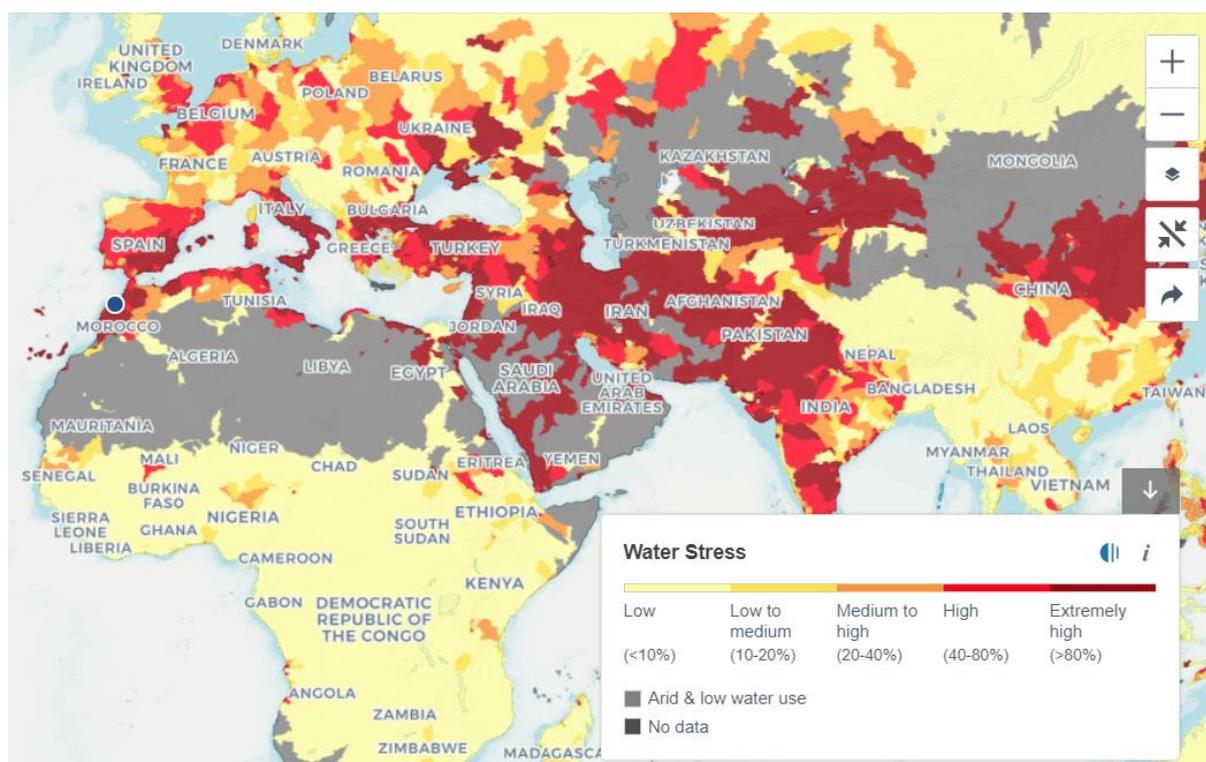


Figura 2:previsione del rischio idrico complessivo nei paesi europei, africani e Medio Oriente nel 2030, [Fonte: (Aqueduct , 2019)]

1.2 Domanda dell'acqua

L'acqua è un elemento chiave della vita per chiunque sulla Terra. Con la crescita della popolazione mondiale, la domanda di acqua aumenta e la pressione sulle limitate risorse idriche si intensifica.

I prelievi di acqua dolce sono triplicati negli ultimi 50 anni. La domanda di acqua dolce è in aumento di 64 miliardi di metri cubi all'anno. I cambiamenti negli stili di vita e nelle abitudini alimentari negli ultimi anni richiedono un maggiore consumo di acqua pro capite. Anche la produzione di biocarburanti è aumentata notevolmente negli ultimi anni, con un impatto significativo sulla domanda di acqua. Per produrre un solo litro di biocarburante sono necessari tra 1.000 e 4.000 litri di acqua. la domanda di energia sta accelerando, con corrispondenti implicazioni per la domanda di acqua.

con una crescita demografica globale di circa 80 milioni all'anno, secondo le previsioni, la popolazione mondiale passerà dagli attuali 7,7 miliardi di abitanti a 10 miliardi nel 2050. Inoltre, si stima che il 70% di essi vivrà nelle aree urbane. la domanda di acqua potabile, quindi, è destinata a crescere drasticamente. Secondo una valutazione delle Nazioni Unite del 2019 (UNESCO , 2019), il fabbisogno idrico aumenterà probabilmente del 20-30% da qui al 2050.

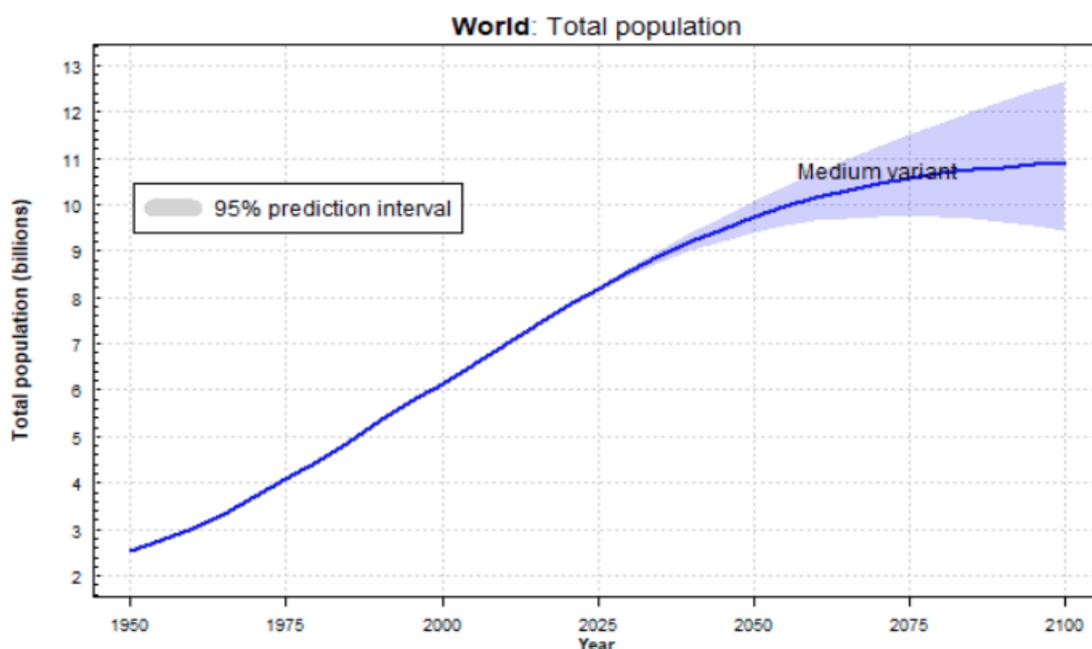


Figura 3: Le stime di evoluzione della popolazione nel mondo tra il 1950 e il 2100, fonte:

[(UN , 2019)].

L'aumento esponenziale della popolazione mondiale e lo spostamento economico verso modelli di consumo a più alta intensità di risorse significa che l'uso globale di acqua dolce - cioè il prelievo di acqua dolce per l'agricoltura, l'industria e gli usi comunali è aumentato di quasi sei volte dal 1900. Questo è mostrato nel grafico. I tassi di utilizzo globale dell'acqua dolce sono aumentati notevolmente dagli anni '50 in poi, ma dal 2000 sembrano essere in aumento, o almeno in rallentamento.

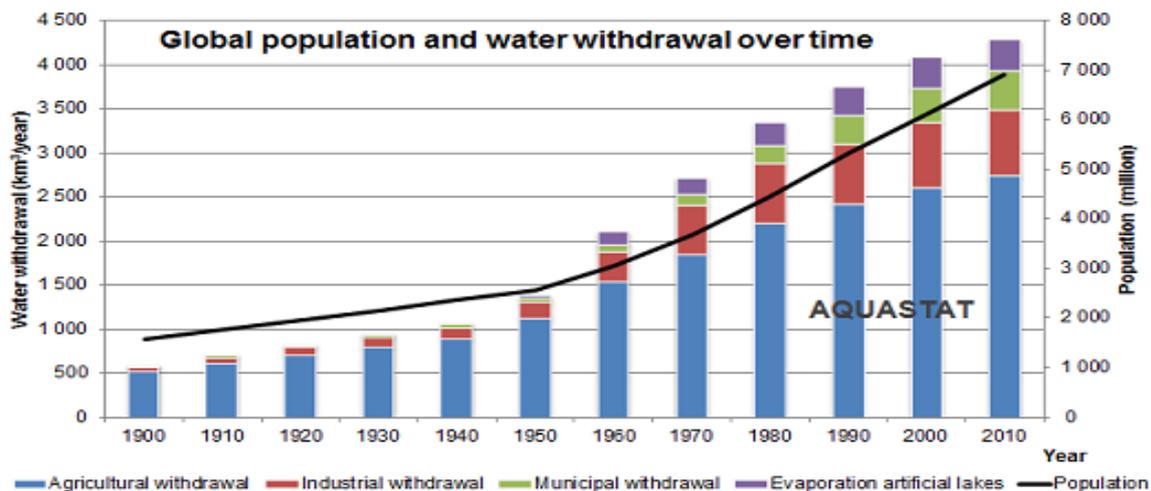


Figura 4: prelievi di acqua dolce per l'agricoltura, l'industria e gli usi comunali, Fonte: [(Aquastat, n.d)]

L'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE) ha previsto che la domanda di acqua aumenterà del 55% a livello globale tra il 2000 e il 2050, principalmente in funzione di domanda crescente di produzione (+400%), generazione di energia termica (+140%) e uso domestico (+130%) (OECD, 2012).

A livello mondiale i Prelievi globali di acqua dolce per l'agricoltura rappresentano il 70% di tutto il consumo di acqua, rispetto al 20% per l'industria e al 10% per uso domestico. Nelle nazioni industrializzate, tuttavia, le industrie consumano più della metà dell'acqua disponibile per uso umano. Il Belgio, ad esempio, utilizza l'80% dell'acqua disponibile per l'industria.

L'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO) ha stimato un aumento del 5,5% dei prelievi di acqua per l'irrigazione dal 2008 al 2050 (FAO, 2011).

Questo pone una grande pressione sulle autorità idriche per mantenere un equilibrio tra la domanda e l'offerta di acqua. Pertanto, l'ottimizzazione della gestione dell'acqua risulta fondamentale per garantire che la domanda di acqua sia soddisfatta in condizioni climatiche mutevoli.

2 SCALA GEOLOGICA DELL'ACQUA

2.1 La distribuzione idrica al livello mondiale

L'acqua è abbondante nel nostro pianeta, copre il 70% della superficie, ma solo il 2,5% di questa è dolce, se poi escludiamo i ghiacciai ai poli ne resta meno dell'1%. Di questo 1% solo lo 0,1 è destinata al consumo umano.

Questa disponibilità d'acqua viene oggi influenzata dai cambiamenti climatici in corso, che stanno modificando la struttura ecologica del nostro pianeta, incidendo sia sui fattori climatici «primari» come temperatura e umidità, sia su quelli «secondari», come l'evaporazione

A livello globale, La distribuzione dell'acqua sulla superficie terrestre è estremamente irregolare.

Solo il 3% dell'acqua sulla superficie è fresco, quindi teoricamente utilizzabili per scopi alimentari e agricoli, il restante 97% risiede nell'oceano.

Di acqua dolce, il 69% risiede nei ghiacciai, il 30% nel sottosuolo, e meno dell'1.2% si trova in laghi, fiumi e paludi. In un altro modo, solo l'un per cento dell'acqua sulla superficie terrestre è utilizzabile dagli esseri umani, e il 99 per cento della quantità utilizzabile si trova sottoterra.

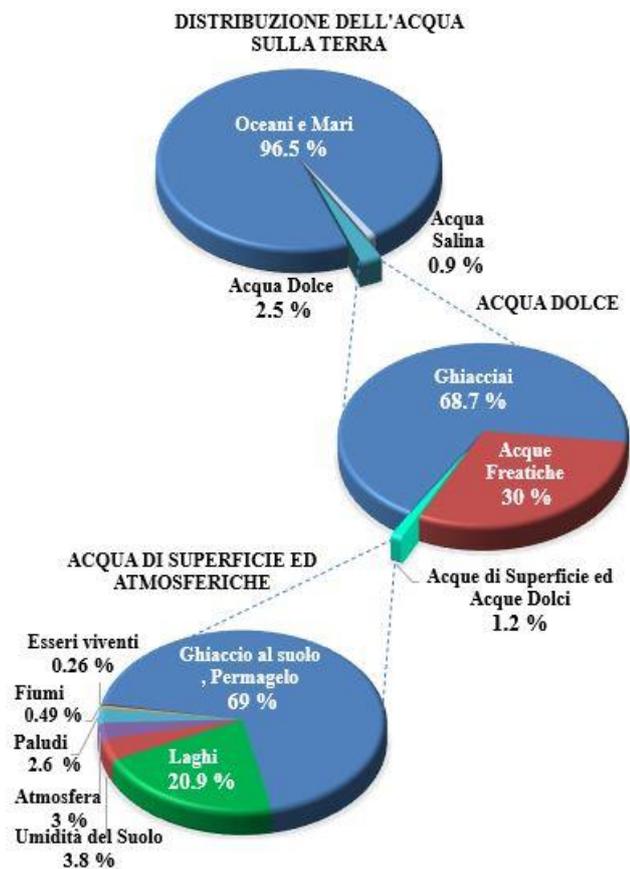


Figura 5: distribuzione dell'acqua sulla terra

Per una spiegazione dettagliata di dove si trova l'acqua della Terra, consultare la tabella 1 dei dati qui sotto. Si noti come su un totale mondiale di circa 326 milioni di miglia cubiche di acqua.

FONTI DELL'ACQUA	VOLUME DELL'ACQUA <i>[in chilometro cubo]</i>	VOLUME DELL'ACQUA <i>[chilometro cubo]</i>	PERCENTUALE DI ACQUA DOLCE	PERCENTUALE DELL'ACQUA TOTALE
Oceani, mari e baie	321000000	1338000000	--	96.5
Calotte di ghiaccio, ghiacciai e neve permanente	5773000	24064000	68.7	1.74
Acque sotterranee	5614000	23400000	--	1.7
Dolce	2526000	10530000	30.1	0.76
Salina	3088000	12870000	--	0.94
Umidità del suolo	3959	16500	0.05	0.001
Ghiaccio del suolo e permafrost	71970	300000	0.86	0.022
Laghi	42320	176400	--	0.013
Dolce	21830	91000	0.26	0.007
Salina	20490	85400	--	0.006
Atmosfera	3095	12900	0.04	0.001
Acqua della palude	2752	11470	0.03	0.0008
Fiumi	509	2120	0.01	0.0002
Acqua biologica	269	1120	0	0.0001
Totale	332500000	1386000000	-	100

Tabella 1: Risorse idriche, fonte [(Gleick , 1996)]

Utilizzo di acqua dolce per regione.

I prelievi globali di acqua dolce per uso agricolo, industriale e domestico sono stati valutati dal 1900 al 2014 per tre grandi raggruppamenti regionali: i membri dell'OCSE sono definiti come paesi che erano membri nel 2010 e la loro adesione è stata portata indietro nel tempo. i Paesi BRICS sono (Brasile, Russia, India, Cina e Sudafrica) e ROW sono il resto del mondo vedi il grafico sotto. Nonostante l'uso assoluto di acqua dolce sia aumentato in questo periodo, la distribuzione degli usi tra questi raggruppamenti regionali non è cambiata in modo significativo nell'ultimo secolo. Le nazioni dell'OCSE utilizzano circa il 20-25 per cento mentre i paesi BRICS utilizzano la quota maggiore a circa il 45 per cento ed infine il ROW consumano circa il 30-33 per cento.

Paese	Consumo di acqua dolce m ³ all'anno						
	1901		2014		Variazione assoluta		Variazione relativa
BRICS	301.2	Miliardi	1.69	Trilioni m ³	+1.39	Trilioni m ³	462%
OECD	117.4	Miliardi	892.29	Miliardi m ³	+774.94	Miliardi m ³	660%
ROW	252.8	Miliardi	1.29	Trilioni m ³	+1.04	Trilioni m ³	409%
World	671.3	Miliardi	3.99	Trilioni m ³	3.319	Trilioni m ³	494%

Tabella 2: Uso di acqua dolce all'anno : Fonte[(Flörke , 2013), (aus der Beek , 2010), (Alcamo , 2003)].

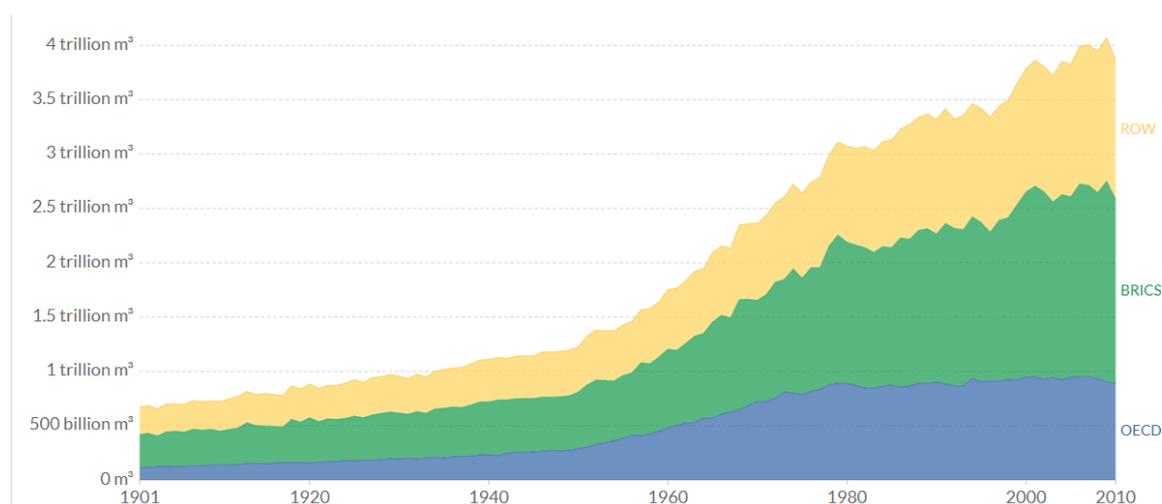


Figura 6: Utilizzo di acqua dolce per regione aggregata, dal 1901 al 2010, Fonte[(Flörke , 2013), (aus der Beek , 2010), (Alcamo , 2003)].

Come possiamo vedere nella tabella 3, le risorse rinnovabili pro capite dal 1962 al 2014 stanno diminuendo in molti paesi a causa dell'aumento della popolazione. Le variazioni a livello europeo mostrano una diminuzione media circa un 16%, seguendo la tabella si vedono tre cali preoccupanti riguardanti Turchia, Irlanda e Albania con (-63%), (-41%) e (-39) rispettivamente. Troviamo soltanto due stati che hanno avuto un calo minore rispetto ad altri paesi ovvero Germania (-3) e Romania (-6). In fine troviamo l'Italia, Portogallo, Belgio e Austria che sono rimasti all'incirca in linea con la variazione europea.

Paesi	[m ³]			%
	1962	2014	Variazione assoluta	Variazione relativa
North America	27628.30	16004.16	-11624.13	-42%
United States	15106.84	8844.32	-6262.52	-41%
Brazil	73929.21	27721.04	-46208.18	-63%
South Asia	3352.00	1151.19	-2200.81	-66%
China	4225.18	2061.91	-2163.27	-51%
India	3090.72	1117.59	-1973.13	-64%
Middle East & North Africa	2069.11	549.32	-1519.78	-73%
Sub-Saharan Africa	18293.75	3983.65	-14310.09	-78%
Central African Republic	90578.49	31226.52	-59351.96	-66%
OECD members	13125.11	8226.86	-4898.25	-37%
European Union	3525.61	2960.96	-564.65	-16%
Australia	45801.53	20932.48	-24869.04	-54%
World	13401.91	5920.51	-7481.40	-56%

Tabella 3: Risorse interne di acqua dolce rinnovabili pro capite ([m³]), fonte: [(World Bank – World Development Indicators , n.d)

L'utilizzo giornaliero dell'acqua nel mondo pro-capite :

La Figura mostra il Consumo medio dell'acqua giornaliero pro capite ad uso civile nei principali Paesi del mondo.

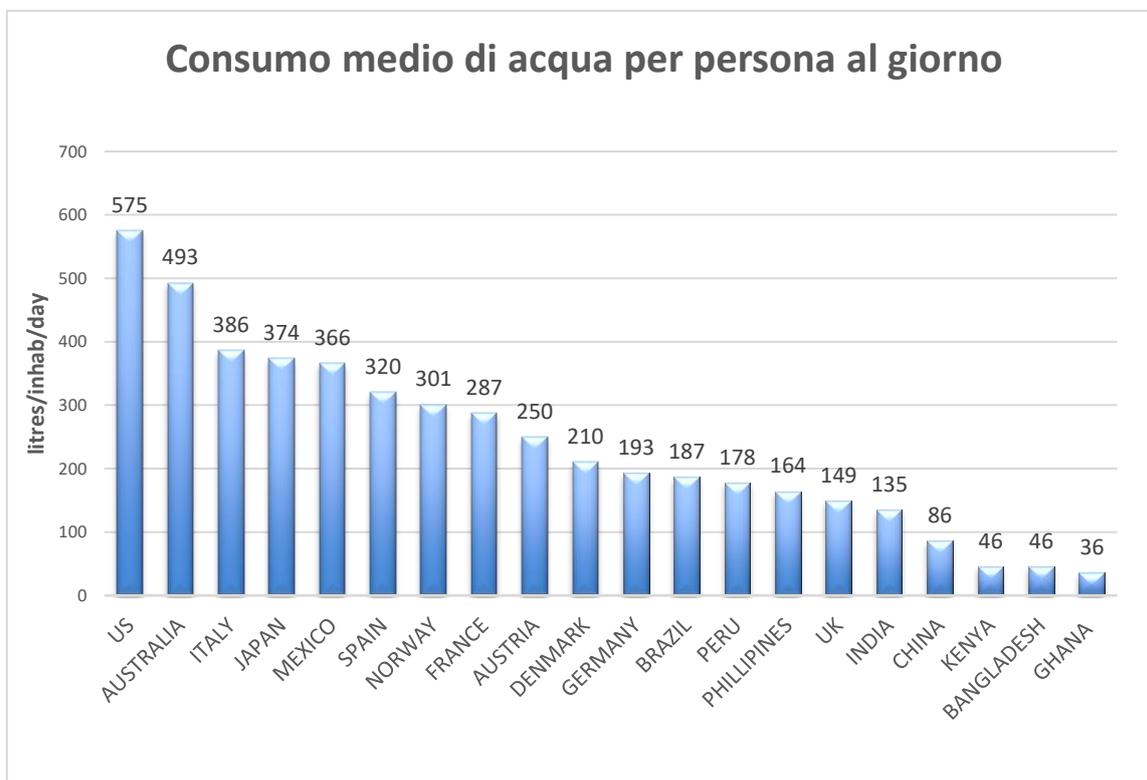


Figura 7: Consumo medio di acqua per persona al giorno fonte: [United Nations Development Program - Human Development, Data360.org]

Questa differenza nei dati di consumo di acqua rappresentata in figura: è dovuta all'abbondanza e alla disponibilità di acqua in ogni paese. secondo Data360.org, l'americano tipico usa circa 575 litri di acqua al giorno. Nel Regno Unito, la persona media usa molto meno quasi 149 litri ogni giorno. Nell'Unione Europea, l'Italia è al primo posto dell'utilizzo giornaliero, Gli italiani consumano in media 386 litri al giorno, seguiti dalla spania e dalla Norvegia con 320 e 301 litri al giorno rispettivamente.

i consumi di un Paese africano, quale per esempio il Kenya circa 46 litri ogni giorno, non potranno mai essere paragonabili a quelli di uno stato europeo.

2.2 La distribuzione idrica a livello europeo

Come vediamo nella tabella, le risorse rinnovabili pro capite dal 1962 al 2014 stanno diminuendo in molti paesi a causa dell'aumento della popolazione. Le variazioni a livello europeo mostrano una diminuzione media circa un 16%, seguendo la tabella si vede tre cali preoccupanti riguardano Turchia, Irlanda e Albania con (-63%), (-41%) e (-39) rispettivamente. In fine ci sono due stati Germania (-3) e Romania (-6) che hanno avuto un calo minore rispetto alle alte paesi. tranne Italia, Portogallo, Belgio e Austria sono rimasti quasi in linea con la variazione europea.

Paesi	[m ³]			%
	1962	2014	Variazione assoluta	Variazione relativa
Unione Europea	3525.6	2961.0	-564.7	-16%
Belgio	1301.4	1070.6	-230.9	-18%
Austria	7714.0	6435.5	-1278.5	-17%
Danimarca	1291.0	1063.2	-227.8	-18%
Francia	4156.3	3015.9	-1140.4	-27%
Germania	1369.0	1321.3	-47.7	-3%
Grecia	6865.3	5324.8	-1540.5	-22%
Italia	3586.9	3002.2	-584.7	-16%
Lussemburgo	3117.7	1797.5	-1320.2	-42%
Paesi Bassi	931.8	652.2	-279.5	-30%
Albania	15718.9	9310.8	-6408.0	-41%
Norvegia	104976.3	74359.1	-30617.1	-29%
Irlanda	17277.6	10520.1	-6757.4	-39%
Polonia	1768.5	1410.1	-358.4	-20%
Portogallo	4225.0	3653.5	-571.6	-14%
Romania	2269.2	2128.7	-140.5	-6%
Svezia	22614.3	17635.9	-4978.4	-22%
Svizzera	7248.2	4933.7	-2314.5	-32%
Turchia	7873.0	2946.9	-4926.1	-63%

Tabella 4: risorse di acqua dolce interne rinnovabili pro capite [m³]. fonte [(World Bank – World Development Indicators , n.d); (Aquastat , n.d); food and Agriculture Organization]

2.3 La distribuzione idrica a livello nazionale

In Italia vi è una tendenza all'aumento dello squilibrio tra la disponibilità delle risorse idriche ed il fabbisogno complessivo. L'apporto globale delle piogge è stato valutato in 296 miliardi di m³, ma la sua distribuzione geografica è altamente disomogenea: si passa da i 121 miliardi di m³ del nord, ai 60 miliardi di m³ nel sud Italia. L'Italia si colloca, in ogni modo, fra i paesi ricchi di risorse idriche, avendo una disponibilità teorica annua di 155 miliardi m³. Il 97% dell'acqua dolce in Italia è nelle falde acquifere. Tuttavia, solo il 37% delle risorse sarà disponibile in funzione dell'attuale capacità del serbatoio in Italia. Finora, con un gruppo di serbatoi che invadono un totale di circa 8,5 miliardi di metri cubi, è già possibile utilizzare circa 42 miliardi di metri cubi all'anno.

In sintesi, le regioni del nord possono avere risorse abbondanti e regolarmente disponibili, mentre nel sud questa disponibilità diminuisce: sia in termini di precipitazioni (Puglia, Sicilia e Sardegna ricevono il 40-50% in meno di precipitazioni rispetto alle regioni più umide), sia in termini di risorse disponibili.

Secondo il rapporto dell'Istat, il volume di acqua complessivamente prelevato per uso potabile, utilizzato per garantire gli usi idrici domestici, commerciali e produttivi sul territorio italiano, è pari a 9,2 miliardi di metri cubi (Figura 8) (Istat, 2020). Questa fornitura costante è resa possibile dal prelievo giornaliero di 25 milioni di metri cubi d'acqua, pari a 419 litri al giorno per abitante. L'84,8% del prelievo nazionale di acqua per uso potabile deriva da acque sotterranee (48,9% da pozzo e 35,9% da sorgente), il 15,1% da acque superficiali (9,8% da bacino artificiale, il 4,8% da corso d'acqua superficiale e lo 0,5% da lago naturale) e il restante 0,1% da acque marine o salmastre (Figura in basso). In particolare, la Lombardia è la regione con la maggior quantità di acqua potabile prelevata (15,4% del totale nazionale). Quantità consistenti sono state registrate anche nel Lazio (12,5%) e in Campania (10,1%). La disparità del territorio è forte e viene attribuita, oltre che alle diverse esigenze idriche, alla localizzazione dei corpi idrici, alle diverse infrastrutture per il trasporto dell'acqua ed infine alle prestazioni del servizio: dai 116 litri per abitante al giorno in Puglia agli oltre duemila Molisani. In particolare, nell'area della mezza giornata, ci sono grandi scambi di acqua tra le regioni, al fine di garantire il fabbisogno di acqua potabile per le regioni in cui la disponibilità di risorse è minore.

Nel 2018, per la prima volta negli ultimi vent'anni, si riducono i prelievi per uso potabile (-2,7 % rispetto al 2015). La composizione del volume prelevato per tipo di sorgente è cambiata drasticamente: ci sono meno prelievi dalla sorgente e dall'invaso a favore dell'estrazione del pozzo. Rispetto al 2015, i prelievi da lago naturale e bacino artificiale si riducono complessivamente del 7,6%, i prelievi da sorgente e corso d'acqua superficiale rispettivamente del 3,8% e del 3,2%, mentre le captazioni da pozzo rimangono pressoché stabili (-0,7%). In calo anche i prelievi da acque marine o salmastre (-7,1%), che rappresentano ancora una parte minima della risorsa prelevata.

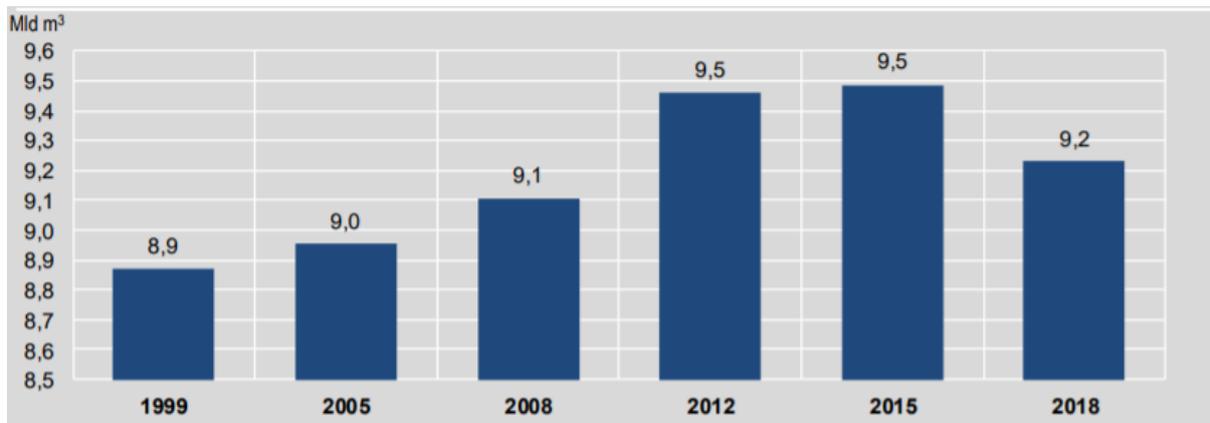


Figura 8: Prelievi di acqua per uso potabile, anni 1999-2018, fonte: [(Istat , 2020)]

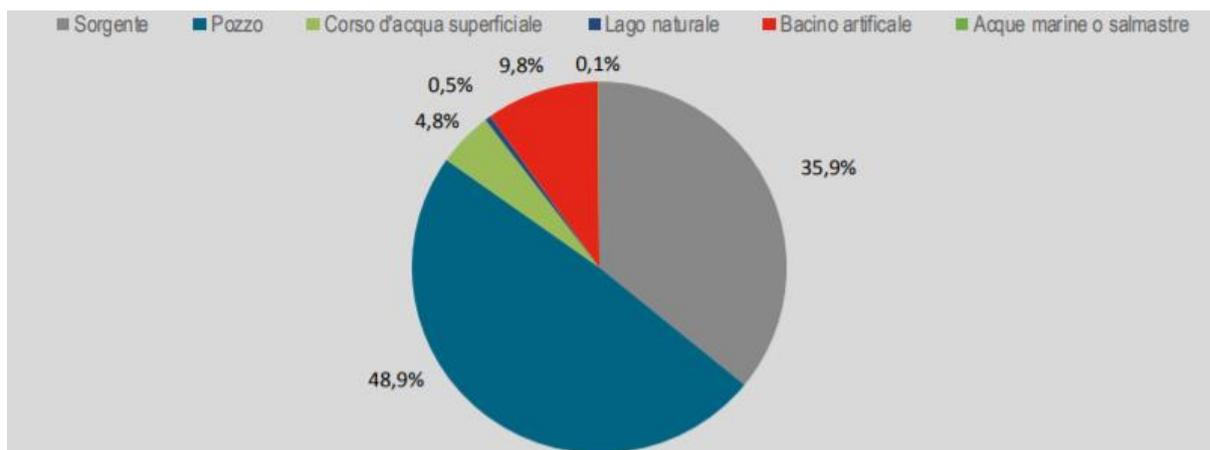


Figura 9: prelievo nazionale di acqua per uso potabile secondo il tipo di sorgente, anno 2018, fonte: [(Istat , 2020)]

Nel distretto del fiume Po, nel 2018, è avvenuto il maggiore prelievo di acqua per uso potabile (circa 2,8 miliardi di metri cubi). A seguire, in misura pressoché proporzionale allo sviluppo areale, i distretti Appennino meridionale (2,3 miliardi di metri cubi), Appennino centrale (1,5 miliardi di metri cubi), Alpi orientali (1,0 miliardi di metri cubi), Sicilia (0,7 miliardi di metri cubi), Appennino settentrionale (0,6 miliardi di metri cubi) e Sardegna (0,3 miliardi di metri cubi). Una minima quantità, pari a poco più di 390 mila metri cubi, proviene da aree ricadenti in distretti extra-territoriali. In tutti i distretti i prelievi si riducono rispetto al 2015 (figura 10). Il prelievo da fonti d'acqua sotterranea è predominante, con percentuali superiori al 75%, in tutti i distretti, ad eccezione del distretto Sardegna, dove poco più del 20% del prelievo deriva da sorgente o pozzo. I distretti Appennino centrale e Alpi orientali utilizzano fonti sotterranee per oltre il 95% dei prelievi effettuati sul loro territorio.

Lo sfruttamento di fonti sorgentizie prevale nel distretto Appennino centrale (il 73% circa del volume complessivo di acqua), seguito dal distretto Appennino meridionale (poco più del 46%). Lo sfruttamento di pozzi è, invece, peculiare del distretto del fiume Po, soprattutto nell'area della pianura Padana, dove concorre al 68,4% del volume complessivamente prelevato nell'anno. L'utilizzo di acque superficiali si conferma prevalente nel distretto Sardegna (poco più del 78% proviene da bacini artificiali). Anche se la percentuale è molto più bassa, ma con dimensioni più consistenti, Lo sfruttamento delle acque di superficie nella regione appenninica meridionale è importante.



Figura 10: Prelievo nazionale di acqua per usi potabili per tipo di sorgente e zona idrografica, anno 2018, Fonte: [Istat, 2020), Censimento delle acque per uso civile]

Il volume totale di acqua prelevata per uso potabile sul territorio italiano da oltre 1.800 fornitori che gestiscono le fonti, ha raggiunto i 9,49 miliardi di metri cubi nel 2015. Questa fornitura costante è resa possibile dalla produzione giornaliera di 26,0 milioni di metri cubi d'acqua, che corrisponde a un'assunzione giornaliera di 428 litri a persona, che equivale a 156 metri cubi all'anno a persona.

In Italia, il volume prelevato per uso potabile è cresciuto costantemente negli ultimi diciassette anni. Rispetto al 1999, anno del primo Censimento delle acque per uso civile, nel 2015, si osserva un aumento del volume prelevato del 6,9 per cento, pari a circa 614 milioni di metri cubi di acqua. Nell'insieme, le regioni del Nord-ovest e del Sud contribuiscono a più della metà dei prelievi complessivi di acqua per uso potabile (Tabella 5). In particolare, la Lombardia è la regione dove si preleva il maggior volume di acqua per uso potabile (il 15,7 per cento del totale nazionale), ma quantitativi consistenti si captano anche nel Lazio (12,4 per cento) e in Campania (10,3 per cento).

REGIONI	Sorgente	Pozzo	Corso d'acqua superficiale	Lago naturale o bacino artificiale	Acque marine o salmastre	Totale	Prelevato pro capite
Piemonte	160,7	415,4	49,9	38,2	-	664,2	412
Valle d'Aosta/Vallée d'Aoste	47,1	6,1	-	-	-	53,2	1.140
Liguria	31,0	130,4	38,0	59,0	-	258,4	449
Lombardia	276,8	1.166,1	0,8	43,1	-	1.486,9	407
Trentino-Alto Adige/Südtirol	193,0	34,0	3,5	0,6	-	231,1	599
<i>Bolzano-Bozen</i>	<i>64,5</i>	<i>18,9</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>83,4</i>	<i>440</i>
<i>Trento</i>	<i>128,5</i>	<i>15,1</i>	<i>3,5</i>	<i>0,6</i>	<i>-</i>	<i>147,7</i>	<i>752</i>
Veneto	179,5	472,9	64,8	2,0	-	719,2	400
Friuli-Venezia Giulia	53,2	163,6	6,3	1,3	-	224,4	502
Emilia-Romagna	32,5	290,5	107,2	57,3	-	487,6	300
Toscana	106,8	226,3	115,4	16,1	1,0	465,6	340
Umbria	44,7	70,0	-	-	-	114,7	352
Marche	117,3	29,5	2,3	25,0	-	174,1	308
Lazio	823,3	309,0	3,8	38,7	-	1.174,9	546
Abruzzo	229,1	44,7	8,0	-	-	281,8	581
Molise	117,9	46,1	-	13,9	-	178,0	1.559
Campania	577,3	397,6	-	0,4	-	975,3	456
Puglia	0,4	72,0	-	101,4	-	173,8	117
Basilicata	57,5	4,8	-	255,1	-	317,4	1.512
Calabria	191,9	183,7	52,8	5,5	-	434,1	603
Sicilia	167,5	455,9	2,4	124,6	10,3	760,7	410
Sardegna	36,5	30,8	0,8	244,4	-	312,5	516
Nord-ovest	515,7	1.718,1	88,7	140,3	-	2.462,8	418
Nord-est	458,2	961,0	181,8	61,2	-	1.662,2	391
Centro	1.092,2	634,8	121,4	79,8	1,0	1.929,2	438
Sud	1.174,2	748,9	60,8	376,4	-	2.360,3	458
Isole	204,0	486,7	3,3	369,0	10,3	1.073,2	436
ITALIA	3.444,3	4.549,5	456,0	1.026,6	11,2	9.487,7	428

Tabella 5: Prelievi di acqua per uso potabile per tipologia di fonte e regione. Anno 2015 (volumi in milioni [m³], pro capite in [l/ab .gg]), fonte :[(Istat , 2020), Censimento delle acque per uso civile].

La tabella sotto riporta i valori di prelievi pro-capite per le macroregioni, sulla base dei dati relativi alla popolazione dell'ultimo censimento del 1991.

Il confronto perseguito per le dieci regioni per le quali erano disponibili i dati relativi al prelievo di acqua per uso domestico nei periodi 1996-1998 e 1999-2001 rafforza il quadro di cui sopra: Il prelievo totale è massimo al Nord per ogni tipologia di utilizzo (Tabella 6). L'irrigazione assorbe circa il 50% dell'acqua totale prelevata, il resto è destinato all'uso domestico, industriale e la produzione di energia in percentuale minore. I prelievi pro-capite possono essere calcolati a partire da dati macroregionali anche se con una certa approssimazione come i confini dell'acqua. I distretti non sono facilmente riducibili ai confini amministrativi.

Regioni	DOMESTICO [m ³ /cap.anno]	IRRIGAZIONE [m ³ /cap. anno]	INDUSTRIA [m ³ /cap.anno]	ENERGIA [m ³ /cap.anno]	TOTALE [m ³ /cap.anno]
NORD	147	532	204	174	1057
CENTRO	148	89	136	7	380
SUD	127	277	65	21	490
ISOLE	140	355	141	79	715
ITALIA	562	1253	546	281	2642

Tabella 6: Prelievo annuale di acqua pro capite per usi diversi in [m³ / cap. anno] in diverse macroregioni, fonte: [(ANPA , 2001), (IRSA-CNR , 1999) , (ISTAT , 1991)]

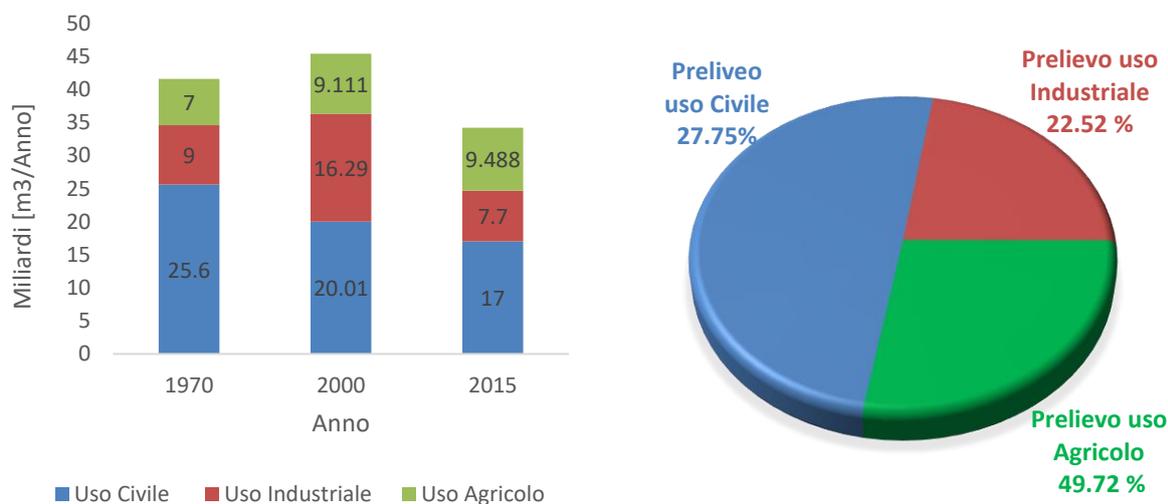


Figura 11: Prelievo idrico per uso agricolo, civile e industriale in Italia ,Fonte: [(Aquastat , n.d) , (worldometers , n,d)

3 BILANCIO IDRICO A SCALA DI CITTA'

Secondo le stime, entro il 2050 il 66% della popolazione sarà concentrato in ambiente urbano. Negli ultimi anni, la maggior parte delle popolazioni continuano a migrare verso le grandi città, a causa della concentrazione economica, che causa un aumento della domanda d'acqua e una pressione costante sulle risorse idriche.

In generale, La gestione in territori a forte vocazione insediativa deve perseguire i seguenti obiettivi prioritari:

- approvvigionare la popolazione con acqua con elevati standard di quantità e qualità.
- garantire adeguati livelli di sicurezza idraulica degli insediamenti.
- garantire la raccolta, la depurazione e lo scarico delle acque reflue depurate, conformemente agli standard di legge.
- assicurare il drenaggio urbano anche in funzione della qualità dei corpi idrici ricettori (reti bianche, reti miste e scaricatori di piena).

Questi obiettivi dovrebbero essere perseguiti attraverso azioni mirate:

- Migliorare l'uso delle risorse idriche, ad esempio attraverso il riutilizzo delle acque grigie e il recupero delle acque piovane.
- Attenuare gli effetti dei flussi di pioggia, ridurre il grado di impermeabilizzazione del suolo, creare tetti verdi e aree vitali per lo stoccaggio dell'acqua, in generale, cercare la stabilità idraulica per le nuove espansioni urbane.
- Gestire il territorio e migliorare il paesaggio urbano.

3.1 Norme sulle risorse idriche

La Legge Galli

Gli interventi mirati alla gestione, al controllo e all'uso delle risorse idriche sono regolati da un quadro normativo riconducibile alla L. n.36 del 5/1/94 ("Disposizioni in materia di risorse idriche"), nota come "legge Galli". A questa legge hanno fatto seguito numerosi interventi normativi, alcuni dei quali di competenza regionale, che complessivamente costituiscono le linee guida per la corretta pianificazione delle risorse idriche. La norma è stata abrogata dal D.lgs. 152/2006, che però ne ha mantenuto quasi totalmente i contenuti.

Legge N. 36 Del 5/1/94

La legge n.36/94 definisce il "sistema idrico integrato" (S.I.I.) come l'insieme dei servizi pubblici di captazione, adduzione e distribuzione di acqua ad usi civili, di fognatura e di depurazione delle acque reflue. Pone quindi l'attenzione sul "ciclo dell'acqua", a partire dalla sua captazione per differenti usi, fino alla restituzione ai corpi ricettori, in condizioni compatibili con la protezione e il rispetto di questi ultimi. L'analisi del ciclo dell'acqua, ovvero il servizio idrico integrato che ne è alla base, va organizzato nell'ambito di un territorio omogeneo definito "Ambito Territoriale Ottimale" (A.T.O.) sia in fase costitutiva che in quella gestionale. La scelta di una scala territoriale di ambito ha l'obiettivo di superare la frammentazione della gestione delle risorse idriche (opere acquedottistiche, fognarie e depurative).

Come prescrive il DM 37/2008 gli impianti idrici e sanitari, indipendentemente dalla propria destinazione d'uso e dalle proprie dimensioni, sottostanno all'obbligo di progetto realizzato da un progettista abilitato o da schema redatto dal responsabile tecnico della ditta installatrice. Tali elaborati devono essere tassativamente allegati alla Dichiarazione di Conformità degli impianti.

La Direttiva Europea 98/83/CE, recepita in Italia con il DL 31/2001, definisce la qualità minima dell'acqua da garantire agli utenti. Qualità di cui sono responsabili il progettista, l'installatore e il manutentore dal punto di consegna dell'acqua nell'impianto domestico, sino al rubinetto.

Il DM 174/2004, ulteriore recepimento della Direttiva 98/83/CE, indica la lista positiva dei materiali utilizzabili nel contesto di impianti di acqua sanitaria. La norma UNI 9182 specifica i criteri tecnici ed i parametri da considerare per il dimensionamento delle reti di distribuzione dell'acqua destinato al consumo umano, i criteri di dimensionamento per gli impianti di produzione, distribuzione e ricircolo dell'acqua calda, i criteri da adottare per la messa in esercizio degli impianti e gli impieghi dell'acqua non potabile e le limitazioni per il suo impiego.

3.2 La rete di distribuzione e le perdite

Le reti di distribuzione hanno il compito di "fornire" acqua agli utenti. Sono costituiti da più elementi e di conseguenza il loro dimensionamento è complesso e viene effettuato utilizzando metodi semplificati. Infatti, si distingue per un gran numero di tubazioni e ciò significa un gran numero di valvole a saracinesca, valvole e raccordi, che sono tutti molto diversi tra loro. A questi si aggiungono le connessioni con le utenze e i relativi problemi inerenti alla natura delle connessioni stesse. Questa varietà di strumenti significa una maggiore probabilità di guasto, combinata con le maggiori sollecitazioni a cui sono sottoposte le condutture. Infatti, sono generalmente alloggiati lungo la rete stradale e, oltre ai carichi imposti dalla pressione, vengono aggiunti quelli dovuti al passaggio veicolare.

La perdita d'acqua (Water Loss) è l'acqua prodotta ma non venduta ai clienti o utilizzata. La perdita d'acqua è un problema globale. Non vi è alcun sistema di distribuzione dell'acqua con perdite 0 % (Winarni , 2009).

Le perdite d'acqua sono uno dei maggiori problemi che devono essere affrontati per una gestione corretta e sostenibile dei sistemi di acquedotto. La loro presenza comporta problemi di tipo ambientale (spreco di una risorsa potenzialmente esauribile), finanziario (acqua non fatturata e quindi danni economici da parte del gestore), energetico (inutili consumi energetici nei pompaggi), viabilistico (disagi per il traffico veicolare) e sociale (possibili danni a persone e cose).

Per quanto concerne le perdite sono suddivisibili in due categorie: perdite amministrative (apparenti) e perdite fisiche (reali).

Perdite fisiche (reali):

Le perdite fisiche sono per lo più riconducibili alla non integrità e/o alla mancanza di tenuta degli elementi che costituiscono la rete idrica, quali le condotte, i giunti, le derivazioni di utenza, gli organi idraulici, le pareti dei serbatoi, etc.... Tali perdite, in molti casi, possono rimanere non individuate per mesi o addirittura per anni.

Quelle maggiori in termini di portata, di solito, si verificano in seguito a rotture improvvise di tubi o giunzioni. Invece quelle minori, provengono dalle giunzioni, dalle tubazioni e dagli impianti.

Tuttavia, le perdite possono essere presenti in ogni componente degli impianti a causa di difetti di costruzione, derivate dall'età o da errori di manutenzione e di gestione inadeguati.

I fattori che maggiormente influenzano le perdite reali nelle condotte sono:

- tipo di terreno e condizioni di posa, che possono influenzare sia la frequenza che il numero delle rotture.
- difetti di costruzione e materiali utilizzati per le condotte.
- presenza di un numero molto elevato di pezzi speciali e di apparecchiature di regolazione.
- numero delle prese di allaccio delle utenze.
- lunghezza delle condotte.
- età delle condotte.
- tipologia e qualità delle giunzioni.
- pressioni elevate e periodo durante il quale la rete è soggetta a tali valori di pressione.
- sollecitazioni sui tubi per effetto delle azioni esterne, ad esempio, quelle dovute al traffico.
- difficoltà e costi elevati degli interventi di riparazione (talvolta per questo motivo possono essere mantenuti in esercizio tratti della rete che sarebbe invece opportuno riparare o sostituire).

Le perdite fisiche si mitigano con interventi sulle reti e sugli impianti, tenuto conto che alcune perdite, nell'ordine del 5-10% del volume d'acqua captato, sono da considerarsi "fisiologiche" e pertanto non eliminabili.

Anche perché da un punto di vista economico non risulta conveniente spingere la ricerca della riduzione delle perdite reali al di sotto di un dato limite che, in base all'esperienza, è possibile assumere tra il 15 e il 20% del volume d'acqua captato.

Perdite amministrative (apparenti):

Le perdite amministrative costituiscono i volumi idrici consumati e non contabilizzati:

- volumi autorizzati ma non misurati, ad esempio, quelli utilizzati per idranti, bocche antincendio, lavaggi strade, innaffiamento di giardini, fontane, etc.
- volumi di servizio, utilizzati per il corretto funzionamento del sistema idrico quali lavaggi della rete, pulizia dei serbatoi, etc.
- volumi persi per sfiori dei serbatoi, errate aperture di scarichi, etc.
- volumi dovuti a errori di misura.
- volumi prelevati illegalmente.

La natura di tali perdite è completamente diversa da quella delle perdite fisiche e possono essere abbattute con interventi sugli strumenti di misura e soprattutto sulle metodologie di rilevazione dei consumi.

Le perdite di misura sono gli errori che commettono i contatori, derivanti da usura, cattiva manutenzione o guasto e sono tipicamente a svantaggio dei gestori. Inoltre, le perdite possono essere generate dall'esistenza di utenze non censite o gratuite, quali ad esempio i lavaggi delle strade, i lavaggi delle condotte, gli idranti, le fontane, ecc.

L'effetto globale delle perdite è comunque quello di ottenere una differenza tra il volume fisicamente consegnato all'utenza (già depurato delle perdite fisiche) ed il volume effettivamente misurato e posto a ruolo per la riscossione della corrispondente tariffa.

Delle perdite apparenti possono quindi in generale essere ridotte o eliminate solo le aliquote dovute ai volumi idrici utilizzati illegalmente (prese e allacci abusivi, manomissioni dei contatori ecc.), ai volumi contabilizzati per difetto (cattivo funzionamento dei contatori) e a quelli sprecati per una non corretta gestione dell'acquedotto (sfiori dai serbatoi, aperture errate degli organi di scarico). Tuttavia, il tasso di perdite amministrative non eliminabili è dovuto a causa dei volumi utilizzati per i servizi pubblici.

3.3 Bilancio Idrico secondo IWA

International Water Association (IWA) negli ultimi 20 anni ha sviluppato, insieme ad altre organizzazioni, degli strumenti e metodologie per aiutare i servizi pubblici a valutare e gestire le perdite d'acqua in modo efficace (United States Environmental Protection Agency, EPA 2013; Frauendorfer e Liemberger 2010). IWA, attraverso la sua Water Loss Task Force, ha sviluppato un bilancio idrico standard internazionale di "best practice" (Figura 1), con definizioni chiare (Farley e Trow 2007; Lambert et al. 2014). I termini e l'approccio dell'IWA sono stati introdotti per la prima volta in un rapporto pubblicato dall'IWA da Lambert e Hirner nel 2000 che poi ha ottenuto l'accettazione internazionale ed è stato promosso da molte organizzazioni nazionali e internazionali.

Volume d'ingresso del sistema	Consumo autorizzato (BW)	Consumi autorizzati e fatturati	Consumo misurato fatturato (compresa l'acqua esportata)	Acqua fatturata
			Consumo non misurato fatturato	
		Consumi autorizzati e non fatturati	Consumo misurato e non fatturato	Acqua non fatturata (NRW)
			Consumo non misurato e non fatturato	
	Perdite d'acqua (WL)	Perdite Idriche apparenti (AL)	Consumo non autorizzato (UC)	
			Inesattezze di misurazione del cliente (CMI)	
			Gestione dei dati ed errori di fatturazione (BEs)	
		Perdite Idriche reali (RL)	Perdite alla trasmissione e / o Rete di distribuzione	
			Perdite e straripamenti nei serbatoi di stoccaggio dell'Utilità	
			Perdite sui collegamenti di servizio fino al punto di misurazione del cliente	

Figura 12: Standard internazionale di bilancio idrico e terminologia (adattato da Lambert e Hirner (Lambert-Hirner, 2000))

Le definizioni abbreviate dei componenti principali della Figura 12 sono le seguenti:

Volume d'ingresso del sistema: l'ingresso annuale in una parte definita del sistema di approvvigionamento idrico.

Consumo autorizzato (BW): il volume annuale di acqua dosata e/o non dosata prelevato dai clienti registrati, dal fornitore di acqua e da altre persone implicitamente o esplicitamente autorizzate a farlo. Comprende l'acqua esportata, le perdite e le tracimazioni dopo il punto di misurazione del cliente.

Acqua non fatturata (NRW): la differenza tra il volume d'ingresso del sistema e il consumo autorizzato fatturato. Il NRW è costituito dal consumo autorizzato non fatturato e dalle perdite d'acqua.

Perdite d'acqua (WL): la differenza tra il volume d'ingresso del sistema e il consumo autorizzato, costituito da perdite apparenti e perdite reali.

Le perdite apparenti (AL): consistono in consumi non autorizzati e imprecisioni di misurazione.

Perdite reali (RL): i volumi annui persi a causa di tutti i tipi di perdite, esplosioni e traboccamenti sulla rete elettrica, sui serbatoi di servizio e sulle connessioni di servizio, fino al punto di misurazione del cliente. I componenti del bilancio idrico dovrebbero essere sempre calcolati ed espressi come volumi prima di tentare di calcolare gli indicatori di performance.

3.4 Valutazione della perdita di acqua (WLA)

La strategia adottata per la riduzione delle perdite consiste in:

ANALISI DEI LIVELLI DI PERDITA: utilizzo di metodologie e terminologie comuni, riconosciute e approvate a livello internazionale (IWA – International Water Association).

AZIONI CORRETTIVE: interventi mirati e specifici in funzione del campo d’interesse tramite ispezioni e verifiche in campo, misure elettroacustiche (correlatore, noise logger, geofono, asta acustica ecc.), gestione i metodi di valutazione della perdita di acqua nei sistemi di approvvigionamento idrico.

La valutazione della perdita d'acqua può essere condotta in diverse fasi, come mostrato. nella Figura 12.

Fase 1:

Consiste nello scoprire quanto è il volume totale della perdita d'acqua (WL) (Figura 13a). Questo può essere calcolato direttamente dalle Equazioni 3.1 e 3.2:

$$NRW = SIV - BW \quad (3.1)$$

$$WL = NRW - UAC \quad (3.2)$$

NRW: Volumi di Acqua non Fatturata

BW: Volumi di Acqua fatturata

WL: Perdita d'acqua

UAC: Consumo autorizzato non fatturato, che di solito è un piccolo componente che può essere stimato dai registri dell'azienda idrica.

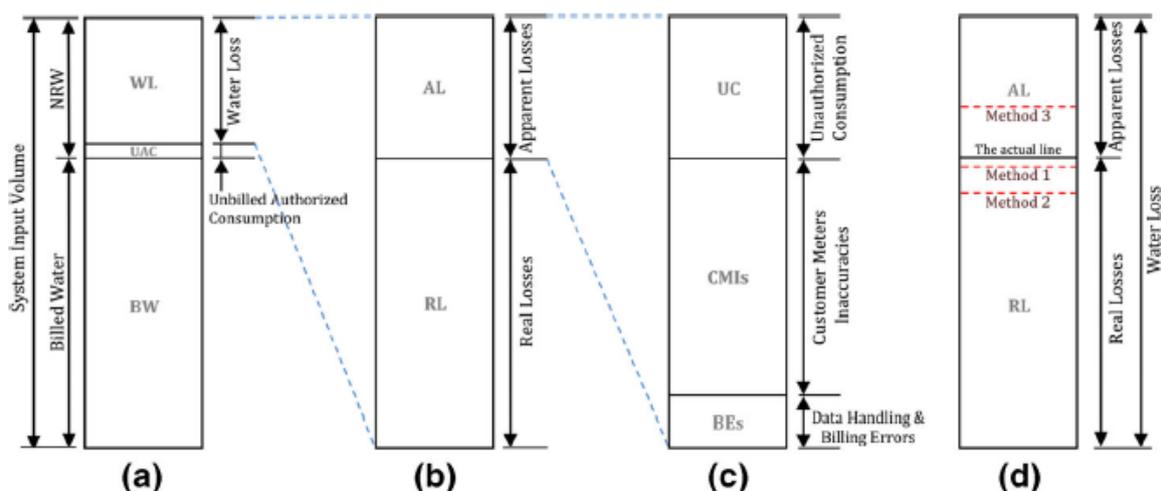


Figura 13: Fasi di valutazione della perdita d'acqua.

Fase due:

Nella seconda fase il volume totale delle perdite d'acqua viene suddiviso nelle sue due componenti: perdite apparenti e perdite reali (Figura 13b).

Fase tre:

Il terzo stadio consiste nel condurre un'analisi dei sottocomponenti, di solito per le perdite apparenti (Figura 13c) ma anche per le perdite reali. Quindi, un'attenta valutazione e/o analisi comparativa dei due principali componenti della perdita d'acqua viene effettuata in una fase avanzata, quando più di un metodo per la valutazione della perdita d'acqua può essere applicato o combinato (Figura 13d).

Il passo cruciale in questo schema è la seconda fase in cui il volume totale delle perdite d'acqua viene suddiviso nelle sue due componenti principali e viene tracciata la linea di demarcazione tra perdite apparenti e perdite reali (Figura 13b).

Ci sono tre metodi comuni per il processo di stima dei componenti:

- Analisi del flusso notturno minimo MNF (Minimum Night Flow)
- Stime di BABE Bursts and Background Estimates (BABE)
- Il bilancio idrico Top-Down.

L'analisi MNF fornisce misurazioni effettive la cui accuratezza può essere valutata.

Tuttavia, richiede un intenso lavoro sul campo.

La limitazione dell'applicazione MNF è la sensibilità di due parametri, ovvero la pressione media, che raramente è accurata e la stima del consumo notturno.

Il MNF è un metodo basato sul campo, a differenza degli altri due i quali non necessitano che ci si rechi sul campo.

La valutazione delle perdite reali con i fattori generati dal modello BABE non dovrebbe essere condotta, a meno che non vi siano altre opzioni, a causa dei suoi presupposti eccessivi.

Invece, il metodo top-down dovrebbe essere uno strumento supplementare per abbattere il volume delle perdite reali nei suoi sottocomponenti.

Il bilancio idrico top-down non dipende né dalla pressione né dal metodo di lavoro sul campo esteso. Tuttavia, i suoi presupposti di perdite apparenti non sono appropriati per tutte le utenze.

La mancanza di una metodologia obiettiva per stimare il consumo non autorizzato è una grande limitazione e la ricerca sulla sua stima è impegnativa.

3.4.1 Metodo del Minimum Night Flow (MNF)

Il metodo MNF stima le perdite reali in una piccola parte separata della rete. Una volta che le perdite reali sono stimate, le perdite apparenti possono poi essere calcolate sottraendo il volume di perdite reali dal volume totale delle perdite d'acqua.

Un'analisi MNF viene solitamente eseguita in un'area distrettuale (DMA) che è una parte della rete isolata idraulicamente. DMA è una zona discreta con un confine permanente definito da misuratori di portata e/o valvole chiuse (Farley M, Trow S , 2007) . Comprende tipicamente tra 500 e 3000 connessioni per il servizio clienti con flusso d'ingresso di alimentazione misurato (American Water Works Association, (AWWA , 2009); (Thornton J , 2008)). DMA possono essere già stabiliti nel sistema di distribuzione.

La stima della componente di perdita reale attraverso questo metodo viene effettuata sottraendo i possibili legittimi utilizzi notturni dal MNF attraverso l'Equazione 3.3. ((Chisakuta S and al. , 2011); (Farley M, Trow S , 2007)):

$$\text{NNF} = \text{MNF} - \text{LNF} \quad (3.3)$$

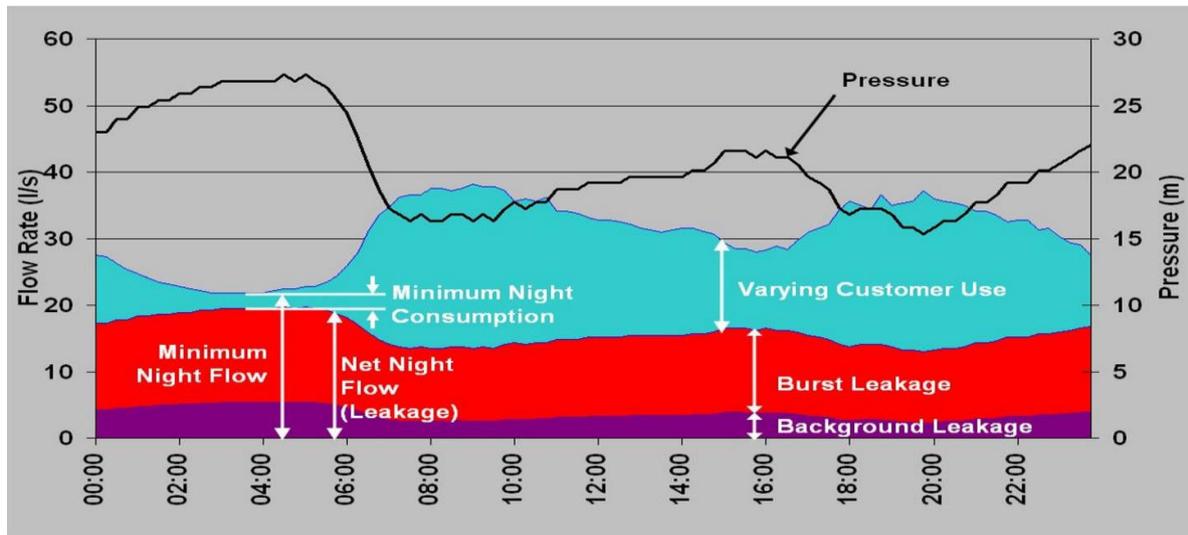


Figura 14: Variazione di portata (che indica MNF), pressione e perdita in un DMA (per gentile concessione di Lambert A, Liemberger R. e Thornton J.)

Dove:

NNF (Net Night Flow): Flusso notturno netto (perdite)

MNF (Minimum Night Flow): Flusso notturno minimo

LNf (Legitimate Night Flow): Legittimo flusso notturno

LNf dovrebbe essere stimato accuratamente caso per caso, ma può essere calcolato approssimativamente partendo da una supposizione, ovvero che il 6% della popolazione sia attiva e che l'uso dell'acqua sia per lo sciacquone del WC, ed è dell'ordine di 10 litri (R, Hamilton S and McKenzie, 2014). Tuttavia, il risultato ottenuto da equazione 3.3 indica le perdite reali solo nelle ore notturne e non per l'intera giornata. La stima del valore delle perdite reali attraverso la generalizzazione del NNF per tutte le ore del giorno porterebbe ad una sovrastima della perdita giornaliera, a causa della minore pressione media durante il giorno (dovuta a flussi più elevati). La pressione media, e quindi le perdite, nel DMA cambia in un periodo di 24 ore a seconda dello schema di pressione del sistema di approvvigionamento.

Quando il DMA ha i suoi afflussi più bassi, la pressione è al massimo e così pure le perdite, come mostrato in Figura 14.

Per questo motivo, Lambert ha sviluppato un concetto per la modellazione della pressione di perdita che può essere utilizzato per stimare le perdite reali a qualsiasi ora del giorno.

L'aumento o la diminuzione delle perdite reali dovute ad una variazione di pressione durante il giorno possono essere calcolati con il concetto di scarichi ad area fissa e variabile (FAVAD).

Dopo intensi esperimenti e sforzi per semplificare il concetto FAVAD, le perdite in qualsiasi momento specifico possono essere calcolate attraverso Equazione. 3.4 (Lambert, 2001):

$$\frac{L1}{L0} = \left(\frac{P1}{P0} \right)^{N1} \quad (3.4)$$

Dove

L: Perdita

P: pressione

N1: esponente delle perdite

L'esponente della perdita (N1) varia da 0,5 a 1,5. Essendo vicino a 0,5 con percorso di perdita ad area fissa e 1,5 con percorso di perdita variabile.

Le perdite ad area fissa di solito si verificano su materiali di tubi rigidi e le perdite ad area variabile si verificano su materiali di tubi flessibili come il PVC o il polietilene. Di conseguenza, l'esponente N1 è 0,5 per i tubi rigidi e 1,5 per i flessibili tubi ed è compreso tra i due valori per le reti di tubi misti.

Dopo aver effettuato vari test in tutto il mondo, si è evinto che il valore medio N1 per un sistema è dell'ordine di 1,15 e potrebbe essere assunto 1, che implica una relazione lineare tra portata di perdita e pressione, a meno che le informazioni non siano disponibile per calcolare il valore reale dai dati registrati ((McKenzie R and al , 2003); (Morrison J and al . 2007)).

Pertanto, conoscendo il rapporto di perdita di pressione e il valore dell'esponente N1, Il volume delle perdite può essere calcolato a qualsiasi ora del giorno a partire da equazione 3.4.

Per ottenere il volume delle perdite giornaliere (o perdite reali), si dovrebbe calcolare un fattore che relaziona la notte e il giorno (Night-Day Factor (NDF)).

NDF è un parametro che mette in relazione il tasso di perdita notturna con il tasso di perdita giornaliero, come mostrato in equazione. 3.5 (Morrison J and al . 2007).

$$\text{Volume di perdita giornaliera} = \text{NDF} \times \text{NNF} \quad (3.5)$$

Dove

NDF: Fattore notte-giorno (ore al giorno)

NNF: Flusso notturno netto (tasso orario)

L'NDF è solitamente inferiore o uguale a 24 h/giorno per i DMA con alimentazione a gravità e può arrivare fino a 12 h/giorno per i sistemi a gravità a bassa pressione con grandi perdite di carico per attrito. Nei sistemi alimentati a gravità, i valori da 18 a 24 sono tipici.

Per i DMA alimentati a pressione diretta, l'NDF è superiore a 24 h/giorno e può arrivare fino a 36 h/giorno.

Il valore di NDF può essere calcolato a partire da equazione 3.6 oppure equazione 3.7 ((Morrison J and al . 2007); (Pillot J and al. 2014)).

$$NDF = \left(\frac{P_0}{P_{\min}} \right)^{N1} + \left(\frac{P_1}{P_{\min}} \right)^{N1} + \left(\frac{P_2}{P_{\min}} \right)^{N1} + \dots + \left(\frac{P_{23}}{P_{\min}} \right)^{N1} \quad (3.6)$$

Dove

P0, P1, P2, ...ecc. sono pressioni corrispondenti alla serie oraria dei flussi notturni.

P_{\min} è la pressione dell'analisi MNF.

$$NDF = 24 \times \frac{\text{Pressione media giornaliera}}{P_{\min}} \quad (3.7)$$

L'approccio sistematico per calcolare la pressione media a qualsiasi sistema di alimentazione:

- Il calcolo della media ponderata del livello del suolo della zona.
- Identificare un punto di gestione conveniente, vicino al centro della zona, che abbia lo stesso livello medio ponderato del suolo. Questo punto è noto come punto medio di zona (AZP).
- Misurare la pressione nel punto medio della zona e utilizzarla come pressione media surrogata. Le pressioni AZP dovrebbero essere calcolate come valori medi sulle 24 ore, poiché la pressione media è un parametro sensibile nella stima delle perdite reali attraverso l'analisi MNF (Høgh.K , 2014).

Conoscendo il valore di NDF dall'equazione 3.6 o equazione 3.7, il volume totale delle perdite reali in una specifica DMA può essere stimato attraverso l'equazione 3.5.

L'analisi del flusso minimo notturno rimane l'unico metodo che fornisce preziose misurazioni reali la cui accuratezza può essere valutata. Tuttavia, MNF richiede un intenso lavoro sul campo che ne limita l'uso per la valutazione regolare, inoltre richiede investimenti rilevanti, attrezzature sofisticate e una conoscenza tecnica avanzata dei componenti della rete.

L'accuratezza di questo metodo dipende dalla capacità tecnica del personale del gestore della rete, la pressione media che è sempre discutibile e la stima del consumo notturno, un parametro sensibile che è influenzato dall'alta densità di popolazione con diverse abitudini di consumo. Affinché l'output di questo metodo sia generato e generalizzato annualmente per l'intera rete, l'analisi dovrebbe essere condotta regolarmente durante tutto l'anno e per diversi DMA rappresentativi.

3.4.2 Metodo Burst and Background Estimates (BABE)

Il concetto sottostante

Burst and Background Estimates (BABE) è stato introdotto per la prima volta da Lambert. È stato il primo approccio a modellare i componenti di perdita in modo oggettivo, piuttosto che empirico (American Water Works Association, (AWWA , 2009)).

Attraverso l'approccio BABE, la perdita d'acqua WL (Water Losses) viene valutata stimando il volume delle perdite reali e quindi si possono calcolare le perdite apparenti sottraendo il volume delle perdite reali dal volume totale di WL. Il principio alla base del concetto di BABE è che le perdite reali sono costituite da numerose perdite.

Il volume delle perdite per ogni evento è una funzione delle portate medie e dei tempi medi di funzionamento per i diversi tipi di perdite.

Nel concetto di BABE, il volume di una singola perdita o scoppio è calcolato come la portata media moltiplicata per la durata per la quale la perdita o lo scoppio funziona come mostrato nell'equazione:

$$V = Q \times T \quad (3.8)$$

Dove

V: volume delle perdite

Q: portata di perdita

T: durata della perdita.

In base all'Equazione, si può dedurre che Lambert e Morrison (1996) hanno classificato le perdite in categorie relative ai due parametri a destra dell'equazione:

- categorie basate sulla portata.
- categorie basate sulla durata.

In base al criterio della portata, una perdita può essere uno scoppio con elevata portata (quindi da essere segnalata o rilevata dai gestori della rete) o una perdita di fondo con bassa portata (quindi non rilevabile dal gestore della rete).

Pertanto, i singoli punti di perdita sono stati classificati come perdite di fondo, a meno che la portata non sia pari a 500 L/h.

Quasi tutte le perdite provenienti dai raccordi delle connessioni di rete e di servizio rientrano nella categoria di fondo, comprese le valvole dell'aria, gli idranti, i rubinetti di arresto, i rubinetti di sgocciolamento, le cisterne, ecc.

Per cisterne e serbatoi, le perdite di fondo rappresentano perdite dalla struttura, e gli sfioratori sono equivalenti alle esplosioni.

Le definizioni successive per i tipi e la durata delle perdite sono le seguenti:

- Le perdite di fondo sono l'aggregazione delle piccole perdite con portate troppo basse ($\leq 0,5$ m³/h) per essere rilevate da un controllo attivo delle perdite ALC (Active Leakage Control) o dalle indagini di rilevamento delle perdite dell'utilità.
- Le perdite segnalate sono visibili e di solito vengono segnalate rapidamente dal pubblico od osservate dal personale dell'azienda idrica.
- Le esplosioni non segnalate sono perdite che non sono visibili in superficie ma che di solito vengono scoperte durante indagini sulla rilevazione delle perdite.

Mentre le perdite di fondo sono previste in continuo, Le esplosioni segnalate e non segnalate hanno durata variabile (Lambert e Morrison 1996).

La durata delle esplosioni è stata suddivisa in tre componenti:

- Tempo di Consapevolezza: il tempo che intercorre tra il verificarsi di una perdita fino alla scoperta della sua esistenza da parte del gestore.
- Tempo di localizzazione: il tempo necessario ad un'azienda idrica per indagare sulla segnalazione di una perdita e per localizzare correttamente la sua posizione in modo da poter effettuare una riparazione.
- Tempo di riparazione: il tempo che un'azienda idrica impiega per la riparazione della perdita una volta che la perdita stessa è stata localizzata (American Water Works Association, (AWWA , 2009); (Farley M and al. 2008); (Wu ZY and al. 2011).

Di conseguenza, l'approccio BABE utilizza dati provenienti da tre fonti distinte:

componenti standard (esempio la correzione della pressione e portate medie di esplosione),

dati locali verificabili (esempio la lunghezza della rete e frequenza delle esplosioni) e i dati delle politiche aziendali, in termini di influenza sulla durata dello scoppio (Lambert 1994).

Utilizzando le classificazioni di cui sopra, è stato utilizzato l'approccio BABE Equazione 3.9 per modellare diversi parametri.

$$V = N \times Q \times T \quad (3.9)$$

Dove

V: volume delle perdite

N: numero di perdite

Q: portata di perdita

T: durata media delle perdite

Sono stati generati fattori tipici per semplificare il calcolo del volume totale delle perdite.

Per generare fattori per l'uso pratico del modello BABE, i dati effettivi sono stati applicati nell'equazione (3.10) per modellare le perdite nel caso in cui si ritiene che tutte le esplosioni siano ≥ 500 l/h e che siano state temporaneamente spente o riparate.

Stima delle perdite reali utilizzando i fattori BABE

Per stimare le perdite reali utilizzando i fattori BABE, le perdite reali annue evitabili e inevitabili devono essere stimate e aggregate.

Farley ha presentato le portate tipiche utilizzate per stimare il volume evitabile di perdite da esplosioni segnalate e non segnalate utilizzando i dati del gestore relativi al numero di esplosioni sulle connessioni di rete che sono segnalate dal pubblico ed il numero di esplosioni sulle connessioni di rete che vengono rilevati attraverso indagini di rilevamento delle perdite condotte sulla base della politica dell'ALC del gestore ((AWWA , 2009); (Farley M and al. 2008); (Wu ZY and al. 2011)).

Vale la pena ricordare che questa parte del modello di Lambert rappresenta le perdite reali annuali inevitabili (UARL) che possono essere stimate separatamente dall'equazione (3.10) (Lambert A and al. 2014).

$$UARL = (L / \text{collegamento al servizio} / \text{giorno}) = \left(18 \times \frac{Lm}{Nc} + 0.80 + 0.025 \times Lp \right) \times P \quad (3.10)$$

Dove:

Lm: Lunghezza della rete elettrica in km

Nc: Numero di collegamenti di servizio

Lp: Lunghezza totale in km di tubazioni private di collegamento sotterraneo (tra il bordo della strada e i contatori dei clienti)

P: Pressione media di esercizio in metri.

Il volume totale delle perdite reali viene quindi stimato aggregando le perdite evitabili e inevitabili. Va notato che i fattori generati dal modello BABE sono facili da usare.

Tuttavia, le ipotesi del modello dovrebbero essere verificate prima di valutare la perdita d'acqua attraverso questo metodo. Inoltre, esiste un fattore di calibrazione per il modello. Esso considera le condizioni dell'infrastruttura del sistema da valutare rispetto alle condizioni della stessa nei casi in cui i fattori del modello sono stati sviluppati. Questo fattore è chiamato fattore di condizione dell'infrastruttura e il suo valore varia da 1 a 3.

La valutazione delle perdite reali utilizzando i fattori generati dal modello BABE è un semplice passaggio che utilizza dati relativamente disponibili per i gestori in un contesto di paesi sviluppati.

Il modello BABE è l'unico approccio che scompone le perdite reali in sottocomponenti, permettendo quindi alla società dei servizi idrici di capire meglio la natura e i tipi di perdite nella rete, e di rendersi conto degli impatti delle politiche relative alle perdite di servizio sull'entità delle perdite reali. Il modello permette anche di considerare le condizioni specifiche dell'infrastruttura e valutare le pratiche di gestione verso perdite reali.

Tuttavia, ci dovrebbe essere una differenziazione tra il concetto di BABE che include l'UARL e i Fattori BABE che vengono utilizzati per valutare le perdite d'acqua.

La valutazione delle perdite reali attraverso BABE è discutibile. Il modello infatti utilizza ipotesi di casi specifici che non possono essere rappresentativi in maniera sufficiente per varie reti internazionali.

Non esiste una presentazione completa dello sviluppo delle equazioni e dei fattori del modello, e nemmeno sono disponibili dati completi per la calibrazione e la validazione del modello in altri casi nei paesi sviluppati o in via di sviluppo. Il modello non può essere applicabile per i servizi pubblici senza un regolare controllo attivo delle perdite come quelli dei paesi in via di sviluppo. Il WLA non deve essere condotto attraverso i fattori BABE a meno che non vi siano altre opzioni a causa delle sue eccessive ipotesi che portano a sottovalutare il volume delle perdite reali.

Questo metodo dovrebbe invece essere utilizzato come strumento supplementare per suddividere il volume delle perdite reali nei suoi sottocomponenti. Il concetto di BABE, incluso il principio UARL, dovrebbe essere promosso per le fasi che vanno oltre il WLA, come la riduzione e la gestione delle perdite idriche.

3.4.3 L'approccio Top-Down Water Balance

Il bilancio idrico Top-Down è stato introdotto per la prima volta da Lambert e Hirner nel Regno Unito e a livello internazionale da Lambert (2002). A differenza dell'analisi MNF e dell'approccio BABE, la componente delle perdite apparenti viene stimata prima nell'approccio del bilancio idrico, e poi le perdite reali possono essere calcolate sottraendo il volume delle perdite apparenti dal volume totale del WL.

Secondo il bilancio idrico standard dell'IWA, l'acqua dovrebbe essere quantificata interamente (tramite misurazione o la stima) come consumo autorizzato oppure come perdite. L'approccio top-down ha quattro fasi fondamentali per condurre un bilancio idrico. Queste fasi, gestite da American Water Works Association (AWWA), Farley e Lambert sono le seguenti:

(1) Determinazione del volume di ingresso del sistema:

La quantità di acqua prodotta e/o importata.

(2) Determinazione del consumo autorizzato:

- Fatturato: il volume totale dell'acqua fatturata e venduta dall'azienda idrica
- Non fatturata: volume totale di acqua fornita gratuitamente, (misurato e non misurato).

(3) Stima delle perdite apparenti:

- Furto d'acqua e frode.
- Sotto-registrazione dei contatori. Poiché la tendenza dei contatori dei clienti tende ad essere sotto-registrazione di una registrazione eccessiva.
- Errori di gestione dei dati.

(4) Calcolo delle perdite reali:

- perdite sulla rete di trasmissione.
- perdite sulla rete di distribuzione.
- perdite da serbatoi e traboccamenti.
- perdite sui collegamenti del servizio clienti.

In base a questi passaggi, il volume di ingresso del sistema, il consumo fatturato e i consumi autorizzati non fatturati vengono solitamente misurati. Al contrario, i consumi autorizzati non fatturati e non misurati si stimano come perdite apparenti.

Il consumo autorizzato non fatturato (misurato e non misurato) è di solito un piccolo componente e quindi tipicamente assunto nell'intervallo dallo 0,5% (Lambert e Taylor, 2010) all'1,25% (AWWA, 2009) del volume di ingresso del sistema o stimato dal gestore in quanto specifico del caso.

D'altronde, la stima delle perdite apparenti è basata sull'ipotesi di un'azione non autorizzata. La perdita potrebbe anche essere ipotizzata al 10 % dell'acqua fatturata come suggerito da Mutikanga (Mutikanga H and al. 2011). In alternativa, può essere stimato tramite dati certi convalidati dall'ente gestore.

Successivamente, le imprecisioni del contatore del cliente devono essere stimate tramite test a diverse portate sul contatore stesso che rappresentano l'uso tipico dell'acqua da parte del cliente (AWWA, Farley, Mutikanga).

Il passo successivo è quello di stimare gli errori sistematici di gestione dei dati esportando e analizzando l'andamento storico dei dati di fatturazione per un certo periodo (Farley M and al. 2008); (Mutikanga H and al. 2011)).

Per ultimo, la componente di perdite apparenti viene stimata sommando i suoi sottocomponenti. Le perdite reali vengono poi calcolate sottraendo le perdite apparenti dal volume totale di Water Loss (WL).

Seguendo questi passaggi, le componenti di perdita d'acqua (WL) vengono quantificate e il bilancio idrico viene stabilito attraverso l'approccio Top-Down.

I risultati di questo approccio sono di solito presentati nella forma standard nella Figura 13.

Per risultati soddisfacenti, Alegre (Alegre H and al, 2000) viene raccomandato che tutti i calcoli del bilancio idrico siano associati a gradi di confidenza per migliorare l'accuratezza dei parametri sensoriali. Se si vuole migliorare l'affidabilità delle stime del bilancio idrico, la priorità deve essere data ai componenti con la maggiore varianza.

Il bilancio idrico Top-Down non è né dipendente dalla pressione, né un metodo di lavoro su vasta scala. Si tratta di una valutazione economica che dovrebbe avere un utilizzo prioritario e deve essere condotta annualmente consentendo così un regolare monitoraggio interno ed esterno delle perdite reali. Tuttavia, le sue ipotesi relative alle perdite apparenti non sono sempre applicabili a tutte le società di servizi idrici, soprattutto nei paesi in via di sviluppo. La mancanza di una metodologia obiettiva per la stima dei consumi non autorizzati, è un limite importante.

Il principio di ipotizzare specifici sottocomponenti di perdita d'acqua (WL) potrebbe avere un'influenza negativa. Ogni qualvolta che un sottocomponente viene assunto ad un certo livello, non può più essere monitorato per le sue misure di riduzione.

Questo risulta essere un problema critico soprattutto per i servizi di pubblica utilità, in cui le perdite apparenti sono significative e regolari, e il monitoraggio del livello delle perdite apparenti è una priorità.

3.5 Caso di studio dell'approccio top-down

In questo esempio, i dati del caso studio utilizzati riguardano l'area del "Sky" al Pireo, in Grecia (Kanellopoulou , 2011) i componenti costitutivi del bilancio idrico vengono inseriti utilizzando i valori assoluti del volume ed elaborando i corrispondenti valori percentuali. Sono queste cifre percentuali che di solito vengono citate e va sottolineato che potrebbero essere fuorvianti come indicatori di performance in quanto fortemente influenzate dai consumi e dalle variazioni dei consumi (B. Charalambous , 2011) .

Volume d'ingresso del sistema 11.985.560 100,00%	Consumo autorizzato (BW) 10.276.626 58,74%	Consumi autorizzati e fatturati 10.216.698 85,24%	Consumo misurato fatturato (compresa l'acqua esportata) 10.216.698 (85,24%)	Acqua fatturata 10.216.698 85,24%	
			Consumo non misurato fatturato Zero		
		Consumi autorizzati e non fatturati 59.928 0,50%	Consumo misurato e non fatturato Zero		
			Consumo non misurato e non fatturato 59.928 (0,50%)		
	Perdite d'acqua (WL) 1.708.934 14,26%	Perdite Idriche apparenti (AL) 299.639 2,50%		Consumo non autorizzato (UC)59.928 (0,50%)	Acqua non fatturata (NRW) 1.768.862 14,76%
				Inesattezze di misurazione del cliente (CMIs) 239.711 (2,00%)	
		Perdite Idriche reali (RL) 1.409.295 11,76%	Perdite reali sulla rete idrica grezza e al centro di trattamento Zero		
			Perdite sulle reti di trasmissione e/o distribuzione 80.458 (0,67%)		
			Perdite e sfioramenti nei serbatoi di stoccaggio 11.986 (0,10%)		
			Perdite di servizio Collegamenti fino al punto di misurazione 268.913 (2,24%)		
	Perdite rilevabili 1.047.938 (8,74%)				

Figura 15: Approccio top-down utilizzando il bilancio idrico IWA

L' Acqua non fatturata (NRW) è spesso espresso come una percentuale del volume d'ingresso del sistema. Tuttavia, un vero indicatore di performance finanziaria deve riflettere sia i costi

che i volumi. Un indicatore finanziario migliorato può essere utilizzato convertendo il volume dell'acqua non fatturata in costi.

Un esempio è mostrato nella tabella 7 qui sotto, dove i volumi NRW nel bilancio idrico sono stati convertiti in costi utilizzando il corrispondente costo unitario per l'acqua. Il valore unitario per il consumo autorizzato non fatturato e le perdite apparenti è di solito il prezzo medio di vendita dell'acqua ai clienti. Il valore unitario per le Perdite reali è di solito considerato come il costo marginale dell'acqua che è il costo unitario di produzione e distribuzione dell'acqua nella rete.

Dalla Tabella 7 si può vedere che per via delle perdite reali si hanno la maggiore perdita finanziaria per l'utenza ed è evidente che questo settore è critico, dunque dovrebbe essere esaminato ulteriormente. Per arrivare a questo risultato è necessario seguire la seguente metodologia.

Dall'analisi top-down della Figura 15, la quantità di perdite rilevabili è di 1047938 m³.

Questa cifra equivale ad una riduzione della Night Line di 1047938 m³ / 365 giorni / 20 ore = 144 m³/ora. Supponendo una perdita media dell'ordine di 1,6 m³/ora, allora il numero di perdite equivalenti che dovrebbero essere localizzate e riparate è 90. Considerando che la lunghezza della rete è di 345 km, risulta che c'è in media una perdita ogni 3,83 km. Supponiamo che una squadra di rilevamento delle perdite sia composta da 2 tecnici con una produzione media di 2,5 km al giorno, 5 giorni lavorativi alla settimana e una tariffa settimanale di 5000 €/settimana.

Il numero medio di perdite rilevate dalla squadra a settimana è $5 \times 2,5 / 3,83 = 3,26$, diciamo 3 perdite trovate a settimana.

Il tempo totale necessario per trovare tutte le perdite sarà di 90 perdite / 3 = 30 settimane. Sulla base di quanto sopra, si possono fare i seguenti calcoli finanziari:

Costo totale per la localizzazione delle perdite = $30 \times €5000 = €150000$

Costo totale per la riparazione delle perdite = $90 \times €1500 = €135000$

Risparmio d'acqua = $1047938 \text{ m}^3 \times €0,8/\text{m}^3 = €838350$

RISPARMIO NETTO = $€ 838350 - € 150000 - € 135000 = € 553350$

Dal calcolo di cui sopra risulta evidente che il gestore avrà un notevole risparmio andando avanti con la riparazione delle perdite prima e dovrebbe essere elaborato un piano d'azione in tal senso.

	Componente di NRW	Valore totale valutato del componente NRW	Valore totale valutato del componente NRW	
Acqua non fatturata (NRW) 1 768 862 m3	Consumo autorizzato non fatturato 59 928 m3	1,2 € / m3	€ 71 914	Valore totale stimato acqua non fatturata (NRW) € 1 127 436
	Perdite Idriche apparenti 299 639 m3	1,2 € / m3	€ 359 567	
	Perdite Reali 1 409 295 m3	0,8 € / m3	€ 1 127 436	

Tabella 7: Conversione dei componenti di volume NRW in costi

Al fine di evidenziare un diverso approccio a quanto sopra, le perdite apparenti della tabella 7 sono aumentate con la corrispondente riduzione delle perdite reali. I dati rivisti sono riportati nella tabella 8

	Componente di NRW	Valore totale valutato del componente NRW	Valore totale valutato del componente NRW	
Acqua non fatturata (NRW) 1 768 862 m3 (14,76%)	Consumo autorizzato non fatturato 59 928 m3 (0,50%)	1,2 € / m3	€ 71 914	Valore totale stimato dell'acqua non fatturata (NRW) € 1 127 436
	Perdite apparenti 299 639 m3 (5,00%)	1,2 € / m3	€ 359 567	
	Perdite Reali 1 409 295 m3 (9,26%)	0,8 € / m3	€ 1 127 436	

Tabella 8: Conversione di componenti di volume NRW in costi (rivisto)

In questo caso il piano d'azione deve essere diverso da quanto sopra per i seguenti motivi:

- Le perdite apparenti sono quasi uguali alle perdite reali in termini di perdite di fatturato.
- Necessita di una strategia che massimizzi i profitti
- Affrontare le perdite apparenti con la spesa minima, ridurre i consumi non autorizzati, lettura dei contatori ed errori contabili in prima istanza che aumenteranno le entrate.
- Ridurre contemporaneamente delle perdite al fine di risparmiare denaro per produrre/acquistare meno acqua.
- Investire i risparmi per ridurre ulteriormente le perdite apparenti e reali.

Non si può sottolineare abbastanza che i gestori di servizi pubblici devono orientare le loro azioni e i loro investimenti per ottenere il massimo beneficio. Per raggiungere questo obiettivo è importante saper giustificare un piano d'azione proposto per la riduzione della NRW, che dovrebbe essere soprattutto finanziariamente valido e sostenibile. Per realizzare tale piano sono necessari il giusto livello di conoscenza ed esperienza.

3.6 Bilancio Idrico Comunale

Nella provincia di Varese è stata condotta una quantificazione delle risorse idriche presente al fine di verificare l'effettiva disponibilità in previsione di eventuali espansioni di aree ad uso residenziale e/o produttivo.

A tale scopo è stato elaborato un bilancio idrico comunale basato sui dati e sulle informazioni fornite dal Comune di Varese e dall'Ente gestore dell'acquedotto (ASPEM SpA) (Alessandro.Uggeri , n.d).

Il fabbisogno idrico è rappresentato dalla somma dei consumi idrici (espressi in l/s) per uso civile (domestico e pubblico), industriale e agricolo, a cui vanno sommate le perdite attraverso la rete.

SITUAZIONE ATTUALE DELLA DOTAZIONE IDRICA COMUNALE

PARAMETRI E COEFFICIENTI

i dati che descrivono i fabbisogni potabili e sanitari, riferiti all'anno 2013, sono i seguenti:

A. popolazione residente	86460
B. popolazione stabile non residente	2400 (ospiti di Ospedali, Caserme, Collegi, ecc.)
C. popolazione fluttuante	2500 (ospiti di Alberghi, Camping, seconde case)
D. popolazione senza pernottamento	56313 (addetti di attività lavorative o scuole che giungono da altre località).

Le aree con fabbisogni produttivi delle attività industriali e zootecniche hanno una superficie di 101.19 ha (fonte: PRG vigente).

Partendo dalle indicazioni contenute nel PTUA sono stati calcolati i fabbisogni idrici, correggendo i dati con le informazioni fornite dall'ASPEM.

Dai dati storici forniti dall'azienda erogatrice si evince un consumo individuale pari a 250 l/g/abitante, contro i 320 l/g/abitante indicati dal PTUA, in quanto più rappresentativo dei consumi varesini sulla base dei dati storici raccolti dal gestore a partire dal 1993 ad oggi. Quanto al fabbisogno idrico associato alle attività industriali è stato assunto pari a 36 m³ / g / ha.

		l/g/ab	l/g	l/s	C24*	l/s
Fabbisogni potabili e sanitari					420,00	
			2160150	250,1		
	86460					
A. popolazione residente	250	250	0	7	1,4	350,24
B. popolazione stabile non residente	2400	200	480000	5,56	1,4	7,78
C. popolazione fluttuante	2500	200	500000	5,79	1,4	8,10
D. popolazione senza pernottamento	56313	80	4505040	52,14	1	52,14
	ha	l/g/ha				
Attività industriali e zootecniche	101,2	36000	3642840	42,16		42,16
TOTALE						462,16

Tabella 9: Fabbisogni potabili calcolato in condizioni di massimo consumo del comune di Varese fonte: [PRG vigente ; ASPEM SpA]

C24* coefficiente di incremento per il calcolo del fabbisogno del giorno di massimo consumo.

Coefficiente di incremento C24 per il giorno di massimo consumo

< 50.000	1,50
50.000 - 100.000	1,40
100.000 - 300.000	1,30
> 300.000	1,25

Dalla tabella si evince che in condizioni di massimo utilizzo la domanda idrica totale per abitante è pari a 426.

Questo dato è sovrastimato di oltre 60 l/s rispetto al dato reale pari, per lo stesso anno, a 395,70 l/s, calcolato sulla base dei volumi effettivi contabilizzati dall'ASPEM per l'acqua immessa in rete. Pertanto, i dati teorici calcolati sono anche cautelativi con l'ipotesi di un consumo di 250 l/g/abitante...

RISORSE DISPONIBILI

le caratteristiche tecniche della rete acquedottistica

la rete idrica del comune di Varese serve oltre 80000 abitanti più altri a 14000 utenti di comuni limitrofi.

La domanda annuale è di circa 7830000 m³, con un consumo medio giornaliero per abitante di circa 261 l.

La lunghezza complessiva della rete di circa 311.5 km ed è fatta per l'85% da tubazioni d'acciaio, per il 14% da tubazioni di ghisa e per l'1% da tubazioni di polietilene.

Gli impianti di presa, rilevamento e distribuzione sono rappresentati da:

- 7 gruppi sorgentizi
- 15 pozzi
- 11 serbatoi
- 21 centrali di pompaggio

Le portate medie annuali immessi dai pozzi nella rete e dalle sorgenti che forniscono la rete dell'acquedotto sono riportati di seguito.

Pozzi	Portata (l/s)
Velmaio 1	19,00
Velmaio 4	20,00
Velmaio 5	20,00
Velmaio 8	25,70
Velmaio 10	11,50
Velmaio 11	23,00
Valsorda 7	28,00
Valsorda 12	26,00
Valsorda 13	24,50
Rio Ranza 14	17,20
Rio Ranza 15	11,50
Rio Ranza 16	15,30
Tamagno	11,00
Valgella	13,00
Campi Lunghi	3,00
Benzi	4,5
MecMor	11

Tabella 10: Portate medie annuali immessi dai pozzi

Sorgenti	Portata (l/s)
Bevera-Velmaio	22,00
Luvinate	76,00
Carnaga	12,50
Fontane Calde	23,00
Rasa	3,00
Fè	27,00
Novellina	2,7

Tabella 11: Portate medie annuali immessi dai pozzi

La disponibilità idrica media annua dell'acquedotto è superiore a 440 l/s.

I serbatoi a servizio della rete consentono un volume di accumulo totale pari a circa 12260 m³, suddivisi come illustrato nella seguente tabella.

Serbatoi	Volume [m³]
Fontane Calde	920
Montello	3300
Mameli	4000
Bustecche	1000
Fogliaro 1-2-3	990
Avigno 1-2	500
Velate 1-2	540
Pizzelle 1-2	75
Paradiso 1-2	115
Tintoretto	700
VII Cappella	120
Totale	12260

Tabella 12: Volumi accumulati dai serbatoi di Varese

Il numero dell'acquedotto di Varese è costituito da una serie di sistemi di acquedotti che generalmente prendono il nome dalle frazioni comunali o dall'ubicazione delle fonti di approvvigionamento.

Di seguito si riporta uno schema della rete idrica in esame.

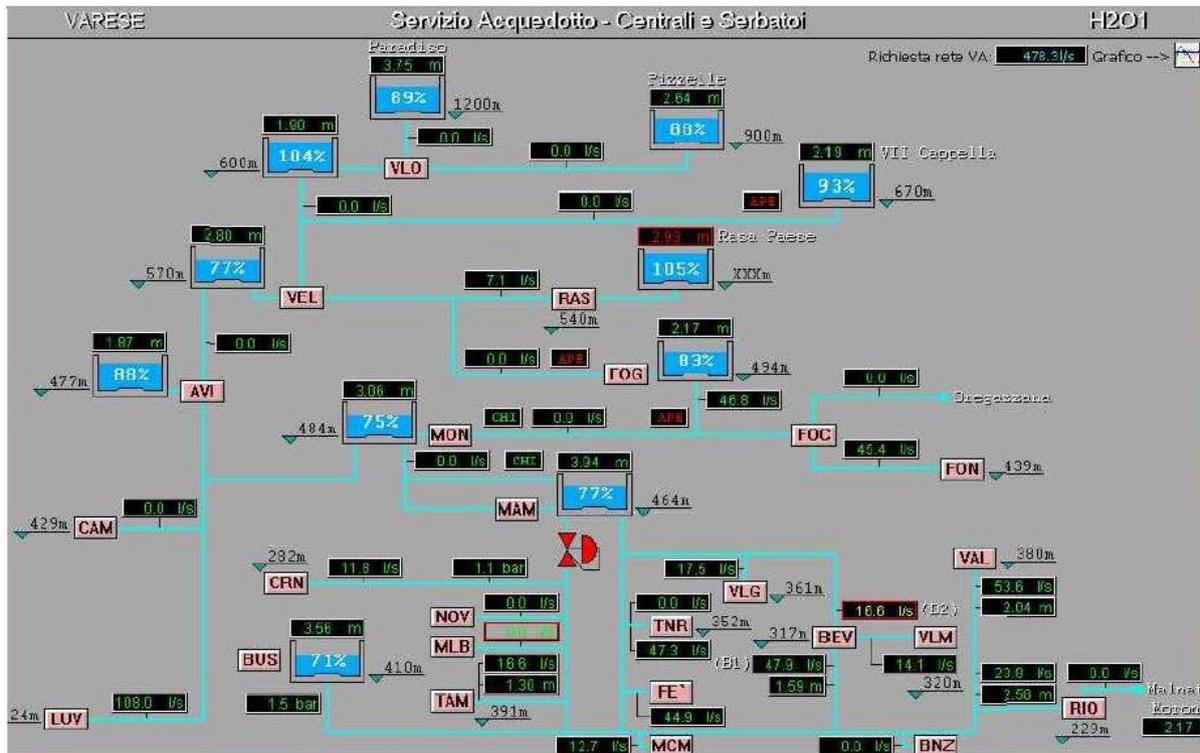


Figura 16: Schema del servizio acquedotto, centrali e serbatoi in esame del comune di Varese

Dotazione idrica

i dati relativi alle disponibilità medie annue sono riportati di seguito per ciascuna delle opere di presa. I dati rilevano un incremento della disponibilità idrica nel corso degli ultimi anni. Da segnalare che gli anni da 2004 a 2007 sono stati caratterizzate da una riduzione significativa della disponibilità idrica a causa da una prolungata siccità.

Pozzi	Gen 2004	Nov 2005	Gen 2006	Nov 2007
Pozzo Valgella	15,00	13,00	13,00	17,00
Pozzo Tamagno	14,00	12,50	12,00	16,00
Pozzi Velmaio	171,00	135,00	127,00	200,00
Sorgente Fontane Calde	40,00	26,00	26,00	40,00
Sorgenti Luvinata	100,00	77,00	75,00	100,00
Sorgenti Rasa	8,00	3,00	2,00	9,00
Sorgenti Bevera	n.d.	60,00		
Sorgente Fe'	20,00	20,00	20,00	45,00
Vellone	4,00	4,00	3,00	4,00
Carnaga	13,00	10,00	9,00	15,00
Campi Lunghi	10,00	3,00	3,00	
Rio Ranza	50,00	50,00	45,00	60,00
Valsorda	60,00	60,00	60,00	85,00
Malerba (*)	-	-	-	15,00
Mec Mor (*)	-	-	-	12,50
Benzi (*)	-	-	-	14,00
Sorgente Novellina	-	-	-	5,00
TOTALE	505,00	413,50	395,00	697,50

Tabella 13:Disponibilità idrica del Comune di Varese (l/s)

(*) pozzi di riserva

Va inoltre considerato che la rete dell'acquedotto è dotata di bacini di stoccaggio che consentono di stoccare un volume di oltre 12.000 m³ e che questo volume permette di far fronte a situazioni di emergenza.

Determinazione utenze pubbliche e perdite

La tabella e il grafico che seguono riportano i volumi immessi nella rete di Varese e quelli fatturati nel 2008 con la relativa differenza:

Volume immesso	Volume fatturato	Differenza
12478737	8264621	4214116

Tabella 14:Consumi idrici anno 2008 in [m3] - Comune di Varese

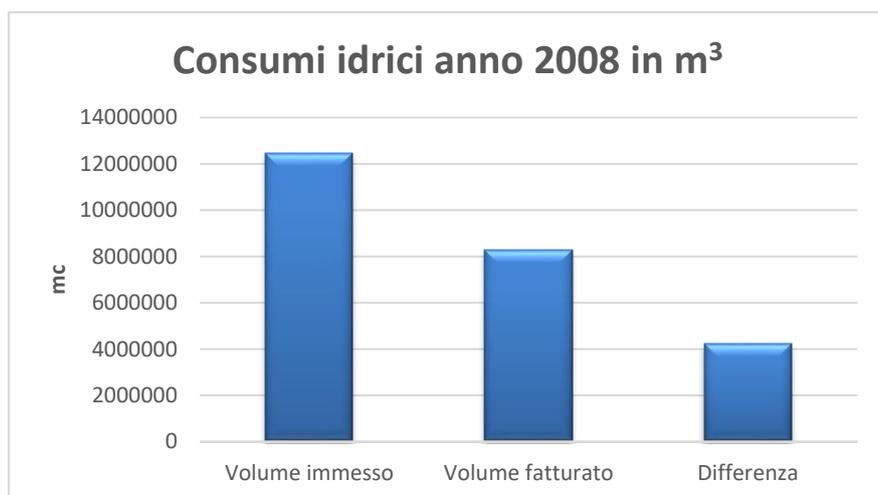


Figura 17: Consumi idrici anno 2008 in [m3] - Comune di Varese

La differenza tra il volume immerso e il volume fatturato comprende fundamentalmente le utenze pubbliche e le perdite della rete. Questa cifra è pari a circa il 34% del volume totale prodotto.

Bilancio idrico totale del comune Varese

Il bilancio idrico è costituito dalla differenza tra i flussi in entrata e in uscita (consumi e perdite della popolazione).

Il bilancio idrico corrente calcolato sull'anno è il seguente:

	portate (l/s)
Q portate disponibili tramite le captazioni	697.5
P perdite stimate pubbliche -34%	237.2
C consumo giornaliero medio annuo	434.6
Q-P-C	25.7

Tabella 15: Bilancio idrico totale del comune di Varese

La tabella mostra che l'eccedenza attuale è superiore a 25 l/s, determinata sotto ipotesi conservativi, vale a dire in condizioni picco della domanda e nell'assunzione di un fabbisogno quotidiano sopravvalutato rispetto ai dati reali sulla base dei volumi effettivi misurati.

Inoltre, la rete dell'acquedotto è dotata di bacini di stoccaggio che consentono di stoccare un volume di oltre 12.000 m³, utili per la gestione di situazioni di emergenza.

le risorse idriche disponibili sono assolutamente più che sufficienti a soddisfare le esigenze del Comune di Varese.

Il quadro urbanistico non prevede cambiamenti sostanziali rispetto alla situazione attuale: non sono previste "aree con dipendenti di futuri insediamenti per uso lavorativo" tra i bisogni di acqua potabile e di salute e si ipotizza una stabilità dei dati demografici.

Le perdite di rete idrica nelle città capoluogo

Gli impianti idrici in Italia sono generalmente vecchi e in cattivo stato di manutenzione. Il 60% delle infrastrutture è stato installato più di 30 anni fa (la percentuale sale al 70% nei grandi centri urbani) e il 25% ha più di mezzo secolo (40% nei grandi centri urbani). In virtù di questo scenario è inevitabile un eccessivo spreco di acqua che va dispersa nel percorso tra fonte e rubinetto. La rete idrica ha bisogno di investimenti urgenti, anche in considerazione delle mutate condizioni climatiche che ripropongono periodicamente lunghi periodi di siccità.

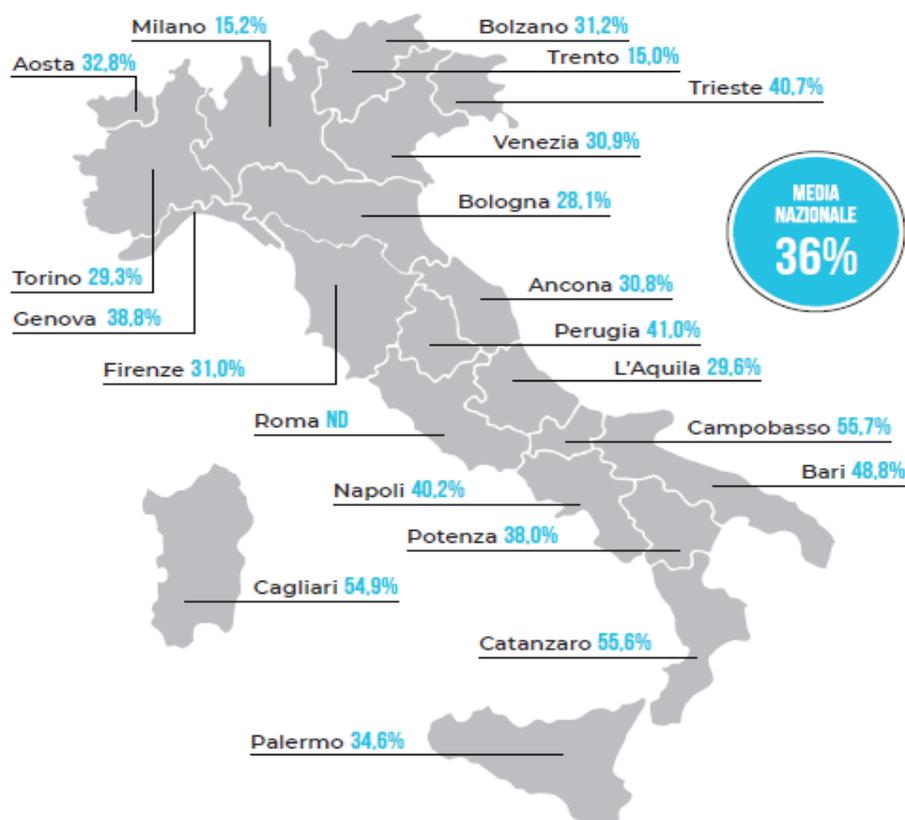


Figura 18: Percentuale dispersione rete idrica nelle città capoluogo di Regione, 2018, Fonte: (Legambiente , 2019)

Le perdite della rete idropotabile sono sempre a livelli d'allarme. In 18 città la metà dell'acqua immessa nelle condutture non arriva ai rubinetti dei cittadini. In aumento il numero di città dove più del 30 per cento dell'acqua immessa nella rete viene dispersa (66, sei in più rispetto al 2017 e 11 in più rispetto al 2016), mentre il valore medio delle perdite della rete idrica, rimane stabile al 36,3 per cento. Nel 2018 sono 5 (Pordenone, Mantova, Lodi, Monza, Macerata) le città che riescono a contenere le perdite a meno del 15 per cento, (Legambiente , 2019) .

3.7 Caso di studio: Partizionamento della rete idrica basato su Ottimizzazione dei costi e dell'energia

Il WNP (Water Network Partitioning) rappresenta una delle più efficienti metodologie per la gestione delle reti idriche e del controllo della pressione di un sistema di distribuzione dell'acqua per ridurre le perdite d'acqua e migliorare la protezione della qualità dell'acqua.

Il WNP si basa su approcci empirici e "iterativi" utilizzati con la simulazione idraulica.

Nella metodologia si prevede inserimento di misuratori di portata e valvole a saracinesca nella rete suddivisa in sottosistemi. Tale suddivisione consiste in due fasi:

- Il raggruppamento (clustering).
- Il partizionamento (partitioning).

La prima fase richiede algoritmi di clustering che assegnano i nodi di rete ad ogni distretto (DMA) o (cluster). La seconda fase consiste nella scelta dei tubi di confine dove inserire i misuratori di portata o le valvole a saracinesca. Il software SWANP (Smart Water Network Partitioning) è utilizzato per realizzare una rete clustering attraverso due diversi algoritmi.

Questo approccio è stato adottato per dividere i sistemi di distribuzione dell'acqua (WDS) in una zona discreta con un confine permanente definito da misuratori di portata (DMA) come consigliato dalla Associazione Internazionale dell'Acqua IWA. Quindi la suddivisione del WDS in DMA è cruciale per identificare le aree più vulnerabili (J. Morrison , 2007). Permettendo la trasformazione dei sistemi di distribuzione dell'acqua (WDS) urbani in reti idriche intelligenti (SWAN).

La procedura operativa del WDS è tipicamente ad anello, con percorsi di flusso multipli dalle fonti d'acqua agli utenti. Questa caratteristica del WDS garantisce al sistema un alto livello di affidabilità e di ridondanza in caso di guasti meccanici (ad esempio, rottura di tubi, malfunzionamento di valvole), d'altra parte, rende difficile il controllo delle perdite d'acqua.

La suddivisione dei sistemi di distribuzione dell'acqua WDS prevista dall'approccio WNP permette un migliore rilevamento, gestione delle perdite e delle esplosioni. Inoltre, si ha la capacità di fornire diversi livelli di pressione, che aiuta a stabilire un sistema di controllo permanente della pressione e una migliore pianificazione di eventuale manutenzione.

Negli ultimi anni è stata studiata la combinazione di divisioni in settori con l'uso di valvole di riduzione della pressione (E. Creaco , 2014) . Il partizionamento stesso può essere considerato come tecnica di gestione della pressione (F. De Paola , 2014), poiché le chiusure dei tubi producono significative perdite di pressione e quindi attenuano la perdita di fondo.

La divisione dei nodi di rete in gruppi con le caratteristiche richieste (ad es. densità, bilanciamento, minimizzazione del bordo di confine, limite di dimensione, ecc.) può essere ottenuta solo con un approccio di ottimizzazione perché il numero di possibili layout DMA è enorme.

Questa procedura è stata implementata da (Nardo e Michele Di Natale , 2016) sulla rete idrica messicana, tramite il software SWANP 2.0 (A. Di Nardo , 2013) che per la fase di clustering presenta una nuova funzione multi-obiettivo che integra sia i costi che le prestazioni energetiche. Inoltre, fornisce un Diagramma del sistema intelligente di supporto alle decisioni (DSS), basato su misure qualitative e quantitative, e diagrammi per valutare il layout ottimale in termini di numero di DMA, costi e prestazioni idrauliche.

Algoritmo di raggruppamento e del partizionamento

La metodologia proposta è illustrata nella Figura sotto dove sono riassunti i principali passi per ottenere i diagrammi del sistema di supporto alle decisioni (DSS) in modo che gli operatori del settore idrico siano in grado di scegliere il miglior layout dei DMA.

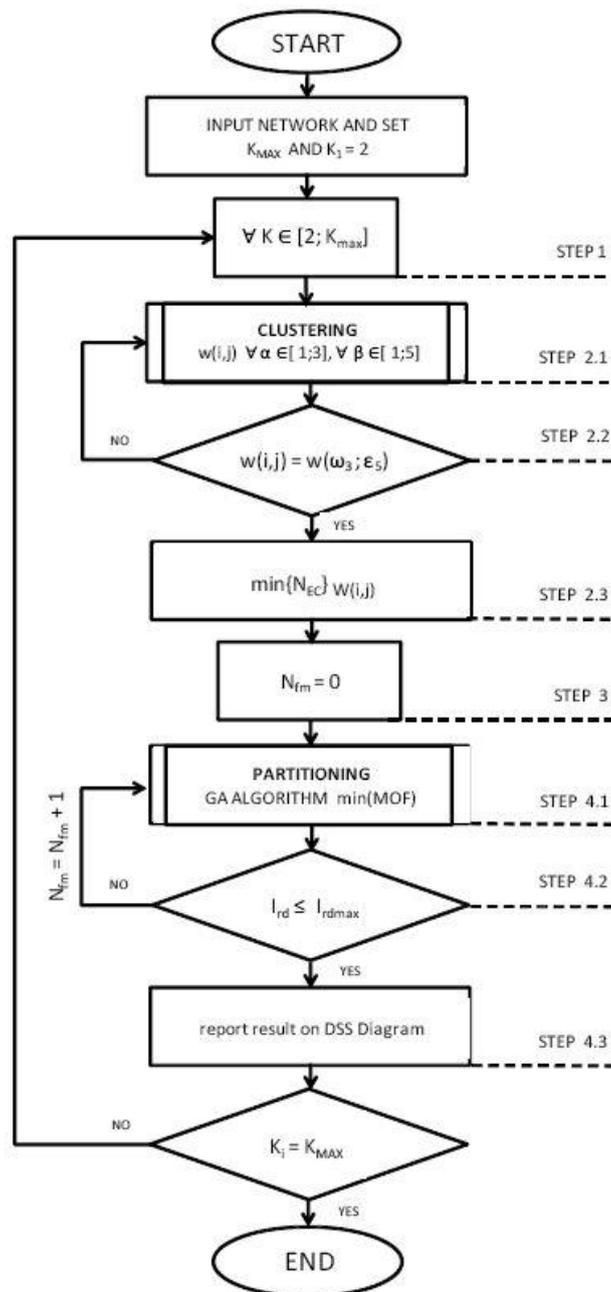


Figura 19: Diagramma di flusso della metodologia proposta per ottenere il diagramma DSS

PASSO 1:

le caratteristiche topologiche e idrauliche della rete sono fornite al software SWANP:

il numero massimo di DMA (K_{\max}), il numero iniziale di distretti $k_1=2$, e la deviazione massima di resilienza $I_{rd\max}$, che devono essere impostati secondo (J. Morrison, 2007).

PASSO 2:

Il passo 2 consiste nel raggruppare la rete idrica nelle sottozone k_i (o cluster) utilizzando i diversi algoritmi (Di Nardo and M. Di Natale, 2016), (M. F. K. Pashaa, 2009). e le combinazioni di peso (A. Di Nardo, 2013) sia sui nodi che sui bordi per ridurre al minimo il numero totale di tagli di bordo N_{ec} (tubi di confine) tra i cluster.

Infatti la rete idrica può essere rappresentata come un semplice grafico $G=(V,E)$, dove V è l'insieme di n vertici (nodi) ed E è l'insieme di m bordi (collegamenti), oppure come grafico ponderato. Se alcuni vertici o bordi hanno associato pesi, vengono indicati rispettivamente con ω_{α_i} (ad es. domanda, elevazione, ecc.), per $i=1..n$, o con ω_{β_i} (lunghezza, diametro, portata, potenza dissipata, ecc.), per $i=1...m$.

Il clustering di rete (figura 19) consiste nel definire k cluster (o sottoinsiemi di rete) in cui ogni nodo $i \in V$ appartiene in modo univoco ad uno dei cluster $k_1, k_2, \dots, K_{\max}$ tale che $k_i \cap k_j = 0$, per $i \neq j$, e $\cup_i k_i = V$.

PASSO 2.1:

È necessario definire la matrice di peso W , riportata nella Tabella 1, dove ogni elemento $w(i,j)$ è una combinazione di peso del vertice-bordo di $(\omega_{\alpha}, \omega_{\beta})$ applicato su tutti i nodi e le tubazioni della rete.

Recentemente sono stati applicati al problema del clustering della rete idrica algoritmi di partizionamento dei grafici e approccio Edge Betweenness Community (EBC) (Nardo e M. Di Natale, 2015).

In particolare, Multi-Level Recursive Bisection (MLRB) (Di Nardo e M. Di Natale , 2016) con i seguenti pesi con $\alpha = 1 \dots 2$ e $\beta = 1 \dots 5$

(ω_1 =Nessun peso, ω_2 =Demand, ε_1 =Nessun peso, ε_2 =Flusso, ε_3 =Diametro, ε_4 =Lunghezza e ε_5 =Potenza dissipata).

Edge Betweenness Community (EBC) (M. F. K. Pashaa , 2009), con i seguenti pesi $\alpha = 3$ e $\beta = 1 \dots 5$ (ε_3 =Nessun peso, ε_1 =Nessun peso, ε_2 =flusso, ε_3 =diametro, ε_4 =lunghezza e ε_5 =Potenza dissipata). Per esempio, come mostrato nella Tabella 16, una combinazione di pesi che appartiene alla matrice W è l'elemento $w(2,3) = (\varepsilon_2, \varepsilon_3) = (\text{Domanda}, \text{Diametro})$ risolto con l'algoritmo MLRB da assegnando la richiesta ad ogni i-esimo nodo e il diametro ad ogni j-esimo tubo. Alcuni pesi possono essere imposti da dati topologici e idraulici, altri possono essere calcolati da un simulatore idraulico come EPANET 2.0 .

		ε_{1j} (no weight)	ε_{2j} (flow)	ε_{3j} (diameter)	ε_{4j} (length)	ε_{5j} (power)
MLRB	ω_{1i} (no weight)	w(1,1)	w(1,2)	w(1,3)	w(1,4)	w(1,5)
	ω_{2i} (demand)	w(2,1)	w(2,2)	w(2,3)	w(2,4)	w(2,5)
EBC	ω_{3i} (no weight)	w(3,1)	w(3,2)	w(3,3)	w(3,4)	w(3,5)

Tabella 16: Matrice di peso W composta da combinazioni di peso vertex-edge ω_α e ω_β

Dal PASSO 2.1 al PASSO 2.3:

È presente un ciclo tra il passo 2.1 e passo 2.3 al fine di trovare il layout ottimale con un numero minimo di tagli di bordo sui tubi di confine tra i cluster ($\min\{ N_{ec} \}$).

SWANP analizza tutte le combinazioni di pesi della matrice W con due algoritmi di clustering. In particolare come viene mostrato nella Tabella 1 ci sono 10 combinazioni di pesi (da w(1,1) a w(2,5)) con algoritmo MLRB e 5 combinazioni di peso (da w(3,1) a w(3,5)) con algoritmo EBC (Edge Betweenness Community).

Il layout ottimale, ottenuto con la fase di clustering è stato il punto di partenza per la successiva fase di partizionamento della rete ovvero nel passo 4.1.

PASSO 3:

Nel passo 3 si impone semplicemente la condizione iniziale $N_{fm}=0$, ovvero valvole a saracinesca inserite in tutti i tubi tagliati di bordo. Si ottiene così una suddivisione in settori della rete idrica.

PASSO 4.1

Nel passo 4.1 il posizionamento ottimale del confine (saracinesche), valvole N_{bv} e misuratori di portata $N_{fm} = (N_{ck} - N_{bv})$, riduce al minimo i vincoli con la funzione Multi Objective (MOF) espressa dalla seguente espressione matematica:

$$MOF = \left(\sum_{j=1}^{N_{fm}} C_{fm} + \sum_{j=1}^{N_{bv}} C_{bv,j} \right) + \left(\gamma \sum_{j=1}^n Q_j h_j \right) \quad (3.11)$$

dove C_{mf} è il costo unitario dei flussimetri e $C_{bv,j}$ è il costo unitario delle valvole a saracinesca, entrambi dipendono dal diametro del tubo in cui saranno installati, Q_i e h_i sono rispettivamente la richiesta di acqua e la pressione in ciascun nodo m della rete, γ è il peso specifico dell'equazione 3.11.

Questo approccio è noto come metodo "weighted-sum" o scalarizzazione

PASSO 4.2:

Il MOF è vincolato dalla seguente espressione, che impone un indice di deviazione massima di resilienza $I_{rd\max}$ (A. Di Nardo , 2013), che non deve essere superato:

$$(I_{rd} \leq I_{rd\max})$$

Inoltre, l'algoritmo di partizionamento cerca di minimizzare il MOF (J. Morrison , 2007) inserendo il numero minimo di misuratori di portata perché in questo modo la suddivisione della rete idrica è più efficace per raggiungere il bilancio idrico e il controllo della pressione (A. Di Nardo , 2013).

Se il vincolo non è soddisfatto nel PASSO 4.2, $N_{fm}=1$ è imposto e si cerca la soluzione che rispetti il vincolo imposto. Se nessuna soluzione con $N_{fm}=1$ può essere trovata, l'algoritmo di partizionamento ripete la procedura aumentando di uno il numero di misuratori di portata $N_{fm} = N_{fm} + 1$, viene iterato finché non si trova il posizionamento delle valvole a saracinesca e dei

misuratori di portata per ogni nodo, rispettando la condizione sulla deviazione massima del indice di resilienza ($I_{rd} \leq I_{rdmax}$).

L'algoritmo di partizionamento richiede una procedura di ottimizzazione per trovare la soluzione ottimale. Infatti, il numero di combinazioni possibili, N_{ck} dove è possibile inserire misuratori di portata e valvole a saracinesca nelle tubazioni di confine della rete idrica non permette di indagare su tutte le soluzioni.

Viene adottato un altro algoritmo per trovare la soluzione ottimale nei casi in cui il numero di soluzioni possibili è enorme.

FASE 4.3:

Per ogni k_i , la procedura proposta fornisce i risultati della simulazione in termini di:

- layout di partizionamento della rete con il posizionamento ottimale delle valvole di confine e dei misuratori di portata.
- il costo ottimale illustrato in un diagramma DSS.

Infine, una volta completato il diagramma DSS, ed impostato il budget economico massimo disponibile è imposto (C_{max}), si può scegliere il layout ottimale del distretto.

In questo modo, la procedura proposta offre una metodologia euristica per trovare la soluzione ottimale per l'arduo problema di trovare una suddivisione della rete idrica con un approccio user-friendly.

Conclusioni

La procedura proposta è di supporto alle decisioni per gli enti che erogano l'acqua per scegliere la suddivisione ottimale delle reti di approvvigionamento idrico utilizzando il software SWANP 2.0 inoltre la funzione multi-obiettivo integra anche prestazioni idrauliche e costi di investimento. Una volta raggiunto il numero massimo di DMA, la massima deviazione della resilienza, e il budget economico corrispondente è definito, la procedura fornisce un diagramma DSS intuitivo per scegliere il layout ottimale del partizionamento della rete idrica in termini di costi e prestazioni.

4 BILANCIO A SCALA RESIDENZIALE

4.1 Ciclo integrato delle acque

L'acqua rappresenta la più importante risorsa naturale, ma per quanto disponibile, il processo necessario per renderla fruibile non è così scontato da poterla utilizzare senza riguardo.

Per avere acqua sicura e controllata, distribuita in modo efficiente nelle abitazioni e rilasciata nell'ambiente dopo l'uso senza sostanze inquinanti, è necessario poter contare su un impianto estremamente sofisticato di sistemi, reti e tecnologie.

Questo sistema è il "ciclo dell'acqua integrato". Si intende un insieme di operazioni che partono dalla raccolta della risorsa, rendendola potabile e disponibile agli utenti, fino al suo convogliamento e alla sua depurazione una volta utilizzata. Il ciclo integrato dell'acqua è suddiviso nelle seguenti fasi: captazione, potabilizzazione, distribuzione di acqua ad usi civili, raccolta, fognatura e depurazione delle acque reflue e re-immissione.

CAPTAZIONE

È la fase iniziale di prelievo delle acque dall'ambiente per il successivo consumo umano e industriale. La captazione può avvenire da laghi, fiumi, bacini artificiali (acque superficiali), da pozzi e falde (acque sotterranee) o da sorgenti.

POTABILIZZAZIONE

Per essere utilizzata senza rischi per la salute, l'acqua deve essere potabilizzata. Questa fase prevede che l'acqua sia sottoposta a trattamenti specifici (es. sedimentazione, disinfezione) che ne migliorino le caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche per rispettare i parametri fissati dalle normative vigenti.

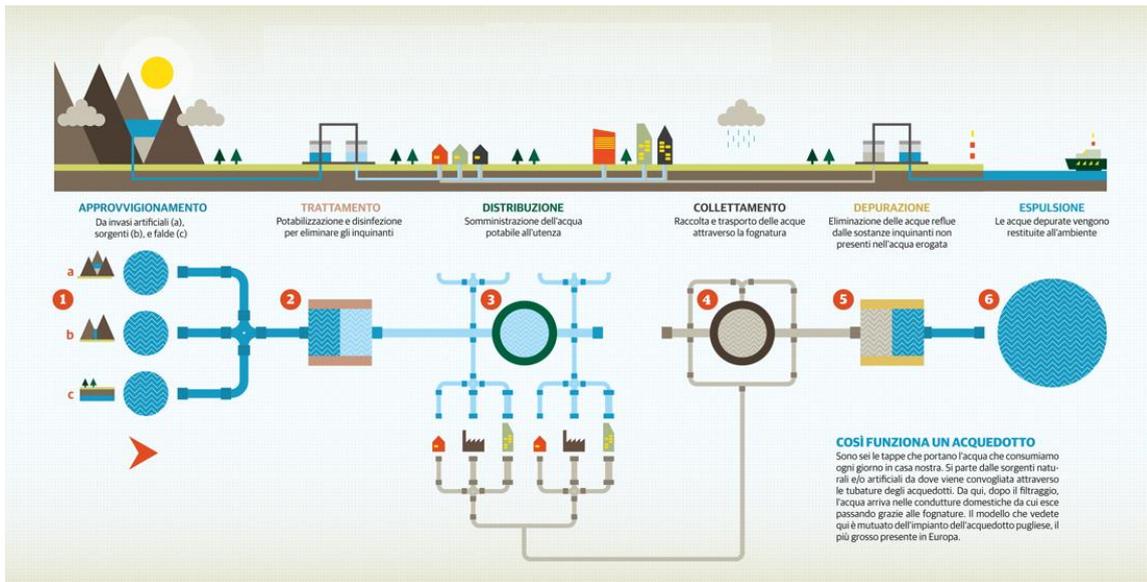


Figura 20: La filiera del Servizio Idrico, fonte :[ecomalu.it]

DISTRIBUZIONE

Sistema di opere idrauliche (reti di adduzione, reti di distribuzione, centrali di sollevamento) attraverso le quali l'acqua potabile giunge alle utenze finali.

RACCOLTA

La raccolta è il sistema fognario costituito dalla rete di tubature (collettori) che raccoglie le acque dagli scarichi per condurle, attraverso le centrali di sollevamento, agli impianti di depurazione. Gli scarichi da cui si raccolgono le acque usate (reflue) sono di due tipi: domestici e industriali. I primi hanno origine dagli usi di civile abitazione e contengono sia sostanze organiche che sostanze derivanti dai prodotti usati per la pulizia della casa e dell'igiene personale. I secondi sono costituiti dalle acque utilizzate nei processi produttivi e possono contenere notevoli quantità di sostanze inquinanti.

DEPURAZIONE E RE-IMMISSIONE

La depurazione è il processo che serve per "ripulire" le acque dopo il loro utilizzo domestico o industriale. La depurazione delle acque è fondamentale per tutelare l'ambiente, in quanto l'acqua depurata viene re-immessa nell'ambiente (fiumi, mari).

4.2 Consumo e spreco dell'acqua

L'Italia tra i principali Paesi europei è nettamente quello che spreca più acqua. Ed è anche quello che ne consuma di più a livello pro capite, come segnala da anni l'Agenzia europea dell'ambiente. Per dare l'idea nel 2018 nei capoluoghi di provincia il consumo pro-capite è stato di 274 litri al giorno. Milano è la prima per consumi tra le città italiane. In tabella 17 sono riportati i consumi idrici domestici nelle città più importanti d'Italia.

CITTÀ	Consumi idrici domestici [litri per abitante/giorno]
Trapani	94
Foggia	115
Parma	117
Livorno	121
Genova	122
Reggio Emilia	133
L'Aquila	134
La Spezia	135
Bari	137
Firenze	137
Palermo	140
Rimini	149
Asti	149
Alessandria	149
Trieste	150
Napoli	150
Padova	151
Siena	152
Bologna	153
Cuneo	155
Savona	156
Pisa	159
Salerno	163
Venezia	164
Roma	165
Lodi	182
Bergamo	183
Torino	198
Pavia	206
Monza	211
Reggio Calabria	240
Milano	275

Tabella 17: consumo idrici domestico giornaliero in Italia [l/ab.gg], fonte: (Legambiente , 2019)

L'Italia è uno dei paesi europei a maggior consumo idrico, sempre più spesso viviamo allerte di siccità e il settore civile è quello che usa più acqua potabile di alta qualità. Secondo i dati del rapporto 2017 'Le risorse idriche nell'ambito della circular economy' presentato da Srm (Studi Ricerche Mezzogiorno), il consumo di acqua al giorno per usi civili ammonta a 241 litri per abitante, valore superiore alla media europea che il consumo medio di acqua dolce pro capite al giorno per ciascuna famiglia ammonta a 144 litri. Si tratta di un fabbisogno idrico quasi tre volte superiore a quello stabilito per le esigenze umane di base.

CITTÀ	Consumi idrici domestici [litri per abitante/giorno]
Bruxelles	92
Copenaghen	101
Madrid	107
Budapest	126
Helsinki	140
Bucarest	151
Londra	155
Roma	165
Parigi	187
Lisbona	260
Milano	275
Atene	289

Tabella 18: Consumo pro capite di litri al giorno in Europa Fonte: (Iwa , 2016)

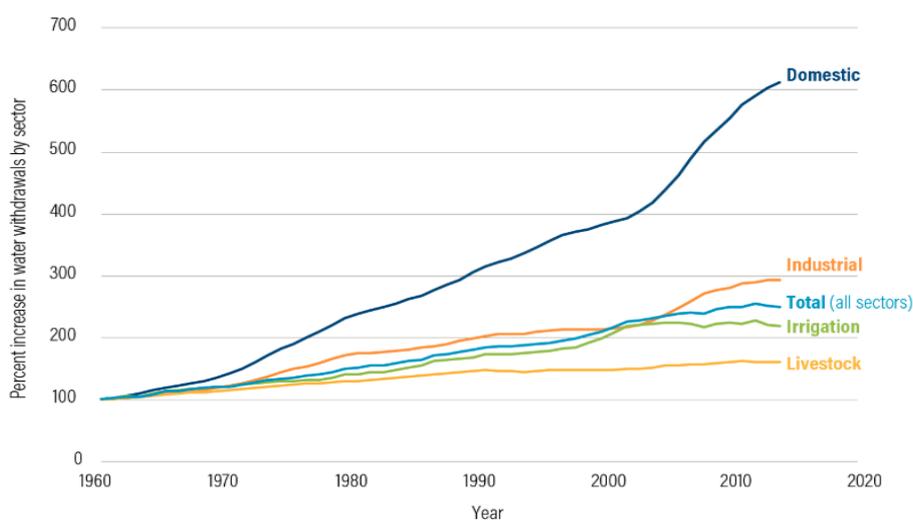


Figura 21: Percentuale di prelievo idrico per settore, 1962-2014. fonte: [(World Resources Institutes (WRI) , 2020)]

L'agricoltura e l'industria ritirano la stragrande maggioranza dell'acqua dolce del mondo (rispettivamente il 70% e il 19%), anche la domanda delle famiglie è in forte aumento.

I nuovi dati della piattaforma Aqeduct di WRI mostrano che la domanda di acqua domestica è cresciuta del 600% dal 1960 al 2014, a un ritmo significativamente più veloce di qualsiasi altro settore figura 19 (World Resources Institutes (WRI) , 2020) .

La popolazione mondiale è cresciuta di oltre 4 miliardi di persone, contribuendo alla crescita di sei volte nell'uso dell'acqua comunale. Più persone, più case e le città in crescita richiedono più acqua che mai.

I componenti chiave della domanda di acqua sono delineati nella figura sotto (grafico a torta). La maggior parte dei consumi idrici domestici riguarda usi per cui non sarebbe necessaria acqua potabile, basterebbe un'acqua chiarificata, inodore, ma non necessariamente potabile. Gli usi che richiedono acqua veramente potabile, a voler essere prudenti, potrebbero essere limitati a bagno e igiene personale (32%), cucina alimentare (12%), lavapiatti (3%): si tratta di meno della metà dei consumi domestici attuali. [(Waterwise , 2007)]

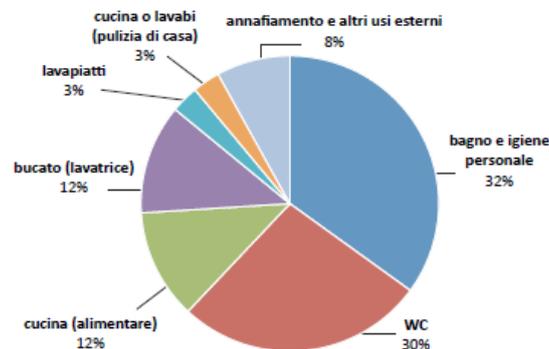


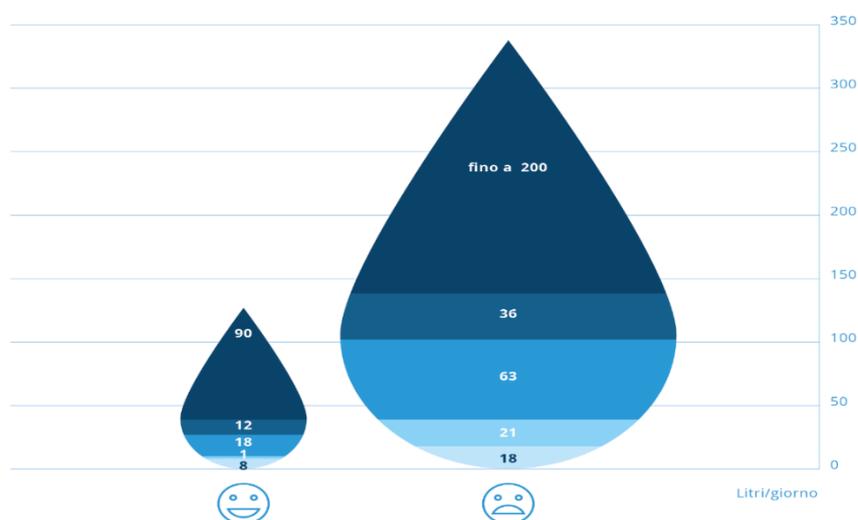
Figura 22: Ripartizione dei consumi idrici per usi domestici-fonte: [(Waterwise , 2007)]

4.3 Il risparmio idrico negli edifici: una gestione efficiente

4.3.1 Differenti consumi d'acqua negli edifici

I consumi di acqua dipendono naturalmente dal comportamento che hanno gli utenti. Per molti impieghi basta infatti solo un po' di accortezza per riuscire a risparmiare sul consumo e sulla spesa. Suddivisione del consumo d'acqua per casa mediamente per vari utilizzi:

- lavastoviglie: 10/50 litri ogni lavaggio
- lavatrice: 60/130 litri ogni lavaggio
- scarico del gabinetto a cassetta: 8 litri
- lavaggio denti con il rubinetto aperto: 6/30 litri
- radersi la barba con il rubinetto aperto: 70 litri
- farsi la doccia (10 minuti): 120/200 litri



Nota: il consumo di acqua per attività può variare notevolmente. Le cifre sopra riportate sono a titolo indicativo.
Fonte: (¹) Indicatore dell'AEA sull'utilizzo delle risorse di acqua dolce; (²) A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies, Sustainability Consortium; Brown e Matlock, 2011; (³) Six tips for smarter water use, Vercon, Finlandia; (⁴) How can you save water, South Staffs Water, Regno Unito.

Figura 23: Uso domestico dell'acqua, Fonte: ((EEA), 2018)

Consumare meno acqua potabile significa ridurre i consumi energetici necessari al trasporto dell'acqua e al funzionamento degli impianti. Oltre all'utilità di un comportamento coscienzioso da parte di tutti, è possibile ricorrere ad alcuni utili accorgimenti tecnologici.

4.3.2 Consigli per il risparmio idrico

IN BAGNO:

La media dei servizi igienici viene risciacquata cinque volte al giorno per ogni persona della famiglia. Ogni risciacquo utilizza circa nove litri, quindi ogni giorno 180 litri d'acqua vengono utilizzati da una famiglia media di quattro persone. Le nuove toilette sono progettate per usare meno acqua quando si tira lo sciacquone. Nelle toilette più vecchie (cioè quelle prodotte prima del 2000), è possibile ridurre la quantità di acqua che si usa quando si tira lo sciacquone montando una borsa "Hippo" o una borsa "Save-a-flush", che può far risparmiare 1,2 litri ogni volta, pari a un risparmio di 6 litri a persona al giorno.



Figura 24: il Risparmiatore d'Acqua "Hippo"

L'utilizzo delle cassette del water aventi due opzioni di flusso. Oltre alla portata di 9 litri, presente nelle cassette tradizionali, questi dispositivi permettono di far uso anche di una portata ridotta di 3 litri.



Figura 25: Cassetta WC a doppio tasto di scarico 3/6 - 6/9 litri

Fare la doccia al posto del bagno. Un bagno completo consuma circa 80 litri d'acqua, mentre una doccia di quattro minuti consuma circa 35 litri in una doccia a gravità. Quindi, a patto che non ci si metta troppo tempo sotto la doccia, si può risparmiare acqua e tempo.

Ricordate, facendo scorrere la doccia prima di entrare si sprecano anche acqua ed energia.

Il consumo medio di acqua e gas durante la doccia rappresenta un quarto dell'uso domestico di acqua. Il Risparmio Doccia può far risparmiare sulle bollette.

Installazione di riduttori di flusso e soffioni a ridotto consumo. Tali dispositivi vengono inseriti al posto del frangigetto per scomporre l'acqua in particelle molto piccole e mescolarle con l'aria garantendo così la stessa pressione ma con un flusso d'acqua ridotto. Il risparmio conseguente è pari al 50%.



Figura 26: Riduttore di Flusso della Doccia, Risparmio idrico fino al 4 l/min



Figura 27: Soffione Doccia a Risparmio Idrico

Chiudere il rubinetto mentre ci si lava i denti. Se si utilizza un bicchiere di acqua per sciacquare la bocca invece di far scorrere il rubinetto si può risparmiare circa quattro litri d'acqua ogni volta che ti lavi i denti. Abbiamo un modo molto semplice ma efficace per ricordarci di farlo. che può far risparmiare fino a 12 litri ogni volta che si spazzolare spegnendo il rubinetto tra un risciacquo e l'altro. Spazzolare due volte al giorno per i due minuti consigliati (British Dental Health Foundation) presto si raggiunge a un risparmio di circa 20 euro a persona all'anno chiudendo il rubinetto.

Usando il tappo del lavandino si possono risparmiare circa due litri d'acqua ogni volta che ci si lava le mani o il viso - l'acqua che va dal rubinetto direttamente nello scarico è uno spreco.

IN CUCINA:

Le lavatrici e le lavastoviglie sono tra i maggiori utilizzatori di acqua in casa, quindi, quando si acquistano nuove macchine, si scelgono modelli efficienti dal punto di vista idrico. Si risparmia anche sulle bollette energetiche siccome le nuove macchine sono più efficienti dal punto di vista energetico. Bisognerebbe Aspettare di avere il pieno carico prima di accendere la macchina. In questo modo si utilizza meno acqua di due mezzi carichi.

Utilizzando una ciotola per preparare le verdure fresche invece di sciacquarle sotto il rubinetto si possono risparmiare circa cinque litri d'acqua ogni volta. E si potrebbe riutilizzare l'acqua in giardino. Inoltre, usando una ciotola quando si lavano i piatti invece di sciacquarli e le stoviglie sotto un rubinetto in funzione fanno risparmiare circa cinque litri d'acqua ogni volta.

Far scorrere il rubinetto fino a quando l'acqua è abbastanza fredda da bere spreca molta acqua mettendo una caraffa d'acqua in frigorifero, si potrebbe evitare questo spreco.

QUANDO SI LAVANO LE AUTO

Utilizzare un tubo flessibile o un'idropulitrice per lavare l'auto utilizza molta acqua. Gran parte di questa cade a terra ed è sprecata.

IN GIARDINO

Ci sono diversi modi per risparmiare l'acqua nel giardino, per esempio:

- si può raccogliere l'acqua piovana in una cisterna d'acqua da usare per il giardino innaffiare.
- utilizzare un annaffiatoio piuttosto che un tubo flessibile e dirigere l'acqua direttamente alle radici delle piante, dove sarà più efficace.
- non innaffiando le piante o i prati alla luce diretta del sole, oltre al rischio di danneggiare le piante, si perde anche molta acqua attraverso evaporazione.
- utilizzando pacciame per coprire il terreno nelle aiuole. Il pacciame tiene l'acqua, che aiuta a mantenere umido il terreno. Inoltre, riduce gli effetti di evaporazione, quindi serve meno acqua per mantenere le piante sane.

Se i tubi nelle case o nei giardini perdono:

Interrompendo eventuali rubinetti che gocciolano o traboccano. Rubinetti che gocciolano e gli sfioratori che perdono possono sprecare molta acqua.

Manutenzione degli impianti:

L'articolo 10 del Decreto Ministeriale n 37 del 2008 definisce come manutenzione ordinaria l'insieme di tutti gli interventi sugli impianti idraulici, finalizzati a contenere il naturale deterioramento dell'uso ed a prevenire eventi accidentali che comportino la necessità di "primi interventi" o di interventi urgenti.

Monitoraggio e controllo:

lo scopo è monitorare i consumi idrici residenziali ed individuare eventuali anomalie o degli sprechi dovuti a relative perdite interne agli edifici. Utilizzando alcune tecnologie innovative per il rilevamento e la lettura dei consumi viene quindi effettuata localmente via radio oppure grazie a sistemi wireless e Bluetooth. In altre parole, gli utenti finali, dai propri dispositivi potrebbero consultare i dati inviati, memorizzati ed elaborati collegandosi alla rete internet per visualizzare i propri consumi.

Acquisto di elettrodomestici a basso consumo:

Sul mercato sono sempre più presenti apparecchi domestici ad alto rendimento energetico che permettono di ridurre il consumo sia di acqua che d'energia.

Installare un impianto di recupero delle acque grigie ad uso irriguo e domestico:

In risposta alla scarsità di acqua, si è resa necessaria l'installazione di un sistema che permetta il trattamento biologico e il riutilizzo di parte dell'acqua piovana e delle acque grigie provenienti da docce, vasche e lavandini, che permette un risparmio dell'acqua potabile degli edifici e ne riduce l'impatto ambientale e lo spreco.

Per questa soluzione è importante fornire sistemi di fognatura che separino le acque grigie da quelle nere e che dimensionino correttamente i vari componenti del sistema.

4.4 Tariffe dell'acqua

4.4.1 Concetti generali

Le attività dell'Autorità, inizialmente limitata ai settori dell'energia elettrica e del gas, è stata successivamente estesa attraverso alcuni interventi normativi. Per questo motivo, l'autorità è stata chiamata Autorità per l'energia elettrica e il gas e la sua sigla AEEG. Nel dicembre 2013 è stato deciso di estendere i poteri dell'Autorità alla rete idrica, ed è stato emanato un decreto che istituisce l'Autorità per l'energia elettrica, il gas e il sistema idrico (AEEGSI).

Dal 1° gennaio 2018 l'Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico è diventata l'autorità di regolazione per energia elettrica, reti e ambiente (ARERA).

L'Autorità, tra le altre cose, si assume il compito di determinare le componenti di costo, predisponendo periodicamente il metodo tariffario per determinare la tariffa del servizio idrico integrato e approvando la tariffa proposta dagli organi competenti.

In particolare, la tariffa viene determinata tenendo conto sia degli investimenti fatti per realizzare degli interventi strutturali negli anni precedenti sia di eventuali interventi previsti nel futuro.

4.4.2 Sistema Tariffario Idrico in Italia

Nuovo Metodo Tariffario Idrico per il secondo periodo regolatorio (MTI-2)

L'Autorità, con deliberazione 15 gennaio 2015, 6/2015/R/IDR, sono iniziate le procedure per la determinazione del Metodo Tariffario Idrico per il secondo periodo regolatorio (di seguito: MTI-2), che, in un quadro di stabilità e certezza della regolazione, è finalizzato all'integrazione e all'aggiornamento del vigente sistema di regole (ARERA, 2015).

Sono state inoltre esposte le nuove voci che saranno introdotti nel Metodo Tariffario Idrico (MTI-2) per il secondo periodo di regolamentazione, principalmente per la necessità di:

- identificare la più appropriata regolazione applicabile, tenendo conto delle variazioni regionali.
- incentivare gli investimenti ed allo stesso tempo, la sostenibilità dei corrispettivi tariffari all'utenza, la razionalizzazione delle gestioni e l'introduzione di miglioramenti qualitativi.

4.4.3 Definizione delle componenti di costo

Ai fini dell'aggiornamento tariffario, sono definite le seguenti componenti del servizio:

- i relativi costi delle immobilizzazioni, definiti come la somma degli oneri finanziari, degli oneri fiscali e delle aliquote di ammortamento per il guadagno dell'investimento.
- ⊖ costi operativi, intesi come la somma dei costi operativi endogeni alla gestione e dei costi operativi aggiornabili-
- Eventuale anticipazione per il finanziamento dei nuovi investimenti.
- Costi ambientali e della risorsa.
- Conguagli, aggiustamenti necessari per recuperare i costi approvati relativi agli anni precedenti.

4.4.4 Definizione del moltiplicatore tariffario e determinazione ei corrispettivi all'utenza

Le tariffe per gli anni successivi si ottengono moltiplicando il valore delle tariffe dell'anno precedente per il coefficiente moltiplicativo ϑ .

Il moltiplicatore tariffario ϑ di ciascun anno α del secondo periodo regolatorio è definito in base al rapporto tra i costi riconosciuti e la valorizzazione, in termini di tariffe rilevate all'anno α , dei volumi relativi all'anno $(\alpha - 2)$, tenendo conto degli eventuali effetti delle altre attività idriche.

Che cosa copre la tariffa

La legge prevede che la tariffa per il servizio idrico integrato deve coprire tutti i costi di investimento, di esercizio e manutenzione di reti ed impianti e quelli relativi agli operativi del Gestore e gli operativi dell'Autorità d'Ambito ed in parte dell'AEEGSI.

Il sistema tariffario, quindi, deve essere studiato in modo tale da assicurare sia l'equilibrio finanziario della gestione del Servizio Idrico Integrato sia la sua sostenibilità dalla popolazione, anche dalle fasce meno benestanti.

Inoltre, la tariffa dovrebbe essere tale da incoraggiare il gestore a ridurre i costi operativi a favore dello sviluppo e della manutenzione degli impianti.

L'articolazione tariffaria

La tariffa è composta da una parte fissa e da una parte variabile in funzione dei consumi. Viene adottata secondo un sistema comune che prevede una articolazione sulla base di:

- Livello di servizio (solo acquedotto, solo fognatura, servizio completo)
- Tipo di utilizzo (domestico, agricolo, produttivo, antincendio, grandi utenze)
- Livello di consumo (livelli tariffari diversi a seconda del consumo)

Le fasce tariffarie sono applicate dividendo i consumi in proporzione ai giorni relativi al periodo fatturato (sistema pro-die). Eventuali differenze nella distribuzione delle fasce tariffarie vengono compensate alla fine di ogni anno.

4.4.5 Esempio di tariffe del servizio idrico nel territorio veronese

Le tariffe in vigore dal 1° gennaio 2019, sono riportate nelle tabelle che seguono. La struttura della tariffa acquedotto è del tipo binomiale, costituita da una quota fissa e da una quota variabile in funzione del consumo. Le tariffe dei servizi di fognatura e depurazione, invece, sono identiche per tutte le tipologie di consumo e sono applicate alle utenze effettivamente allacciate alla rete fognaria recapitante ad un impianto di depurazione in funzione. Fanno eccezione gli scarichi in fognatura provenienti da insediamenti di tipo industriale, ai quali si applica una specifica tariffa calcolata applicando la nuova formulazione prevista da ARERA, con l'applicazione dei coefficienti definiti nelle deliberazioni sopra citate (ARERA , 2018).

QUOTA FISSA 2019	moltiplicatore su quota fissa base	Acque Veronesi Scarl quota fissa €/a
DOMESTICI RESIDENTE	0,45	23,00
DOMESTICI NON RESIDENTE (quota fissa base)	1	51,11
DOMESTICO CONDOMINIALE (multiutenze)	0,45	23,00
INDUSTRIALE	1	51,11
ARTIGIANALE E COMMERCIALE	1	51,11
AGRICOLO E ZOOTECNICO: AGRICOLO E IRRIGUO PRIVATO	1	51,11
FOGNATURA	-	0,69
DEPURAZIONE	-	0,69

QUOTA VARIABILE 2019	Scaglioni m ³ /a	Moltiplicatore Tariffa Base	Acque Veronesi Scarl tariffa €/m ³
DOMESTICO: RESIDENTE			
agevolata	0 - 99	0,5	0,27574
base	100 - 150	1	0,55149
1° eccedenza	151 - 200	1,5	0,82723
2° eccedenza	> 200	2	1,10298
DOMESTICO: NON RESIDENTE			
base	0 - 150	1	0,55149
1° eccedenza	151 - 200	1,5	0,82723
2° eccedenza	> 200	2	1,10298
DOMESTICO: CONDOMINIALE (multiutenze)			
agevolata	0 - 99	0,5	0,27574
base	100 - 150	1	0,55149
1° eccedenza	151 - 200	1,5	0,82723
2° eccedenza	> 200	2	1,10298
INDUSTRIALE			
base	0 - 150	1	0,55149
1° eccedenza	151 - 200	1,5	0,82723
2° eccedenza	> 200	2	1,10298
ARTIGIANALE E COMMERCIALE			
base	0 - 150	1	0,55149
1° eccedenza	151 - 200	1,5	0,82723
2° eccedenza	> 200	2	1,10298
AGRICOLO E ZOOTECNICO: AGRICOLO E IRRIGUO PRIVATO			
base	0 - 150	2	1,10298
1° eccedenza	151 - 200	2,5	1,37872
2° eccedenza	> 200	3	1,65447
Fognatura e depurazione			
FOGNATURA	Sca-unico	-	0,36188
DEPURAZIONE	Sca-unico	-	0,53305

Tabella 19: Le tariffe del servizio idrico integrato su tutto il territorio dell'ATO Veronese – fonte: [(ARERA , 2018)]

Alle tariffe così calcolate vengono, altresì, aggiunte le seguenti aliquote perequative, disposte dall'AEEGSI:

UI1 = 0,004 €/mc dal 01.01.2014 su mc di acqua, fognatura e depurazione, Delibera AEEGSI n. 529/13 (Terremoto in Emilia).

UI2 = 0,009 €/mc dal 01.01.2018 su mc di acqua, fognatura e depurazione, Delibera AEEGSI n. 664/2015 art. 33; aliquota determinata con Delibera AEEGSI n. 918/2017 art. 9.5 (Qualità tecnica).

UI3 = 0,005 €/mc dal 01.01.2018 su mc di acqua, NO fognatura e NO depurazione. Del. AEEGSI n. 897/17 art. 9.1 e Del. AEEGSI n. 918/17 art. 10.2 (Bonus idrico).

Region e	Ente di governo dell'Ambito	cod. ATO	Gestore	Moltiplicatore tariffario \mathcal{G}^{2018}	Moltiplicatore tariffario \mathcal{G}^{2019}
Veneto	Consiglio di Bacino Veronese	506	Acque Veronesi s.c.a.r.l.	1,045	1,090
			Azienda Gardesana Servizi S.p.a.	1,103	1,117

Tabella 20: Valori del moltiplicatore tariffario –fonte: [(ARERA , 2018)]

Le tariffe per gli anni successivi si ottengono moltiplicando il valore delle tariffe dell'anno precedente per il coefficiente moltiplicativo \mathcal{G}^α , che nel nostro esempio è \mathcal{G}^{2019} . Questo coefficiente è definito come segue (ARERA , 2015):

$$\mathcal{G}^\alpha = \frac{VRG^\alpha}{\sum_u \{tarif_u^{\alpha-1} \cdot (vscaI_u^{\alpha-2})^T\} + R_b^{\alpha-2}}$$

$\sum_u \{tarif_u^{\alpha-1} \cdot (vscaI_u^{\alpha-2})^T\}$ è il ricavo stimato del gestore, corrispondente alla sommatoria dei prodotti scalari, per ciascuna tipologia di utente u , del vettore delle componenti tariffarie $tarif_u^{\alpha-1}$ relativa all'utente u , relativa all'anno $\alpha-1$ (nel esempio tariffe relative all'anno 2018) per il trasposto del vettore delle variabili di scala (inteso come quote fisse e variabili) effettivamente rilevate $(vscaI_u^{\alpha-2})^T$, relativo all'anno $\alpha-2$.

$$VRG^\alpha = Capex^\alpha + FoNI^\alpha + Opex^\alpha + ERC^\alpha + Rc_{TOR}^\alpha$$

dove:

- α è l'anno (nell'esempio è uguale a 2019).
- la componente $Capex^\alpha$, rappresenta i costi delle immobilizzazioni ed include gli oneri finanziari, gli oneri fiscali e gli ammortamenti;
- la componente $FoNI^\alpha$, a sostegno degli obiettivi specifici e degli interventi che ne conseguono.
- ERC^α è la componente a copertura dei costi ambientali e della risorsa eccedenti rispetto a quelli già incorporati nelle precedenti componenti.
- Rc_{TOT}^α è la componente a congruaggio relativa al vincolo ai ricavi del gestore dell'anno $\alpha - 2$
- la componente a $Opex^\alpha$ sono costi operativi.

4.4.6 Le tariffe del servizio idrico al livello europeo

La tariffazione dell'acqua dipende da molteplici parametri locali come il livello delle tasse, fonti d'acqua (le acque sotterranee richiedono di solito un trattamento inferiore a quello delle acque superficiali), lunghezza della rete per abitante, acqua ricevente (le aree sensibili richiedono un livello di trattamento più elevato per le acque reflue), ecc.

Generalmente è regolato da un ente pubblico oppure da un regolatore ufficiale o dal governo locale. la figura 26 presenta i prezzi medi che potrebbe essere composti da prezzi locali molto diversi. Sono utili per valutare la diversità globale dei prezzi in Europa, ma non è possibile un confronto diretto delle bollette dell'acqua o del prezzo al metro cubo tra i vari paesi (EurEau, 2017).

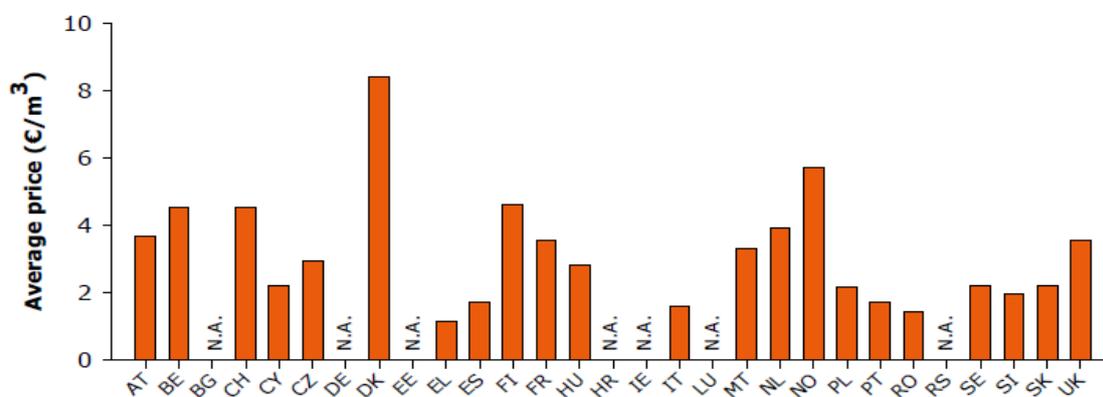


Figura 28: Tariffa dell'acqua media annua per famiglia (le cifre fornite sono relative al periodo compreso tra il 2012 e 2015) fonte: [(EurEau, 2017)]

4.4.7 Tariffe e consumi

Paese	Consumo residenziale medio [l/cap/g]	Prezzo medio [€/m³]
Austria	135	3.65
Belgio	96	4.53
Croazia	150	1.98
Cipro	149	2.9
Repubblica Ceca	88.5	3.27
Danimarca	104	9
Estonia	78	3.16
Finlandia	119	5.89
Francia	143	3.92
Germania	122	2.027
Grecia	150	1.4
Ungheria	95	2.65
Irlanda	130	5.96
Italia	245	1.5
Lussemburgo	137	5.5-6
Malta	79.36	3.32
Norvegia	140	5.7
Polonia	94.17	2.15
Portogallo	204	1.82
Romania	136	1.42
Slovacchia	79	2.4
Slovenia	102.34	2.17
Spagna	139	1.78
Svezia	140	4.44
Svizzera	307	2.1
Paesi Bassi	126	3.91
Regno Unito	139	3.54

Tabella 21: Tabella: Prezzo medio nei vari paesi dell'Europa Fonte: [EurEau, 2018]

Queste enormi differenze di consumo sono dovute principalmente ai diversi regimi di tariffazione dell'acqua in Europa, che i responsabili politici europei non sono riusciti ad armonizzare nonostante la direttiva. I prezzi variano da una fornitura di acqua praticamente gratuita (ad esempio per uso agricolo) a più di 9 euro al metro cubo, in alcune parti della Danimarca.

Questi prezzi sono importanti. La determinazione dei prezzi è lo strumento politico più potente per modificare i modelli di consumo dell'acqua e il comportamento degli utenti. Numerosi studi dell'Agenzia Europea dell'Ambiente (AEA) hanno dimostrato che i segnali dei prezzi hanno un impatto significativo sull'uso dell'acqua da parte delle famiglie. In effetti, il consumo di acqua è generalmente correlato negativamente ai prezzi dell'acqua.

Dal 1992 in poi il governo ungherese ha aumentato i prezzi dell'acqua da 0,2 euro a 0,5 euro per metro cubo, portando ad un calo totale dell'uso dell'acqua nel paese di circa un terzo fino al 1996; il consumo pro capite di acqua al giorno è sceso da 160 litri a 100 litri, come mostrato nella Figura.

La Germania ha seguito la stessa politica. Infatti, il consumo d'acqua è diminuito del 17% negli ultimi 20 anni, scendendo a 122 litri pro capite al giorno, soprattutto grazie al forte legame tra i prezzi dell'acqua e i consumi, ma non solo, anche a misure complementari come la promozione dell'uso di elettrodomestici per il risparmio idrico e numerose campagne di sensibilizzazione dei consumatori.

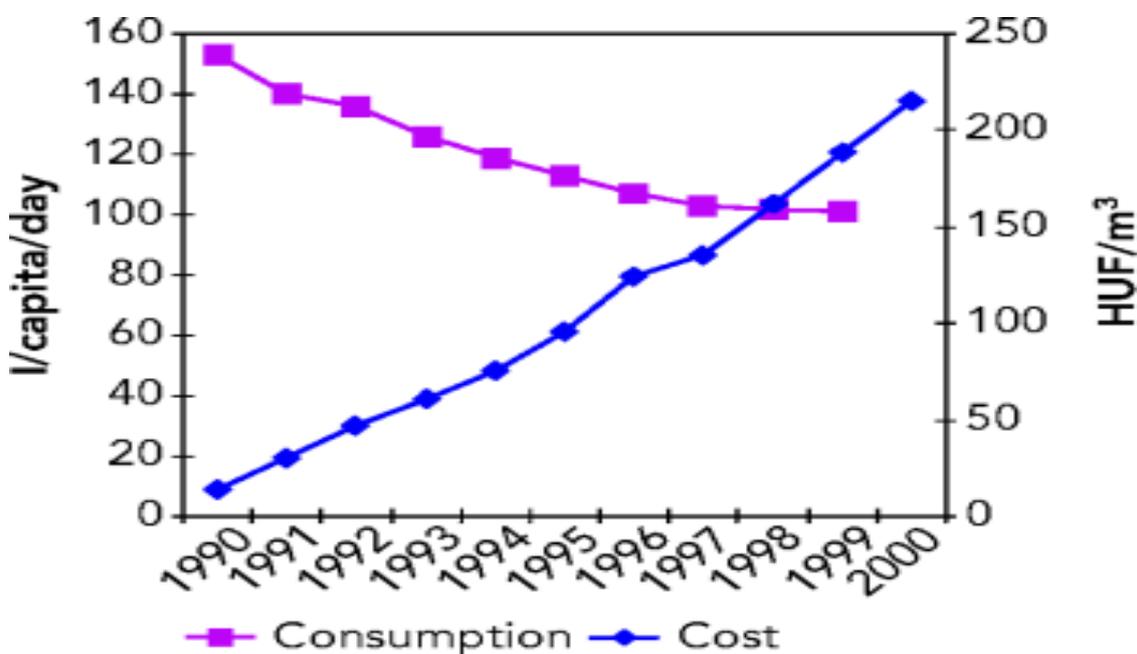


Figura 29: Andamento del prezzo dell'acqua e del consumo di acqua per uso domestico in Ungheria. fonte: [(EAA , 2009)]

5 BILANCIO IDRICO RESIDENZIALE: ALCUNE CASI

In questo paragrafo trattiamo il bilancio idrico a scala di edificio attraverso una trattazione analitica, in particolare modelliamo due soluzioni riguardanti la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana attraverso installazione del sistema DRWH (Domestic Rain Water Harvesting, raccolta di acqua piovana a livello domestico) e il dimensionamento ottimale dei serbatoi di stoccaggio per la raccolta dell'acqua piovana domestica e la seconda soluzione ovvero oltre alla raccolta dell'acqua piovana anche il riutilizzo di acque grigie UHA (Urban Harvesting Approach, l'approccio di raccolta a livello urbano).

5.1 Caso di studio: il bilancio idrico di due edifici dotati di un sistema di raccolto UHA e trattamento e riutilizzo di acque grigie

Le città hanno molteplici potenziali sotto forma di risorse primarie e secondarie (già utilizzate) non sfruttate, che possono essere utilizzate. L'approccio del raccolto urbano (UHA, URBAN HARVESTING APPROACH) lavora sul principio che i sistemi urbani possono diventare autosufficienti. È un approccio per identificare l'influenza di diverse misure per la riduzione della domanda e la produzione dei rifiuti.

Trattiamo in particolare di uno studio nei Paesi Bassi, studio fatto da Agudelo e Vera (Agudelo-Vera and al. 2013) per mostrare l'impatto delle misure di risparmio idrico e delle opzioni di riutilizzo e riciclo su scala ridotta. Lo studio in esame tratta due soluzioni, una casa indipendente con 4 persone e un Palazzo residenziale di media altezza con 28 appartamenti e 2 persone per appartamento, entrambe le soluzioni analizzate avevano la stessa superficie.

Il profilo metabolico è calcolato in base agli ingressi, alle uscite, riutilizzo all'interno del sistema (C. M. Agudelo-Vera , 2012).

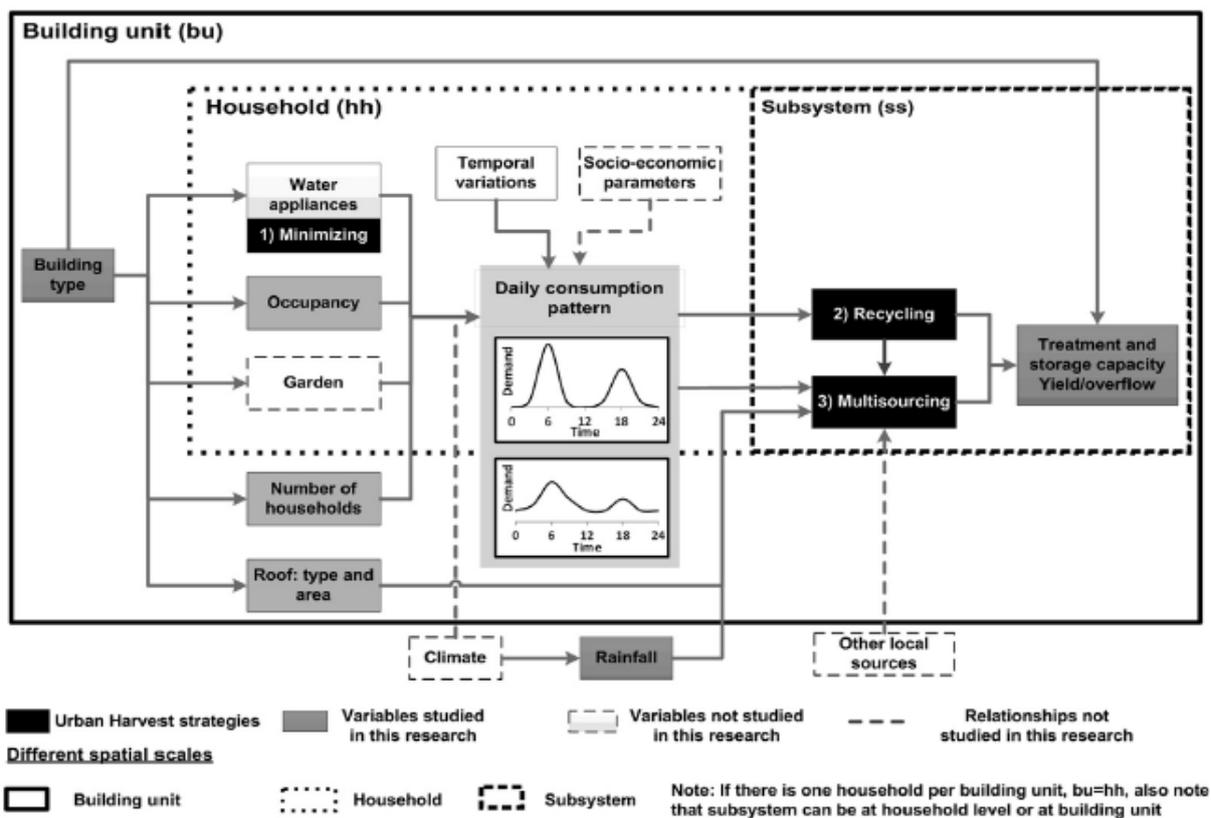


Figura 30: Variabili che influenzano il ciclo dell'acqua a livello di edificio, fonte: (Agudelo-Vera et al. 2013))

Metodologia

Si è usato SIMDEUM un modello stocastico per la simulazione del fabbisogno d'acqua, modello sviluppato da Watercycle Research Institute (KWR), Paesi Bassi.

Questo modello utilizza un approccio tipo "bottom-up" per l'allocazione della domanda, che implica che il fabbisogno d'acqua è modellato per una sola famiglia, nel caso di più famiglie, un modello unico di domanda d'acqua giornaliera può essere costruito sommando i modelli di domanda d'acqua delle singole famiglie.

Sono stati selezionati due tipi di edifici, Casa indipendente e un palazzo residenziale di media altezza, casa indipendente occupata da quattro persone, ovvero una coppia con due figli, per il palazzo residenziale, dove ci sono 28 appartamenti, ciascuna occupata da due occupanti, ovvero una coppia senza figli.

Le caratteristiche dell'edificio sono state definite sulla base delle case di riferimento per le località Vinex nei Paesi Bassi (SenterNovem, 2006), vedi Tabella 22.

Il tipo e il numero di apparecchi per l'acqua sono importanti nel definire le variazioni dello schema giornaliero. Il tipo di edificio determina anche il numero di apparecchi per l'acqua, come ad esempio il numero di servizi igienici e la presenza dei bagni ecc...

Attraverso l'uso di SIMDEUM, si sono simulati i bilanci annuali dell'acqua con intervalli di tempo orari per una domanda convenzionale ed una minimizzata.

I record di precipitazioni orarie utilizzati furono ottenuti dalla stazione meteorologica di Wageningen (WUR, 2013). Questo studio è incentrato sul consumo d'acqua interno alla casa, dunque non si è tenuto conto delle variazioni stagionali della domanda.

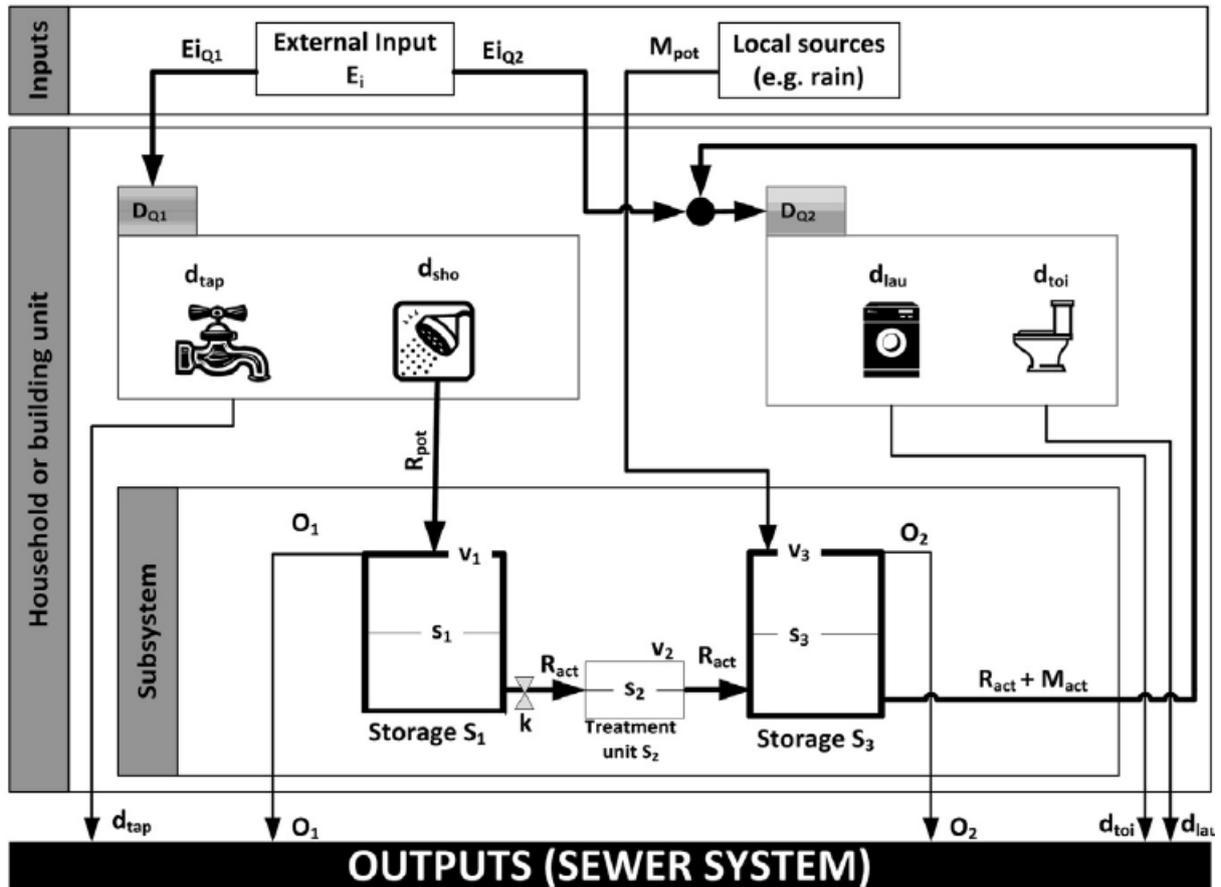
Il primo passo è stato la minimizzazione dei flussi più grandi, cioè i flussi che contribuiscono di più del 10% del totale dei volumi di consumo idrico residenziale. Le misure attuate si sono concentrate sui tre usi dell'acqua per uso domestico con il maggior consumo, ovvero la doccia, lo scarico del WC e lavanderia. Nella fase due le acque reflue della doccia e del bagno sono state riciclate per fornire acqua per lo sciacquone e la lavatrice. Le acque reflue della doccia e del bagno sono dette acque grigie chiare (LGW), è la frazione più pulita delle acque reflue residenziali.

Nella fase tre (multi-sourcing) è stata valutata la raccolta dell'acqua piovana. In questa fase, i bilanci idrici sono stati valutati per diverse variabili, quali la dimensione del serbatoio, la capacità di trattamento delle acque reflue, gli abitanti per abitazione e l'area del tetto.

Consumo e produzione di acqua grigia o raccolta di acqua piovana non sono né simultanei né uguali in quantità. Di conseguenza, è necessario introdurre un sistema di stoccaggio per collegare l'offerta e la domanda. Per garantire gli standard di qualità, un'unità di trattamento d'acqua è necessaria.

In questo studio (figura 31), sono presenti tre serbatoi:

S1 per la raccolta delle acque grigie, S2 per il trattamento delle acque grigie e S3 per stoccare le acque grigie trattate e acque piovane, mischiate. Si suppone che le unità di stoccaggio fossero idealmente mescolate e chiuse e i serbatoi si trovano sottoterra. Dunque, ne segue che l'evaporazione dall'unità di stoccaggio è escluso dalla modellazione ed anche il volume iniziale di stoccaggio è stato impostato nullo (Dead Storage Capacity). Per minimizzare il numero di variabili, un reattore plug-flow (S2) è stato assunto per trattare le acque grigie.



Ingressi [$L^3 T^{-1}$]	Caratteristiche del sottosistema	Flussi interni [$L^3 T^{-1}$]
E_{iQ1} : Ingresso esterno per alimentazione potabile	$S1$ e $S3$: unità di stoccaggio	R_{pot} : riciclaggio potenziale
E_{iQ2} : Ingresso esterno per l'uso non potabile	S_2 : unità di trattamento	d_{sho} : Domanda doccia e vasca da bagno
M_{pot} : potenziale multi-sourcing	s_1, s_2 e s_3 : stoccaggio effettivo nelle unità [L^3]	R_{act} : riciclaggio vero e proprio
Uscite [$L^3 T^{-1}$]	v_1, v_2 e v_3 : capacità di stoccaggio	M_{act} : vero e proprio multisourcing
$d_{tap}, d_{lau}, d_{toi}$: domanda (rubinetti, lavanderia e toilette)	K : capacità di trattamento [$L^3 T^{-1}$] - (costante)	
O_1 e O_2 : Overflow=sfioratori=Trabocco	RT : Tempo di permanenza idraulico [T^{-1}]	

Figura 31: Rappresentazione schematica del sistema idrico dell'unità abitativa o dell'edificio, compreso il sottosistema per il riciclaggio delle acque grigie e la raccolta dell'acqua piovana

Pertanto, il dimensionamento del volume dell'unità di trattamento S_2 viene fatto attraverso la seguente equazione (5.1):

$$V_2 = RT \cdot K \quad (5.1)$$

Dove:

RT [T] è il tempo di permanenza idraulica espressa in giorni

K [L3 T-1] è la capacità di trattamento dell'acqua grigia

Per le strategie adottate in questo studio, l'acqua trattata dalla doccia (d_{sho}) è l'unica componente potenziale per riciclaggio che definiamo R_{pot} , questo viene riutilizzato per fornire acqua per lo sciacquone (d_{toi}) e lavanderia (d_{lau}).

Pertanto, il potenziale di ciclo può essere espresso come: $R_{pot}(t) = d_{sho}(t)$.

Fabbisogno di acqua di seconda qualità, ovvero non potabile è definita dalla seguente somma:

$$D_{Q2}(t) = d_{toi}(t) + d_{lau}(t)$$

Il bilancio

È possibile scrivere il bilancio di massa come segue:

$$S = Ti - To - Co$$

Dove:

S è lo stoccaggio

Ti sono le entrate totali, To sono le uscite totali

Co è il consumo

Per il sistema in figura 29 è possibile trovare i volumi totali in entrata e in uscita come segue:

$$Ti = Ei_{Q1} + Ei_{Q2} + M_{pot}$$

$$To = d_{tap} + d_{toi} + d_{lau} + O_1 + O_2$$

Dove

Ei_{Q1} è la fornitura esterna d'acqua potabile

Ei_{Q2} è la fornitura esterna d'acqua non potabile

M_{pot} è il potenziale multi-sourcing (eventuali acque piovane)

Considerando $Co = 0$ (cioè nessuna perdita d'acqua), e dS/dt come la variazione nel tempo del

volume stoccato in S1, S2 e S3, l'equazione di bilancio di massa può essere scritta come:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dTi}{dt} - \frac{dT_o}{dt} \quad (5.2)$$

$$\frac{dS}{dt} = [Ei_{Q1}(t) + Ei_{Q2}(t) + M_{pot}(t)] - [d_{tap}(t) + d_{toi}(t) + d_{lau}(t) + O_1(t) + O_2(t)]$$

Supponendo che il fabbisogno d'acqua è sempre soddisfatto, ovvero $D = D_{Q1} + D_{Q2}$ è sempre soddisfatto.

Dove:

D_{Q1} è la domanda giornaliera d'acqua potabile

E D_{Q2} è la domanda giornaliera d'acqua non potabile

$$D(t) = Ei_{Q1}(t) + Ei_{Q2}(t) + R_{act}(t) + M_{act}(t) \quad (5.3)$$

L'acqua potabile è necessaria per la cucina e in bagno per i rubinetti (d_{tap}) e la doccia (d_{sho}).

Quindi $D_{Q1} = d_{tap} + d_{sho}$

E come già detto $D_{Q2} = d_{lau} + d_{toi}$

L'UHA trascura eventuali cambiamenti del comportamento.

Come si nota dalla figura 31, D_{Q1} è fornito da Ei_{Q1} , $D_{Q1} = Ei_{Q1}$.

Quindi, D_{Q1} può essere minimizzato solo con l'installazione di tecnologie per il risparmio idrico. Si noti anche che D_{Q2} è fornito da Ei_{Q2} , R_{act} e M_{act} , quindi

$$D_{Q2}(t) = Ei_{Q2}(t) + R_{act}(t) + M_{act}(t) \quad (5.4)$$

$$\Rightarrow Ei_{Q2}(t) = D_{Q2}(t) - R_{act}(t) - M_{act}(t)$$

Uno degli obiettivi dell'UHA è quello di ridurre al minimo l' Ei_{Q2} , il quale può essere minimizzato implementando tecnologie di risparmio idrico, ovvero minimizzando il D_{Q2} , attraverso il riciclaggio, massimizzando il R_{act} e il multi-sourcing, M_{act} .

L'autosufficienza della domanda non potabile si raggiunge quando: $Ei_{Q2} = 0$;

$$R_{act} + M_{act} = D_{Q2}$$

Un altro obiettivo dell'UHA è minimizzare “lo spreco” (We) del sistema, ovvero la quota che finisce nelle fognature, che può essere scritto come:

$$We(t) = d_{tap}(t) + d_{toi}(t) + d_{lau}(t) + O_1(t) + O_2(t) \quad (6.5)$$

Come si evince dalla Figura 31:

$$D = D_{Q1} + D_{Q2} = d_{tap} + d_{sho} + d_{lau} + d_{toi}$$

$$R_{pot} = d_{sho}$$

$$R_{act} = R_{pot} - O_1$$

Dunque, “lo spreco” può essere scritto come segue:

$$We(t) = D(t) - R_{act}(t) + O_2(t) \quad (5.6)$$

Quindi, per ridurre al minimo We , oltre a minimizzare D , gli sfioratori $O1$ e $O2$ dovrebbero essere ridotti al minimo, ovvero R_{act} e M_{act} dovrebbero essere massimizzati, $R_{act} = R_{pot}$ e $M_{act} = M_{pot}$, attraverso una opportuna scelta delle capacità di stoccaggio v_1, v_2 e v_3 . La scelta della capacità di stoccaggio ottimale comporta dei compromessi, perché dipenderà direttamente dalla disponibilità di spazio e dai costi. Tuttavia, c'è anche la possibilità di esportare le risorse. Ad esempio, $O1$ e $O2$ potrebbero essere esportati se c'è una domanda corrispondente.

Dato che la scala di questo studio è l'abitazione, si assume che non vi sia alcuna esportazione di risorse.

Profilo metabolico

Il profilo metabolico viene utilizzato per confrontare e valutare le diverse misure. Viene descritto in termini di domanda (D), dello spreco (We) e di risorse raccolte (Rh).

Inoltre, è definito anche da tre indici:

- l'indice di minimizzazione della domanda (DMI).
- l'indice di produzione del “lo spreco” (WOI).
- l'indice di auto-sostenibilità (SSI), come definito in (C. M. Agudelo-Vera , 2012).

Indice di minimizzazione della domanda:

$$DMI = \frac{\text{Domanda convenzionale } (D_{con}) - \text{Domanda } (D)}{\text{Domanda convenzionale } (D_{con})} = \frac{\sum_{t=1}^{t=n} D_{con}(t) - D(t)}{\sum_{t=1}^{t=n} D_{con}(t)} \quad (5.7)$$

dove, Domanda convenzionale (D_{con}) rappresenta il fabbisogno quando vengono implementate le tecnologie convenzionali, mentre D è il fabbisogno effettivo.

Indice di produzione del “lo spreco”

$$WOI = \frac{\text{"lo spreco"} (We)}{\text{Domanda } (D)} = \frac{\sum_{t=1}^n D(t) - R_{act}(t) + O_2}{\sum_{t=1}^{t=n} D(t)} \quad (5.8)$$

Indice di auto-sostenibilità (SSI)

$$SSI = \frac{\text{Risorse raccolte } (Rh)}{\text{Domanda } (D)} = \frac{\sum_{t=1}^n R_{act}(t) + M_{act}(t)}{\sum_{t=1}^{t=n} D(t)} \quad (5.9)$$

SSI può al limite essere uno ($SSI \leq 1$), assume il valore 1 quando il fabbisogno è pienamente soddisfatto.

Si possono calcolare questi indici per diverse scale temporali, ad esempio giorno, settimana o anno, in base alla disponibilità dei dati. Il profilo metabolico può essere calcolato a scala dell'edificio (bu) o sottosistema (ss), dove il sottosistema è definito come il sistema di raccolta e trattamento delle acque grigie e piovane. Poiché l'acqua del rubinetto (d_{tap}) non viene riciclata, $SSI_{bu} < 1$, inoltre, $SSI_{ss} > SSI_{bu}$ perché il valore di Rh (Resources harvested, risorse raccolte) ovvero l'acqua piovana raccolta è uguale in entrambi i casi, ma $D_{bu} > D_{ss}$ come

$$D_{bu} = D_{Q1} + D_{Q2} = D$$

$$\text{e } D_{ss} = D_{Q2}$$

Quindi, per la stessa strategia di solito SSI_{ss} è più grande di SSI_{bu} . Questo dipende dal rapporto D_{Q2} / D .

Minimizzazione della domanda

La minimizzazione della domanda è la prima attività chiave nell'UHA. L'attuale domanda di risorse a livello urbano è generalmente caratterizzata da una massiccia richiesta di risorse che solitamente è soddisfatta da enormi produzioni.

La minimizzazione della domanda può essere ottenuta stimolando i cambiamenti nel comportamento umano o con l'implementazione delle tecnologie. L'UHA si concentra sull'implementazione della tecnologia per ridurre la domanda di risorse. Come sopra abbiamo citato, dopo la valutazione di base, l'UHA mira a selezionare le attività principali, che consumano più del 10% della domanda attuale. Successivamente vengono identificate le tecnologie che contribuiscono a ridurre la domanda di risorse.

Applicazione del modello

Il fabbisogno idrico residenziale medio in Olanda corrisponde a 124 litri pro-capite al giorno secondo uno studio sull'utilizzo residenziale dell'acqua condotta nel 2010 (Foekema e van Thiel , 2011) .

In questo studio (Agudelo-Vera e al. 2013)sono state valutate tre strategie, sia per la domanda convenzionale che per quella minimizzata:

- Solo riciclaggio delle acque grigie.
- Solo multi-sourcing (recupero acque meteoriche).
- Riciclaggio e il multi-sourcing (recupero acque meteoriche).

Da un'indagine (Foekema e van Thiel , 2011) . si è evinto anche che i volumi maggiori d'acqua sono necessari per la doccia, lo sciacquone del WC e per lavanderia. Inoltre, l'indagine riportato anche i diversi consumi d'acqua in relazione alle dimensioni delle famiglie e dimostra che nelle famiglie più grandi il consumo di acqua per persona è inferiore, anche se fanno il bucato più spesso e un'elevata correlazione tra la presenza di bambini in una casa e la frequenza nell'uso dei bagni.

	Casa indipendente	Palazzo residenziale di media altezza
Area del tetto (m ²)	60	640
Occupazione	1 famiglia: 4 persone	56 persone: 28 appartamenti x 2 persone
Numero di bagni	2	28 ^a
Numero di lavatrici	1	28 ^a
Numero di vasche da bagno	1	0
Numero di docce	1	28 ^a

^a Uno per appartamento.

Tabella 22 : Descrizione delle unità immobiliari selezionate (Agudelo-Vera et al. 2013)

Si presume che gli appartamenti hanno un bagno con la doccia, senza vasca e che la famiglia di quattro persone ha due bagni, uno con la vasca.

Per il riciclaggio, la capacità di trattamento k è stata impostata essere uguale alla domanda oraria media, e il tempo di permanenza idraulica (RT) è stato impostato a 24 ore. Inoltre, la dimensione del serbatoio S1 è stata imposto uguale alla produzione media giornaliera delle acque grigie chiare, mentre per l'unità di stoccaggio S3 sono state valutate diverse capacità di stoccaggio (Agudelo-Vera e al. 2013).

	Casa indipendente		Appartamento nel palazzo residenziale	
	Convenzionale l p⁻¹ d⁻¹	Minimizzato l p⁻¹ d⁻¹	Convenzionale l p⁻¹ d⁻¹	Minimizzato l p⁻¹ d⁻¹
Doccia	50.7	43.9	50.7	43.9
WC	32.1	4.8	32.1	4.8
Lavatrice	13.5	12	14.5	13
Rubinetto della cucina	8.7	8.7	16.8	16.8
Rubinetto del bagno	4	4	4	4
Lavastoviglie	3.1	3.1	3.9	3.9
Vasca da bagno	7.7	7.7	0	0
Totale	119.8	84.2	122	86.4

Tabella 23: Fabbisogno idrico giornaliero per tipo di famiglia per una situazione convenzionale e minimizzata, fonte: (Agudelo-Vera e al. 2013)

Nella tabella 23 è riportato il consumo medio giornaliero di acqua per persona, simulato con SIMDEUM, per i due diversi edifici con e senza dispositivi per il risparmio idrico ovvero sia per la domanda convenzionale che per quella minimizzata.

Inoltre, è possibile apprezzare che il consumo giornaliero di acqua per persona è simile per entrambi i tipi di abitazione, mentre la distribuzione dell'uso dell'acqua è diversa. La differenza principale è la presenza o l'assenza della vasca da bagno: per la casa indipendente il bagno rappresenta il 6% del consumo totale, mentre per via delle ipotesi: (Agudelo-Vera e al. 2013) ovvero l'assenza della vasca nell'appartamento il consumo è pari a zero.

I modelli, per i due tipi di edifici e per le due condizioni di domanda, annuali sono stati costruiti simulando 365 modelli giornalieri.

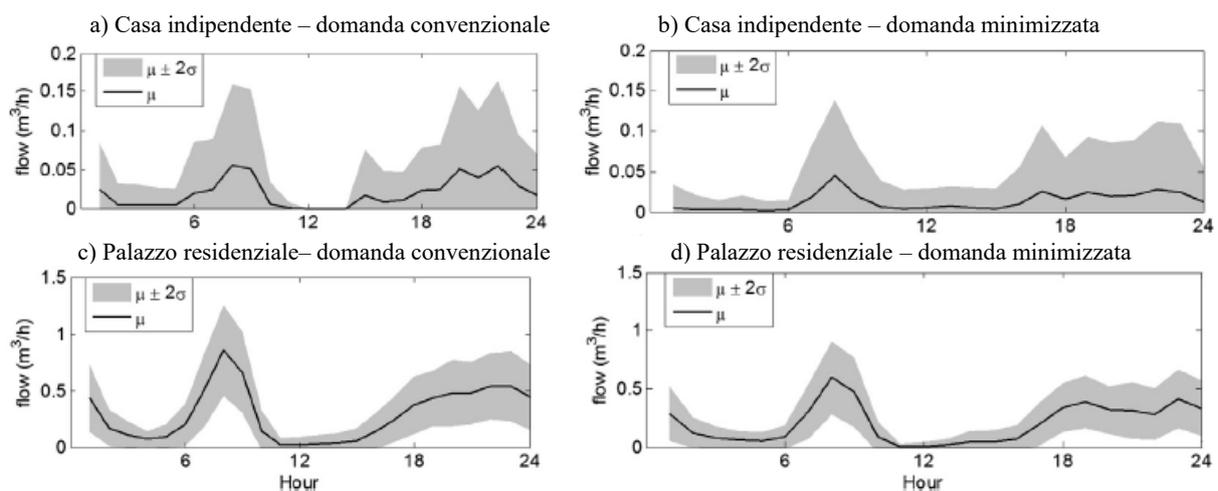


Figura 32: Simulazioni SIMDEUM per i due tipi di edifici, per una domanda convenzionale e minimizzata, fonte: (Agudelo-Vera e al. 2013)

Sono riportate nella Figura 30 la media e la deviazione standard delle simulazioni per i due tipi di edificio e per le due tipologie di domande ovvero una convenzionale ed una minimizzata.

Come previsto, le deviazioni standard sono maggiori per la casa indipendente che per il palazzo residenziale di media altezza, che è la somma di più famiglie. Anche se il consumo medio giornaliero di acqua per persona è simile per entrambi i tipi di edificio.

Dai risultati ottenuti si evince che il consumo d'acqua delle famiglie composte da quattro persone non è semplicemente due volte il consumo delle famiglie composte da due persone. Dunque, l'utilizzo di acqua pro-capite è influenzato dalle dimensioni delle famiglie e che i modelli temporali aggregati non sono lineari, la non linearità è legata alla composizione della famiglia, numero di adulti e bambini e la tipologia di apparecchiature elettriche.

Olanda, con precipitazioni medie annue di 800 mm, ha un grande potenziale M_{pot} .

Il valore di M_{pot} [$m^3/anno$] di un tetto può essere stimato in funzione delle precipitazioni annue P [$mm/anno$], dell'area di tetto A [m^2] e del coefficiente adimensionale di deflusso RC .

$$M_{pot} = P \cdot A \cdot RC \quad (5.10)$$

Il coefficiente di deflusso (RC) è un valore adimensionale che esprime il quantitativo di pioggia effettivo, ossia depurato da evaporazione, permeabilità tetto e perdite, solitamente compreso tra 0,7 e 0,9 (Farreny e al. 2011).

Per il caso specifico si è utilizzato RC pari a 0,7 e P pari a 811 mm/anno (anno 2010).

Linea di base	Casa indipendente		Appartamenti	
	Convenzionale [$l\ p^{-1}\ d^{-1}$]	Minimizzato [$l\ p^{-1}\ d^{-1}$]	Convenzionale [$l\ p^{-1}\ d^{-1}$]	Minimizzato [$l\ p^{-1}\ d^{-1}$]
D ($m^3/ anno$)	172	117	2590	1820
D_{Q2} ($m^3/ anno$)	60	23	969	364
DMI_{ss}	0	0.62	0	0.62
DMI_{bu}	0	0.32	0	0.3
SSI_{bu}	0	0	0	0
WOI_{bu}	1	1	1	1
Massimo potenziale di riciclaggio				
R_{pot}^a ($m^3/ anno$)	89	72	1112	952
$SSI_{ss,max}$	1	1	1	1
$SSI_{bu,max}$	0.35	0.2	0.37	0.2
Massimo potenziale di multisourcing				
M_{pot}^b ($m^3/ anno$)	34	34	358	358
$SSI_{ss,max}$	0.56	1	0.37	0.98
$SSI_{bu,max}$	0.2	0.29	0.14	0.2
Massimo potenziale di riciclaggio e multisourcing				
$R_{pot} + M_{pot}$ ($m^3/ anno$)	122	105	1470	1310
$SSI_{ss,max}$	1	1	1	1
$SSI_{bu,max}$	0.35	0.2	0.37	0.2
a: Acqua grigia chiara dalla doccia e dalla vasca da bagno.				
b: Per un anno medio.				

Tabella 24: Valori annuali per tipo di edificio per una situazione convenzionale e minimizzata simulata con SIMDEUM, fonte: (Agudelo-Vera e al. 2013)

Nella tabella 24 sono riportati i risultati delle analisi effettuate con SIMDEUM, a diverse scale, a scala dell'edificio e del sottosistema per i due tipi di edifici e per le entrambe tipologie di domanda, riporta inoltre gli indici di minimizzazione della domanda per i relativi casi,

utilizzando apparecchi a risparmio idrico per la doccia, toilette e una lavatrice a basso consumo d'acqua. Per entrambe le unità immobiliari, circa il 60% della domanda convenzionale a livello del sottosistema è ridotta al minimo; mentre considerando la domanda convenzionale a livello d'edificio la minimizzazione è del circa 30%. Ciò indica che la minimizzazione della domanda è una misura cruciale per un ciclo dell'acqua urbano più efficiente.

Inoltre, sono fornite anche informazioni relative al massimo potenziale per il riciclaggio e il multi-sourcing. Basato sulla produzione media annuale, il riciclaggio delle acque grigie può soddisfare il 100% del fabbisogno d'acqua di seconda qualità (non potabile, D_{Q2}).

Il potenziale massimo di multi-sourcing varia tra il 38% e il 100% del fabbisogno d'acqua di seconda qualità D_{Q2} ovvero varia tra il 14% e il 29% della domanda totale D.

Ciò dimostra l'importanza di valutare contemporaneamente a diverse scale, in questo caso a scala dell'edificio e del sottosistema.

La terza strategia ovvero multi-sourcing e riciclaggio di acque grigie combinate, massimizza le risorse idriche recuperate, però nel frattempo è la condizione che dà il massimo overflow.

Per avere un'idea della dinamica dei flussi residenziali, Figura 33 mostra cinque giorni consecutivi casuali per i casi studiati.

La domanda d'acqua, la domanda d'acqua non potabile e il potenziale di riciclaggio mostrano grandi variazioni giornaliere. Queste variazioni evidenziano l'importanza di indagare le dinamiche del ciclo urbano dell'acqua.

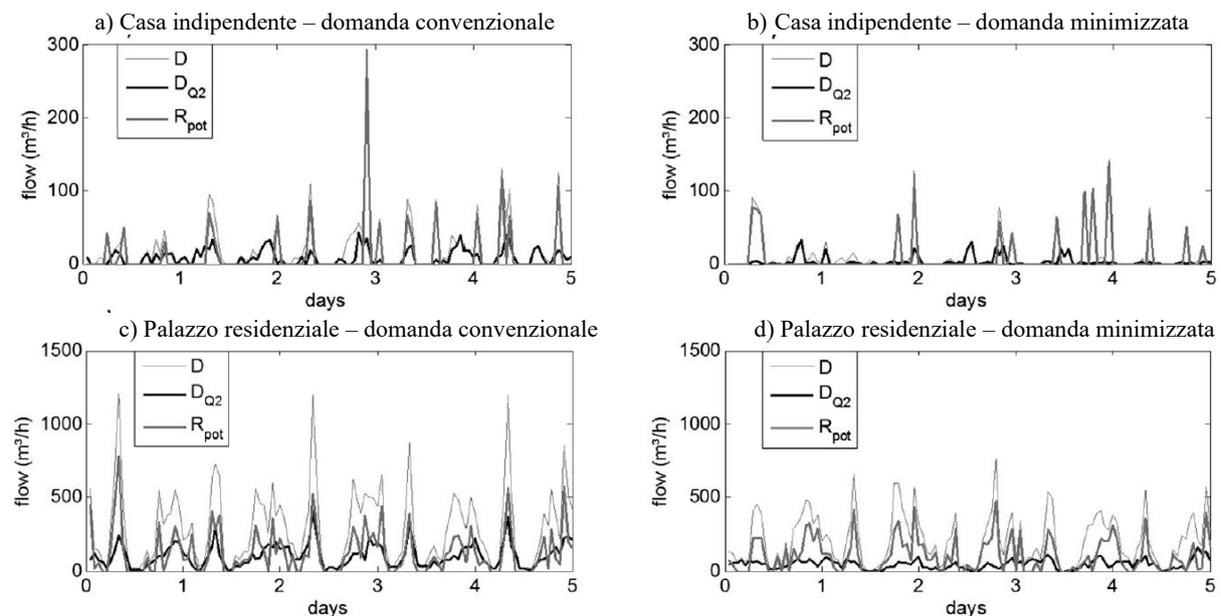


Figura 33: Panoramica della domanda totale all'unità immobiliare (D), della domanda non potabile (D_{Q2}) e del potenziale di riciclaggio per cinque giorni casuali consecutivi, fonte: (Agudelo-Vera e al. 2013)

Riciclaggio di acque grigie e recupero acque meteoriche (multi-sourcing)

Il volume del serbatoio S1 è stato imposto uguale alla produzione media giornaliera delle acque grigie, ovvero pari a $0,2 \text{ m}^3$ per la casa indipendente, invece per il palazzo residenziale si è assunto un volume di $2,6 \text{ m}^3$. Siccome l'edificio è costituito da 28 appartamenti, si suppone che ogni appartamento abbia un piccolo serbatoio installato.

Per entrambi le tipologie di edifici, il riciclaggio effettivo (R_{act}) e multi-sourcing (M_{act}) sono stati studiati separatamente ed anche in combinazione, ovvero tre strategie per la domanda convenzionale e quella minimizzata. Come già detto, sulla base delle simulazioni, k è stato impostato sulla domanda media oraria, e v_2 è stato calcolato come $k \times RT$.

	Casa indipendente		Palazzo residenziale di media altezza	
	Convenzionale I	Minimizzato I	Convenzionale I	Minimo I
	$\text{p}^{-1} \text{ d}^{-1}$	$\text{p}^{-1} \text{ d}^{-1}$	$\text{p}^{-1} \text{ d}^{-1}$	$\text{p}^{-1} \text{ d}^{-1}$
k (l/h)	7	3	111	42
v_1 (m^3)	0.2	0.2	2.6	2.6
v_2 (m^3)	0.168	0.72	2.664	1.008
^a $v_2=k \times RT$				

Tabella 25: Caratteristiche del sottosistema

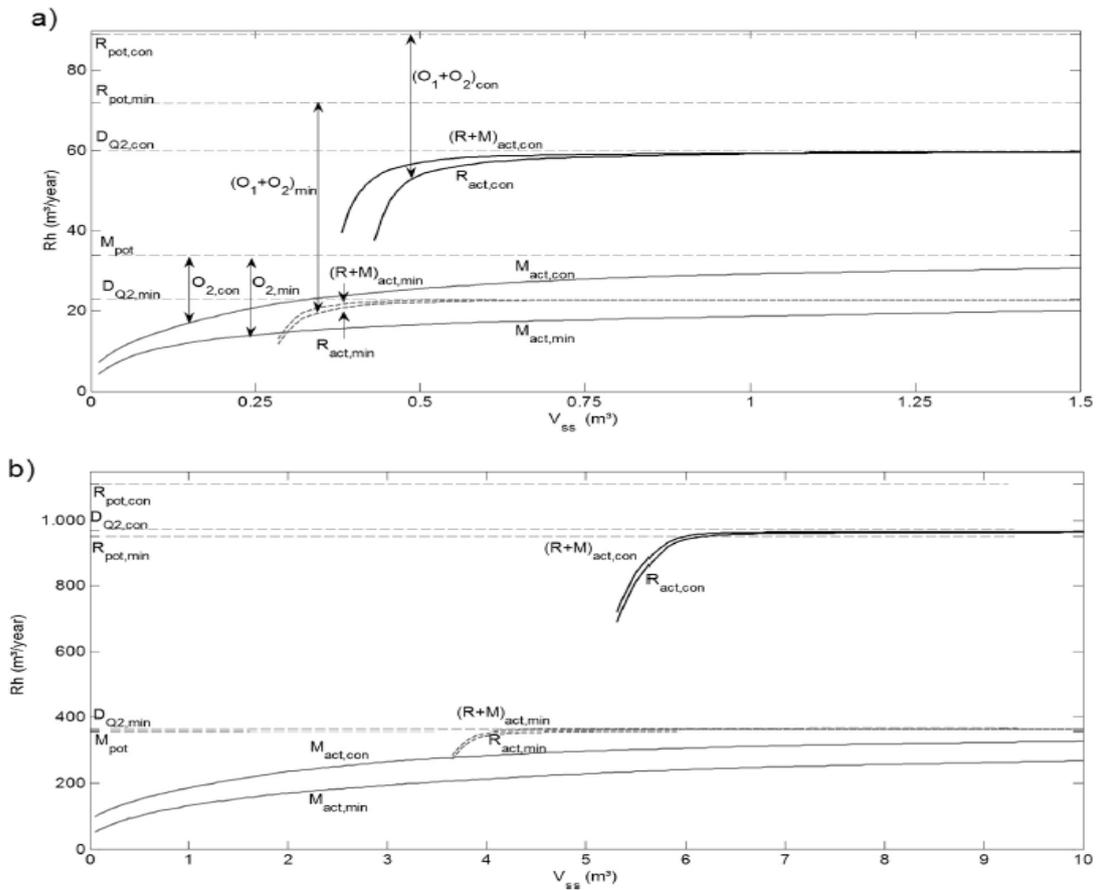


Figura 34: Risorse raccolte (Rh) per i due tipi di edifici.

- a) per la casa indipendente
- b) per il Palazzo residenziale;
- simulando le tre strategie;
- R: Riciclaggio,
- M: Multi-sourcing e
- R+M: Riciclaggio combinato con il Multi-sourcing;
- con: domanda convenzionale e min: domanda minimizzata.

La figura 34 mostra che Rh (Resource harvested, risorse raccolte) è una funzione della capacità di stoccaggio del sottosistema ($V_{ss} = V_1 + V_2 + V_3$), per la domanda convenzionale e minimizzata, per le tre strategie ovvero il riciclaggio, multi-sourcing ed il riciclaggio e multi-sourcing insieme. La pendenza, che rappresenta la resa del raccolto per m³ di capacità di stoccaggio, è più grande per il riciclaggio che per il multi-sourcing, con conseguente minore capacità di stoccaggio necessaria per il riciclaggio rispetto al multi-sourcing per un determinato obiettivo di Rh. Inoltre, è anche mostrato il potenziale di riciclaggio e del multi-sourcing, che è importante conoscere per determinare le sfiorature nel sottosistema.

Nei casi studiati, dopo una determinata capacità, la pendenza si riduce a zero, poiché è soddisfatta la domanda d'acqua di seconda qualità (D_{Q2} , non potabile). Per flussi minimizzati, una piccola capacità di archiviazione è sufficiente per raccogliere tutto il potenziale.

Per tutti i casi studiati, il riciclaggio di acque grigie potrebbe soddisfare il 100% della domanda d'acqua di seconda qualità, anzi potrebbe anche eccedere, siccome in questo studio non si è considerata l'esportazione di risorse, l'eccedenza sarà esportata come rifiuto. Questo surplus d'acqua in realtà potrebbe essere utilizzato anche per altre attività che non sono state considerate in questo studio.

Il multi-sourcing può fornire il 60% e l'80% della domanda minimizzata rispettivamente per la casa indipendente e per il palazzo residenziale a metà altezza.

Per una data capacità di stoccaggio, i rendimenti sono leggermente superiori per la combinazione riciclaggio e multi-sourcing rispetto al solo riciclaggio.

Per il consumo convenzionale a livello di sottosistema, autosufficienza (SSIss) è raggiunto del tutto o quasi del tutto.

Inoltre, si è visto che “lo spreco” a livello del sottosistema, per la domanda minimizzata ovvero quando si utilizzano apparecchi a risparmio idrico, è alto, molto più alto rispetto alla domanda convenzionale. Questo è dovuto al fatto che anche nel caso della domanda minimizzata l'utilizzo dell'acqua per la doccia è tanto, più alto del fabbisogno della acqua di seconda qualità.

Discussione dei risultati ottenuti

I risultati mostrano che ci sono due tipi di vincoli per soddisfare la domanda d'acqua con le risorse locali a livello dell'edificio. Il primo tipo è legato alla disponibilità di risorse locali, ovvero dalla produzione d'acqua grigia, dalla disponibilità d'acqua piovana, determinata dalle condizioni locali, cioè il clima, le superfici del tetto, ecc.

Il secondo tipo deriva dal primo ed è causato da limitazioni pratiche per raccogliere, ovvero vincolo derivato dalle capacità di stoccaggio, disponibilità di spazio per installare le unità di stoccaggio, sappiamo inoltre che il dimensionamento del volume di stoccaggio dipende dalla velocità di trattamento delle acque grigie.

I risultati ottenuti confermano la gerarchia delle misure proposte dalla UHA, in cui la minimizzazione della domanda è il primo, ovvero il più significativo per raggiungere l'autosufficienza locale e il riciclaggio è il secondo passo più efficiente.

Dai risultati ottenuti si evince inoltre che anche quando le risorse sono disponibili per raggiungere l'autosufficienza locale su base media annuale, modelli temporali e restrizioni date dalle tipologie dell'edificio, possono far sì che solo una parte della domanda è alimentata da risorse locali e rinnovabili.

La progettazione dei sistemi in sito dipenderà dalle esigenze locali e obiettivi. L'UHA fornisce una metodologia sistematica per valutare diverse strategie. Inoltre, è necessario analizzare ulteriori vantaggi e compromessi, ad esempio gli apparecchi a risparmio idrico possono anche contribuire a ridurre al minimo il consumo di energia, dato che c'è bisogno di riscaldare meno acqua. Tuttavia, il trattamento delle acque grigie può implicare utilizzo dell'energia supplementare per il pompaggio.

Inoltre, è necessario valutare i rischi ed eventuali misure devono essere adottate, ad esempio, per evitare connessioni errate.

I risultati mostrano che un grande potenziale viene sprecato se ci si concentra solo sulle unità immobiliari. L'ottimizzazione dei cicli dell'acqua deve includere grandi scale per migliorare il profilo metabolico convertendo la produzione di rifiuti ("lo spreco", overflow) in esportazione di risorse.

Soluzioni personalizzate possono essere proposte per specifiche aree della città, comprendendo l'influenza del tipo di edificio e degli apparecchi idrici ivi presenti e il riutilizzo interno all'edificio dell'acqua.

L'Approccio del Raccolto Urbano considera le aree urbane come serbatoi di risorse che possono essere raccolte e utilizzate per soddisfare esigenze urbane. Come mostrato in questo documento, Con una variazione realistica dei modelli di consumo giornaliero e in condizioni meteorologiche olandesi, fino al 100% della domanda attuale di acqua per il bucato e per i servizi igienici potrebbe essere fornita da risorse locali.

Dimensionamento dei sistemi di stoccaggio e trattamento è molto sensibile alla domanda, numero di occupanti, tipologia degli apparecchi e capacità di trattamento.

I nuovi approcci nella gestione delle risorse urbane, come l'UHA, devono essere integrati in nuovi metodi di progettazione e pianificazione sostenibile della città per fornire soluzioni personalizzate per le aree urbane esistenti e nuove.

5.2 Raccolta ed utilizzo d'acqua piovana, Domestic Rain Water Harvesting (DRWH)

Di fronte all'incessante aumento della domanda idrica i sistemi domestici di risparmio d'acqua destano un crescente interesse. Tra questi figura l'installazione di sistemi atti a minimizzare il consumo d'acqua e in particolare la raccolta e l'uso dell'acqua piovana quale fonte domestica supplementare (DRWH). L'acqua piovana, infatti, può fungere da alternativa agli innumerevoli utilizzi non potabili d'acqua, quali lo sciacquone dei servizi igienici, che corrisponde al 30% dell'acqua domestica, la pulizia del terrazzo o l'irrigazione dei Giardini (USEPA , 2004). Inoltre, in certi contesti geografici l'acqua raccolta e successivamente trattata risulta sicura quanto l'acqua pubblica. (Heyworth J. A , 2001); (Abdulla.FA and AW.Al-Shareef , 2009))

Nell'ultimo ventennio diversi modelli di raccolta DRWH sono stati proposti. Nella maggior parte di questi modelli il parametro fondamentale da stabilire era la capacità di stoccaggio in base al livello di prestazioni desiderato del sistema. A tal fine sono stati seguiti sia approcci basati sulla simulazione del bilancio idrico (Fewkes.A e Butler.D , 2000); (Villarreal.EL e Dixon.A , 2005); (DF.Ferreira e Ghisi.E , 2007)) che metodi probabilistici (Lee.KT e al. 2000); (Guo.Y e Baetz.B , 2007)). In generale, i risultati indicano che la capacità di stoccaggio non può essere standardizzata, essendo fortemente influenzata da parametri specifici variabili da sito in sito, quali le precipitazioni locali, la superficie del tetto e la domanda idrica (Mwenge Kahinda JM e al. 2007).

Per ovviare a questo limite A. Campisano e Carlo Modica proposero una nuova metodologia adimensionale per determinare la dimensione ottimale dei serbatoi di raccolta sulla base dei risultati di simulazione del bilancio idrico per molteplice misurazione delle precipitazioni in Sicilia, ottenute da diverse stazioni. Oltre ad introdurre un parametro adimensionale per descrivere il cambiamento annuale delle precipitazioni gli autori adottarono il costo come un criterio per determinare la dimensione ottimale del serbatoio (Campisano e Modica , 2012).

Lo schema base è costituito da un sistema di captazione e da una cisterna di stoccaggio temporaneo. L'acqua accumulata costituisce la fonte primaria per gli usi non potabili e solo quando esaurita si usa l'acqua della rete pubblica.

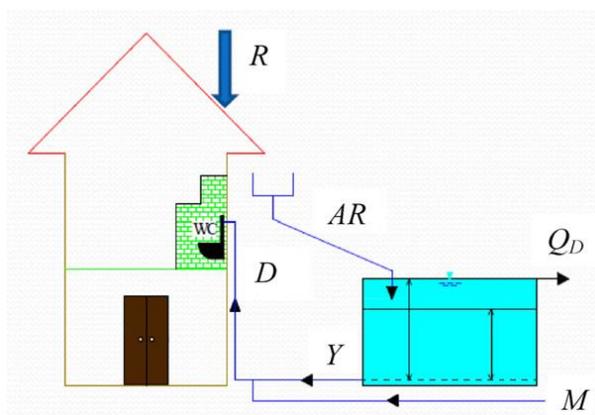


Figura 35: Schema del sistema DRWH, fonte: (Campisano e Modica , 2012)

La valutazione del risparmio idrico ottenuto con tale schema DRWH è effettuata simulando i bilanci idrici con il modello comportamentale YAS (Yield after spillage) che considera la resa attuale come il minimo tra il volume di acqua piovana immagazzinata nel precedente intervallo di tempo $V(t - 1)$ e il fabbisogno nell'intervallo di tempo attuale $D(t)$.

$$Y(T) = \min \begin{cases} D(t) \\ V(t-1) \end{cases} \quad (5.10)$$

La quantità d'acqua piovana stoccata all'istante t , ($V(t)$), viene ottenuta sommando l'attuale deflusso dell'acqua piovana sul tetto e sottraendo la resa attuale al volume di acqua piovana immagazzinata nel precedente intervallo di tempo.

$$V(t) = \min \begin{cases} V(t-1) + A \cdot R(t) - Y(t) \\ S - Y(t) \end{cases} \quad (5.11)$$

Dove A è la superficie effettiva del tetto, S è la capacità di stoccaggio del serbatoio e R è l'altezza di precipitazione annua.

L'efficienza del sistema viene valutata tramite il risparmio d'acqua annuale

$$W_s = \frac{\sum Y}{\sum D} \times 100 = \left(1 - \frac{\sum M}{\sum D} \right) \times 100 \quad (5.12)$$

Dove M è il volume, di reintegro, fornito dalla rete idrica. Il risparmio risulta dunque nullo qualora venga utilizzata esclusivamente l'acqua di rete ($M = D$), e massimo (100%) quando viene utilizzata solo l'acqua immagazzinata ($M=0$).

Le prestazioni del sistema sono valutate anche in base ai volumi di eccesso scaricati dal serbatoio. In particolare, il volume di sfioro Q_D (overflow) è valutato per ogni anno per ricavare indicazioni sulla quantità di acqua piovana in eccesso che può essere reindirizzata ad altri usi domestici:

$$Q_D = \frac{\sum Q_D}{\sum AR} \times 100 \quad (5.13)$$

Tradizionalmente per prendere in considerazione diverse combinazioni di fabbisogno, capacità di stoccaggio, superfici di captazione e altezza di precipitazione, vengono utilizzati due parametri adimensionali: la frazione di domanda annuale ($d=D/AR$) e la frazione di stoccaggio annuale ($s=S/AR$). Ai fini di tener conto della variabilità annuale sia della domanda che delle precipitazioni, gli autori (Campisano e Modica , 2012) proposero la seguente frazione di stoccaggio quale parametro adimensionale:

$$s_m = \frac{s}{D \cdot \left(\frac{n_d}{n_r}\right)} \quad (5.14)$$

Dove n_d , e n_r sono il numero di giorni secchi e piovosi rispettivamente.

I risultati delle simulazioni effettuate sono stati elaborati statisticamente mediante un'analisi della frequenza. In particolare, i valori di W_s (risparmio d'acqua annuale) e O_D (scarico dello sfioro) sono stati determinati, basandosi su livelli prefissati di frequenza di superamento f . Infine, è stato usato un modello di regressione per mettere in relazione il risparmio d'acqua e lo sfioro con i parametri adimensionali suddetti. In particolare, seguenti modelli di regressione sono stati proposti:

$$W_s = \frac{a_1 \cdot s_m}{b_1 + s_m} \cdot d^{c_1} \quad (5.15)$$

$$O_D = 100 - \frac{a_2 \cdot s_m}{b_2 + s_m} \cdot d^{c_2}$$

Dove a_1 , b_1 , c_1 ed a_2 , b_2 e c_2 sono i coefficienti di regressione che sono stati calibrati.

Dalle equazioni si evince che risparmio d'acqua annuale W_s aumenta e lo scarico dello sfioro O_D diminuisce all'aumentare della frazione di stoccaggio annuale.

In questo studio, oltre al risparmio idrico, si considera anche il costo come criterio per determinare la dimensione ottimale del serbatoio, attraverso analisi del costo nel ciclo di vita (LCCA, Life Cycle Cost Analysis), in particolare i seguenti costi sono stati considerati:

$$C_{im} = C_s + C_I \quad (5.16)$$

C_{im} è il costo dell'impianto

C_s è il costo del serbatoio

C_I è il costo degli accessori e installazione.

Costo di manutenzione, che viene calcolato come una frazione del costo del serbatoio:

$$C_M = \gamma \cdot C_I \quad (5.17)$$

Costo annuale della frazione d'acqua acquistata dal fornitore esterno:

$$C_{YWM} = C_w \cdot \left(1 - \frac{W_s}{100}\right) \cdot D \cdot 365 \quad (6.18)$$

Si calcola questa voce come funzione del risparmio idrico W_s , maggiore è il risparmio idrico, minore è la frazione d'acqua acquistata, dunque più è grande il risparmio idrico minore è questo costo.

Costo annuale di energia elettrica consumata dal sistema DRWH:

$$C_{YE} = C_E \cdot \frac{W_s}{100} \cdot D \cdot 365 \quad (5.20)$$

C_E è il costo di energia elettrica consumata per metro cubo d'acqua accumulata (pompaggio ecc....)

I costi vengono attualizzati:

$$PV = C_{\text{im}} + \frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N} \cdot [C_{YWM} + C_{YE} + C_M] \quad (5.21)$$

r è il tasso di attualizzazione, e N è il numero di anni considerati.

Per dimensionare il serbatoio, il costo totale attualizzato viene minimizzato, dunque considerando le equazioni (5.14) e il (5.15) e le equazioni dal (5.16) al (5.20), minimizzando il costo totale attualizzato si ricava la dimensione ottimale del serbatoio:

$$S_m^{opt} = \sqrt{\frac{[(1+r)^N - 1] \cdot n_R \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot 365 \cdot (C_W - C_E)}{100 \cdot \beta \cdot [(1+r)^N \cdot (r + \gamma) - \gamma] \cdot n_D}} \cdot d^{0,5 \cdot c_1} - b_1 \Rightarrow$$

$$S_m^{opt} = P \cdot d^{0,5 \cdot c_1} - b_1 \quad (5.22)$$

Con P indichiamo i costi minimizzati, W_S corrispondente alla dimensione ottimale del serbatoio, calcolato con l'equazione (5.15).

5.2.1 Dimensionamento ottimale delle vasche di stoccaggio per la raccolta dell'acqua piovana domestica in Sicilia

La metodologia proposta è stata applicata a diverse misure di precipitazioni in Sicilia. Il clima Siciliano è tipicamente Mediterraneo, con precipitazioni medie annue di 720mm, i picchi di precipitazione (superiori a 1000 mm/anno) sono tipici del lato nord-est dell'isola.

Sono riportate di seguito le precipitazioni medie mensili:

Mesi	Precipitazioni medie[mm]
Gennaio	103.6
Febbraio	79.3
Marzo	70.4
Aprile	52.1
Maggio	30.9
Giugno	14.6
Luglio	7.1
Agosto	17.7
Settembre	45.2
Ottobre	88.8
Novembre	97
Dicembre	112.9
Totale	720

Tabella 26:Precipitazioni medie mensili

Nella tabella di seguito sono riportate le precipitazioni medie annue e numero medio di giorni piovosi n_R per le 17 stazioni meteorologiche.

Stazione pluviometrica	Precipitazione media annua [mm]	n_R
Augusta	566.4	47.9
Bronte	595.6	73.5
Caltagirone	536.9	58.5
Catania	478.1	46.2
Cefalù	679.9	70.9
Cozza S.	433	46
Enna	776.8	72.4
Gela	400.9	49.2
Gibellina	705.2	76.7
Lercara F.	587.1	72.2
Messina	846.5	83.8
Mistretta	986.4	87.8
Palazzolo A.	662.1	66.1
Palermo	474.4	64.4
Sciacca	526	60.3
Trapani	457.1	59.8
Zafferana E.	1311.8	81.1

*Tabella 27: Precipitazioni medie annue e numero medio di giorni piovosi n_R , figura:
[Dipartimento dell'Acqua e dei Rifiuti – Regione Siciliana]*

Simulazione del bilancio idrico giornaliero del serbatoio con il modello YAS è stata effettuata per ciascuno dei 17 siti per valutare le prestazioni del sistema DRWH. Queste prestazioni sono state valutate per queste le varie stazioni usando valori di frazione di domanda annuale (d) uguali a 0.2, 0.5, 1.0, 2.0 e 4.0 e per valori di frazione di stoccaggio annuale modificata (S_m) inclusa tra 0.05 e 40. I valori considerati permettono di valutare valori utili per le nostre applicazioni per le seguenti grandezze: domanda d'acqua, capacità di stoccaggio e superficie del tetto.

I risultati delle simulazioni, ovvero i valori del risparmio d'acqua annuale W_S e dello sfioro O_D per valori di d uguale a 0.5 e 1 sono riportati in figura 36 e in figura 37 per $f=50\%$, ciascuna linea nelle figure rappresenta una stazione. Come previsto i valori di W_S aumentano al crescere della frazione di stoccaggio S_m e i valori di O_D diminuiscono. Inoltre, osserviamo che all'aumentare della frazione di domanda d le curve si appiattiscono per W_S , ovvero l'efficienza idrica si riduce, dimostrando la scarsa utilità dei serbatoi troppo grandi se l'area del tetto è piccola e/o le precipitazioni sono scarse.

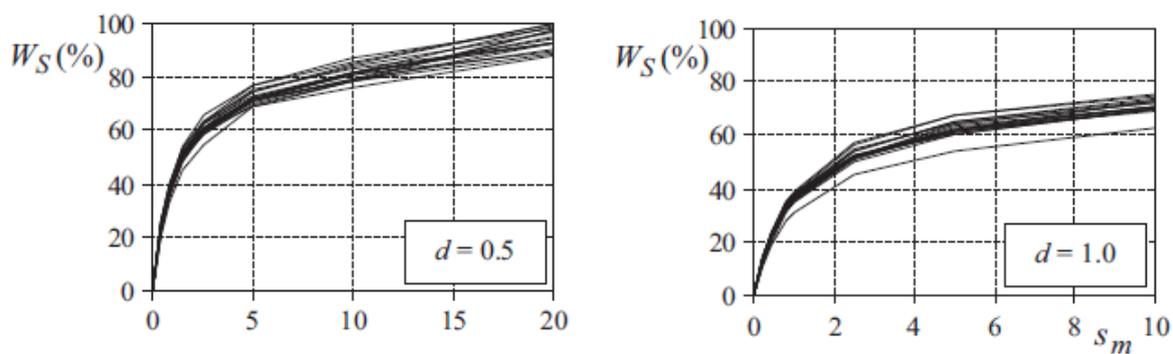


Figura 36: Valori di risparmio idrico ($f = 50\%$) per le 17 stazioni pluviometriche esaminate in funzione della frazione di domanda d e (a) frazione di accumulo modificata S_m

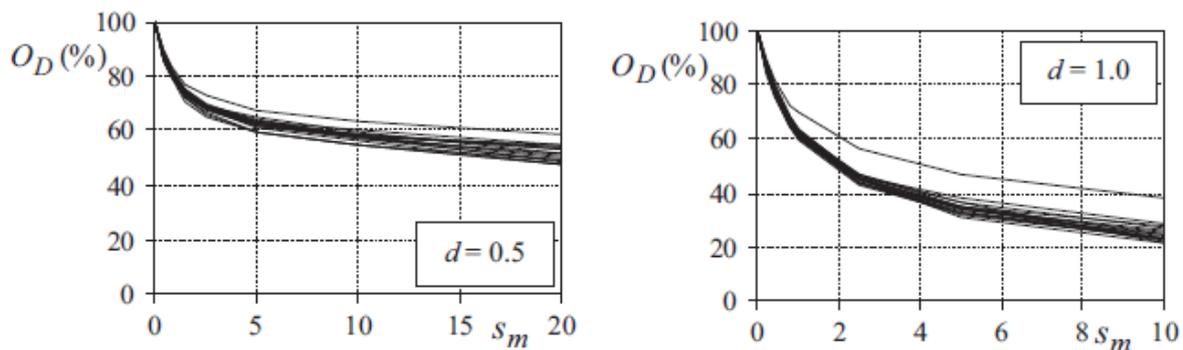


Figura 37: Valori di scarico di troppopieno ($f = 50\%$) per le 17 stazioni pluviometriche esaminate in funzione della frazione di domanda d e della frazione di stoccaggio modificata S_m

Dalle figure si nota inoltre che le curve che rappresentano le varie stazioni sono molto vicine tra loro, ciò dimostra che i valori scelti di d ed S_m sono buoni per modellare (ed eventualmente dimensionare) il sistema DRWH in Sicilia.

Globalmente si ottengono valori di overflow elevati e significativi, questo evidenzia la possibilità di estendere la raccolta di acqua piovana anche ad altri usi domestici.

Attraverso la calibrazione del modello di regressione si ottengono i seguenti valori dei parametri, per $f = 50\%$:

$$\begin{array}{ll} a1 = 76 & a2 = 67 \\ b1 = 1.2 & b2 = 0.7 \\ c1 = -0.2 & c2 = 0.6 \end{array}$$

Dunque, si ottiene il seguente modello di regressione regionale, per $f = 50\%$:

$$W_S = \frac{76 \cdot s}{1.2 + s} \cdot d^{-0.2} \quad (5.23)$$

$$O_D = 100 - \frac{67 \cdot s_m}{0.7 + s_m} \cdot d^{0.6} \quad (5.24)$$

Di seguito viene fornito un esempio per far vedere un uso pratico della metodologia presentata per progettare la DRWH tenendo conto dei costi (minimizzazione dei costi). Prendiamo una casa in Sicilia di 4 persone, per semplicità aventi caratteristiche tali da fornire una frazione di domanda annuale $d = 0.5$, dunque superficie del tetto $A = 186 \text{ m}^2$, ed una domanda d'acqua di seconda qualità per lo sciacquone del WC $D = 0,168 \text{ m}^3/\text{di}$, supponiamo che il sito sia caratterizzato da una precipitazione media giornaliera $R = 0.0018 \text{ m}$, e che il numero di giorni piovosi $n_R = 70$, ne segue che i giorni secchi sono $n_D = 295$ e supponendo $f = 50\%$.

Per i costi si assumono i seguenti valori: $C_W = 2.0\text{€} / \text{m}^3$, $C_E = 0.02\text{€} / \text{m}^3$, $r = 0.04$, $\gamma = 0.02$, $N = 30\text{anni}$, ottenendo così il seguente valore del costo minimizzato $P = 5.0$, da questo si ottengono le dimensioni ottimali del serbatoio:

$$S_m^{opt} = 4.13$$

Dunque, le dimensioni effettive del serbatoio sono:

$$S = 2.93\text{m}^3$$

Per un serbatoio di queste dimensioni, usando il modello di regressione regionale si ha $W_S = 67\%$ e $O_D = 62\%$.

Conclusioni

I risultati hanno mostrato un aumento marginale dell'efficienza idrica del sistema all'aumentare della frazione modificata di stoccaggio S_m , evidenziando l'inutilità di installare serbatoi enormi se sono limitate le precipitazioni e/o le aree di captazione.

Inoltre, sono stati ottenuti valori percentuali di sfioro OD elevati, suggerendo la possibilità di estendere uso dell'acqua piovana raccolta anche ad altri usi domestici.

6 CONCLUSIONE E COMMENTI

La risorsa idrica è limitata e si sta progressivamente trasformando in un bene sempre più scarso. Partendo da questa premessa la presente tesi si è prefigurata come obiettivo quello di analizzare alcuni metodi volti a ridurre il consumo dell'acqua a scala residenziale. Lo strumento comune a tutti questi sistemi è il bilancio idrico ossia la valutazione del rapporto tra le entrate, le uscite e le perdite in modo da minimizzare queste ultime.

La tesi parte esaminando, nel primo capitolo, la disponibilità idrica a livello globale e la sua evoluzione negativa nel corso degli anni passando in rassegna le possibili cause per poi focalizzare nei capitoli successivi sulla presentazione di diverse soluzioni e strategie sia a livello urbano che domestico. In particolare, a scala urbana si è valutata la politica adottata da alcuni paesi europei di incrementare le tariffe e che si è rivelata abbastanza efficiente nel ridurre il consumo pro capite e dicentivare lo spreco. Tale soluzione potrebbe essere adottata anche in Italia visti le tariffe attuali che risultano tra le più basse in Europa.

L'altra soluzione urbana presentata in questo elaborato è quella ottimizzare la suddivisione delle reti di approvvigionamento in modo tale facilitarne il monitoraggio e individuare le perdite. In Italia tali perdite sono pari a circa il 40% dell'acqua immessa a causa dello stato di degrado in cui versa l'infrastruttura idrica. Al fine di ridurre questa ingente perdita è possibile adottare questo metodo di suddivisione per ottimizzare gli interventi di adeguamento e manutenzione.

Analogamente a scala domestica sono stati presentati due casi studio che propongono soluzioni innovative ed ecologiche che prevedono l'installazione di sistemi alternativi di approvvigionamento idrico in modo tale da raggiungere un certo livello di autosufficienza domestica. La fonte alternativa è data dall'acqua piovana nel caso del Domestic Rain Water Harvesting a cui si aggiunge anche l'acqua grigia nel caso del Urban Harvesting Approach.

L'efficienza di tali sistemi dipende da molti fattori quali la disponibilità degli spazi per installare i serbatoi, la domanda idrica e la capacità di trattamento. Inoltre, il trattamento delle acque grigie necessita una separazione preliminare tra le acque grigie e le acque nere a livello degli impianti. In Italia una considerevole porzione delle abitazioni esistenti non presenta questo meccanismo di separazione, ciò che rende l'installazione di questa tecnologia più onerosa. È chiaro, dunque, che a livello nazionale il freno principale per l'adozione di queste tecnologie è dato dall'inerte costo, che attualmente risulta tutto a carico dell'utente. In futuro per incoraggiare una diffusione più ampia di queste soluzioni volte a ridurre il consumo idrico, risulta vitale l'adozione di politiche ambientali che incentivano l'investimento e la fattibilità economica di tali sistemi innovativi.

In conclusione, dalla proiezione del consumo idrico risulta chiaro che le risorse disponibili sono inevitabilmente destinate a diventare sempre più scarse e quindi più preziose. Pertanto, la presenza di sistemi alternativi di approvvigionamento rappresenterà un tema sempre più attuale. L'obiettivo principale che occorre prefiggersi sarà quello di rendere le famiglie il più autosufficienti possibile, attraverso i dispositivi per il risparmio idrico e i sistemi di raccolta dell'acqua piovana e il riutilizzo delle acque reflue domestiche che ad oggi sfociano direttamente nelle fognature.

7 BIBLIOGRAFIA

- (ANPA), APAT. «Linee-guida per la redazione e l'uso delle Carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento.» A cura di De Maio M., Farina M., Zavatti A. Manuali e lineeguida dell'ANPA Civita M., 99 pp. , 2001.
- (EEA), agenzia europea dell'ambiente. «EEA : Segnali 2018.» *L'acqua è vita*, 2018.
- A. Di Nardo, M. Di Natale, G.F. Santonastaso, S. Venticinque. «An automated tool for smart water network partitioning.» *Water Resour. Manag* 27 (, 2013): 4493 – 4508.
- Abdulla.FA, e AW.Al-Shareef. «Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan.» *Desalination* 2009 243 (, 2009): 195–207.
- Agudelo-Vera, C.M., Mels, A., Keesman, K., Rijnaarts, H.,. «The urban harvest approach as an aid for sustainable urban resource planning. *J. Ind. Ecol.* 16 (6), 839e850.» (Journal of Industrial Ecology) vol.16, n. Issue 6 (, 2012): pp.839_850.
- Agudelo-Vera, Claudia M., e Karel J. Keesman, Adriaan. R. Mels , al. «Evaluating the potential of improving residential water balance at building scale.» (water research) 47 (October 2013): 7287 e7299.
- Alcamo, J., Döll, P., Henrichs, T., Kaspar, F., Lehner, B., Rösch, T., Siebert, S. «Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability.» *Hydrological Sciences JournalGlobal* (International Geosphere-Biosphere Programme (IGB)), , 2003: 48:317–337.
- Alegre H, Hirner W, Baptista J, Parena R, e al. «Performance indicators for water supply services.» (IWA Manual of Best Practice) , 2000.
- Alessandro.Uggeri. «RETE ACQUEDOTTISTICA DEL COMUNE DI VARESE BILANCIO IDRICO COMUNALE E VALUTAZIONE CONSUMI.» COMUNE DI VARESE,AREA IX - GESTIONE TERRITORIO (PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO) -COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PGT, Studio Idrogeotecnico Associato – Milano, Milano, , n.d.
- Aquastat. *FAO's Global Information System on Water and Agriculture.Rome, Food and Agriculture Organization of the United.* , n.d. www.fao.org/aquastat/en/.
- Aqueduct. *Aqueduct 3.0: Updated Decision- Relevant Global Water Risk Indicators.* August , 2019. <https://www.wri.org/publication/aqueduct-30>.
- ARERA. «Le tariffe del Servizio Idrico Integrato nell'ATO Veronese.» , 2018.
- . «METODO TARIFFARIO IDRICO PER IL SECONDO PERIODO REGOLATORIO (MTI-2).» 26 Novembre , 2015, (Autorità di regolazione per energia reti e ambiente) ed.
- aus der Beek, T., Flörke, M., Lapola, D. M., Schaldach, R., Voß, F., and Teichert, E. «Modelling historical and current irrigation water demand on the continental scale.» (Global International Geosphere-Biosphere Programme (IGB)) , 2010: 27:79-85.

- AWWA. «Water audits and loss control programs.» (AWWA Publication) 3rd ed (, 2009).
- B. Charalambous, S. Hamilton. «Water balance - The next stage.» (Water Utility Journal 1) , 2011: 3-10.
- Campisano, Alberto, e Carlo Modica. «Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily.» (Resources, Conservation and Recycling) 63 (, 2012): 9– 16.
- Chisakuta S, Mayumbelo K, Mulenga K, Simbeye I, Wegelin W, Mckenzie R, Hamilton S, Anders D, e et al. «non-revenue water: trainers manual.» *Wave Pool Zambia Imprint* (German Foundation for International Cooperation (GIZ)), , 2011.
- DF.Ferreira, e Ghisi.E. «Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-story residential building in southern Brazil.» (Building and Environment) 42, n. 4 (, 2007): 2512–22.
- Di Nardo, A, e D. Musmarra, G.F. Santonastaso, F.P. Tuccinardi, G.B. Zaccone M. Di Natale. «Software for partitioning and protecting a water supply network.» (Civ. Eng. Environ) 33:1, n. 10.1080/10286608.2015.1124867 (, 2016).
- E. Creaco, G. Pezzinga. «Multiobjective Optimization of Pipe Replacements and Control Valve Installations for Leakage Attenuation in Water Distribution Networks.» (J. Water Resour) 3, n. WR.1943-5452.0000458 (, 2014): 141.
- EAA. *Household water use and price of water in Hungary*. 12 Nov , 2009.
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/household-water-use-and-price-of-water-in-hungary>.
- EurEau. «Europe’s water in figures.» (The European Federation of National Associations of Water Services) , 2017.
- EurEau. «The governance of water services in Europe.» March , 2018.
- F. De Paola, N. Fontana, E. Galdiero, M. Giugni, D. Savic, G. «Sorgenti degli Uberti, Automatic multi-objective sectorization of a water distribution network.» (Procedia Engineering) 89 (, 2014): 1200 – 1207.
- FAO. *The State of the World’s Land and Water Resources for Food and Agriculture: Managing Systems of Risk*. London/Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, , 2011.
- Farley M, Trow S. «Losses in water distribution networks; a practitioner’s guide to assessment, monitoring.» (International Water Association Publishing) 2nd edn (, 2007).
- Farley M, Wyeth G, Ghazali Z, Istandar A, Singh S, e al. «The manager’s non-revenue water handbook: a guide to understanding water losses.» *United States Agency for International Developing and Ranhill Utilities Berhad*, 2008.
- Farreny, R., e Morales-Pinzo’ n, T., Guisasola, A., Taya’ , C.,Rieradevall, J., Gabarrell, X., al. «Roof selection for rainwater harvesting: quantity and quality assessments in Spain.» (Water Research) 45, n. 10 (2011): 3245_3254.

- Fewkes.A, e Butler.D. «Simulating the performance of rainwater collection systems using behavioural models? Building Services Engineering Research and Technology.» 21, n. 2 (, 2000): 99–106.
- Flörke, M., Kynast, E., Bärlund, I., Eisner, S., Wimmer, F., Alcamo, J. «Domestic and industrial water uses of the past 60 years as a mirror of socio-economic development: Global Environmental Change 23.» *A global simulation study* (Global International Geosphere-Biosphere Programme (IGB)), , 2013: 144-156.
- Foekema, H., e L., van Thiel. «Watergebruik Thuis 2010.» *VEWIN*, , 2011.
- Gleick, P. H. «Water resources.» *In Encyclopedia of Climate and Weather* (Oxford University Press) vol. 2 (, 1996): pp.817-823.
- Guo.Y, e Baetz.B. «Sizing of rainwater storage units for Green Building applications.» (Journal of Hydrologic Engineering) 12 (, 2007): 197–205.
- Heyworth J. A. «diary study of gastroenteritis and tank rainwater consumption in young children in South Australia.» *Proceedings of the 10th international rainwater catchment systems conference*, , 2001: p. 141–8.
- Høgh.K. «Assessment of Real Losses from Minimum Night Flows.» *Proceedings of IWA Specialized Conference: Water Loss 2014*, 30 March – 2 April , 2014.
- IRSA-CNR. «Un futuro per l'acqua in Italia.» Roma, , 1999, 235 pp.
- ISTAT. , 1991.
- Istat. «LE STATISTICHE DELL'ISTAT SULL'ACQUA | ANNI 2018-2019.» , 2020.
- Iwa, Gwi. *International Statistics for Water Services*. , 2016.
<http://www.waterstatistics.org/>,<https://iwa-network.org/>.
- J. Morrison, S. Tooms, D. Rogers. «Water Loss Task Force.» *District Metered Areas guidance notes* (Water Assoc. (IWA)), , 2007.
- Kanellopoulou, S. , 2011.
- Lambert A, Charalambous B, Fantozzi M, Kovac J, Rizzo A, St John S G, e al. «14 years' experience of using IWA best practice water balance and water loss performance indicators in Europe.» *Proceedings of IWA Specialized Conference:Water Loss 2014*, 30 March – 2 April 2014.
- Lambert eTaylor. «Water loss guidelines, a guideline for the New Zealand water and wastes association.» *Water New Zealand*, , 2010.
- Lambert. «What do we know about pressure: leakage relationships in distribution systems?» *Proceedings of IWA Conference System Approach to leakage control and water distribution system management* (Czech Republic), , 2001.
- Lambert-Hirner. «Losses from water supply systems:standard terminology and recommended performance measures.» *IWA*, , 2000.

- Lee.KT, e Lee CD, Yang MS, Yu CC. al. «Probabilistic design of storage capacity for rainwater cistern systems.» (*Journal of Agricultural Engineering and Research*) ;77, n. 3 (2000): 343–8.
- Legambiente, Ambiente Italia e Il Sole 24 Ore. «rapporto ecosistema urbano 2019: rapporto sulle performance ambientali delle città.» A cura di Mario Cirillo, Silvia Brini, Mirko Laurenti, Lorenzo Bono Massimo Gabellini. , 2019.
- M. F. K. Pashaa, K. Lanseya. «Water quality parameter estimation for water distribution systems.» *Syst (Civ. Eng. Environ)* 26:3 (, 2009): 231 – 248.
- McKenzie R, Buckle H, Wegelin W, Meyer N, e et al. «Water demand management cookbook.» *Water Resource Planning and Conservation* (ISBN 0–620-30734-X) , 2003.
- Morrison J, Tooms S, Rogers D, e et al. «District metered areas: guidance notes.» *IWA water loss task force* (IWA), . 2007.
- Mutikanga H, Sharma S, Vairavamoorthy K, e al. «Assessment of apparent losses in urban water systems.» (*Water Environ*) J 25(3) (2011): 327–335.
- Mwenge Kahinda JM, e Taigbenu AE, Boroto JR al. «Domestic rainwater harvesting to improve water supply in rural South Africa.» (*Physics and Chemistry of the Earth*) 32 (2007): 1050–7.
- Nardo, A. Di, e C. Giudicianni, D. Musmarra, G.F. Santonastaso, A. Simone M. Di Natale. «Water distribution system clustering and partitioning based on social network algorithms.» (*Procedia Engineering*) 119 (, 2015): 196 – 205.
- Nardo, Armando Di, e Carlo Giudicianni, Giovanni Francesco Santonastaso, Velitchko Tzatchkov, José Manuel Rodriguez Varela, Victor Hugo Alcocer Yamanaka Michele Di Natale. «Water Supply Network Partitioning Based on Simultaneous Cost and Energy Optimization.» *International Conference on Efficient & Sustainable Water Systems Management toward Worth Living Development, 2nd EWaS 2016* (*Procedia Engineering*) 162 (, 2016): 238 – 245.
- OECD. *Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction*. OECD Publishing, Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development, , 2012.
- Pillot J, Renaud E, Clauzier M, e et al. «a method of analysing night consumption in DMAs with high levels of seasonal variation.» *Proceedings of IWA Specialized Conference: Water Loss 2014*, 2014.
- R, Hamilton S and McKenzie. «Water management and water loss.» 1st ed (, 2014).
- SenterNovem. « Referentiewoningen Nieuwbouw (Arnhem).» , 2006.
- Thornton J, Sturm R, Kunkel G. «Water loss control manual.» (The McGraw-Hill) , 2008.
- UN WWDR, the United Nations World Water Development Report. «Acqua e cambiamenti climatici.» ,2020.

- UN, DESA. *World Population Prospects 2019*. , 2019.
<https://population.un.org/wpp/Graphs/DemographicProfiles/Line/900>.
- UNESCO, WWAP. *Leaving No One Behind*. Paris: The United Nations World Water Development Report 2019, , 2019.
- USEPA. «2004 Guidelines for water reuse.» (EPA Report no. 625-R-04-108) , 2004.
- Villarreal.EL, e Dixon.A. «Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen.» (Building and Environment) 40, n. 9 (, 2005): 1174–84.
- Wada, Y. and Flörke, M. and Hanasaki, N. and Eisner, S. and Fischer, G. and Tramberend, S. and Satoh, Y. and van Vliet, M. T. H. and Yillia, P. and Ringler, C. and Wiberg, D.,. «Modeling global water use for the 21st century: Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches.» , 2016: 175--222.
- Waterwise. *Water use in the home*. , 2007.
https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=RENEW_report_stakeholders.pdf.
- Winarni. «Infrastructure leakage index (ILI) as water losses indicator.» (Civil Engr Dimension) 11 (, 2009): 126–134.
- World Bank – World Development Indicators. (Food and Agriculture Organization, AQUASTAT data) , n.d.
- World Bank. *High and Dry. Climate Change, Water and the Economy*. Washington, DC, World Bank. , 2016. openknowledge.worldbank.org/handle/10986/23665.
- World Resources Institutes (WRI), Aqeduct. *Domestic Water Use Grew 600% Over the Past 50 Years*. 10 February , 2020. <https://www.wri.org/blog/2020/02/growth-domestic-water-use>.
- worldometers. *Water Precipitation in Italy*. , n,d. <https://www.worldometers.info/water/italy-water/>.
- Wu ZY, Farley M, Turtle D, Kapelan Z, Boxall J, Mounce S, Dahasahasra S, Mulay M, Kleiner Y, e et al. «Water loss reduction.» (Bentley Institute Press) 1st edn (2011).
- WUR. «.Meteostation Haarweg.» *Wagenigen University-Meteorology and Air Quality*, , 2013.

8 SITOGRAFIA

www.atoveronese.it

www.arera.it

data.oecd.org/water/

ec.europa.eu/Eurostat

www.edilportale.com

www.eea.europa.eu

www.eureau.org/resources

www.fao.org

www.gazzettaufficiale.it

www.infobuildenergia.it

www.inquinamento-italia.com

www.irsa.cnr.it

www.istat.it

www.iwa-network.org

www.legambiente.it

www.statista.com/statistics

ourworldindata.org

www.population.un.org

www.truenumbers.it

www.un.org

www.unesco.org/

www.unipa.it

www.undp.org

www.uni.com

www.unwater.org

www.usgs.gov

www.utilitalia.it

www.who.int

www.worldbank.org

www.wri.org

www.worldometers.info/water